

Eng TP-49

**Contribuição para o conhecimento dos
carvões da Bacia Carbonífera de Moatize,
Província de Tete, República de Moçambique.**

por

Lopo António Ferreira Trigoso de Sousa e Vasconcelos

VOLUME 1 - TEXTO

Porto - 1995

Eng TP-49

**Contribuição para o conhecimento dos carvões da
Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete,
República de Moçambique.**

VOLUME 1 - TEXTO

**Tese para a candidatura ao Grau
de Doutor em Geologia pela
Faculdade de Ciências da
Universidade do Porto.**

À minha esposa

Fernanda

e aos meus filhos

Vanessa e André Miguel

dedico este trabalho.

INDICE

VOLUME I - TEXTO

	pág.
Preâmbulo	i
1. Introdução	1
2. Enquadramento Geográfico da Bacia Carbonífera de Moatize	3
2.1. Hidrografia e Orografia	3
2.2. Clima e Vegetação	4
2.3. Infraestruturas	4
3. Resenha Histórica dos Estudos sobre a Bacia Carbonífera de Moatize e Regiões Circundantes no que concerne à Actividade Geológico-Mineira	6
3.1. Período que vai do séc. XIX à formação da Companhia Carbonífera de Moçambique - C.C.M. (1948)	6
3.2. Período que vai desde a fundação da C.C.M. (1948) à Independência Nacional (1975)	8
3.3. Período pós-Independência Nacional	12
3.4. Outras referências	14
4. Geologia Regional (Vale do Rio Zambeze)	16
4.1. Introdução	16
4.2. Precâmbrico	18
4.3. Supergrupo do Karoo	20
4.3.1. Karoo Indiferenciado (Ri)	20
4.3.2. Grupo do Ecca (Re)	21
4.3.2.1. Termo de base	21
4.3.2.2. Termo intermédio	22
4.3.2.3. Termo superior	23
4.3.3. Grupo do Beaufort (Rb)	24
4.3.4. Karoo Superior	24
4.3.4.1. Karoo Superior Sedimentar (Rs)	25
4.3.4.2. Karoo Superior Vulcânico	25
4.4. Mesozóico	26
4.4.1. Triásico e Jurássico	26
4.4.2. Cretácico	26
4.5. Cenozóico	27
4.5.1. Manifestações Ígneas Meso-Cenozóicas	27
4.5.2. Quaternário e Formações Recentes	28
5. Geologia Estrutural e Tectónica do Vale do Rio Zambeze	29
5.1. Precâmbrico	29
5.2. Supergrupo do Karoo e Pós-Karoo	31
6. Geologia e Tectónica da Bacia Carbonífera de Moatize	33
6.1. Geologia	33
6.1.1. Precâmbrico	33
6.1.1.1. Introdução	33
6.1.1.2. Série Ígnea de Tete e Angónia (BT θ^1)	35
6.1.1.3. Formação do Chidué (B L _C)	36
6.1.1.4. Grupo de Matambo (BXM)	36
6.1.1.5. Grupo de Changara (BXA)	37

6.1.2. O Supergrupo do Karoo	37
6.1.2.1. O Karoo inferior	37
a) Termo de base ou Série Tilitica	38
b) Termo intermédio ou Série Produtiva	39
c) Termo superior ou Formação de Matinde	42
6.1.2.2. O Grupo de Beaufort	42
6.1.2.3. O Karoo Superior	43
6.1.3. Formações Recentes	44
6.2. Tectónica	44
6.3. As Camadas de Carvão	51
6.3.1. Camada Sousa Pinto	51
6.3.2. Sequência Intercalar entre Sousa Pinto e Chipanga	52
6.3.3. Camada Chipanga	52
6.3.4. Sequência Intercalar entre Chipanga e Bananeiras	52
6.3.5. Camada Bananeiras	53
6.3.6. Sequência Intercalar entre Bananeiras e Intermédia	53
6.3.7. Camada Intermédia	53
6.3.8. Sequência Intercalar entre Intermédia e Grande Falésia	53
6.3.9. Camada Grande Falésia	54
6.3.10. Sequência Intercalar entre Grande Falésia e André	54
6.3.11. Camada André	54
6.3.12. Sequência acima da Camada André	54
7. Amostragem	55
8. Preparação Laboratorial das Amostras	58
8.1. Descrição do Processo usado para a Preparação das Amostras de Carvão	58
8.1.1. 1ª Fase: Abertura dos Tambores	58
8.1.2. 2ª Fase: Secagem do Carvão	59
8.1.3. 3ª Fase: Peneiração	60
8.1.4. 4ª Fase: Moagem das Fracções >25 mm a <25 mm	60
8.1.5. 5ª Fase: Peneiração das fracções moídas a <25 mm	61
8.1.6. 6ª Fase: Moagem a ">3 mm" e a <1 mm e quartilhamento(s)	61
8.2. Preparação de Amostras para Observação Microscópica	62
8.2.1. Introdução	62
8.2.2. Preparação dos Moldes	63
8.2.2. Preparação da Resina de Aglutinação	63
8.2.3. Preparação das Amostras	63
8.3. Descrição do Processo de Preparação de Amostras para a Determinação de Constituintes e de Propriedades	67
9. Análise Granulométrica	69
9.1. Introdução	69
9.2. Análise Granulométrica das Amostras T3-2 e T8-2	69
9.3. Comparação dos Resultados da Análise Granulométrica das Amostras T3-2 e T8-2 com os Resultados do Mesmo Tipo de Análises Levadas a Cabo por Terceiros	72

10. Ensaio de Lavabilidade	76
10.1. Introdução	76
10.2. Comportamento das Fracções e Subfracções Granulométricas aos Testes de Lavabilidade	77
10.2.1. Grupos	78
10.2.1.1. Grupo das fracções/subfracções granulométricas <0.5 mm	78
a) Amostra T3-2: T3-2/2, T3-2/7 e T3-2/12	78
b) Amostra T8-2: T8-2/2, T8-2/7 e T8-2/12	79
10.2.1.2. Grupo das fracções/subfracções granulométricas 0.5-1 mm	80
a) Amostra T3-2: T3-2/3, T3-2/8 e T3-2/13	80
b) Amostra T8-2: T8-2/3, T8-2/8 e T8-2/13	80
10.2.1.3. Grupo das fracções/subfracções granulométricas 1-5 mm	81
a) Amostra T3-2: T3-2/4, T3-2/9 e T3-2/14	81
b) Amostra T8-2: T8-2/4, T8-2/9 e T8-2/14	82
10.2.1.4. Grupo das fracções/subfracções granulométricas 5-11.2 mm	84
a) Amostra T3-2: T3-2/5, T3-2/10, T3-2/15 e T3-2/20	84
b) Amostra T8-2: T8-2/5, T8-2/10, T8-2/15 e T8-2/20	85
10.2.1.5. Grupo das fracções/subfracções granulométricas 11.2-25 mm	85
a) Amostra T3-2: T3-2/6, T3-2/11 e T3-2/16	85
b) Amostra T8-2: T8-2/6, T8-2/11 e T8-2/16	86
10.2.2. Séries	87
10.2.3. Finos (<0.5 mm) peneirados	88
a) Amostra T3-2: T3-2/3, T3-2/4, T3-2/5, T3-2/6, T3-2/8, T3-2/9, T3-2/10, T3-2/11, T3-2/14, T3-2/15, T3-2/16	88
b) Amostra T8-2: T8-2/3, T8-2/4, T8-2/5, T8-2/6, T8-2/8, T8-2/9, T8-2/10, T8-2/14, T8-2/15	89
10.2.4. Fracções Densimétricas	90
10.3. Correlação entre Rendimento de Lavabilidade e Teor em Cinzas	90
10.4. Comparação entre os Resultados da Amostra T3-2 com os da Amostra T8-2.	91
10.5. Comparação dos Resultados obtidos com os de Trabalhos Precedentes	93
10.5.1. Valores por Fracção Densimétrica	93
10.5.1.1. Ensaio de Lavabilidade no Fuel Research Institute (Steicher 1971)	93
10.5.1.2. Ensaio de Lavabilidade no Brennstoffinstitut Freiberg (BIF 1983)	95
10.5.1.3. Ensaio de Lavabilidade no Trans-Natal Coal Corporation (TNCC 1991)	96
10.5.2. Valores Cumulativos	98
10.5.2.1. Ensaio de Lavabilidade nas Amostras T3-2 e T8-2	98
10.5.2.2. Ensaio de Lavabilidade no Fuel Research Institute (Steicher 1971)	99
10.5.2.3. Ensaio de Lavabilidade no Brennstoffinstitut Freiberg (BIF 1983)	100
10.5.2.4. Ensaio de Lavabilidade no Trans-Natal Coal Corporation (TNCC 1991)	101
10.6. Curvas de Lavabilidade	102
10.6.1. Curvas de Lavabilidade Clássicas	102
10.6.1.1. Interpretação das Curvas de Lavabilidade	103
a) Amostra T3-2	104
b) Amostra T8-2	105

10.6.2. Curva M	107
10.6.2.1. Introdução	107
10.6.2.2 Aplicação da Curva M aos Carvões das Amostras T3-2 e T8-2	110
10.6.2.2.1. Fracções/Subfracções Granulométricas <5 mm	111
10.6.2.2.2. Fracções/Subfracções Granulométricas 5-25 mm	112
11. Descrição e Caracterização Petrográfica dos Carvões	116
11.1. Introdução	116
11.2. Descrição dos Constituintes Micropetrográficos	117
11.2.1 Introdução	117
11.2.2. Macerais	119
11.2.2.1. Grupo da Vitrinite	121
a) Telocolinite	123
b) Desmocolinite	124
c) Corpocolinite e Gelocolinite	124
d) Telinite	124
e) Vitrodetrinite	125
f) Vitrinite alterada	126
g) Criptovitrinite	126
11.2.2.2. Grupo da Liptinite	126
a) Esporinite	127
b) Liptinite oxidada	128
c) Exsudatinite	128
d) Liptodetrinite e outras Liptinites	129
11.2.2.3. Grupo da Inertinite	129
a) Fusinite	130
b) Semifusinite	132
c) Esclerotinite	134
d) Macrinite	135
e) Micrinite	135
f) Inertodetrinite	136
g) Carbono Pirolítico	136
11.2.3. Matéria Mineral	137
a) Minerais da Argila	137
b) Carbonatos	139
c) Quartzos	140
d) Sulfuretos	140
e) Óxidos e Hidróxidos	141
f) Outros Minerais	141
11.2.4. Manifestações de Hidrocarbonetos	142
11.2.5. Microlitótipos	142
11.2.5.1. Vitrite	144
11.2.5.2. Inertite	145
a) Fusite	146
b) Semifusite	146
c) Esclerotite	146
d) Macroite	146
e) Inertodetrinite	147

11.2.5.3. Vitrinertite	147
11.2.6. Carbominerites, Minerite e Matrizes Organominerais	147
11.2.6.1. Carbominerites	148
a) Carbargilite	148
b) Carbanquerite	148
c) Carbossilicite	149
d) Carbopirite	149
e) Carbopoliminerite	149
11.2.6.2. Minerite	149
11.2.6.3. Matrizes Organominerais	150
11.3. Caracterização Petrográfica das Fracções e Subfracções Granulométricas	152
11.3.1. Introdução	152
11.3.2. Composição Maceral e Mineral	152
a) Séries de Fracções e Subfracções Granulométricas	153
b) Grupos de Fracções e Subfracções Granulométricas	154
11.3.2.1. Vitrinite	154
11.3.2.2. Inertinite	156
11.3.2.3. Matéria Mineral	157
11.3.3. Composição em Microlitótipos	158
11.3.3.1. Vitrite	159
11.3.3.2. Inertite	159
11.3.3.3. Vitrinertite	160
11.3.3.4. Carbominerites e Minerite	160
11.3.4. Correlação das Composições em Macerais/Minerais com as de Microlitótipos/Carbominerites+Minerite	161
11.3.5. Geles, Tecidos e Detritos	162
11.3.5.1. Vitrinite e Inertinite	162
11.3.5.2. Vitrinite	163
11.3.5.3. Inertinite	164
11.3.5.4. Relação entre os geles, os tecidos e os detritos de composição vitrinitica com os mesmos de composição inertinitica	164
11.3.6. Índices Petrográficos	165
11.3.6.1. Índice de Gelificação (IG) e Índice de Preservação de Tecidos (IPT)	165
11.3.6.2. Razão Vitrinite/Inertinite (V/I)	166
11.3.6.3. Diagramas Triangulares W-D-R e T-D-F	167
11.3.6.4. Índice VA/VB	168
11.3.6.5. Conclusões	168
11.3.7. Poder Reflector da Vitrinite e Grau de Incarbonização	169
11.4. Petrografia das Fracções Densimétricas (Flutuados, Afundados e Finos) resultantes dos Ensaios de Lavabilidade	171
12. Características Físicas e Químicas dos Carvões	174
12.1. Análise Imediata	175
12.1.1. Humidade da Amostra para Análise (haa)	175
12.1.2. Teor em Cinzas (c)	176
12.2.3. Teor em Matérias Voláteis (MV)	177
12.1.4. Poder Calorífico Superior (PCs)	178

12.2. Análise Elementar	178
12.2.1. Teor em Carbono (C)	179
12.2.2. Teor em Hidrogénio (H)	179
12.2.3. Teor em Oxigénio (O)	179
12.2.4. Teor em Azoto (N)	180
12.2.5. Teor em Enxofre Total (St)	180
12.3. Propriedades Coqueificantes	181
12.3.1. Índice de Intumescimento (II)	181
12.3.2. Dilatómetro de Audibert-Arnu	181
12.4. Propriedades Mecânicas: Índice de Hardgrove (IHG)	183
12.5. Composição Química e Fusibilidade das Cinzas	184
12.5.1. Composição Química das Cinzas	184
12.5.2. Fusibilidade das Cinzas	184
12.6. Relação entre os vários Parâmetros	185
13. Classificação dos Carvões Estudados	193
14. CONCLUSÕES	200
REFERÊNCIAS	216

VOLUME II - ANEXOS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ESTAMPAS

TABELAS

FIGURAS

ESTAMPAS

PREÂMBULO

A tarefa de levar a cabo uma tese de doutoramento é um trabalho árduo e que obriga a uma dedicação constante e permanente, o que choca muitas vezes com a vida familiar, pois não se lhe pode dar a atenção e o apoio devidos. Quero, por isso, expressar aqui à minha esposa Fernanda e aos meus filhos Vanessa e André Miguel toda a minha gratidão pela compreensão e pela paciência demonstradas durante todo este tempo.

À Universidade Eduardo Mondlane vão os meus agradecimentos por me ter proporcionado a oportunidade de levar a cabo este doutoramento, contribuindo assim para a minha valorização pessoal.

À Direcção do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico (M.L.M.G.) da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto quero agradecer pela oportunidade que me deu de poder levar a cabo esta tarefa pondo à minha disposição instalações e equipamentos.

Os meus agradecimentos vão também para a Associação de Universidades de Língua Portuguesa (AULP) e para a Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica (JNICT) por me terem concedido as necessárias bolsas de estudo. Ao Prof. Joaquim Alberto da Cruz e Silva, Presidente do Instituto de Investigação Científica Tropical (ICT) pelo subsídio concedido para se poder levar a cabo variadíssimas análises.

Ao Prof. Doutor Manuel João Lemos de Sousa, meu orientador e amigo, vai um muito obrigado pelo seu empenho e dedicação demonstrados e pela confiança em mim depositada. Creio que o seu interesse por Moçambique e o desejo de que as relações entre a Universidade do Porto e a Universidade Eduardo Mondlane se desenvolvessem e aprofundassem, constituíram também um móbil para a sua dedicação a esta tarefa.

Como cidadão estrangeiro em Portugal, quero frisar aqui o facto de ter encontrado entre os meus colegas o melhor ambiente de trabalho e o melhor espírito de amizade, de camaradagem e de entajuda jamais por mim vivido em outros locais de trabalho. Não foram estes factos, ter-me-ia sido extremamente difícil levar a cabo a tarefa a que me dediquei e a ultrapassar determinadas adversidades que sempre surgem no decorrer deste tipo de actividades.

Os meus agradecimentos vão também para a Siderurgia Nacional (SN), na pessoa do Eng. Luís Nogueira e Sousa do Departamento de Qualidade da Fábrica de Paio Pires, pelo apoio prestado no empréstimo de algum material necessário para a fase de preparação das amostras e pela execução de inúmeras e variadas análises. Também agradeço à Electricidade de Portugal (EDP), nas pessoas do seu Director do Departamento Térmico, Eng. Costa Almeida e do Eng. Almeida Pereira, da Eng. Ana Isabel Andrade e da D. Maria de Lurdes Candeias, também pelas inúmeras e variadas análises realizadas nos laboratórios da EDP em Sines.

Ao Prof. Dr. Eng. Mário Rui Machado Leite, do Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, quero agradecer a sua disponibilidade em me apoiar na discussão de aspectos particulares do meu trabalho.

Quero aqui expressar o meu agradecimento ao Prof. Doutor Renato de Araújo da Universidade de Aveiro pelo seu apoio e prontidão na resolução de vários problemas de índole burocrática, o que me ajudou a manter o estado de espírito necessário.

Ao meu colega e amigo Henrique Pinheiro um especial obrigado pelo seu permanente interesse demonstrado pelo meu trabalho e pelas sugestões sempre apresentadas. Aos meus colegas do M.L.M.G., concretamente à Manuela Marques, à Deolinda Flores, à Zélia Pereira, ao António Guerner Dias, ao Ary Delmar, ao José Pedro Fernandes e ao Pedro Nogueira, vai uma referência muito especial pelo seu apoio e pelas discussões havidas sobre questões relacionadas com o meu trabalho. A todos os outros colegas não directamente ligados ao trabalho, nomeadamente a Armanda Dória, a Maria dos Anjos Ribeiro, a Helena Couto, a Helena Sant'ovaia e a Angela Almeida, vai um grande abraço pela sua prontidão em me ajudar sempre que necessário e pela sua amizade.

À Manuela Tavares agradeço o seu empenho em me apoiar na pesquisa bibliográfica e na revisão das referências bibliográficas. Aos funcionários do M.L.M.G., especialmente à Manuela Valongueiro, ao Francisco Teixeira, ao José Pinto e ao Fernando Araújo, um obrigado pelo apoio prestado.

1. INTRODUÇÃO

Sendo Moçambique um país produtor/exportador de carvões e pretendendo a Universidade Eduardo Mondlane (U.E.M.) promover a ligação do Departamento de Geologia ao sector carbonífero do País, torna-se necessário criar e desenvolver dentro do Departamento de Geologia um grupo de trabalho que se dedique à investigação nesta área, sendo esta uma forma de colmatar a carência em técnicos moçambicanos. Neste sentido, a U.E.M. iniciou a formação de pessoal moçambicano com capacidade técnico-científica para gerir e exercer acções de controlo sobre as várias empresas nacionais e estrangeiras que trabalham ou venham a trabalhar no sector carbonífero de Moçambique. Como contribuição para o desiderato em causa, decidiu-se proceder ao estudo dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, objectivo central da presente dissertação.

Para o efeito, iniciaram-se, em 1988, contactos entre a U.E.M e a Universidade do Porto (U.P.) mediante a apresentação de uma proposta de doutoramento a esta última universidade, iniciando-se os estudos respectivos em 1990.

Os objectivos primeiros definidos na referida proposta eram os de conhecer criticamente os relatórios geológicos e tecnológicos disponíveis sobre a Bacia Carbonífera de Moatize e estudar petrograficamente os carvões com vista às suas aplicações tecnológicas. Vários estudos têm sido levados a cabo na referida Bacia Carbonífera por empresas de vários países. Acontece, porém, que estes estudos foram realizados segundo as metodologias de cada um desses países e muitas vezes torna-se difícil fazer comparações de resultados por não haver mesmo referência das metodologias de análise utilizadas. Além disto, acresce o facto de se terem identificados em alguns relatórios erros de análise e de apresentação de resultados não admissíveis e que põem em dúvida a credibilidade dos resultados e das conclusões apresentados.

No decorrer deste trabalho, faz-se uma breve descrição geográfica da região em estudo, bem como um historial dos trabalhos geológico-mineiros levados a cabo na região deste o Séc. XIX até aos nossos dias. Apresenta-se, também, uma panorâmica do enquadramento geológico-estrutural a nível regional e desenvolvem-se os mesmos aspectos a nível local, tudo isto à luz dos novos conhecimentos sobre a problemática adquiridos para a elaboração de nova Carta Geológica de Moçambique à escala 1:1.000.000.

A análise dos vários relatórios existentes no que respeita às granulometrias escolhidas para as várias análises levou à definição de um esquema de preparação de amostras, com várias fases de peneiração e de moagem, que conduziram à obtenção de várias fracções e subfracções granulométricas^(1.1) que foram posteriormente sujeitas a vários ensaios e análises que se descrevem no decorrer dos diferentes capítulos.

É, também, feito um estudo petrográfico dos carvões, que se documenta com microfotografias. Uma vez que estes estudos se referem às várias F/SFGs dos carvões de dois pontos de colheita, um na mina Chipanga III (amostra T3-2) e outro na mina Chipanga VIII (amostra T8-2), não é, assim, possível generalizar conclusões, nomeadamente genéticas e geológicas ao conjunto da bacia estudada.

As várias F/SFGs foram sujeitas a ensaios de lavabilidade e as várias fracções densimétricas referentes à amostra T3-2 foram sujeitas também a análises petrográficas. Só não foi possível proceder-se ao mesmo estudo relativamente à amostra T8-2, pois os ensaios de lavabilidade foram executados na África do Sul e as amostras das respectivas fracções densimétricas só foram recebidas em Dezembro de 1994, altura em que o manuscrito do presente trabalho já estava concluído.

As análises imediatas e elementares, bem como alguns ensaios para a determinação de diversas propriedades dos carvões foram levadas a cabo nas várias F/SFGs, estudando-se as interrelações entre elas.

Finalmente, fez-se uma abordagem sobre alguns sistemas de classificação dos carvões e apresenta-se a classificação dos carvões estudados à luz dos referidos sistemas.

Como conclusão deste estudo, apresenta-se uma proposta de tratamento dos carvões.

1.1 Daqui por diante passa a utilizar-se as seguintes abreviaturas:
FG - fracção granulométrica;
SFG - subfracção granulométrica;
F/SFG - fracção/subfracção granulométrica.

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA BACIA CARBONÍFERA DE MOATIZE

2.1. HIDROGRAFIA E OROGRAFIA

A Bacia Carbonífera de Moatize está englobada 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 Zimbábwè) até à sua foz no Oceano Índico (Chinde), e da Zâmbia/Malawi ao Zimbábwè, no sentido Norte-Sul. A Bacia Hidrográfica do Rio Zambeze ocupa, em Moçambique, uma extensão de cerca de 137.000 km² (Real 1966).

Na zona de Tete e de Moatize, o Rio Zambeze tem uma largura bastante grande, com margens relativamente baixas. Na cidade de Tete a largura atinge cerca de 2 km. Nesta zona, o principal afluente do Rio Zambeze, situado na sua margem esquerda, é o Rio Revúboè, 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 Revúboè. Este rio, durante a época seca, não tem caudal de superfície. A rede fluvial que drena a Bacia Carbonífera de Moatize é uma rede de drenagem dendrítica que conflui no Rio Revúboè, a norte do Monte M'Pandi (zonas central e noroeste do *graben*) e, a sudeste deste monte, a rede drena para outros afluentes do Rio Zambeze os quais têm curso NE-SW. A rede de drenagem da região é caracterizada por rios de curso impersistente (Vasconcelos 1948). Durante os meses da estação seca (Abril a Dezembro), e considerando a natureza permeável dos terrenos, os rios apresentam leitos secos. Nos restantes meses, caracterizados por chuvas torrenciais, os rios têm caudais turbulentos que impedem a navegação e aceleram a erosão.

Em termos de relevo, a bacia situa-se num *graben* com uma largura variando 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 e 220 m acima do nível do mar. As zonas bordejantes do *graben*, de idade precâmbrica, situam-se a altitudes maiores (cerca de 300 m). Outra manifestação de relevo importante na área é a Serra da Caroeira, no topo da qual se encontra uma estação de telecomunicações. A Serra da Caroeira é constituída por rochas sedimentares do Karoo Superior e situa-se na margem direita do Rio Zambeze a poucos quilómetros da cidade de Tete.

2.2. CLIMA E VEGETAÇÃO

No que respeita ao clima, Moatize está numa zona de clima tropical semi-árido quente e seco, com uma precipitação média anual de 500-600 mm. Durante a estação das chuvas (Outubro a Abril) a precipitação raramente excede 750 mm e as temperaturas atingem frequentemente valores acima de 40° C, podendo chegar mesmo aos 50°C à sombra (Interim Report on the Possibilities on Mining and Preparing the Coking-coals of the Moatize Deposit, Mozambique, 1977^(2.1)). No que respeita aos valores da temperatura média anual, não há concordância nas diversas fontes. No relatório da MONTAN-RHEINBRAUN (1977) a temperatura média anual é de 31°C; no relatório do Projecto Integrado do Carvão de Moatize. Estudo de Pré-Viabilidade. Parte I. Relatório Sectorial de Geologia. Volume I (1991)^(2.2) a temperatura média anual referida é de 26°C. Na estação seca (de Abril a Setembro) essas temperaturas atingem um máximo de cerca de 30°C. Também não há acordo quanto aos valores da humidade relativa que, de acordo com o Projecto Integrado (1991) varia de 29% a 77% e de acordo com MONTAN-RHEINBRAUN (1977) tem um valor médio anual de 80%

A vegetação é do tipo savana e é caracterizada por ser arbustiva e rasteira com árvores espalhadas dos tipos embondeiro e pau-preto (ébano). As zonas de floresta estão ausentes nesta bacia, ocorrendo alguma flora típica de savana. A agricultura é do tipo subsistência - machambas familiares - predominando as culturas do milho, feijão e abóbora.

2.3. INFRA-ESTRUTURAS

No que concerne a infraestruturas, a Bacia de Moatize encontra-se a cerca de 27 km da capital provincial - Tete - e nela se situa a sede do Distrito de Moatize. Outros aglomerados populacionais de relevo são as povoações de Matundo e Benga, ambas na margem esquerda do Rio Zambeze.

A região é servida por importantes vias de comunicação. É de referir a estrada Tete-Malawi (via Moatize e Zóbuè) que liga à estrada Tete-Zimbábwè (via Changara e Cuchamano, já na Província de Manica) e à estrada Tete/Zâmbia (via Cassacatisa e Fíngòè). Tete está a cerca de 2000 km de Maputo por via rodoviária e a cerca de 600 km da Beira e 700 km de Quelimane (Fig. 2.1). Na Cidade de Tete, a travessia do Rio Zambeze foi facilitada pela construção duma ponte nos anos 70.

2.1 Daqui por diante passaremos a referir esta obra como MONTAN-RHEINBRAUN (1977).

2.2 Daqui por diante passaremos a referir esta obra como Projecto Integrado (1991).

Quanto a transportes ferroviários, a Bacia Carbonífera de Moatize é servida pela linha férrea Moatize/Beira, com cerca de 600 km que, a cerca de meio caminho (em Nhamalábue), tem um desvio para o Malawi (Fig. 2.1).

A zona está ainda servida pelo aeroporto de Chingodzi, com capacidade para aviões a jacto, situado entre Tete e Moatize, e que liga a região com a capital do país, Maputo, e outras capitais provinciais, como Beira e Quelimane. Há ainda outras ligações aéreas com outras regiões da Província por meio de aviões de pequeno porte.

A seguir à Cidade de Tete, a povoação mais importante é a Vila de Moatize, com cerca de 11.000 habitantes (Censo de 1980). Com o alastrar da guerra nos anos 80, esta população aumentou muito com a chegada de milhares de refugiados, o que originou inúmeros problemas sociais e económicos por não haver infraestruturas capazes de absorver tão elevado número de pessoas.

3. RESENHA HISTÓRICA DOS ESTUDOS SOBRE A BACIA CARBONÍFERA DE MOATIZE E REGIÕES CIRCUNDANTES NO QUE CONCERNE À ACTIVIDADE GEOLÓGICO-MINEIRA.

3.1. PERÍODO QUE VAI DO SÉC. XIX À FORMAÇÃO DA COMPANHIA CARBONÍFERA DE MOÇAMBIQUE-C.C.M. (1948)

Desde há muitos anos que a Bacia Carbonífera de Moatize, bem como zonas adjacentes a ela, tem sido objecto de estudos de vários tipos, sejam eles cartográficos, de prospecção e sondagens ou de extracção.

Um das primeiras referências que se conhecem sobre a ocorrência de carvão nesta região foram feitas por Bordalo (1859) que, no seu trabalho sobre estatística de Moçambique, se refere aos jazigos de carvão, e Thornton (1859) que fala do carvão descoberto por Livingston anos antes em Tete. Supõe-se, contudo, que as ocorrências de carvão na zona fossem já conhecidas dos portugueses no séc. XVI, quando penetraram no Rio Zambeze e fundaram as Vilas de Sena e Tete (Moatize Summary Report. Geology. Draft 1990^(3.1); Projecto Integrado 1991). Uns anos mais tarde, Guyot (1882), descreve um pouco a região de Muaraze (zona que fica a alguns quilómetros a oriente de Moatize), apresentando resultados de análises imediatas e físicas em carvões bem como de testes de coqueificação. No ano seguinte, Lapierre (1883) apresenta um trabalho relativamente extenso sobre a Bacia Carbonífera de Tete com os resultados da sua expedição à região em 1881 em conjunto com Kuss que, por seu lado, apresenta um trabalho sobre a geologia da região (Kuss 1884). Refere Kuss (1884) que os depósitos de carvão foram identificados pela primeira vez por Livingstone. Também Zeiller (1883) se dedicou ao estudo da flora fóssil da Bacia Carbonífera de Tete.

Referências à existência de jazigos de carvão na Província de Tete foram feitas por Choffat (1887) em que afirma: "*...os terrenos sedimentares desta região se reduziriam ao terreno carbónico nos arredores de Tete...*" e "*...o sistema carbónico atinge uma espessura muito considerável na África Austral, e estende-se até à Província de Moçambique, apresentando jazigos exploráveis de carvão*".

3.1 Daqui por diante passaremos a referir esta obra como *Moatize Summary (1990)*.

Se bem que no virar do séc. XIX para o séc. XX as ocorrências de jazigos de carvão no país fossem já conhecidas (Bordalo 1859, Thornton 1859, Guyot 1882, Lapierre 1883, Zeiller 1883, Kuss 1884, etc.), é interessante notar que Durão (1906), numa análise que fez da influência da indústria mineira na valorização do território, não refere sequer os jazigos de carvão de Tete, ainda que esta região seja tratada com algum pormenor neste trabalho.

Gothan (1912) faz a primeira descrição, na Bacia de Tete, da flora fóssil relacionada com as formações carboníferas e, mais tarde, publica novo trabalho sobre o assunto (Gothan 1914).

No fim do século passado, a pesquisa e a exploração de carvão foi entregue pela Companhia da Zambézia à Companhia Hulheira do Zambeze, a qual, por não ter obtido resultados relevantes, foi transformada na Zambezi Mining Development Ltd que, mais tarde, juntamente com um grupo económico belga, deu origem à Société Minière du Zambeze em 1923 (Projecto Integrado 1991).

Durante a década de 20, a Société Minière et Géologique du Zambeze (SMGZ) extrai cerca de 20.000 toneladas/ano e manda executar trabalhos de reconhecimento e levantamento geral das Bacias de Moatize, Revúboè e Murongodzi, de que resulta uma carta geológica à escala 1:500.000 referente aos trabalhos de Anthoine, Dubois e Houtar. Começa-se a prestar mais atenção aos carvões das camadas André, Bananeiras e Chipanga e mais tarde, em face dos resultados obtidos até então, essa atenção centra-se praticamente sobre a Camada Chipanga. Outros geólogos debruçam-se sobre a geologia da região e sobre as características do carvão (Anthoine & Dubois 1922a, 1922b, 1925; Gerard 1924). Destes trabalhos resultou a publicação duma carta geológica à escala 1:100.000 das regiões a nordeste do Rio Zambeze. Ainda durante a década, Anthoine e Dubois elaboram um relatório com uma carta da região à escala 1:10.000.

Andrade (1929) publica um livro intitulado "Esbôço geológico da Província de Moçambique" com uma descrição pormenorizada das formações do Karoo do território, incluindo a zona de Moatize. Neste livro, Andrade cita algumas obras antigas, que não foi possível encontrar, algumas das quais se referem aos jazigos de carvão. Citamos, por exemplo, Angelvy (sem data). Ainda neste ano, Dixey (1929a) faz um estudo das formações desta zona, especialmente da parte mais oriental (fronteira com o Malawi). Dixey (1928, 1929b, 1930) e Dixey & Smith (1929) debruçam-se ainda sobre outros aspectos da geologia do Karoo e pós-Karoo na região do Vale do Rio Zambeze até à região da Lupata.

Entre 1933 e 1937, Borges faz trabalhos de campo em que refere a existência de formações sedimentares do Sistema Karoo, cujos resultados são mais tarde publicados (Borges 1946). Em 1935 apresenta no 7º Congresso Internacional de Mineralogia, Metalurgia e Geologia Aplicadas dados sobre a descoberta de novos afloramentos de carvão na região (Borges 1935). Nos anos 30, Freitas (1931, 1932a, 1932b, 1932c, 1934a, 1934b, 1935) e Galvão (1935) publicam vários artigos sobre a exploração mineira em Moçambique, com referências aos depósitos de carvão.

No início da década de 40, Martins (1940) elabora um relatório de campo em que descreve a mancha carbonífera de Moatize. O Instituto Português de Combustíveis apresenta um trabalho sobre "Carvões Portugueses" (1941), onde refere algumas análises químicas, elementares e tecnológicas, de carvões de Moatize.

Uma breve referência aos carvões de Moatize é feita por Hall (1948) no seu trabalho sobre geologia e ocorrências minerais da Zambézia e do Niassa.

No fim da década de 40, várias brigadas trabalharam na área do então Distrito de Tete com a colaboração de Luna, o qual, por sua vez juntamente com F.Freitas, fez trabalhos relacionados com jazigos minerais vários da região em geral (Luna & Freitas 1956) e da área perto de Moatize em particular (Luna & Freitas 1952).

Há a referir ainda estudos vários sobre a flora fóssil do Karoo de Tete por Teixeira (1943a, 1943b, 1946, 1947, 1948, 1951 e 1952).

3.2. PERÍODO QUE VAI DESDE A FUNDAÇÃO DA C.C.M. (1948) À INDEPENDÊNCIA NACIONAL (1975)

Em 1950 a Comissão Técnica de Cooperação Económica Europeia apresenta um documento de trabalho sobre Moçambique e as suas riquezas nos vários domínios incluindo o mineiro, com referência aos jazigos de carvão do país (PORTUGAL-Documents de travail à l'usage du Comité des Territoires d'Outre-Mer. Mozambique 1950).

Os carvões de Moçambique em geral, incluindo os de Moatize, são descritos e referidos em relatório inédito de Ribeiro (1953) da Repartição Técnica da Indústria e Geologia de Moçambique.

Entre 1954 e 1957 a Companhia Carbonífera de Moçambique (CCM), criada em 1948, procede a um reconhecimento pormenorizada das Bacias de Moatize e Revúboè sob a orientação de Taylor e Anthoine e, entre 1961 e 1962, procede-se ao estudo global da Bacia do Revúboè (de Tete a Moatize), já com a colaboração de Mouta e Koch. É elaborado um mapa topográfico à escala 1:10.000 da região posteriormente chamada Zona Taylor. Imediatamente após este levantamento topográfico, a ARTOP, sob contrato da Companhia Carbonífera de Moçambique, procedeu à preparação dum mapa fotogramétrico à escala 1:20.000 de toda a região da concessão.

Em 1955, a E.J. Longyear Co. realiza um estudo de toda a região do vale do Rio Zambeze, desde o Zumbo até à sua foz, concentrando maior atenção à zona entre Zumbo e Capoché (Report to the Government of Portugal on the Tete Area, Mozambique, 1955). Não constitui, por isso, um trabalho dedicado especificamente às formações carboníferas, nem pormenoriza a Bacia Carbonífera de Moatize.

Ainda na década de 50 se fazem alguns estudos de Paleobotânica das formações do Karoo da região, sendo de referir o trabalho de Walton (1956) sobre a flora fóssil do Malawi e de Moçambique.

Numa descrição geral das potencialidades mineiras de Moçambique publicada em artigos do Boletim Geral das Colónias (Moçambique. Indústria Mineira Março/1953, Moçambique. Panorama económico da exploração mineira Abril/1955), dá-se particular ênfase aos jazigos de carvão de Tete. Nestes artigos faz-se um historial da produção da Mina de Moatize e referem-se algumas propriedades do seu carvão. Já nesta altura se tinha em conta a proximidade dos jazigos de ferro e a possibilidade do aproveitamento hidroeléctrico do Rio Zambeze para o desenvolvimento duma indústria siderúrgica na região de Tete.

Num trabalho sobre a classificação de carvões fósseis, Almeida (1958) faz referências aos carvões de Moatize.

As formações do Karoo de Moçambique são descritas na sua generalidade por Freitas (1959) no seu livro "A geologia e o desenvolvimento económico e social de Moçambique".

No fim da década de 50 e início da de 60, a Missão de Fomento e Planeamento do Zambeze (MFPZ) desenvolve extensos trabalhos de geologia em todo o vale do Rio Zambeze dentro do território moçambicano.

No início da década de 60, Koch (1961) apresenta uma coluna estratigráfica da bacia de Moatize resultante da interpretação de 103 sondagens feitas na região. Em 1961 inicia-se a cartografia à escala 1:50.000 da área de Moatize-Revúboè. Ainda neste ano é autorizado o alargamento da concessão para junto do Rio Zambeze e Mouta e Koch procedem ao reconhecimento geológico da área, culminando dois anos depois na elaboração duma carta geológica da área à escala 1:50.000. Como os resultados obtidos não eram promissores quanto a reservas de carvão, foi solicitada a substituição da área por outra na zona a sudeste de Moatize (Loja Calambo). De 1962 a 1963 a CCM manda executar um reconhecimento fotogeológico da região, cabendo a missão a Thonnard, sob a orientação de Magnee. Como resultado do estudo fotogeológico anterior, em que Real participou em 1963 com um trabalho preliminar, a CCM decide executar um levantamento detalhado de diversas regiões (1963-1967) com vista a um alargamento da área da concessão. Com base nestes trabalhos, é feita uma carta à escala 1:10.000. Em 1964, a CCM decide mandar executar uma série de sondagens profundas com vista a uma delimitação da chamada Série Produtiva, tendo-se feito mais de 22.000 metros de sondagens até 1966. Estas sondagens seguem-se a uma outra série de sondagens num total de 7.900 m levadas a cabo entre 1954 e 1961 as quais, devido às limitações técnicas da época, não excederam 100 m de profundidade. Anos mais tarde, até cerca de 1984, foram efectuados mais de 40.000 m de sondagens (Technological concept for development of new underground mines at Moatize/Mozambique 1985^(3.2)).

Os trabalhos de Thonnard e Magnee (anos 60) dão origem a um extenso relatório sobre a geologia da região. Uns anos mais tarde, Thonnard (1971/72) publica um trabalho sobre a geologia do *graben* de Moatize.

A "Geologia da Bacia do Rio Zambeze" (incluindo obviamente a área de Moatize) foi objecto de síntese por Real (1966), que apresenta um trabalho detalhado sobre as características geológico-mineiras da bacia do referido rio em território nacional. Ainda Real (1963a, 1963b) elaborou para a Missão de Fomento e Povoamento do Zambeze (MFPZ) relatórios inéditos sobre as ocorrências de carvão na bacia do Rio Zambeze.

3.2 Daqui por diante passaremos a referir esta obra como AUSTROMINERAL (1985).

Entre 1961 e 1965, a ARTOP, de novo mediante um contrato com a Companhia Carbonífera de Moçambique, procedeu à preparação de mapas à escala 1:10.000 da zona em exploração na altura e da chamada Zona de Extensão SE com base nos mapas fotogramétricas 1:20.000 elaborados no fim da década de 50.

No fim da década de 60, Ribeiro (1969) apresenta novo relatório inédito sobre os carvões de Moçambique, incluindo obviamente os de Moatize.

Na década de 70 inicia-se o estudo das características tecnológicas do carvão de Moatize. Godinho (1970) apresenta ao 29º Congresso Luso-Espanhol (Lisboa) uma panorâmica geológico-mineira da Bacia do Zambeze em Moçambique. Ainda este ano, Thonnard (1970) elabora um relatório em que apresenta um cálculo de reservas de carvão referentes às zonas de exploração a céu aberto, na zona de Extensão SE. Em 1971, e a pedido da CCM, o Fuel Research Institute (FRI) da República da África do Sul procede a ensaios de moagem e lavabilidade, da responsabilidade de Streicher (1971). Ainda em 1971, a DEMAG-Aktien-Gesellschaft (RFA) também desenvolve testes tecnológicos em amostras de Moatize (Bericht-Untersuchung der Probe Nr. 2 von Moatize Kohle aus Moçambique 1971).

Em 1973 a CRIBLA, S.A (Société Belge d'Études, Recherches et Réalisations Industrielles) procede a um estudo da valorização dos carvões da CCM com ensaios pormenorizados de granulometria e de lavabilidade (Étude des possibilités de valorisation des charbons de la CCM 1973^(3.3)). Ainda durante este ano, Gonze (1973) faz um estudo das possibilidades de lavagem dos carvões de Moatize, cujos ensaios foram levados a cabo em França. Este trabalho, bem como os do FRI e da CRIBLA, são anexos ao relatório final da CCM (Relatório final nos termos da Portaria Ministerial nº 18.353 de 23.03.61 1973^(3.4)). Ainda neste mesmo ano, Thonnard (1973) elabora um estudo geológico sobre as explorações de Moatize.

Um ano mais tarde, o Gabinete do Plano do Zambeze (Ocorrências de carvão no vale do Zambeze 1974^(3.5)) produz um relatório sobre as ocorrências de carvão do Vale do Zambeze, desde o Zumbo a Minjova, resumindo toda a informação existente até à data sobre geologia, estrutura, condições de explorabilidade e outros aspectos do carvão das várias bacias. Há a referir ainda um relatório de que se desconhece o autor, datado de 1974, sobre a localização das bacias carboníferas do Vale do Zambeze e das concessões existentes

3.3 Daqui por diante passaremos a referir esta obra como CRIBLA (1973).

3.4 Daqui por diante passaremos a referir esta obra como CCM (1973).

3.5 Daqui por diante passaremos a referir esta obra como GPZ (1974).

(Localization of the Zambezi Valley coal basins. Existing concessions, S.d.).

3.3. PERÍODO PÓS-INDEPENDÊNCIA NACIONAL

Em 1974, com a Revolução de Abril em Portugal, e nos anos seguintes à Independência Nacional, a CCM e os trabalhos de geologia, exploração e extracção de carvão em Moatize entram numa fase de estagnação. Todavia, a Joint Venture Montan-Consulting GmbH/Rheinbraun-Consulting GmbH apresentam um extenso estudo sobre as possibilidades de mineração, tratamento e preparação de carvões de coque em Moatize, bem como o aumento da sua produção (MONTAN-RHEINBRAUN 1977). Em 1978, o Governo da República Popular de Moçambique intervenciona a CCM e cria a Empresa Nacional de Carvões - CARBOMOC E.E. (O Primeiro de Janeiro, 1978). É criado o Gabinete do Secretário de Estado do Carvão e Hidrocarbonetos (GSECH), da qual passa a depender a Direcção Nacional de Carvão (DNC) que articula com a CARBOMOC. Anos mais tarde, o GSECH é extinto e os assuntos ligados ao Carvão passam a ser coordenados pelo Gabinete do Programa do Carvão (GPC) sob a tutela do Ministério dos Recursos Minerais (MIREM)

No fim da década de 70/início da década de 80, a CARBOMOC elabora um plano de desenvolvimento das minas de Moatize com a colaboração da ex-República Democrática Alemã (RDA) e da ex-URSS. É assim que durante a primeira metade desta década, várias empresas da ex-RDA operam em Moatize, elaborando estudos geológicos, de reservas, de propriedades tecnológicas do carvão, de lavabilidade, de aplicações industriais do carvão (além do coque) e ainda da possibilidade de abertura de uma mina a céu-aberto na Zona de Extensão SE. É o caso da VEB-GFE-Halle (Geologische Forschung und Erkundung), do Brennstoffinstitut Freiberg (BIF), do Gaskombinat Schwarzpumpe (GSP) e da Schlachtbau Welzow (Studie (2. Fassung) zum Aufschluß eines Tagebaues in der Steinkohlenlagerstätte Moatize, Flöz Chipanga, Sektion 2A und 1, VR Moçambique, 1979). A VEB-Geologische Forschung und Erkundung-Halle apresenta vários relatórios parciais, preliminares e finais: Operative Vorratsberechnungen der Sektion 3/1 des Projektes 'Steinkohle Moatize', Provinz Tete, VR Moçambique (1980); Relatório parcial - pesquisas geológicas na Bacia Carbonífera de Moatize, Secção 1, na República Popular de Moçambique (1980); Relatório parcial - resultados de pesquisa na secção 3/bloco 1 (1980); Relatório preliminar das pesquisas geológicas na Bacia Carbonífera de Moatize, Moçambique: Avaliação das reservas geológicas da Camada Chipanga na secção 2A/bloco 1 (1980); Teilbericht geologische Erkundungsarbeiten im Kohlenbecken von Moatize,

Sektion 1, in der VR Moçambique (1980); Relatório final, Moatize I (1981); Relatório preliminar-Secção 2A (1981); Relatório preliminar-Secção 4, Parte Média (1981); Relatório preliminar-Secção 4, Parte Ocidental (1981); Zwischenbericht zur Sektion 2A (1981); Relatório preliminar-Secção 4, Parte Oriental (1982); Relatório preliminar-Secção 4, Parte Oriental (1982); Relatório preliminar-Secção 5, Parte Norte (1983) e Teilbericht Sektion 5, Südteil (1984). Por seu lado, a Gaskombinat Schwerzpumpe (RDA) também apresenta relatórios parciais, preliminares e finais: Study of opening up an open cast mine in the coal deposit Moatize, Chipanga Seam, section 2A and 1 (S.d.); Report on the washability and cokability of hard coal from the Moatize deposit (Moçambique) (S.d.); Bericht über Aufbereitsbarkeituntersuchungen klein- und großtechnischer Verkokungsversuche mit Steinkohle aus der Volksrepublik Moçambique (1980); Einsatz energetischer Kohle in der Zementwerken der Volksrepublik Moçambique (1982); Gewinnung flüssiger Treibstoffe aus Steinkohle Moatize (1982); Industrieller Tagebau in der Sektion 2A des Lagerstätte Moatize (1983); Investigation and Evaluation of Coal Samples (Section 3) (1983) e Untersuchung und Bewertung von Kohlenproben Moatize II (1983). Ainda o Brennstoffinstitut Freiberg (RDA) apresenta um estudo sobre investigações de amostras de carvão de Moatize para avaliação das suas propriedades (Investigations of coal samples taken under the Moatize (II) exploration Programme to evaluate their material composition, raw material and coking properties for characterization of the examined deposit areas 1983^(3.6)).

Durante a década de 80, e com vista ao desenvolvimento e alargamento das minas de carvão de Moatize e bacias vizinhas (Minjova e Sanângoè), o GSECH, e depois o GPC, solicitam a vários organismos e empresas estrangeiras estudos geológico-mineiros, de viabilidade económica, etc, com vista a financiamentos externos. É assim que aparecem vários estudos, de que citamos: LKAB International-Suécia (Report on phase I coal exploration program in areas east of Moatize, Province of Tete, People's Republic of Mozambique (1981); Coal Investigations in the Province of Tete, the People's Republic of Mozambique. The Minjova Programme. Phase III - 'Area based opportunity study' (1982) e Investigações sobre carvão na Província de Tete, República Popular de Moçambique. Programa Minjova, Fase II - Estudo de Identificação de Recursos (1982)), CPRM/GEIPOT/COBRAPI - Brasil (Moatize coal development program (1983)), OPEC (The OPEC fund for international development (1984)), AUSTROMINERAL - Áustria (1985), EDP - CIMPOR - Teixeira Duarte - PARTEX - Portugal (1986, 1987), ZARUBEZHGEOLOGIA - Jugoslávia (Relatório sobre a pesquisa adicional da Secção 1 do

3.6 Daqui por diante passaremos a referir esta obra como BIF (1983).

Jazigo de Moatize sob exploração a céu aberto (1989)), Trans-Natal Coal Corporation Limited-África do Sul (Moatize Summary (1990); Moatize Phase Drilling Programme. Report on Drilling Results (1991a, 1991b)^(3.7); Moatize Phase 1 Drilling Programme. Status Report (1991)) e Projecto Integrado (1991)). Todos estes trabalhos são resultado de vários acordos intergovernamentais e com organizações não governamentais estrangeiras para o estudo, prospecção e exploração dos jazigos de Moatize e áreas adjacentes.

Ainda na década de 80 há a referir trabalhos de geofísica levadas a cabo pela firma HUNTING (Mineral Inventory Project - The Tete Area 1983, Mineral Inventory Project in Tete Province and parts of Manica, Sofala and Zambezia Provinces 1984) nas áreas do Supergrupo do Karoo e associadas.

3.4. OUTRAS REFERÊNCIAS

Além de todos estes trabalhos atrás referidos, várias pessoas têm dedicado alguma atenção aos carvões desta região, apresentando relatórios e/ou artigos sobre o assunto. É de referir Høeg & Bose (1960) com um trabalho sobre a flora do Congo Belga^(3.8) com uma referência a Moçambique; Sousa & Mériaux (1970, 1971) que fazem o primeiro estudo petrográfico dos carvões de Moatize; Putzer (1970) que faz um resumo das principais riquezas minerais de Moçambique, incluindo o carvão; Rocha-Campos & Oliveira (1972) que fazem uma síntese da geologia das formações do Gondwana Inferior em Moçambique e Angola; Sousa (1972) que elabora uma proposta para um plano de investigação sobre a Bacia Carbonífera de Moatize; Neto (1976) que numa reunião internacional, apresenta um memorandum sobre os depósitos de carvão de Moçambique; Sousa (1977) que faz o estudo de duas amostras de carvão da camada Chipanga a pedido do GPZ; Bilardo & Piga (1978) que fazem uma nota sobre a mineração em Moatize; Real (1980) que, como consultor do GSECH, elabora um documento síntese sobre as jazidas de carvão do Vale do Zambeze; Voland (1981) que faz uma sùmula do Karoo em Moçambique, com descrição das formações e unidades litoestratigráficas, da tectónica e da produção mineira em Moatize; Aires-Barros et al. (1984) que estudam a matéria mineral em carvões de Moçambique; Bock (1983) que faz o estudo palinológico das formações carboníferas de Moçambique; Afonso (1984) que apresenta um trabalho sobre o ambiente geológico dos carvões gondwânicos de Moçambique; Daber (1984 e 1986) que faz essencialmente estudos da flora fóssil; Sousa (1984) que apresenta um novo estudo petrográfico dos carvões da zona; Kunstner, Neubert & Sippel (1985) que também fazem

3.7 Daqui por diante passaremos a referir esta obra como TNCC (1991).

3.8 Actual República do Zaire.

estudos de petrografia destes carvões e comparam-nos com os carvões de Maniamba e de Mucanha-Vúzi; Vasconcelos (1988) e Vasconcelos & Santos (1988, 1989) que fazem estudos mineralógicos, petrográficos e geológicos dos carvões de Moatize; Godinho (1989) que faz uma caracterização geoestrutural e económica da Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova.

Alguns estudos sobre a ocorrência de elementos raros nos carvões de Moçambique têm sido levados a cabo. Refira-se, a título de exemplo, Carvalho (1964) que estuda a ocorrência de urânio em 7 amostras de Mucanha, ou então Godinho & Salazkhine (1980) e Salazkhine (1980), que elaboram relatórios (inéditos) sobre a ocorrência de germânio em carvões de Moçambique, incluindo não só os de Moatize, como de Mucanha-Vúzi.

Além de trabalhos específicos sobre o Supergrupo do Karoo em Moatize e áreas circundantes, têm sido elaborados numerosos estudos sobre a geologia de Moçambique em que se discutem com maior ou menor profundidade as formações do referido Supergrupo, nomeadamente as várias notícias explicativas das cartas geológicas de Moçambique, quer a nível global (1:8.000.000, 1:4.000.000, 1:3.000.000, 1:2.000.000, 1:1.000.000), quer a nível regional (1:1.000.000, 1:250.000).

A importância dos jazigos de carvão de Moatize e áreas circundantes para o desenvolvimento do País bem como dos países do Hinterland tem sido posta em evidência pelas autoridades governamentais de Moçambique. A realização em 1989, 1990 e 1991 de conferências sobre o Projecto Integrado do Carvão de Moatize (Projecto do carvão de Moatize necessita de 40 milhões de dólares (1991) publicado na revista TEMPO), a última das quais presidida pelo Ministro dos Recursos Minerais de Moçambique, é disso prova evidente.

4. GEOLOGIA REGIONAL (VALE DO RIO ZAMBEZE)

4.1. INTRODUÇÃO

As formações do Supergrupo^(4.1) do Karoo no Vale do Rio Zambeze, de que as de Moatize fazem parte, localizam-se em bacias tectónicas (*grabens*) dispostas ao longo deste grande rio africano (Fig. 4.1). Falaremos só das que ocorrem em território nacional referindo, no entanto, que nos territórios vizinhos da Zâmbia, do Zimbábwè e do Malawi, também há bacias do Supergrupo do Karoo ao longo do Rio Zambeze, o qual constitui toda a fronteira entre os dois primeiros países, desde a fronteira entre a Namíbia (Faixa de Caprivi) e a Zâmbia até entrar em Moçambique, na povoação do Zumbo.

Como se pode ver da Fig. 4.2, as bacias do Supergrupo do Karoo no Vale do Rio Zambeze em Moçambique distribuem-se em manchas retalhadas desde o Zumbo até a sudeste de Dôa. As principais zonas são:

- desde o Zumbo (30° 25' E) à Chicôa (32° 24' E), em ambas as margens da Albufeira de Cahora-Bassa;
- desde Estima (32° 44' E) a Mefidzi (33° 32' E); e
- entre Moatize (33° 40' E) e Nhamalábuè (35° 05' E), passando por Minjova e N'condedzi, naquilo a que se chama a Bacia de Tete.

As principais manchas ígneas da fase terminal do Supergrupo do Karoo nesta zona ocorrem:

- a oriente de Mecumbura, a sul da Albufeira de Cahora Bassa;
- nas manchas da Lupata, envolvendo as formações do Grés de Sena (de idade cretácica).

No que respeita à idade, as formações do Supergrupo do Karoo em Moçambique iniciam-se no Carbonífero Superior (Grupo do Ecca). A fase sedimentar termina no Jurássico Superior com os arenitos e conglomerados da Formação Inferior da Lupata (Rl)^(4.2). A fase vulcânica inicia-se no Jurássico Inferior com a emissão de lavas basálticas (Rβ1) e termina na transição Jurássico/Cretácico, com os riolitos da Lupata (Rρl). Há assim uma simultaneidade na deposição de formações sedimentares e de emissões vulcânicas.

4.1 Terminologia utilizada na nova Carta Geológica de Moçambique à escala 1:1.000.000 (Pinna et al. 1987).

4.2 A simbologia utilizada corresponde à simbologia da nova Carta Geológica de Moçambique à escala 1:1.000.000 (Pinna et al. 1987).

O actual conhecimento geológico de Moçambique e, no caso concreto, da Província de Tete, sofreu evolução considerável desde o início do século. A Fig. 4.3 (1 a 6)^(4.3) apresenta a evolução do conhecimento geológico da Província de Tete, entre os paralelos 15° S e 17° S e os meridianos 30° E e 35° E, desde o início do século até à publicação do último Mapa Geológico de Moçambique de 1987 à escala 1:1.000.000. O primeiro esboço geológico de Moçambique que se conhece, à escala 1:8.000.000, foi publicado no Anuário de Moçambique de 1908 (Fig. 4.3 (1)) e é da autoria de A.A. Freire de Andrade. Nessa altura considerava-se que a maioria do território era ocupado por formações chamadas "primitivas", isto é, precâmbricas, com algumas manchas de terrenos primários (paleozóicos) correspondentes ao actual Karoo e uma mancha de meláfiros^(4.4) e porfirites^(4.4) à volta de Tete, correspondente ao actual complexo gabro-anortositico de Tete. Os esboços geológicos de 1928 (de C.F. Andrade, escala original 1:5.000.000 - Fig. 4.3 (2)) e de 1929 (de Freitas, escala original 1:8.000.000 - Fig. 4.3 (3)) não apresentam diferenças de maior entre si, mas apresentam muito maior grau de elaboração que o de 1908. Assim, os terrenos correspondentes ao que hoje se designa por Karoo sedimentar estão já bastante mais próximos da definição actual; quanto à fase vulcânica do Karoo, ela aparece já também representada com alguma correcção. As formações precâmbricas estão um pouco mais pormenorizadas, mas com muita imprecisão. Algumas das formações mais recentes estão já realmente identificadas, principalmente as cretácicas. As formações jurássicas não são referidas. Em 1934, por ocasião da Primeira Exposição Colonial Portuguesa no Porto, é apresentado novo esboço geológico elaborado por Freitas (escala original 1:8.000.000 - Fig. 4.3 (4)) sem grandes diferenças em relação ao esboço de 1929. Mais tarde, no Anuário de Moçambique de 1940, é publicado novo esboço da autoria de Borges (Fig. 4.3 (5) - escala original 1:8.000.000) com uma definição muito mais correcta das formações sedimentares e vulcânicas do Supergrupo do Karoo. Também o complexo gabro-anortositico passou a estar bastante melhor delineado. O desenvolvimento do conhecimento geológico levou à publicação doutros esboços geológicos, em 1956 (Freitas - escala original 1:2.000.000) e em 1966 (Real - escala original 1:1.000.000). A nível das formações do Supergrupo do Karoo, nota-se uma maior aproximação à realidade e com uma definição das formações muito semelhantes à Carta Geológica de Moçambique

4.3 Os esboços referidos na Fig. 4.3 (1 a 6) vêm publicados nos seguintes trabalhos:

- 1, 3 e 4: FREITAS, 1942.
- 2: ANDRADE, 1929.
- 5: FREITAS, 1959.
- 6: AFONSO, 1976.

4.4 Meláfiro: termo obsoleto originariamente aplicado a qualquer rocha ígnea porfiritica de cor escura, mais tarde restrito a basaltos, especialmente de idade Carbonífera-Pérmica; Porfírite: termo obsoleto sinónimo de pórfiro, originariamente usado para distinguir pórfiros com fenocristais de plagioclase de pórfiros com fenocristais de feldspato (Bates & Jackson, 1987).

de 1968. (Oberholzer - escala original 1:2.000.000 - Fig. 4.3 (6)). A publicação da mais recente carta geológica de Moçambique (Pinna et al. 1987) resulta duma síntese de aturados trabalhos de campo efectuados ao longo do século por geólogos de várias nacionalidades que trabalharam em Moçambique. É de notar que esta carta, principalmente no que respeita às formações Precâmblicas, apresenta alterações profundas aos conceitos anteriormente existentes, que não nos compete aqui pormenorizar.

Actualmente pode considerar-se que as formações geológicas do vale do Rio Zambeze se podem dividir em três grandes unidades estratigráficas (Projecto Integrado 1991):

- Formações pré-Karoo, de idade Precâmbrica;
- Formações do Supergrupo do Karoo, de idade variando entre o Carbonífero Superior e o Jurássico;
- Formações pós-Karoo, com idades variando do Jurássico ao Quaternário.

4.2. PRECÂMBRICO

As formações do Precâmbrico no Vale do Rio Zambeze estão dispostas ao longo duma faixa orogénica (Cinturão do Zambeze) que separa o Cratão do Zimbábwè (a sul) do Cratão da Zâmbia (a norte). Passamos a desenvolver um pouco a descrição das formações precâmblicas que, na zona do *graben* de Moatize, estão em contacto com as formações do Supergrupo do Karoo ou perto delas.

Os cratões têm uma idade superior a 1800 Ma, ou seja, pertencem ao Arcaico. O cinturão do Zambeze é constituído por uma série de formações afectadas pela Orogenia Irumídia (1350 Ma), que em Moçambique estão representadas pelas formações de Umkondo e Gairezi (respectivamente BU's e CG^F's), e que se distribuem à volta do Cratão do Zimbábwè (na carta geológica compilada por Oberholzer (1968), estas formações pertenciam à Província Tectónica do Médio Zambeze do Cinturão de Moçambique e vinham referidas como Formações de Umkondo e Fronteira).

As formações precâmblicas a norte das formações do Supergrupo do Karoo do Vale do Zambeze têm uma idade mais recente, pertencentes à Cadeia Moçambicana (1100-800 Ma), ou correlacionadas com o Katanguiano (800-600 Ma) ou ainda

pertencentes aos Conjuntos Ígneos Pan-Africanos (600-500 Ma) ou Pós-Pan-Africanos (500-400 Ma). Na carta anterior (1968), todas estas formações pertenciam à Província Tectónica do Niassa do Cinturão de Moçambique.

As formações precâmblicas mais antigas em contacto com as rochas do Supergrupo do Karoo encontram-se na zona do Zumbo/Rio Aruângua (são as rochas do Grupo do Zâmbuè - BIII Z, BIII Zq, BIII g, - pertencentes aos Grupos Pré-Moçambicanos da margem ocidental e afectadas pela Orogenia Irumída com >1300 Ma) e na zona de Nhamalábuè (são as rochas do Grupo de Motolola - BI O³ - pertencente ao Super-Grupo do Chiüre, de idade >1000 Ma, ou seja, Kibariana). Mais para sul, já na zona de Manica, ocorre o Grupo de Madzuire (BX-s), de idade semelhante à anterior, mas englobado no chamado "Complexo do Báruè". As litologias presentes no primeiro Grupo são quartzitos e meta-arcoses aluminosas, ao passo que nos dois outros, as rochas são gneisses de grau elevado e granulitos.

O "Complexo do Báruè" engloba outras formações mais recentes (da Orogenia Moçambicana - 1100-800 Ma), como sejam o Grupo de Matambo (BXM, BXX), o Grupo de Changara (BXA) e o Grupo de Canxixe (BXh, BXL), situados a sul da Província de Tete e na Província de Manica. O Grupo de Matambo ocorre ainda a norte, na zona de N'cungas. Todos estes grupos apresentam como litologias dominantes os gneisses e granulitos.

Ainda do Precâmbrico, e pertencentes à Orogenia Moçambicana, mas já fora do "Complexo do Báruè", ocorrem outras formações, como sejam os gneisses do Grupo do Luia (BI Lg, BI Lc, BI Lm), que ocorrem desde o Songo até às Ilhas Manherere (Albufeira de Cahora Bassa), a Série Ígnea de Tete e Angónia, com as rochas do Complexo de Tete (BTq¹) e os granitóides charnoquíticos (BTc, BTc^c), os primeiros entre Estima e Salambidué e os segundos entre Songo e Estima. Há ainda a considerar os gneisses e granulitos da série enderbítica do Grupo do Unango (B¹u^g), a norte de Nhamalábuè e os granodioritos e adamelitos Pré-Fingoè (BTg³), estes últimos da fase terminal do Ciclo Moçambicano, e que ocorrem a oeste de Mucangadzi e no Mucanha. Aqui as litologias são mais variadas, desde gneisses (BI Lg) a rochas ígneas várias (BTq¹ - gabros, BTc^c - granitóides charnoquíticos e BTg³ - granodioritos e adamelitos).

O Complexo de Atchiza (AFA^q e AFAP), entre Mucangadzi e Zumbo, pertence aos Conjuntos Supracrustais de idade provável Katanguiana (800-600 Ma). É constituído por rochas básicas a ultrabásicas, tais como gabros, noritos (AFA^q), peridotitos, serpentinitos e outros (AFAP).

Ainda pertencente a estes conjuntos supracrustais, o Grupo do Fingoè (AFF) ocorre na zona a norte de Mucangázi e é constituído por xistos, metagrauvaques e metavulcanitos.

Pertencentes aos Conjuntos Orogénicos Pan-Africanos (600-500 Ma) ocorrem granitos e adamelitos Pós-Fingoè (ATg²⁻³) a sudoeste de Mucangázi e no Vúzi, e são as rochas precâmblicas mais recentes em contacto com o Supergrupo do Karoo no Vale do Zambeze.

4.3. SUPERGRUPO DO KAROO

Os terrenos do Supergrupo do Karoo foram os primeiros em Moçambique a serem datados paleontologicamente. Assentam directamente nas rochas precâmblicas e são de idade carbonífera-pérmica. Significa isto que há uma inconformidade de longa duração. Eles foram depositados após a fusão da calote glacial que cobria o Continente do Gondwana no Carbonífero Superior (Pinna et al. 1987). A emissão das lavas da fase terminal está ligada à fracturação do Continente do Gondwana (Real 1966).

A litostratigrafia do Supergrupo do Karoo (sedimentar) no Vale do Rio Zambeze está dividida em três grupos sedimentares e um indiferenciado, a saber:

- Rs - Karoo Superior;
- Rb - Grupo do Beaufort;
- Re - Grupo do Eccá;
- Ri - Karoo indiferenciado.

A Fig. 4.5 mostra uma coluna estratigráfica esquemática do Karoo sedimentar no Vale do Zambeze.

4.3.1. KAROO INDIFERENCIADO (Ri)

São arenitos fluviais pouco espessos que ocorrem só na margem esquerda do Rio Aruângua, afluente do Zambeze e rio fronteiriço com a Zâmbia. Pinna et al. (1987) referem que estas rochas não podem ser associadas com nenhuma divisão do Supergrupo do Karoo e poderão ser testemunhos locais de uma série condensada.

4.3.2. GRUPO DO ECCA (Re)

As formações do Grupo do Eccca estão em grande parte submersas pelas águas da Albufeira de Cahora Bassa na zona entre Chicôa e Mecúcoè. Ocorre também numa grande mancha orientada NW-SE, que se estende desde Estima à Changara, e numa faixa orientada E-W desde Tete a Minjova e que se junta com outra faixa NW-SE que vem de N'condedzi ao longo da fronteira com o Malawi.

4.3.2.1. Termo de base

O Eccca é discordante sobre o Precâmbrico e é constituído, na sua parte basal, por diamictitos, argilitos, arenitos e outros materiais de origem fluvial, cuja espessura varia entre 400 m em Carinde (hoje submersa) a 130 m no N'condedzi (Real, 1966). São fácies típicas do Dwyka da África do Sul.

Na zona do Vúzi, estas rochas (diamictitos) foram observadas por Carvalho (1959) assentando em discordância ou contactando por falha sobre granitos e granodioritos. São cinzentas escuras na base, com matriz argilo-siliciosa, seguidas por rochas avermelhadas do mesmo tipo. Estas rochas contêm numerosos calhaus embebidos na sua massa, cuja origem é do embasamento. Os calhaus são sub-angulosos a rolados, sendo estes últimos mais abundantes e maiores nas formações avermelhadas do que nas cinzentas, denunciando possivelmente uma origem fluvio-glaciar. Carvalho (1960) refere-os como rochas tilóides e não tilitos por não terem sido observadas as características típicas dos tilitos - estrias e caneluras no substrato e nos calhaus rolados - possivelmente devido à alteração das rochas e à sua erosão posterior (é de referir que há um período enorme de tempo (± 350 Ma) desde as últimas rochas do Precâmbrico até ao início da deposição dos sedimentos do Supergrupo do Karoo, tempo este suficiente para que os processos de alteração e erosão actuassem em grande escala). No entanto, na época eles foram descritos como tilitos cinzentos e tilitos vermelhos. Mais tarde Carvalho (1977) sugere que sejam depósitos de vertente. Os diamictitos avermelhados desaparecem em direcção a montante do rio, aflorando só os cinzentos. As rochas argilosas e areníticas que lhes estão sobrejacentes alternam em camadas finas e bem estratificadas.

Para ocidente do Vúzi não se observaram estes tipos de rochas. Para oriente foram observados com espessura que vai diminuindo para leste. Nos afloramentos do Bohozi, do Massindué e do Mucanha, rios afluentes da margem esquerda do Zambeze e que desaguam na Albufeira, os "tilitos" são do tipo vermelho. No rio Morôndoé, os diamictitos

têm impregnações carbonosas - tilitos negros - e assentam sobre diamictitos sem essas impregnações - tilitos amarelos. No Sangere estas rochas têm uma cor esverdeada - tilitos verdes.

Para o topo do Termo de base aparecem níveis individualizados de calhaus rolados e angulosos. Esta situação denota uma alteração nas condições ambientais, isto é, a um período glacial sucede um período de clima mais ameno, em que começam a aparecer os primeiros calhaus rolados. Este período fluvio-glacial representa a transição para as condições de sedimentação da Série Produtiva (vide ponto 4.3.2.2.).

Na zona de Moatize estes depósitos ocorrem nos rios Murongosi, Nhacambo e Moatize, afluentes do Revúboè. São rochas esverdeadas-azuladas, com matriz argilosa e grãos de composição básica e ultrabásica provenientes do embasamento cristalino da Série Ígnea de Tete e Angónia. Associados a estas rochas aparecem xistos e arenitos quartzíticos.

A maior espessura é junto das falhas de bordadura e a estratificação é irregular ou inexistente. Segundo o relatório CCM (1973) a idade atribuída a estes depósitos é ainda do Devónico Superior mas estudos posteriores conferem-lhe uma idade carbonífera.

4.3.2.2. Termo intermédio

Para o topo do Grupo, ocorre o Termo intermédio, também chamado de Série Produtiva, por ser aí que ocorrem as camadas de carvão. São sedimentos fluvio-palustres compostos de arenitos arcósicos finos a grosseiros, argilitos e silitos cinzentos a negros com camadas de carvão associadas, cujo número e espessura variam de zona para zona. A espessura máxima do Termo intermédio é de cerca de 350 m aproximadamente.

Na zona do Mucangadzi, assenta sobre as formações do Fingoè, começando por uma fina camada de arenito arcósico, seguida doutra camada fina de argilitos com carvão e duma alternância de arenito fino/argilito negro com intercalações de carvão e arenito mais grosseiro. O arenito é chamado de Grés de Mucangadzi. Para leste do Mucangadzi aparece um sinclinal de eixo NW/SE com 30 km x 10 km, conhecido pelo Sinclinal do Vúzi.

Na zona situada entre os rios Vúzi e Mucanha, a sequência começa por uma fina camada de calhaus rolados seguidos de argilitos negros com carvão, arenito de grão médio e duro e xistos e argilitos negros. Os arenitos são os Grés de Mucangadzi. Os argilitos negros da base apresentam alguma continuidade (Carvalho 1959). Entre as camadas de carvão ocorrem arenitos de grão médio a fino. Note-se que nas décadas de 50 e

60 foram feitas algumas sondagens nas zonas do Vúzi, Bohozi e Mucanha, tendo estas atravessado complexos carbonosos em número variável.

Em Moatize, a Série Produtiva começa, em alguns pontos por 16 m de arenito quartzoso com xistos associados, conhecidos por Grés deambeua. Segue-se uma sequência areno-xisto-carbonosa com cerca de 340 m de espessura. Nela individualizam-se 6 complexos carbonosos separados entre si normalmente por pelitos e, algumas vezes, por arenitos.

Tanto na zona da Albufeira como em Moatize, os complexos carbonosos chegam a atingir 40 m de espessura. Em Moatize há 6 complexos carbonosos, a saber: Sousa Pinto, Chipanga, Bananeiras, Intermédia, Grande Falésia e André, e descritos mais pormenorizadamente no sub-capítulo 6.3.

4.3.2.3. Termo superior

O topo do Grupo, essencialmente fluvial, apresenta características de planícies de inundação. É constituído na base por arenitos arcóscicos com estratificação oblíqua, conglomerados de matriz carbonatada, argilitos, siltitos e margas com concreções ferrosas, e a sua espessura varia de 100 a 200 m. Considera-se que este termo final constitui a transição dum ambiente fluvio-lacustre em clima húmido para um clima alternadamente seco e húmido.

Estudos de flora fóssil permitem incluir estas rochas no *Ecca Superior*, se bem que as características sedimentológicas levem a agrupá-las com as rochas sobrejacentes do *Beaufort* (Pinna et al. 1987).

Na zona de Mucanha-Vúzi, os sedimentos da Série Produtiva estão cobertos pelos Grés de Cobertura, com numerosos níveis conglomeráticos. A dúvida que se põe é se pertencem ou não ao Supergrupo do Karoo.

A oeste do Vúzi e a sul do Zambeze ocorrem formações margosas cuja idade se situa na transição do *Ecca Superior* para o *Beaufort Inferior*. As margas estão associadas a arenitos fossilíferos arcóscicos. Por seu lado as margas são cinzentas quando frescas e apresentam estruturas *cone-in-cone*. São frequentes restos de troncos silicificados do género *Dadoxylon*. Na zona entre Mágoè e Carinde existia uma verdadeira floresta fóssil que infelizmente ficou parcialmente submersa pelas águas da Albufeira.

Em Moatize, logo por cima da última camada de carvão, assentam arenitos de grão grosso a médio e arcósico e com 5 a 6 intercalações de carvão e xistos carbonosos (Real 1966). São os chamados Grés de Matinde.

4.3.3. GRUPO DO BEAUFORT (Rb)

Este Grupo é de ocorrência mais restrita que o anterior. Ocorre fundamentalmente no Vúzi, no Mucanha e em Mágoè. Na zona de Tete ocorre no encosto com o Precâmbrico e constitui parte da Serra da Caroeira. Também aparece a leste de Chioco, em Minjova e a sudeste de Dôa.

O Grupo assenta em discordância sobre o Ecca. O ambiente de deposição é fluvial e é constituído por arenitos finos a grosseiros normalmente vermelhos mais ou menos carbonatados - Grés de Cadzi - friáveis e pouco coerentes. Intercalados nestes arenitos há camadas argilosas e duas bancadas de calcário lacustre em Chuale (Real 1966). Também intercalados nestes arenitos ocorrem leitos de argila e níveis conglomeráticos. O conjunto tem uma espessura de cerca de 170 m. O Grés de Cadzi tem o seu maior desenvolvimento a sul do Zambeze, de Mecumbura ao Zumbo. A oeste do Vúzi, na Bacia dos Pitões, o Grés de Cadzi apresenta-se metamorfizado, possivelmente devido às intrusões mesozóicas. A idade atribuída a estes arenitos é do Beaufort Superior. Na zona de Moatize este arenito não aparece.

Em termos de ambientes de sedimentação, este grupo tem características de planícies de inundação em clima húmido.

4.3.4. KAROO SUPERIOR

É discordante sobre o Ecca e o Beaufort. As zonas de maior ocorrência são na margem sul da Albufeira entre Zumbo e Mucanha e a sul do Mágoè. Uma grande mancha também aparece na zona a sudeste de Tete, estendendo-se até à fronteira com o Malawi. Litologicamente, as várias bacias do Supergrupo do Karoo no país apresentam características diferentes, denotando evoluções diferentes (Pinna et al. 1987). No Vale do Zambeze, o Supergrupo do Karoo Superior divide-se no termo sedimentar (Rs) e no termo vulcânico.

4.3.4.1. Karoo Superior Sedimentar (Rs)

São arenitos silicificados de origem continental com calcários lacustres por vezes areníticos associados. Esta formação é chamada de Grés de Carumacáfue (Real 1966). Ocorre praticamente só numa meseta com 200 m de altura e cerca de 250 km², a sul do Zambeze entre Mágoè e Mecumbura. A silicificação dos níveis superiores (130 m) destas rochas preservaram da erosão as rochas mais inferiores e mais brandas. Por baixo destes arenitos ocorrem calcários compactos com 10 m de espessura; na base aparecem arenitos finos silicificados compactos com 60 m de espessura.

Na zona de Tete-Moatize-Minjova, o Rs ocorre na Caroeira e numa pequena mancha uns quilómetros a sudeste. A maior extensão é no sentido E-W a sul de Moatize até ao Malawi. São formações areníticas e conglomeráticas.

4.3.4.2. Karoo Superior Vulcânico

A fase terminal do Supergrupo do Karoo é vulcânica e caracteriza-se por emissões alternadas de basaltos (Rβ1 e Rβ2) e riolitos (Rp1) e rochas afins, atingindo cerca de 1000 m de espessura. É um vulcanismo do tipo fissural ligado ao *Rift Valley* da África Oriental e que ocorre na faixa de Estima-Changara e em ambas as margens do Rio Zambeze, envolvendo a Formação de Sena.

A leste de Mecumbura aflora uma mancha de basaltos toleíticos indiferenciados com dimensões de 75 km x 45 km (Rβ) e que se destaca das planícies vizinhas mostrando elevações com mais de 700 m (Serra de Inharuala, Monte Munga e Monte Purôngue). São basaltos com amígdalas que chegam a atingir 80 cm de diâmetro.

Na zona de Chicôa-Mecúcoè, as ocorrências vulcânicas são escassas. Elas não vêm sequer referidas na nova Carta Geológica do país (Pinna et al. 1987). No entanto, em Carinde ocorrem basaltos e riolitos, os primeiros em mantos sobre o sedimentar e os segundos em brechas e chaminés, ambas com filões quartzo-brechóides associados. Basaltos e riolitos nunca foram vistos em contacto directo pelo que não se sabe quais os mais recentes e os mais antigos.

Há ainda a considerar numerosos filões doleríticos (Rθ) que acompanham o vulcanismo fissural e que intruem todas as rochas de idade anterior e são muito frequentes em Moatize e na zona do Mucanha, provocando fenómenos de coquefação no carvão. A orientação destes diques varia de zona para zona. Muitas vezes estão intruídos ao longo das

falhas de bordadura que separam o Precâmbrico do Supergrupo do Karoo; outras vezes intruem falhas que estão no interior das bacias e que se dispõem paralelamente às de bordadura.

Na zona da Lupata, e sobrepondo-se aos últimos basaltos do Supergrupo do Karoo, ocorre a Formação Inferior da Lupata (Rl) de arenitos e conglomerados, pertencentes ao Jurássico Superior. Na transição para o Cretácico há a emissão dos riolitos na Lupata (Rpl), por cima dos quais se vão depositar os arenitos conglomeráticos continentais da Formação Superior da Lupata (K^{1c}), já de idade cretácica.

4.4. MESOZÓICO

4.4.1. TRIÁSICO E JURÁSSICO

As formações triásicas e jurássicas desta zona foram já descritas no Supergrupo do Karoo. Não se conhecem, na região, outras formações sedimentares com estas idades que não pertençam ao Supergrupo do Karoo.

4.4.2. CRETÁCICO

Os terrenos cretácicos que ocorrem no Vale do Rio Zambeze têm a sua maior expressão em duas zonas principais:

- a sul da Albufeira de Cahora Bassa, desde o Zumbo até sudeste da Província de Tete e até à fronteira com o Zimbábwè;
- da garganta da Lupata até ao *graben* do Rio Urema

Na primeira zona ocorrem unicamente rochas sedimentares que constituem a Formação de Mágoè (Kc), composta por sedimentos detríticos depositados imediatamente sobre as rochas sedimentares e vulcânicas terminais do Supergrupo do Karoo. São rochas areníticas com cimento carbonatado contendo, de onde em onde, níveis conglomeráticos com calhaus do Supergrupo do Karoo e do embasamento. Esporadicamente ocorrem manchas de calcário lacustre com alguns fósseis de bivalves e gastrópodes que permitem de algum modo datar destas formações de origem continental.

Na segunda zona, além de formações sedimentares, o Cretácico ocorre sob a forma de grandes manchas de rochas vulcânicas. No que respeita às rochas sedimentares, as mais antigas são os arenitos conglomeráticos da Formação Superior da Lupata (K^{1c}) que

assentam discordantemente sobre os riolitos e os basaltos do Supergrupo do Karoo, marcando o início da sedimentação continental do Cretácico. Ocorrem junto à garganta da Lupata numa faixa de orientação N-S que, a norte, inflecte para leste, e para sul prolonga-se em manchas dispersas até à zona de Nhamatanda ao longo do contacto com o Precâmbrico. As formações sedimentares seguintes, e que têm uma expressão bastante grande no terreno, são os arenitos da Formação de Sena (K^2c), também de origem continental. Esta mancha estende-se desde a Lupata até ao Urema e do limite do Precâmbrico a Nhamalábue, com cerca de 200 km de comprimento por 80 km de largura.

Os Grés de Sena depositaram-se após uma época de eventos vulcânicos, durante os quais foram emitidos vários tipos de lava. São as lavas alcalinas ($K\tau$) e os fonólitos ($K\phi$), com alguma expressão geográfica na garganta da Lupata, e as lavas ácidas - riolitos e dacitos ($K\rho l$) - que antecedem o Grés de Sena e ocorrem na margem norte do Zambeze, também na Lupata. Além da Lupata, as lavas alcalinas aparecem também no Monte Salambindue, na região do Mazoe e em pequenas manchas bordejando o Precâmbrico até a leste da Gorongosa.

Com esta idade é de referir também a intrusão anelar carbonatítica ($K\chi$) do Monte Muambe na zona de Minjova e a intrusão, também anelar, do Cone N'gose (em Mucangadzi) composta de carbonatitos na parte central e rochas sieníticas envolvendo as primeiras ($F\sigma$)

4.5. CENOZÓICO

O Cenozóico não tem expressão superficial ao longo do Vale do Zambeze, a não ser na zona de Mopeia em que o Rio Zambeze corta uma faixa de rochas de origem continental que debrua a parte sul do delta do Zambeze. São os arenitos e conglomerados da Formação de Mazamba (T^2c) do Neogénico, sob os quais ocorrem os Grés de Inhaminga (T^2m) de origem marinha.

4.5.1. MANIFESTAÇÕES ÍGNEAS MESO-CENOZÓICAS

Além das manifestações vulcânicas ligadas à fase terminal do Supergrupo do Karoo e à Lupata, ocorrem outras manifestações situadas na zona do *Rift Valley* e que cortam todas as rochas, desde as precâmblicas às mesozóicas. Estas manifestações podem apresentar estrutura em anel e/ou em forma de diques. De idade fundamentalmente jurássica/cretácica, há as seguintes manifestações:

- Granitos (F γ), sienitos e monzonitos (F σ), carbonatitos (F χ); são ocorrências em intrusão anelar e/ou filoneana;
- Quartzólitos (F θ), microgranitos e riolitos (F ρ), microssienitos e traquitos (F τ), gabros e dioritos (F θ), basaltos, andesitos, microgabros e microdioritos (F β); são manifestações de carácter filoneano.

Os granitos ocorrem nas Ilhas Manherere, instruindo os basaltos de Mecumbura ou os sedimentos do Supergrupo do Karoo a leste de Chiôco. As formações do Fingoè e do Atchiza são cortados por filões de quartzólitos que também cortam o Karoo indiferenciado no Zumbo e o Grupo do Ecça no Mágoè. Mais para oriente, numerosos filões básicos (F β) cortam o Complexo de Tete e o Grupo do Ecça em Moatize. Em Mecumbura, os basaltos também são cortados por filões gabróicos e dioríticos.

De idade cenozóica há a considerar as chaminés vulcânicas de lavas básicas e ultrabásicas (T β) da zona de Sena, dispostas numa faixa N-S ao longo do *graben* do Urema.

4.5.2 QUATERNÁRIO E FORMAÇÕES RECENTES

As formações quaternárias e recentes, todas elas de origem sedimentar, têm uma maior expressão no delta do Rio Zambeze. Desde o Zumbo até ao delta, são numerosas as ocorrências de sedimentos quaternários, fundamentalmente aluviões (Qa) e terraços fluviais antigos (Qt). Os aluviões dispõem-se ao longo dos vários rios e cursos de água que constituem a bacia hidrográfica do Rio Zambeze, especialmente na margem sul da Albufeira de Cahora Bassa e ao longo do próprio Rio Zambeze, com maior expressão no seu delta. Os terraços fluviais ocorrem nas mesmas zonas dos aluviões mas a níveis mais altos. Há ainda a considerar cones de dejectão (Qc), fundamentalmente a norte de Nhamalábue, ao longo do Rio Chire e a sudeste do Mágoè.

5. GEOLOGIA ESTRUTURAL E TECTÓNICA DO VALE DO RIO ZAMBEZE

Os aspectos estruturais e tectónicos das formações do Vale do Rio Zambeze são extremamente complexos, principalmente no que respeita às formações precâmblicas que, ao longo do tempo, foram sujeitas a várias orogenias (Fig. 5.1).

5.1. PRECÂMBRICO

As rochas mais antigas do País, mas que ocorrem na zona sul do Vale do Rio Zambeze na região de Manica, são rochas do Arcaico e do Proterozóico Inferior. São as rochas do Grupo de Manica (Arcaico) e do Grupo de Gairezi (Proterozóico Inferior). O primeiro é um prolongamento do cinturão das rochas verdes (*greenstone belt*) e dos granito-gneisses do Cratão do Zimbábwè, enquanto que o segundo representa formações dos terrenos marginais do Cratão.

Estas formações estão cobertas por rochas do Proterozóico Médio. São as rochas do Grupo de Umkondo, cobertura não dobrada que assenta discordantemente quer no Grupo de Manica quer no Grupo de Gairezi. Possivelmente a sua margem leste, em contacto com rochas precâmblicas mais recentes, foi afectada pela Orogenia Moçambicana que actuou sobre estas últimas. Não se irão pormenorizar estas formações, dado que se encontram longe do Vale do Zambeze.

Ainda do Proterozóico Médio e a seguir ao Umkondo, vêm as rochas afectadas pela Orogenia Irumide (± 1300 Ma) na sua parte mais austral. São as rochas do Grupo do Zâmbuè que ocorrem no extremo ocidental da Província de Tete junto à fronteira com a Zâmbia. Correlaciona-se com o Grupo de Rushinga da margem oriental do Cratão do Zimbábwè na fronteira entre as Províncias de Manica e de Tete. Estas formações foram remobilizadas e metamorfizadas pela Orogenia Moçambicana.

O Grupo do Zâmbuè foi afectado por uma tectónica de cisalhamento tangencial originando dobras deitadas. A sua vergência regional está escamoteada por orogenias mais recentes.

O restante das formações precâmblicas foi afectado pela Orogenia Moçambicana que, em Moçambique, está representada do seguinte modo (Pinna et al. 1987):

- Província granulítica ocidental, de rochas ígneas formadas entre os 1100-900 Ma;
- Província oriental, com estrutura em duas camadas:
 - Camada inferior (1100-900 Ma) formada por migmatitos;
 - Camada superior carreada, sendo a parte basal supracrustal e a de topo de natureza granulítica e enraizada na Província ocidental.

De todas estas formações, as que mais nos interessam são as da Província ocidental, onde estão encaixados os *grabens* do Supergrupo do Karoo do Vale do Rio Zambeze, e mais para leste, as formações supracrustais do Supergrupo do Chiúre (Grupo de Motolola, a nordeste de Nhamalábuè). O Grupo de Metolola é de idade dúbia, não se sabendo se é moçambicano ou pré-moçambicano. O estudo deste grupo sugere uma estrutura polifásica, dominando o dobramento E-W referente a uma fase tardia do processo tectónico. Este grupo correlaciona-se com o Grupo de Madzuire do "Complexo do Báruè", que ocorre em Manica a leste do Cratão do Zimbábwè, bordejando a oeste o *graben* do Urema. Este grupo é também polifásico e denota a sobreposição de três deformações.

A Orogenia Moçambicana (1100-850 Ma) engloba a maioria das rochas precâmblicas. Ela reactivou os terrenos írumides (Zâmbuè). A zona oriental caracteriza-se por uma granitização com 950 Ma ligada a cizalhamento ENE-WSW/NNE-SSW. Para oriente ocorre uma faixa granulítica, que é a zona axial da cadeia moçambicana e que se caracteriza quimicamente por ser alcalina e calco-alcalina, com ortogneisses e intrusivos anortositicos, enderbiticos, mangeriticos e charnoquíticos.

A zona mais a sul (Província de Manica) é ocupada pelas rochas do "Complexo do Báruè", que apresentam uma complexidade estrutural enorme e está carreado sobre o Gairezi e Rushinga. Algumas zonas são correlacionáveis com o Grupo do Luia (1100 Ma), outras com o Grupo do Lúrio (1100-1000 Ma, na Província oriental) e com os grupos supracrustais pré-moçambicanos (<1000 Ma). O Grupo de Matambo tem uma idade entre 900 e 800 Ma e está concordantemente sobrejacente ao Grupo de Rushinga na Região Sul e ao Complexo de Tete na Região Noroeste. Quanto à sua relação com o Grupo de Changara, a sua posição é duvidosa, mas parece estar sobreposto por este último.

De idade mais recente, ocorrem formações de idade provavelmente katanguiana (800-600 Ma). É o caso das formações do Grupo do Fingoè e do Complexo Ultrabásico de Atchiza. O Grupo do Fingoè depositou-se sobre os granitos da fase final da Orogenia Moçambicana. O Complexo de Atchiza será intrusivo (?) no Fingoè. As direcções fundamentais são ENE-WSW e NNE-SSW. Ambas as formações estão intruídas pelos

granitos pós-Fíngoè de idade panafricana (600-500 Ma), orogénese esta que afecta também as rochas katanguianas. Outros intrusivos ocorrem e são mais recentes (pós-panafricanos: 500-400 Ma).

5.2. SUPERGRUPO DO KAROO E PÓS-KAROO

As formações do Supergrupo do Karoo estão depositadas em bacias tectónicas ao longo do Rio Zambeze, com orientação E-W, desde o Zumbo até Cahora Bassa, e NW-SE, a jusante de Cahora Bassa, e correspondem ao cinturão móvel do Zambeze situado entre os Cratões do Zimbábwè e da Zâmbia.

As bacias estão delimitadas por falhas - as falhas de bordadura - paralelas às direcções principais do cinturão do Zambeze. Estas falhas, bem como outras que se encontram no interior das bacias, estão por vezes preenchidas por filões doleríticos da fase final (vulcânica) do Supergrupo do Karoo.

As bacias sofreram uma subsidência lenta e esta permitiu a conservação dos depósitos do Supergrupo do Karoo. A descida em "cunha" ao longo das falhas de bordadura provocou como que uma compressão lateral dos sedimentos levando ao aparecimento de sinclinais e anticlinais muito abertos, cujos eixos são paralelos às falhas de bordadura e ao alongamento do *graben*.

As principais falhas na região ocidental têm orientação WNW-ESE. Em Moatize já as falhas têm orientação preferencial NNE-SSW e ENE-WSW. De notar que as direcções destas falhas coincidem com as direcções preferenciais das rochas precâmbricas que se dispõem em torno do Cratão do Zimbábwè. A inclinação dos estratos é reduzida (13°-17°), excepto nas zonas de encosto com as falhas de bordadura.

As falhas de bordadura têm uma idade pós-triásica e englobam-se no sistema do *Rift Valley* que ainda hoje é activo (Afonso 1976). O desenvolvimento do *Rift Valley* não é contínuo, antes por pulsações. Consideram-se três pulsações principais: Jurássico inferior, Cretácico e Plistocénico.

O *rift* do Jurássico inferior origina as primeiras subsidências que impedem ou dificultam a erosão diferencial do Supergrupo do Karoo. Este *rift* é responsável pela falhas NW-SE (Moatize) e E-W (Zumbo - Cahora Bassa). Com ele estão ligadas as emissões vulcânicas basálticas e riolíticas bem como a intrusão de diques doleríticos da fase terminal do Supergrupo do Karoo.

O *rift* cretácico está ligado com processos magmáticos que originam os carbonatitos (Cone N'gose, Salambidué, Muambe e Lupata). De notar que a Lupata está no cruzamento do Sinclinal do Zambeze com o *rift* do Chire (N-S).

O *rift* pliocénico está no prolongamento para sul dos *rifts* da África Oriental. Nele se instalou o *graben* do Urema na continuação do *graben* do Chire. De notar que as chaminés vulcânicas básicas de Sena se dispõem ao longo das falhas de bordadura destes *grabens*.

6. GEOLOGIA E TECTÓNICA DA BACIA CARBONÍFERA DE MOATIZE

Após se ter feito uma apresentação da geologia e da tectónica do Vale do Rio Zambeze, desde a Vila do Zumbo até à sua foz, passamos a pormenorizar os mesmos aspectos no que respeita à Bacia Carbonífera de Moatize (Fig. 6.1), a qual faz parte duma bacia maior conhecida por Bacia de Moatize-Minjova.

A bacia de Moatize está implantada num *graben* encaixado nas rochas precâmbricas do ciclo moçambicano. O *graben* é limitado a nordeste e a sudoeste por falhas de bordadura com direcção NW-SE, fazendo parte duma bacia de maior extensão que vai desde Tete até Minjova. O *graben* de Moatize tem uma extensão aproximada de 35 km de comprimento por 2 km de largura, e é drenado pelos Rios Revúboè, Moatize e Murongodzi. O acidente orográfico mais importante é o Monte M'Pandi (320.80 m), situado na margem sudoeste do *graben* e representa um braquianticlinal das rochas do embasamento.

6.1. GEOLOGIA

6.1.1. PRECÂMBRICO

6.1.1.1. Introdução

As rochas precâmbricas do embasamento envolvem o *graben* a toda a volta, excepto a oeste, onde a bacia se estende para lá da margem direita do Rio Zambeze, e a SE, onde a bacia se continua nesta direcção, inflectindo depois para E-W até à zona de Minjova. Referências a estas rochas foram feitas por Lapierre (1883), que descreve a zona entre os Rios Rovugo^(6.1), Moatize e Muarazi: "... *Au nord, en face de Chingoso^(6.2) et sur la rive gauche du Rovugo, surgit une montagne plus élevée, formé de porphyres amphiboliques dans lesquels les cristaux de feldspath atteignent souvent d'énormes dimensions...*". No mapa apresentado por Lapierre (1883), estas rochas são referidas à zona da Série Ígnea de Tete e Angónia (B₁θ¹) que penetra na Bacia Carbonífera de Moatize. À outra parte do complexo, a NE da falha de bordadura, Lapierre chama-lhe *Terreno Primitivo*.

Também no século XIX, Kuss (1884) refere que "...*en remontant la vallée du Moatise, affluent du Rovugo ... nous avons traversé successivement le terrain houiller, des*

6.1 Actual Rio Revúboè.

6.2 Actual Chingodzi, onde se localiza o aeroporto da Cidade de Tete.

euphotides ophitiques ^(6.3), *des micaschistes et des gneiss, pour arriver enfin à des granulites qui paraissaient se continuer fort loin vers le nord-est*".

Já na década de 20 deste século, Anthoine & Dubois (1925) descrevem as formações antigas da região, diferenciando entre "*terrenos antigos*" (camadas sedimentares muito metamorfizadas - gneisses com interestratificações de micaxistos) e "*terrenos primários*" (rochas eruptivas muito metamorfizadas - quartzitos e quartzofiládios).

Borges (1937), no seu relatório sobre os progressos realizados na geologia de Moçambique, refere alterações ao mapa geológico anterior, com um alargamento da área conhecida dos complexos gabro-dioríticos.

Estudos de petrografia de rochas ígneas e metamórficas da região, colhidas na campanha de 1936 por Borges, foram levados a cabo por Brak-Lamy & Coelho (1945, 1948, 1956).

Um estudo algo pormenorizado sobre os anortositos de Tete foi feito por Coelho (1957), que tece considerações sobre a génese deste tipo de rochas a nível mundial e descreve as que ocorrem em Tete (Série Ígnea de Tete e Angónia) classificando-as em rochas dioríticas, gabróicas e anortosíticas. A Série Ígnea de Tete e Angónia também é referido por Dias (1957, 1961) nos seus trabalhos sobre o Monte Muambe chamando-lhe complexo gabro-diorítico. Refere ainda um longo período de erosão e peneplanação antes da deposição dos sedimentos do Supergrupo do Karoo. Coelho (1969) retoma o estudo das rochas deste complexo. Em relação ao seu trabalho anterior (Coelho 1957), altera a classificação dos tipos litológicos, classificando-os em anortositos, gabros, hiperitos, noritos, piroxenitos, piroxenitos olivínicos, sienitos, epidioritos e granitos (estes, pouco representativos).

Uma descrição bastante pormenorizada da geologia do Vale do Rio Zambeze, incluindo a área de Moatize, foi feito por Real (1966).

Vários autores, organismos e empresas trataram e têm tratado das rochas precâmbricas da região de Moatize, mais como referências à geologia regional e local em trabalhos sobre a Bacia Carbonífera em questão.

6.3 Gabros em que o feldspato está saussuritizado. Termo ainda usado por petrólogos franceses (Gary et al. 1974). Corresponderão, assim, às rochas da Série Ígnea de Tete e Angónia (BT01).

Os trabalhos de campo realizados após a Independência Nacional, e que culminaram com a elaboração do novo Mapa Geológico de Moçambique à escala 1:1.000.000 (Pinna et al. 1987), deram origem a profundas mudanças nas concepções sobre a geologia do País, principalmente no que se refere aos terrenos precâmbrios, tendo sido criadas novas unidades litoestratigráficas, desaparecido outras, subdivididas e ainda agrupadas outras.

6.1.1.2. Série Ígnea de Tete e Angónia (BT θ ¹)

As rochas que constituem o embasamento pertencem maioritariamente à Série Ígnea de Tete e Angónia, uma das duas grandes Séries Gabro-Anortosíticas da Região Sul do Precâmbrio de Moçambique. A outra série é a do Maciço de Chipera. Estratigraficamente, o Complexo de Ôepe assenta na Formação de Chidué (BIL_c) e está possivelmente coberto pelas rochas do Grupo de Matambo (BX_M).

No que respeita à litologia, a Série Ígnea de Tete e Angónia é constituído principalmente por gabros e noritos leucocratas, ocorrendo também anortositos (daqui o antigo nome de Complexo Gabro-Anortosítico de Tete dado a este complexo), piroxenitos e rochas ricas em titano-magnetite. Os gabros e noritos são de textura grosseira a muito grosseira e têm, como minerais principais, a labradorite sódica, a augite, a hiperstena e a titanomagnetite. Os anortositos ocorrem como níveis diferenciados no seio do maciço e podem passar gradualmente para leucogabros e noritos. Os piroxenitos ocorrem em bandas e/ou maciços. As rochas ricas em titanomagnetite representam níveis ou segregações no maciço (Pinna et al. 1987).

Além destas litologias, há a considerar ainda a existência de diques doleríticos abundantes e considerados por Barr et al. (in Pinna et al. 1987) como cogenéticos com o complexo.

Estruturalmente, e segundo a opinião da Hunting, o complexo parece ser um lopólito que intrui as rochas da formação do Chidué. Isto pode ver-se quer pela existência de manchas desta formação no meio do complexo, como a que ocorre logo a seguir à falha de bordadura a NE da Vila de Moatize, quer pelo contacto intrusivo entre as duas formações, como a que ocorre próximo de Boroma, cerca de 20 km a NW da Cidade de Tete. A espessura do complexo é calculada em cerca de 10 km, segundo dados aeromagnéticos (Pinna et al. 1987).

O embasamento funciona como uma bacia do tipo peneplano para a deposição dos sedimentos do Supergrupo do Karoo (AUSTROMINERAL 1985).

6.1.1.3. Formação do Chidué (BIL_c)

A Formação do Chidué, juntamente com os Gneisses de Chacocoma (BIL_g), pertence ao Grupo do Luia e ambos constituem o substrato da Série Ígnea de Tete e Angónia, estando a Formação do Chidué a separar os Gneisses de Chacocoma da Série Ígnea de Tete e Angónia (Pinna et al. 1987). O Grupo do Luia, à semelhança da Série Ígnea de Tete e Angónia, pertence à Região Noroeste do Precâmbrico de Moçambique.

Litologicamente a Formação do Chidué é constituída por gneisses variados, mármore, anfibolitos, níveis de quartzitos ferruginosos, micaxistos com biotite, *ironstones*, lenticulas ultrabásicas, etc. São rochas pertencentes à fácies anfibolítica, com hornblenda, epidoto e, por vezes, grafite.

Geograficamente, a Formação do Chidué aparece a cerca de 5 km a NE da Vila de Moatize, logo a seguir à falha de bordadura NE.

6.1.1.4. Grupo de Matambo (BX_M)

As rochas do Grupo de Matambo, bem como as do Grupo de Changara (BX_A - ver sub-capítulo 6.1.1.5.), pertencem ao Complexo do Bárue da Região Sul do Precâmbrico de Moçambique. O termo "Complexo do Bárue" é um termo antigo e que tende a cair em desuso. Antigamente considerado como uma unidade litológica da Província do Médio Zambeze do Moçambique Belt, é actualmente subdividido (Pinna et al. 1987) em vários grupos, dos quais os de Matambo e de Changara fazem parte.

O Grupo de Matambo é constituído por gneisses de composição variada, muito bandados e por vezes migmatíticos. O bandado é evidenciado por variações mineralógicas na fácies anfibolítica, com quartzo, plagioclase, microclina, biotite e hornblenda, originando bandas/níveis anfibolíticos e gneissicos.

No mapa da Fig. 6.1, o Grupo de Matambo ocorre na margem direita do Rio Zambeze, em contacto por falha com as rochas do Supergrupo do Karoo e do Grupo de Changara.

6.1.1.5. Grupo de Changara (BX_A)

Foi neste grupo que Holmes reconheceu as primeiras rochas charnoquíticas de Moçambique. Correspondem aos gneisses hornblêndicos referidos em numerosa literatura anterior.

Litologicamente, o Grupo de Changara é constituído por gneisses de alto grau de metamorfismo, apresentando quer fácies anfibolítica com silimanite, granada e ortoclase, quer fácies granulítica, com típicas associações de granada com duas piroxenas. Estudos anteriores referem litologias variadas:

- ortogneisses charnoquíticos, em parte quartzo-dioríticos (enderbitos) - Gouveia & Araújo (1963);
- granitos castanhos;
- fácies básicas e ultrabásicas.

À semelhança do Grupo de Matambo, o Grupo de Changara também ocorre na margem direita do Rio Zambeze em contacto estrutural com as rochas do Supergrupo do Karoo.

6.1.2. SUPERGRUPO DO KAROO

Como se disse no enquadramento geológico geral, o Supergrupo do Karoo no Vale do Rio Zambeze assenta normalmente em discordância sobre o Precâmbrico ou este contacto é por falha. São rochas sedimentares detriticas de origem continental associadas com intrusivos na fase mais tardia da deposição, muitos dos quais cortam as falhas delimitantes do *graben*. No geral, os sedimentos do Supergrupo do Karoo são arenitos de granulometrias várias, conglomerados, siltitos, argilitos e xistos argilosos. Em toda a sequência do Supergrupo do Karoo ocorrem camadas de carvão; contudo, é na Série Produtiva onde elas são mais numerosas (num total de 6) e com maior interesse económico, especialmente a camada Chipanga, pelas características do seu carvão e pela sua espessura. A idade do Supergrupo do Karoo vai do Carbonífero Superior ao Jurássico Inferior, segundo o conteúdo em flora fóssil e correlações estratigráficas inter-regionais.

6.1.2.1. Karoo inferior

O Karoo inferior está representado em Moatize pelo Grupo do Ecca (Re) e começa por um termo basal vulgarmente conhecido por Série Tilitica, seguido por um

termo intermédio com carvão, conhecido por Série Produtiva e por um termo superior, a Série de Matinde.

a) Termo de base ou Série Tilitica

É um conglomerado com calhaus grosseiros com matriz argilosa endurecida. A cor é esverdeada-azulada e os calhaus são provenientes essencialmente da Série Ígnea de Tete e Angónia (Real 1966).

No que respeita à sua espessura, ela é variável, tendo Magnee & Thonnard (1969) medido 130 m, havendo no entanto lugares em que é muito fino ou está mesmo ausente.

Típica destes "tilitos" é a variação lateral rápida de fácies (AUSTROMINERAL 1985), sendo esta variação para areias siltosas e argilitos cinzentos escuros.

Anthoine & Dubois (1922b) referem que " ...a espessura do conglomerado de base é muito fraca... ". Andrade (1929) escrevia que "*... na região sul do Niassa inglês* ^(6.4) *as camadas do sistema têm uma espessura muito grande; a base é constituída por série de grés com poucos calhaus rolados espalhados na rocha, seguindo-se xistos, grés ...*". Mais à frente "*... a litologia da região de Tete é semelhante à da Rodésia do Norte* ^(6.5) *encontrando-se na base conglomerados e grés ...*". Uns anos mais tarde, Borges (1935) referia que "*... a Série do Eccca compreende os níveis médio e superior. O primeiro só é indicado por um conglomerado e um grés ...*". Refere ainda Borges (1952) que "*...como em todo o Moçambique, a Série do Dwyka não está representada bem como a parte inferior da Série do Eccca. O Eccca médio está representado por um conglomerado na base da Série Produtiva, a qual corresponde ao Eccca Superior ...*". Freitas (1959) também nega a existência do Dwyka ao afirmar que "*... a série sedimentar mais antiga, de Dwyka, não se conhece nem é provável que exista no nosso território ...*". A CCM (1973), no seu relatório final, descreve a Série Produtiva como começando por "*...uma brecha com elementos angulosos provenientes do complexo de base ...*".

Todos estes autores referem a existência dum conglomerado (ou brecha) no muro ou na base do que todos chamam a Série Produtiva. Se bem que neguem ou ponham em dúvida a existência do equivalente da Série do Dwyka (Borges 1935, 1952; Freitas 1959) ou nem sequer falem nela, é muito provável que este conglomerado basal (que não é

6.4 Actual República do Malawi

6.5 Actual República da Zâmbia

pormenorizadamente descrito em nenhuma obra consultada) seja o equivalente do termo de base (equiparado ao Dwyka da África do Sul) do Grupo do Eccca, segundo a nova divisão estratigráfica do Supergrupo do Karoo no Vale do Rio Zambeze em Moçambique (ver Carta Geológica de Moçambique à escala 1:1.000.000, Pinna et al. 1987). Ainda corroborando esta hipótese de equivalência, Magnee & Thonnard (1973) referem que Koch colheu algumas amostras de calhaus apresentando estrias na superfície, o que seria típico de formações de origem glacial.

O relatório do GPZ (1974) sobre "Ocorrências de carvão no vale do Zambeze, Moçambique" regista a ocorrência numa zona extensa de conglomerados debruando o extremo norte da bacia. Estes conglomerados são ricos em calhaus rolados e sub-angulosos oriundos do complexo de base e são de dimensões variáveis. Sugere ainda que este conglomerado é um tilito transportado pelos gelos flutuantes e depositado aquando da fusão sazonal desses gelos.

O Termo de base é assim constituído por uma fácies do tipo Dwyka assente discordantemente no Precâmbrico e é constituído por sedimentos de origem fluvio-glacial (diamictitos com seixos provenientes do substrato precâmbrico e com matriz argilosa). Koch (1962, referido em Thonnard 1971/1972) propunha a sua inclusão na Série Produtiva, atribuindo-lhe uma idade de Carbonífero Inferior.

b) Termo intermédio ou Série Produtiva

Na sequência do Termo de base segue-se o Termo intermédio (ou Série Produtiva) onde ocorrem 6 complexos carbonosos. No mapa de Anthoine e Dubois dos anos 20, estes complexos tinham nomes diferentes dos actuais, tendo Magnee & Thonnard (1969) estabelecido a correlação entre as bacias de Murongodzi, Revúboè e Moatize referidas na Tab. 6.1. Os estudos de Anthoine & Dubois entre 1954 e 1957 nestas regiões permitiram completar a escala (Magnee & Thonnard 1969) (Tab. 6.2).

A Fig. 6.2 mostra a localização das áreas/secções de exploração e pesquisa em que se encontra dividida a Bacia de Moatize (CCM 1973-Fig. 6.2.A e ING 1984-Fig. 6.2.B), bem como a localização das diversas Minas Chipanga (Fig. 6.2.C - I a XII).

Os estudos de Koch (1961) sobre a Série Produtiva permitiram a elaboração da sequência estratigráfica apresentada na Fig. 6.3, em que não aparece a camada Gomes Pereira que passa a fazer parte do Termo superior. A coluna estratigráfica apresentada pela

AUSTROMINERAL (1985) é idêntica à de Koch (1962, referido em Thonnard 1971/1972), salvo para a espessura da camada André, que refere ter 6 m. Os valores apresentados na Fig. 6.3 para as espessuras são valores médios, podendo a Série Produtiva ter uma espessura que varia entre 240 m e 470 m.

Como se pode ver na coluna estratigráfica, as rochas da Série Produtiva, para além do carvão, são fundamentalmente rochas pelíticas: argilitos, xistos argilosos e siltitos. Também ocorrem rochas arenosas. Todas estas rochas contêm geralmente percentagens variáveis de matéria carbonosa, o que lhes confere um cor escura (cinzenta ou negra). Os arenitos, por vezes, passam lateralmente a xistos (Borges 1935). Na base existem xistos cinzentos com arenitos associados - os Grés de Cambeua. As rochas pelíticas são geralmente siliciosas, micáceas, duras e compactas. Se bem que normalmente escuras, há-as amareladas e claras. Os xistos negros ocorrem normalmente como passagens graduais das camadas de carvão para rochas menos ou não carbonosas, aparecendo a muro e a teto das camadas de carvão. Os próprios xistos negros contêm também lenticulas ou mesmo pequenas e finas vénulas de carvão.

Os arenitos são geralmente de grão fino a médio, podendo ter localmente algum desenvolvimento conglomerático. Muitas vezes apresentam estratificação cruzada e inclinada, bem como aspectos de deposição lenticular com ausência de continuidade das camadas em longas distâncias. Isto caracteriza uma subsidência lenta em ambiente fluvio-deltaico com águas pouco profundas, que se manifesta nas próprias camadas de carvão, pois elas apresentam altos teores em cinzas e contêm intercalações de argila, silte e areia com espessuras de alguns milímetros a mais de um metro, o que reduz o valor económico global da camada de carvão.

Típica da Série Produtiva é a enorme variação lateral de fácies, à semelhança do que acontece com a Série Tilítica. Por exemplo Thonnard, no seu trabalho de campo de 1963, verificou que a camada de arenito a teto da camada Chipanga ocorria na área a oriente da zona em exploração na altura e não na área de exploração e que o desenvolvimento deste arenito correspondia ao desaparecimento da camada Bananeiras (Magnee & Thonnard 1969). Esta situação verifica-se tanto na Zona de Extensão SE como na zona do Revúboè.

Para se definirem com maior precisão as variações laterais de fácies, foram feitas 6 sondagens profundas pela empresa MAPLE LEAF (1965-1966) num total de 2215 m, três das quais atingiram o embasamento (Magnee & Thonnard 1969). Verificou-se

que, de todos os horizontes/camadas cortados, só a bancada inferior da camada Chipanga se mantinha em todas elas. Estabelecidas as correlações entre as 6 sondagens (e outras que já existiam ou foram feitas), verificou-se o seguinte (Magnee & Thonnard 1969):

- Na Zona Central e na Secção 1 da Zona de Extensão SE há um aprofundamento da bacia, com abundante sedimentação arenosa e areno-argilosa. O aprofundamento aumenta à medida que se caminha para oriente;

- Na Zona Central, por cima do embasamento, ocorre uma formação brechóide sobre a qual aparece uma camada de carvão fina e descontínua (camada Sousa Pinto); será que esta brecha corresponde ao termo de base do Ecca ou ao Grés de Cambeua?

- A camada Chipanga e os xistos carbonosos do seu muro mantêm uma certa continuidade ao longo de toda a bacia. À medida que se caminha para a Zona de Extensão SE, a camada Chipanga vai progressivamente passando a uma fácies mais arenítica.

As camadas de carvão podem ser subdivididas em bancadas de camadas que reflectem subsidência e deposição crustal epirogénica rítmica. Cada bancada apresenta na base uma zona de carvão "limpo" passando a apresentar um aspecto mais detrítico para o topo. As bancadas não têm uma representação uniforme em toda a bacia, excepto no caso da camada Chipanga, na qual foram determinadas 8 (oito) bancadas.

Como atrás se disse, o xisto a muro da camada Chipanga mantêm continuidade em toda a bacia. Ele é uma camada escura de 10 cm de silte/arenito, conhecida localmente por muro pelos mineiros.

A camada Sousa Pinto está presente em grandes áreas e caracteriza-se por uma enorme variação lateral de fácies. O carvão tem uma alta percentagem de cinzas.

A camada Chipanga persiste ao longo de toda a bacia com variações muito pequenas de composição e de espessura.

A camada Bananeiras está distribuída por toda a bacia e poderá ter condições de explorabilidade, facto que já aconteceu há algumas décadas atrás, tal como se comprovou pela existência de entradas de velhas galerias ao longo do Rio Moatize. As partes inferior e média têm características qualitativas semelhantes às da bancada inferior da Camada Chipanga, segundo resultados da GFE-Halle (AUSTROMINERAL 1985). Mostra uma

razoável variação lateral de fácies. Encontra-se dividida em duas partes (inferior e superior) intercaladas por xistos negros areníticos os quais, para oriente, se transformam em arenitos, com o desaparecimento simultâneo da camada. Na Zona de Extensão SE estes arenitos assentam directamente sobre a camada Chipanga.

A parte superior da Camada Chipanga e a Camada Bananeiras têm muitos níveis intercalares de estéril, aparentemente devidos a sedimentação local heterogénea.

A camada Intermédia é uma camada composta por duas camadas muito finas, sem interesse económico, separadas por xistos negros.

A camada Grande Falésia ocorre em toda a bacia, com altos teores em cinzas. Os afloramentos são, no entanto, escassos.

A camada André, a culminar a Série Produtiva, apresenta mudanças abruptas de fácies, contendo muita matéria mineral. Aparece largamente distribuída em toda a bacia, se bem que os afloramentos estejam confinados a poucos locais.

c) Termo superior ou Formação de Matinde

Por cima da Série Produtiva, ocorre o Termo superior, de origem essencialmente fluvial (Pinna et al. 1987), conhecido na literatura por Formação de Matinde. Na base observam-se arenitos arcósicos de grão médio a grosseiro com estratificação cruzada e leitos de conglomerados com matriz por vezes carbonatada. Nela também ocorrem camadas de carvão, no entanto sem interesse económico. São camadas finas, não contínuas e com muitas cinzas.

A espessura deste termo não é conhecida. Corresponde à formação arenítico-margosa da zona da Albufeira de Cahora Bassa (Real 1966) onde ocorre a floresta fóssil anteriormente citada.

6.1.2.2. Grupo do Beaufort

As formações do Grupo do Beaufort não ocorrem na bacia de Moatize, mas sim em duas manchas na margem direita do Zambeze, a leste e a sudeste da cidade de Tete, formando a Serra da Caroeira (Fig. 6.1).

6.1.2.3. Karoo Superior

As formações do Karoo superior nesta zona limitam-se às manifestações ígneas de idade jurássica (AUSTROMINERAL 1985) com a intrusão de diques (e às vezes soleiras) doleríticos. Esta idade é-lhes atribuída por cortarem basaltos e outras rochas eruptivas da fase terminal do Supergrupo do Karoo (Andrade 1929). A determinação exacta da idade ainda não foi possível por falta de datações radiométricas de idade nestas rochas. Segundo autores vários, a idade pode variar do Triásico ao Cretácico.

Na maioria dos casos, os diques ocorrem como corpos tabulares de inclinação média a elevada, encaixados nas falhas, cortando as camadas (AUSTROMINERAL 1985). As soleiras só foram observadas em poucos locais.

Os doleritos são geralmente de grão fino a médio, de cor cinzenta escura a negra. São rochas homogéneas, duras e compactas, com textura predominantemente ofítica a microlítica fina. Junto aos carvões e xistos carbonosos, o dolerito apresenta-se alterado para uma matriz mole de composição desconhecida. Por outro lado, a intrusão dos doleritos dá origem a "carvões queimados" (coque natural) numa extensão que varia consoante a largura do corpo intrusivo, mas que pode atingir até 20 m para cada lado da intrusão. O contacto dique/coque é nítido e podem ver-se todos os estados de transição para carvão não alterado.

Estes corpos doleríticos cortam também as formações sedimentares do Supergrupo do Karoo da zona da Albufeira de Cahora Bassa e é interessante notar que a composição mineralógica e a textura são muito análogas em todo o lado (Real 1966). Além das formações sedimentares do Supergrupo do Karoo, os doleritos também intruem rochas precâmblicas.

Estudos da flora fóssil apontam uma idade pérmica inferior para estas formações. Os primeiros estudos de paleobotânica da região devem-se a Zeiller (1883) que estudou fósseis vegetais colhidos em Moatize por Lapierre em 1881. Os fósseis estudados mostravam uma surpreendente semelhança com os da Europa: *Pecopteris arborescens*, *P. cyathea*, *P. unita*, *P. polymorpha*, *Callipteridium ovatum*, *Alethopteris grandini*, *Annularia stellata*, *Sphenophyllum oblongifolium*, *S. major*, *Cordaites borassifolius* e *Calamodendron cruciatum*. Estes fósseis ocorrem também nas bacias de Loire e de Grande Combe em França. Mais tarde, Gothan (1914) refere ter havido uma troca de caixotes e que as amostras estudadas por Zeiller provinham duma bacia carbonífera francesa (St. Etienne),

explicando-se assim a semelhança dos fósseis provenientes de duas regiões geograficamente tão distantes. Gothan estudou também uma colecção de fósseis da região de Moatize, colhidos por Wiese, que existia no Museu de História Natural de Berlim e verificou a ausência de fósseis do tipo "europeu" havendo sim fósseis do tipo *Glossopteris*. Além do mais, verificou ainda que as rochas que continham estes fósseis não tinham nada de parecido com as rochas contendo os fósseis estudados por Zeiller. Os fósseis identificados por Gothan (1914) são: *Glossopteris indica*, *Gl. browniana* e *Gl. brancai*. Anthoine & Dubois (1925) descrevem as mesmas espécies de *Glossopteris*, as duas últimas ocorrendo na base da Série Produtiva e a primeira em toda a série e camadas sobrejacentes a ela. Outras espécies identificadas, também em toda a Série Produtiva, são *Schizoneura africana* e *Sphenopteris lobifolia*. Acima da Série Produtiva ocorrem *Vertebraria* e *Radicitis* (Anthoine & Dubois 1922b; Borges 1935).

Teixeira (1946) refere novas espécies: *Sphenophyllum thoni*, *S. oblongifolium*, *S. verticillatum*, *Asterotheca*, *Sphenopteris alata*, *Sigillaris* (?), *Noeggerathiopsis*. Refere Teixeira (1946) que du Toit descreve ainda *Glossopteris angustifolia*, *Glossopteris retifera*, *Glossopteris ampla* e *Schizoneura gondwanensis*. Teixeira (1948) descreve outra forma de *Sphenophyllum* - *Sphenophyllum speciosum*. Além dos fósseis vegetais, Teixeira (1943b) refere a primeira ocorrência de um fóssil animal no Supergrupo do Karoo de Tete - *Estheria borgesii* - que se trata de um bivalve de diminutas dimensões (2 mm) e parece ser a forma mais antiga do género *Estheria* da África Austral. Amostras colhidas por Dubois em 1921-1922 na região de Tete foram estudadas por Høeg & Bose (1960). Além de alguns dos fósseis já referidos, há a mencionar duas espécies: *Samaropsis zambesicus* e *Cordaicarpus* (?). A Tab. 6.3 mostra as formas fósseis do Supergrupo do Karoo de Tete:

6.1.3. FORMAÇÕES RECENTES

São fundamentalmente formações aluviais dispostas ao longo das planícies aluviais dos rios. Perto da confluência do Rio Revúboè com o Rio Zambeze ocorrem, também, terraços fluviais mais antigos. Outras formações recentes referem-se a eluviões, depósitos de vertente, camadas finas de solos e rególitos.

6.2. TECTÓNICA

Como já se referiu, a Bacia Carbonífera de Moatize está alinhada ao longo dum *graben* orientado NW-SE limitado parcialmente do substrato cristalino por grandes falhas de bordadura com a mesma direcção (Fig. 6.4).

No interior do *graben* há a referir a existência de eixos de dobra - anticlinais e sinclinais - alternantes, geralmente com direcção NW-SE, isto é, os eixos de dobra estão dispostos paralelamente à direcção dominante do *graben* e das falhas de bordadura (Fig. 6.5).

A estrutura mais evidente é a Falha de Bordadura limitando o *graben* a nordeste com uma extensão de 30 km largamente exposta com uma tendência praticamente rectilínea de direcção NW-SE, inflectindo para a direcção E-W na zona sudeste do *graben* por mais cerca de 10 km (Magnee & Thonnard 1969). A sua inclinação média é de 45° SW. Segundo Magnee & Thonnard (1969), esta inclinação foi deduzida através das sondagens 164, 165 e 166 (Fig. 6.6) levadas a cabo no interior do *graben* mas perto da Falha de Bordadura, junto à intersecção desta com a falha P4 de direcção NE-SW, a NE da Vila de Moatize. A situação do bordo sudoeste do *graben* é algo diferente, já que a Falha do Monte M'Pandi só persiste por 4 km, estando constantemente interrompida, provocando o aparecimento de numerosos blocos falhados separados por rochas da Série Ígnea de Tete e Angónia. As falhas de sudoeste têm ângulos de inclinação maiores, como é o caso da falha de M'Pandi com 80° NE. De notar que os deslocamentos verticais destas falhas são da ordem dos 100 m.

Quanto a dobramentos, as inclinações dos estratos sugerem duas estruturas em anticlinal alternando com três estruturas em sinclinal abertos de eixos NW-SE. Os eixos dos anticlinais acima referidos, A1 e A2, distam cerca de 3 km um do outro. Por seu lado, o eixo A1 também dista cerca de 3 km da Falha de Bordadura. Entre a Falha de Bordadura e o anticlinal A1, as camadas estão dispostas em sinclinal (S1) com origem em dobras de arrasto. Enquanto que as camadas a NE do eixo A1 inclinam moderadamente para NE (cerca de 12° - 15°), as mesmas camadas, junto à Falha de Bordadura, inclinam para SW, por vezes com inclinações de mais de 20°. Há ainda a considerar um segundo eixo sinclinal descontínuo (S2) entre os eixos dos anticlinais A1 e A2. Este eixo S2 manifesta-se nas partes NW e SE do *graben*. No que respeita tanto os eixos dos anticlinais A1 e A2, como dos sinclinais S1 e S2, nenhum deles atinge nem o extremo NW nem o extremo SE do *graben* (Fig. 6.5). Estas estruturas têm a sua maior amplitude no centro do *graben*.

Apesar duma arquitectura falhada (Fig. 6.6), a bacia não apresenta afloramentos de embasamento no seu interior, excepto no extremo sudeste em que a ligação da bacia com a Zona de Extensão SE está interrompida por uma "crista" de rochas precâmblicas orientada NW-SE, com um comprimento de 20 km e com uma largura variando entre 4 km

e 7 km (Fig. 6.4). À volta deste afloramento, as rochas do Supergrupo do Karoo assentam quer em discordância simples, quer por contacto por falha, principalmente nos extremos NW e SE do afloramento do embasamento. Este afloramento terá a forma de um braquianticlinal com mergulhos para NW e SE, à volta do qual as camadas do Supergrupo do Karoo afloram com um padrão de traçados concêntricos (Fig. 6.7). Para noroeste, o embasamento aflora na região do Monte M'Pandi (Fig. 6.4). Este afloramento do Monte M'Pandi tem um alongamento NW-SE (novamente segundo a direcção do *graben*) de cerca de 8 km com uma largura de cerca de 1.5 km.

Além destas falhas de bordadura, há outras subparalelas (Fig. 6.4), principalmente nos extremos sudeste e sudoeste da bacia (falhas OR6, OR9, T4, E9, E14, E18, etc) e que acentuam a tendência NW-SE do *graben*. Na parte central ocorrem falhas posicionadas concentricamente (falhas T2, T2A, T5, T10, F2, Kakanga I, etc) bem como falhas transversais (falhas T7, OR10, OR13). A designação das falhas foi feita em função do nome das secções de exploração/concessão em que ocorrem (os nomes referem-se às secções definidas em 1973 - Fig. 6.2.A: T - zona Taylor; OR - zona Norte do Revúboè; E - zona de Extensão SE; F - concessão em exploração na altura); isto porque a profusão de falhas é tal que foi necessário estudá-las e referenciá-las por regiões (Magnee & Thonnard 1969).

É de notar que em relação aos domos anticlinais e ao afloramento precâmbrico do Monte M'Pandi, as falhas têm uma disposição radial.

As falhas longitudinais, as maiores, chegam a atingir 7 km e inclinam simetricamente para o centro da bacia com inclinações entre 45° e 60° e, geralmente, orientam-se paralelamente aos eixos das dobras anticlinais e sinclinais, isto é, com a direcção NW-SE. As falhas mais pequenas são as transversais e dispõem-se perpendicularmente à Falha de Bordadura, especialmente na zona do Monte M'Pandi. As falhas radiais são acompanhadas por falhas secundárias normais com inclinações de 45° NE perpendiculares às primeiras, principalmente na zona do flanco SW do sinclinal S1. Um outro sistema é o das falhas ortogonais orientadas NW-SE e seguem a zona de mergulho transversal dos anticlinais. Estas falhas parecem ser subverticais e são as únicas que apresentam uma importante componente horizontal de rejeito (Magnee & Thonnard 1969).

As falhas são do tipo normal, o que é característico das estruturas em *graben*. A estrutura intensamente falhada desta região deve estar ligada à formação gradual do Vale do Rio Zambeze para sul (AUSTROMINERAL 1985).

A intensa fracturação da bacia por falhas de dimensões variadas provoca uma situação que dificulta imenso os processos de mineração do carvão. Os trabalhos de exploração e extracção mostraram a ocorrência duma falha "a cada 50 m" com deslocamentos verticais de 10 m ou mais.

Os grandes diques doleríticos intrusivos, medindo mais de 10 km de extensão, estão confinados às zonas do Monte M'Pandi a noroeste e na zona de Calambo a sudeste e têm a orientação geral da bacia, excepção feita ao Grande Dique que ocorre na parte central da bacia (Fig. 6.8). Diques de menores dimensões ocorrem perto da falha de bordadura. O facto desta, bem como doutras de grandes dimensões, não cortarem diques poderá significar que estavam relativamente mais estáveis durante o período das intrusões doleríticas do que as falhas localizadas a sudoeste da bacia onde estão instalados os três maiores diques (falhas OR6, OR9 e T4).

Os diques têm espessuras variáveis, desde alguns centímetros a mais de 50 m. Na Zona de Extensão Sudeste, dois dos diques cortam as camadas quase paralelamente a elas, isto é, têm um aspecto de soleiras.

Quando os diques cortam as camadas de carvão, provocam nestas fenómenos de coquefacção natural em ambos os lados dos diques cuja extensão depende da espessura dos diques, mas que raramente ultrapassam 25 m para cada lado do dique. No entanto, no caso das duas "soleiras" na Zona de Extensão Sudeste, o processo de coquefacção é muito mais extenso, quer horizontalmente (ao longo do contacto dique/camada) quer verticalmente (com vários metros de espessura).

Os diques, com orientação geral NW-SE, cortam tanto o Precâmbrico como o Supergrupo do Karoo, bem como a falha de bordadura e a maioria das falhas, sem sofrer rejeito. São, portanto, posteriores à primeira fase das grandes deformações tectónicas (Magnee & Thonnard 1969). Outros diques são rejeitados por certas falhas NW-SE, o que significa que eles foram instruídos no fim da deformação tectónica. Alguns diques, contudo, intruem nas próprias falhas, aproveitando assim zonas de fraqueza naturais, significando serem contemporâneos com a etapa final da primeira fase de deformação. O Grande Dique, que corre NW-SE ao longo de todo o *graben* praticamente sempre com a mesma espessura, corta as falhas OR 10 e OR17, mas é cortado e rejeitado pela falha OR 1

Todo este processo de aparecimento de falhas normais e de diques intrusivos está ligado a um processo de distensão relacionado com a abertura do *Rift Valley* mais a norte. Após ter terminado este episódio distensivo, inicia-se um período de subida isostática que origina pequenas falhas inversas.

Para demonstrar a frequência de falhas na região, a AUSTROMINERAL (1985) procedeu a um estudo estatístico que se apresenta na Tab. 6.4.

Na zona onde ocorrem as minas Chipanga, a Camada Chipanga tem inclinações de 15° a 20° NE. Mais para nordeste, isto é, em direcção à falha de bordadura, as inclinações mudam bruscamente para 50° a 80° SW. Isto é interpretado como um sistema *step-by-step*.

Além dum dobramento de possível origem compressiva provocado pela descida em "cunha" do *graben*, o padrão de dobramento é aparentemente causado por efeito cumulativo de dobras de arrasto ao longo dos planos de falha, particularmente desenvolvido nas zonas de bordadura do *graben* e em conexão com outras falhas maiores.

A disposição dos afloramentos das camadas de carvão ao longo da Bacia Carbonífera de Moatize pode ver-se na Fig. 6.7. A disposição dos referidos afloramentos reflecte duma maneira clara a existência dos eixos de dobra de tendência geral NW-SE. Por outro lado, junto ao contacto com as rochas precâmblicas, a disposição dos afloramentos das camadas de carvão é paralela aos referidos contactos. Veja-se, por exemplo, o caso da Secção 4, em que as camadas de carvão bordejam paralelamente o falso *horst* precâmbrico que interrompe a continuidade da Bacia Carbonífera de Moatize.

A orientação destas estruturas - falhas, diques, eixos de dobras - pode ver-se nos diagramas de rosetas das Fig. 6.9 (eixos de dobras), Fig. 6.10 (diques doleríticos) e Fig. 6.11 (falhas). Na Fig. 6.12 apresenta-se outro diagrama de rosetas, desta feita referente às direcções das linhas dos afloramentos das camadas de carvão no *graben* de Moatize. O diagrama de roseta referente aos eixos de dobra mostra claramente a direcção preferencial N45°W (ou seja NW-SE), com duas outras direcções adjacentes de N35°W e N55°W. No que respeita aos diques doleríticos, verifica-se uma predominância de direcções NNW-SSE, ou seja, subparalelas da direcção principal do *graben*. As falhas não mostram nenhuma direcção preferencial, reflectindo as direcções dos vários tipos de falhas (longitudinais, transversais, ortogonais e radiais). Quanto ao diagrama referente às camadas (Fig. 6.12), é de notar a direcção preferencial N25°W, ou seja, com uma tendência próxima da direcção

preferencial do *graben*. A existência de outros picos menores reflecte não só a disposição concêntrica das camadas de carvão à volta dos afloramentos precâmbrios como também a curvatura das mesmas camadas por força das dobras.

Considerando que o *graben* de Moatize está dividido em secções, em consequência da inúmera quantidade de falhas que o cortam, cada uma destas secções foi por nós analisada em termos de orientação de falhas, de diques, de eixos de dobras e de camadas de carvão. Assim, construímos diagramas de rosetas para cada uma destas estruturas em cada secção. Nas Figs. 6.13 a 6.16, os diagramas referem-se às respectivas secções para se poder comparar visualmente.

A Fig. 6.16. representa os diagramas de rosetas para os eixos de dobra sinclinal e anticlinal. A Secção Além Revúboè apresenta eixos anticlinais com tendência preferencial de N35°W, denotando concordância com a tendência NW-SE do *graben*. Contudo, a roseta apresenta outras direcções N15°W e N65°W que resultam da curvatura dos eixos ao longo da sua extensão. A direcção N40°E representa um eixo de anticlinal que corre paralelo à falha OR 10 e perpendicularmente à direcção predominante do *graben*. As Secções 5 e Central, englobadas no mesmo diagrama apresentam os eixos de dobra (anticlinal e sinclinal) com direcção N45°W, ou seja, perfeitamente concordante com a direcção do *graben*. O mesmo se passa com a Secção 3, situada a SW da Secção Central e contígua a esta, em que os eixos sinclinal e anticlinal, que têm direcção preferencial N35°W, correm paralelamente à Falha do Monte M'Pandí. Esta mesma direcção de N35°W ocorre para o sinclinal da Secção 4. Na Secção em Exploração (Secção 6), onde se encontra a maioria das minas Chipanga, só se encontra um eixo sinclinal que corre subparalelo à Falha de Bordadura e apresenta a direcção preferencial N55°W, com outras direcções entre a anterior e a E-W, resultado da arquitectura muito falhada da Secção. A Secção 1, que se estende NE-SW, ou seja, perpendicularmente à direcção do *graben*, tem o eixo sinclinal com esta mesma direcção - N35°E. A oriente desta Secção 1 ocorre um "núcleo" de rochas precâmbrias que interrompe o *graben*. Na Secção 2A e na Secção Calambo (ou Zona de Extensão SE), os eixos sinclinais têm direcção preferencial N45°-55°W e são paralelos à Falha de Bordadura. Contudo, a Secção Calambo apresenta um sinclinal N5°E no seu extremo mais oriental. Nas Secções 2B, 2C e 2D não foram cartografados eixos de dobra. No global, à excepção da Secção 1, os eixos de dobra em cada secção seguem a tendência geral do *graben*.

A Fig. 6.14 refere-se aos diques doleríticos. Como se pode ver dos vários diagramas de roseta, as várias secções apresentam direcções preferenciais subparalelas à direcção preferencial do *graben*. Contudo, a direcção é mais NNW-SSE do que NW-SE, à excepção das Secções 5, Central, 2A e 2B a D. As Secções 5 e Central e 2A têm diques com orientação NW-SE - N35°-45°W. Na Secção 3, além da de direcção NNW-SSE, há ainda uma direcção N25°E resultado da "bifurcação" do dique com a direcção NNW-SSE. As Secções 2B a 2D, se bem que mostrem algumas tendências NNW-SSE, têm como direcção preferencial a N5°E e outra praticamente E-W, ou seja, quase perpendicular à anterior, ambas as direcções paralelas às falhas de contacto entre as formações do Supergrupo do Karoo e do Precâmbrico. De notar que muitos destes diques cortam também o Precâmbrico e estes têm como direcção dominante a NNW-SSE. Considerando as secções individualmente, a tendência geral é comum, à excepção das Secções 3 e 2B-2D.

No que respeita às falhas (Fig. 6.13), os padrões parecem ser algo mais heterogéneos que o dos diques e dos eixos de dobras, devido à arquitectura multi-falhada do *graben* de Moatize. Considerando secção por secção, podemos ver o seguinte:

- Secção Além Revúboè: direcção dominante N55°W, correspondente às falhas OR 1, OR 2 e OR 3; a direcção N5°E corresponde às falhas OR 4, OR 5 e OR 14; a direcção N35°E corresponde às falhas OR 10, OR 12 e OR 13;
- Secções 5 e Central: direcção dominante N45°W; outras direcções preponderantes N55°E e N45°E;
- Secção 3: direcção dominante N55°E, perpendicular à Falha do Monte M'Pandi e N40°W correspondente à Falha do Monte M'Pandi;
- Secção 4: direcção dominante N45°W e N50°E, perpendicular à anterior;
- Secção em Exploração (Secção 6): direcção dominante N45°E, perpendicular à Falha de Bordadura N45°W, paralela à Falha de Bordadura;
- Secção 1: sem direcção predominante. A secção encontra-se grandemente falhada, quer com falhas perpendiculares quer paralelas à Falha de Bordadura;
- Secção 2A: direcção predominante N55°E, correspondente às falhas E 1, E 2, E 3, E 4, E 5 e E 6; outra direcção de destaque é a N55°W, subparalela à Falha de Bordadura;
- Secções 2B a 2D: têm N35°W como direcção dominante, correspondente às falhas E 14, E 17 e E 18;
- Secção Calambo: há duas direcções principais, uma N55°W e outra N45°E, havendo contudo outras direcções com alguma preponderância.

As falhas que cortam o Precâmbrico, quer na continuação de falhas que cortam o Supergrupo do Karoo, quer falhas que se encontram só no Precâmbrico, têm como direcção dominante E-W, sendo a direcção N15°E também preponderante.

A Fig. 6.16 mostra os diagramas de roseta referentes às direcções dos afloramentos das camadas de carvão. A Secção Além Revúboè apresenta as direcções N35°W e N75°W; as Secções 5 e Central, devido às inúmeras falhas, têm várias direcções dominantes, a saber: N45°W, E-W e N-S. A Secção 3 tem as camadas dispostas paralelamente às falhas de contacto entre o Supergrupo do Karoo e o Precâmbrico, isto é, N25°W. A Secção 4 tem duas direcções dominantes: N45°W e N55°E. A Secção 6 tem o N65°W como direcção dominante. Na Secção 1 domina o N20°E. A Secção 2A tem o N55°W como direcção dominante, havendo outras entre N15°W e N35°W. As Secções 2B a 2D têm como direcção dominante N25°W e outra N75°E. Na Secção Calambo domina o N25°W, havendo direcções N-S e E-W com alguma predominância.

6.3. CAMADAS DE CARVÃO

Como já tem sido referido, na Bacia Carbonífera de Moatize ocorrem vários complexos carbonosos, na prática designados por "camadas" de carvão, das quais as mais interessantes sob o ponto de vista económico ocorrem na Série Produtiva. São elas, da base ao topo da Série: Sousa Pinto, Chipanga, Bananeiras, Intermédia, Grande Falésia e André. Das várias secções em que se encontra dividida a Bacia de Moatize, só as Secções 4, 5 e 6 apresentam a ocorrência das 6 camadas em simultâneo. A camada Intermédia falta na Secção 3 e a camada Grande Falésia falta nas Secções 2 e 3.

Nas Secções 4, 5 e 6, acima da Camada André, ocorre ainda uma camada, já não pertencente à Série Produtiva e chamada Eric. Ainda na Secção 6 ocorre uma outra camada, conhecida por Camada 8. Ambas estas duas camadas não têm interesse económico.

Quanto à importância económica, as camadas mais interessantes são: Chipanga, Bananeiras e Grande Falésia (AUSTROMINERAL 1985).

6.3.1. CAMADA SOUSA PINTO

É constituída por uma alternância rítmica de bancadas de carvão e de estéril heterogeneamente distribuídas ao longo de toda a bacia. As bancadas de carvão não são constituídas por carvão com poucas impurezas minerais, sendo sim formadas por intercalações de carvão e carbargilito. O estéril é formado por pelitos que podem atingir 2

m de espessura. A espessura da camada Sousa Pinto varia de 1.22 m a 85.60 m (Projecto Integrado 1991). Um aspecto importante desta camada a referir é a ocorrência de níveis de tufitos e de rochas piroclásticas intercaladas, quer no topo, quer na base da camada, nas secções em contacto com o *horst* na bordadura a SW da bacia.

6.3.2. SEQUÊNCIA INTERCALAR ENTRE SOUSA PINTO E CHIPANGA

É de constituição fundamentalmente pelítica, relativamente constante e uniforme. Os pelitos são geralmente ferruginosos e com intercalações de níveis margosos e conglomeráticos (Projecto Integrado 1991). Contudo, ao longo da Bacia de Moatize, há variações laterais e verticais na litologia. Assim, na Secção 2A podem encontrar-se arenitos micácios finos e na Secção 6 podem encontrar-se arenitos grosseiros com conglomerados, bem como argilitos com material tufáceo. Também nesta secção é de referir a ocorrência de concreções de siderite/hematite e, imediatamente por baixo da camada Chipanga, há um horizonte muito rico em pirite e em fósseis vegetais. A espessura desta sequência varia entre 30 m e 50 m.

6.3.3. CAMADA CHIPANGA

É a mais espessa de todas as camadas e a que apresenta maior homogeneidade de distribuição ao longo de toda a Bacia de Moatize. É composta por uma alternância de bancadas de carvão e de pelitos, havendo uma secção basal de carvão bastante homogénea com uma espessura média de 4-5 m que contém, contudo, matéria mineral intercrescida muito fina. Na realidade, é esta secção basal que tem vindo a ser explorada ao longo de todos estes anos. A camada Chipanga tem uma espessura que varia de 24 m a 65 m, com um valor médio de 30 m. Acontece, no entanto, que em determinadas zonas da Bacia, a camada Chipanga sofre um *split*, havendo um *interburden* arenoso que pode atingir 50 m de espessura (Projecto Integrado 1991).

6.3.4. SEQUÊNCIA INTERCALAR ENTRE CHIPANGA E BANANEIRAS

É constituída por dois horizontes distintos: o horizonte inferior é muito heterogéneo e constituído por intercalações de arenitos finos a grosseiros e siltitos; o horizonte superior é constituído por pelitos com níveis arenosos e carbonosos, estes últimos podendo atingir 1.60 m de espessura, tornando-se verdadeiras bancadas individualizadas (Projecto Integrado 1991). Na Secção 6 há a referir dois níveis de carvão conhecidos por Chipanga Oberbegleiter (na base) e Bananeiras Unterbegleiter (no topo). A espessura desta

sequência é muito variável de secção para secção, desde os 6.76 m aos 121 m (ambos os valores extremos na Secção 6)

6.3.5. CAMADA BANANEIRAS

Podem distinguir-se 3 zonas dentro desta camada: a parte basal, com espessuras acima de 1 m, é bastante homogénea e composta de vitrino; a parte intermédia é mais fina, com menos de 0.50 m de espessura e tem intercalações de pelitos que podem atingir mais de 1 m de espessura; a parte superior nem sempre ocorre, é muito fina e tem muitas intercalações de estereis. A camada ocorre ao longo de toda a Bacia Carbonífera de Moatize, com espessuras variando de 3.05 m a 57.45 m (Projecto Integrado 1991). De referir que esta camada não foi ainda encontrada na Secção 3

6.3.6. SEQUÊNCIA INTERCALAR ENTRE BANANEIRAS E INTERMÉDIA

É uma sequência muito heterogénea ao longo da toda a Bacia, mas é fundamentalmente constituída por pelitos havendo bancadas de arenitos na zona central da Bacia (Projecto Integrado 1991). A espessura é variável, desde os 5.5 m aos 54.5 m.

6.3.7. CAMADA INTERMÉDIA

Camada de constituição muito heterogénea no que respeita à espessura e à composição. São frequentes bancadas de pelitos com mais de 1 m de espessura. A distribuição do carvão ao longo da camada é variável, desde zonas muito ricas em argilito com muito pouco carvão a zonas constituídas por alternância regular entre argilito e carvão. A espessura varia de 1.25 m a 21 m (Projecto Integrado 1991). Em algumas Secções (1 e 2A) a camada encontra-se intruída por uma soleira dolerítica que afecta termicamente o carvão, diminuindo o seu interesse económico.

6.3.8. SEQUÊNCIA INTERCALAR ENTRE INTERMÉDIA E GRANDE FALÉSIA

A sequência entre estas duas camadas é arenosa na base, gradando para pelítica no topo (Projecto Integrado 1991). Na Secção 6 há a referir a existência duma camada de carvão com 0.50 m a 2 m de espessura, a alguns metros acima da camada Intermédia, a que se dá o nome de Intermédia Oberbegleiter.

6.3.9. CAMADA GRANDE FALÉSIA

É constituída por uma alternância monótona entre pelitos e carvão, cujos leitos têm espessuras inferiores a 0.30 m, havendo contudo alguns leitos de carvão atingindo mais de 0.50 m. O vitrino é mais abundante na parte basal da camada. A espessura varia de 4.5 m e 21.6 m (Projecto Integrado 1991). Na Secção 5 encontra-se parcialmente erodida.

6.3.10. SEQUÊNCIA INTERCALAR ENTRE GRANDE FALÉSIA E ANDRÉ

A sequência entre estas duas camadas é silto-arenosa, predominando na base os siltitos sobre os arenitos e no topo predominam os arenitos sobre os siltitos (Projecto Integrado 1991). A espessura é variável, desde 13.9 m a 66.3 m.

6.3.11. CAMADA ANDRÉ

É uma camada bastante homogénea, onde predomina o vitrino na base. Apresenta alguns níveis arenosos finos. A espessura varia entre 0.60 m e 8.35 m (Projecto Integrado 1991). À semelhança da anterior, a camada André encontra-se parcialmente erodida nas Secções 4 e 5.

Enquanto que todas as outras camadas apresentam maiores espessuras na Secção Central da Bacia Carbonífera de Moatize, a Camada André apresenta uma espessura mínima.

6.3.12. SEQUÊNCIA ACIMA DA CAMADA ANDRÉ

Por cima da camada André ocorre uma sequência de conglomerados finos a arenitos médios e duas camadas de carvão, a primeira das quais, de nome Eric, pode atingir espessuras de 15.9 m (Secção 5). Ambas as camadas não têm interesse económico, sendo a sua espessura muito variável com intercalações estratiformes e lenticulares de arenito.

7. AMOSTRAGEM

A colheita de amostras de carvão foi feita durante uma deslocação a Moatize em 1989 (Vasconcelos 1989) e levada a cabo pelo autor em conjunto com um geólogo da ex-RDA na altura em serviço na CARBOMOC E.E.

A localização e a quantidade dos pontos de amostragem foram determinados e escolhidos tendo em consideração os seguintes aspectos:

- Objectivos definidos inicialmente para o trabalho em 1989 em conjunto com o Supervisor, a saber: estudo clássico da bacia carbonífera no que respeita à petrologia dos carvões, tendo em vista o conhecimento da bacia em si, incluindo considerações genéticas, as implicações para as aplicações tecnológicas nas melhores condições dos carvões e/ou das suas fracções obtidas através do tratamento;
- Minas na altura em laboração e/ou manutenção;
- Dados prévios sobre a qualidade do carvão de cada mina;
- Distância minimamente razoável entre os pontos de amostragem dentro de cada mina, tendo em conta a acessibilidade das galerias;
- Frentes de abertura recente para garantir a colheita de amostras frescas;
- Acessibilidade das galerias das diversas minas e das próprias minas;
- Verbas existentes, tendo em consideração o peso das amostras e as enormes distâncias com transporte desde Moatize até à Beira e, mais tarde, até Portugal.

Assim, foram escolhidas três das 11 minas e, dentro de cada mina, dois pontos de amostragem.

Posteriormente à colheita, as amostras foram referenciadas com um código de acordo com a mina amostrada. O código consta da letra "T" (que significa Tambor) seguida do número da mina e do número do ponto de amostragem. Por exemplo, a amostra T3-2 foi colhida na mina Chipanga III e no segundo ponto de amostragem.

As colheitas foram as seguintes:

Mina Chipanga III (Fig. 7.1)

Cota da superfície: 150 m

Ponto 1: Amostra T3-1: Desmorte 22, piso 235 W; cota aproximada: 110 m abaixo da superfície^(7.1);

Ponto 2: Amostra T3-2: Desmorte 20, piso 235 W; cota aproximada: 110 m abaixo da superfície^(7.1);

Distância entre os dois pontos em linha recta: 30 m^(7.2)

Mina Chipanga IV (Fig. 7.2)

Cota da superfície: 138 m

Ponto 1: Amostra T4-1: Via 220 inferior; cota aproximada: 26 m abaixo da superfície^(7.1);

Ponto 2: Amostra T4-2: Volta de ar 30, a 8 m a norte da Via 210 inferior; cota aproximada: 37 m abaixo da superfície^(7.1);

Distância entre os dois pontos em linha recta: 77 m^(7.2).

Mina Chipanga VIII (Fig. 7.3)

Cota da superfície: 204 m

Ponto 1: Amostra T8-1: Via 150; cota aproximada - 60 m abaixo da superfície^(7.1);

Ponto 2: Amostra T8-2: Via 150 inferior; cota aproximada - 48.5 m abaixo da superfície^(7.1);

Distância entre os dois pontos em linha recta: 80 m^(7.2).

Em todos os casos, as amostras colhidas foram do tipo *amostras em canal*, isto é, do tecto ao muro da galeria retirou-se uma coluna da hastial perpendicularmente à estratificação, com uma largura de 50 cm e uma profundidade de 15 cm. A altura variou de 1.60 m (Chipanga III - Ponto 2) a 2.40 m (Chipanga IV e Chipanga VIII - Pontos 1), em função da altura da galeria em cada ponto de amostragem. A largura do *canal* no pilar a retirar foi marcada com giz. Com base nisto, obtiveram-se cerca de 1100 kg de carvão (Tab. 7.1).

Para a colheita das amostras procedeu-se, inicialmente, com o auxílio duma picareta, à limpeza da parede da galeria a amostrar com o objectivo de eliminar possíveis zonas de carvão alterado e/ou sujo e obter uma superfície composta de carvão o mais limpo

7.1 Valor calculado no mapa da lavra tendo em conta os pontos cotados mais próximos à volta do ponto amostrado.

7.2 Valor calculado no mapa da lavra tendo em conta a escala.

e o mais plana possível. Colocou-se um oleado grande no chão da galeria no ponto da hastial a escavar para onde iam caindo os pedaços de carvão. O oleado tinha a função de, não só facilitar a recolha do carvão, como também de evitar contaminações com as partículas de carvão existentes no chão da galeria. Posteriormente, o carvão foi colocado em sacos de pano (cerca de 20 kg em cada saco) para facilitar o transporte para a superfície através da tela transportadora.

Considerando que em Moatize a única camada a ser explorada é a Camada Chipanga, foi só sobre esta camada que incidiu a amostragem e só sobre o seu banco inferior (cerca de 4 m), já que só esta parte é extraída e as galerias foram abertas ao longo dela.

As Figs 7.1, 7.2 e 7.3 mostram plantas parciais das três minas e a localização dos pontos de amostragem, ou seja, uma média de 181 kg por ponto de amostragem e 362 kg por mina.

Tendo em vista as grandes distâncias a que as amostras teriam de ser transportadas (Tete-Beira via Zimbábwè e depois Beira-Lisboa por barco) e o enorme tempo que duraria esse transporte, e para evitar ao máximo a oxidação do carvão, as amostras foram condicionadas em água em tambores de combustível, num total de seis, um para cada ponto de colheita

Por fim, é de referir que a amostragem, embora não tendo seguido nenhuma Norma particular, já que as mesmas não estavam disponíveis em Moçambique na altura, está minimamente conforme com o que está prescrito na norma ASTM D 4596 (1986).

8. PREPARAÇÃO LABORATORIAL DAS AMOSTRAS

8.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO USADO PARA A PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE CARVÃO

A manipulação dos tambores com vista às amostras nelas contidas poderem ser estudadas e analisadas sob vários pontos de vista, foi levada a cabo em várias fases, passando pela a abertura dos tambores e secagem das amostras, pela peneiração e pela moagem. Na Fig. 8.1 é apresentado o organigrama geral de preparação das amostras contidas nos tambores. Passamos a descrever as várias fases, chamando a atenção para o facto de que, após cada fase da preparação das amostras, procedeu-se à limpeza do local com jacto de água, para se evitarem contaminações.

8.1.1. 1ª FASE: ABERTURA DOS TAMBORES

Os tambores foram cuidadosamente abertos, tirando muito lentamente o boião, para que qualquer gás que porventura se tivesse acumulado ao longo do tempo, pudesse sair sem causar problemas de explosão. De notar que a quantidade de gás saída de todos os tambores foi extremamente pequena, o que, *a priori*, está de acordo com o grau de incarbonização conhecido para estes carvões^(8.1).

Os tambores foram colocados em cima de uma estrutura metálica montada para o efeito, deitados e levemente inclinados para o lado do boião para que, quando abertos, pudessem facilitar a saída da água (Fig. 8.2).

Inicialmente, com um punção, fizeram-se dois buracos na base da tampa e provocando-se um jacto de água com partículas de carvão que caía em cima dum peneiro de 0.5 mm montado num recipiente de plástico para que, neste, se pudesse recolher a água com os finos <0.5 mm. O objectivo desta operação foi separar a fracção <0.5 mm do resto para ver a sua quantidade e se decidir se valeria a pena ou não efectuar a operação para todos os tambores a abrir. Neste processo, a água com finos saída do tambor encheu o recipiente de plástico, água essa que a seguir foi transferida para dois bidões iguais com a

8.1 Como se sabe, durante o processo de incarbonização, a matéria orgânica em transformação vai sofrendo alterações químicas e físicas que resultam na perda de alguns constituintes químicos e no enriquecimento de outros, bem como na variação das suas propriedades físicas. Assim, por exemplo, a evolução da vitrinite caracteriza-se por quatro (4) saltos de incarbonização (Teichmüller 1982). Os saltos de incarbonização são variações bruscas nas propriedades dos macerais ou fases em que se manifestam alguns fenómenos como, por exemplo, a libertação de hidrocarbonetos. No caso que nos interessa - o segundo salto da incarbonização - há libertação de gases, entre eles o metano. Este salto corresponde a um poder reflector da vitrinite de 1.2% em que se liberta um máximo de hidrogénio na forma de metano a partir das liptinites (Teichmüller 1982). Ora, é sabido que nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, as vitrinites têm um poder reflector normalmente superior a 1.3%, ou seja, acima do pico máximo de libertação de hidrogénio. Daqui o facto de se ter verificado pequena acumulação de gás nos tambores.

capacidade de 50 litros cada. Estes bidões foram deixados em repouso para que os finos pudessem assentar.

As tampas dos tambores foram tiradas, por meio de punção, até quase à base de modo a poder-se tirar o carvão e evitar que ele caísse ao chão, após o que o carvão foi transferido para 4 bidões de 50 litros cada, logo fechados para protecção e posterior pesagem.

Com uma escova mole limpou-se o carvão que ficou agarrado às paredes interiores e fundo dos tambores e juntou-se ao carvão de um dos bidões. O carvão que ficou retido no peneiro 0.5 mm também se juntou ao mesmo bidão anterior. Os bidões foram numerados do seguinte modo:

- a) bidões com água+finos <0.5 mm: A1 e A2;
- b) bidões com carvão do tambor: B1, B2, B3 e B4.

A recolha da fracção retida no peneiro 0.5 mm só foi levada a cabo para o primeiro tambor (amostra T3-2), isto porque a quantidade de finos saídos neste tambor era pequena que não justificou a repetição da operação.

8.1.2. 2ª FASE: SECAGEM DO CARVÃO

Para a secagem do carvão retirado dos bidões foi construída uma estrutura metálica provisória com telhado de plástico (Fig. 8.3). Para evitar a entrada lateral de águas da chuva, a estrutura foi envolvida por plástico grosso, plástico este que também foi estendido no chão para posteriormente se poder espalhar o carvão.

Seguidamente os bidões foram pesados vazios e, por diferença, foi determinada a quantidade de carvão húmido.

Periodicamente, o carvão foi revolvido com uma pá para que o que ainda estava húmido passasse para a superfície. Após a secagem total, o carvão foi, de novo, colocado nos bidões B1 - B4 e estes pesados mais uma vez. Deste modo, foi possível determinar a percentagem, em peso, de humidade perdida.

No que concerne aos bidões com água+finos (<0.5 mm) referente à amostra T3-2, o processo de assentamento dos finos durou cerca de 3 dias, após o que a água foi retirada pelo processo do sifão, tendo-se usado um tubo de borracha fino para que o fluxo de água a sair não fosse forte e não levantasse os finos.

8.1.3. 3ª FASE: PENEIRAÇÃO

Foram previamente pesados mais bidões vazios de 50 litros para se guardarem as fracções resultantes da peneiração.

Os peneiros utilizados correspondem às seguintes aberturas: 0.5 mm, 1 mm, 5 mm, 11.2 mm, 25 mm, 50 mm e 90 mm. Deste modo, obtiveram-se oito (8) fracções granulométricas:

1: <0.5 mm	5: 11.2 - 25 mm
2: 0.5 - 1 mm	6: 25 - 50 mm
3: 1 - 5 mm	7: 50 - 90 mm
4: 5 - 11.2 mm	8: >90 mm

Como o peneiro 11.2 mm não se ajustava ao peneiro 5 mm, apesar de pertencerem ao mesmo jogo de peneiros, a peneiração teve de ser feita em duas fases. A agitação dos peneiros, por não haver agitadores mecânicos próprios para o tamanho destes peneiros, teve de ser feita manualmente.

Os finos dos bidões A1 e A2 (<0.5 mm) relativos à amostra T3-2, ainda embebidos em água, foram centrifugados nas seguintes condições: 10 minutos e 3000 rpm. O pó foi posto numa cápsula de porcelana e deixado a secar durante cerca de 6 dias num nicho.

8.1.4. 4ª FASE: MOAGEM DAS FRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS >25 mm A <25 mm

Num moinho de maxilas cada uma das fracções de granulometria >25 mm foi moída a <25 mm e os resultados das respectivas moagens colocados em bidões de 50 litros referenciados com as dimensões das respectivas fracções:

8.1.5. 5ª FASE: PENEIRAÇÃO DAS FRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS MOIDAS A <25 mm

Procedeu-se em seguida à peneiração das FGs^(8.2) moídas a <25 mm, utilizando-se para o efeito um jogo de peneiros com as seguintes aberturas: 0.5 mm - 1 mm - 5 mm - 11.2 mm.

De cada uma das FGs peneiradas, resultaram cinco (5) SFGs:

<0.5 mm	0.5 - 1 mm	1 - 5 mm	5 - 11.2 mm	11.2 - 25 mm
---------	------------	----------	-------------	--------------

8.1.6. 6ª FASE: MOAGEM A <3 mm E <1 mm E QUARTILHAMENTO(S)

Uma vez que a maioria das análises a efectuar - químicas, físicas, mecânicas, microscópicas, etc. - necessitam de granulometrias <1 mm, decidiu-se moer todas as fracções e subfracções com granulometrias >5 mm e <25 mm no moinho de maxilas com a abertura mais pequena das maxilas, abertura esta que, na nossa aparelhagem, produz partículas com granulometria ≤ 3 mm.

Após este processo, e porque as quantidades de algumas F/SFGs eram muito grandes, tornou-se necessário proceder-se ao seu quartilhamento. Consoante as quantidades das F/SFGs, o número de vezes vezes que se procedeu ao quartilhamento foi variável. Assim, algumas F/SFGs foram quartilhadas de modo a obter-se 1/4 das quantidades iniciais, e outras de modo a obterem-se 1/8, 1/16 ou 1/64 das quantidades iniciais.

Algumas F/SFGs foram quartilhadas sem serem moídas a <3 mm (por terem já granulometria entre 1 - 5 mm) nem a <1 mm (por terem já, naturalmente, uma granulometria <1 mm). Para o quartilhamento utilizaram-se em simultâneo, quer um quartilhador (Fig. 8.4), quer o método do cone.

Depois do processo de quartilhamento, os respectivos quartis foram moídos a <1 mm com o auxílio de um moinho de café manual quando a quantidade era pequena, e um moinho eléctrico, para maiores quantidades. O objectivo da moagem manual de pequenas quantidades é o de evitar a formação de excessiva quantidade de finos.

8.2 Chama-se de novo a atenção para o significado das abreviaturas FG, SFG e F/SFG, respectivamente fracção granulométrica, subfracção granulométrica e fracção/subfracção granulométrica

As FGs quartilhadas e moídas foram posteriormente guardadas em sacos plásticos de paredes duplas, para protecção. Após estas operações, procedeu-se à reconstituição das seguintes FGs:

- a) 25-50 mm moída a <25 mm;
- b) 50-90 mm moída a <25 mm;
- c) >90 mm moída a <25 mm;
- d) Carvão total.

Para isto foi necessário calcular as percentagens de cada SFG das fracções a) a c) e das FGs e SFGs para d).

8.2. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA OBSERVAÇÃO MICROSCÓPICA

8.2.1. INTRODUÇÃO

Para a preparação de amostras em grão a serem observadas ao microscópio em luz reflectida com vista à análise petrográfica, foram necessários os seguintes materiais:

1. agente aglutinador - mistura de resina de embeбimento e endurecedor para a feitura de pastilhas de amostras em grão;
2. balança;
3. copos graduados - para misturar a resina com o endurecedor;
4. espátula/colher - para colheita das tomas da amostra;
5. exsiccador;
6. gravador de amostras;
7. moldes de plástico com fundo amovível - para a mistura do agente aglutinador com o carvão;
8. vareta de vidro/espátula de madeira - para homogeneizar a resina e o endurecedor;
9. estufa com vácuo - para tirar as bolhas de ar que surgem aquando da mistura da resina com o carvão e para secagem final das amostras;
10. aparelho de ultrassons - para limpeza das amostras após cada fase de desgaste e de polimento;
11. compressor de ar - também para limpeza das amostras após cada fase de desgaste e de polimento, em substituição do aparelho de ultrassons;
12. máquina de desgaste e polimento - quer para processamento manual, quer para processamento automático;
13. discos metálicos de diâmetros $\phi = 30$ cm (desgaste) e $\phi = 20$ cm (polimento);

14. lixas autocolantes circulares ($\phi = 30$ cm) de carboneto de silício de granulometrias decrescentes (220#, 300#, 500#, 1000# e 4000#) - fase de desgaste;
15. panos de polimento Texmet - fase de polimento;
16. panos de polimento de seda - fase de polimento;
17. aluminas (abrasivos) de polimento $0.3 \mu\text{m}$ e $0.05 \mu\text{m}$;
18. microscópio de luz reflectida com objectivas a seco ou lupa - para controlo periódico das fases de desgaste e polimento;

Como norma de orientação para a feitura de amostras em grão seguiu-se, na medida do possível, o exposto na Norma Portuguesa NP 3608 (1992). Algumas das especificações da respectiva norma não puderam ser cumpridas por inexistência do material adequado ou porque a utilização dos processos descritos não permitia a obtenção de amostras com grau de polimento suficientemente bom.

8.2.2. PREPARAÇÃO DOS MOLDES

De início, os moldes foram limpos e lavados convenientemente para evitar qualquer contaminação de amostras anteriores e poeiras atmosféricas. Para isto utilizou-se ar comprimido. Em seguida, numeraram-se os moldes (Tab. 8.1) e dispuseram-se alinhados em cima dum papel de tamanho conveniente.

As amostras, tendo sido já preparadas anteriormente à granulometria exigida (<1 mm) e seca ao ar^(8.3), conforme a NP 3608 (1992), foram convenientemente homogeneizadas antes de serem colocadas nos moldes, de modo a que a toma a ser preparada fosse representativa do todo. Após isto, com uma colher ou uma espátula, pôs-se cada toma no respectivo molde.

8.2.3. PREPARAÇÃO DA RESINA DE AGLUTINAÇÃO

Para a montagem das amostras foi necessário preparar-se primeiro o meio aglutinador das amostras em pó.

Utilizou-se para isso resina epoxídica EPOFIX HQ da Struers^(8.4) e um endurecedor líquido EPOFIX HQ também da Struers^(8.5). Quando a temperatura ambiente é baixa, a resina encontra-se bastante viscosa, o que pode dificultar a homogeneização com o endurecedor. Para evitar esta situação, deve colocar-se a resina numa estufa à temperatura

8.3 A secagem destina-se a evitar que a água da amostra possa interferir com o meio aglutinador (NP 3608 1992).

8.4 Características técnicas (Struers S.d.b): ponto de ebulição $>200^\circ\text{C}$; densidade 1.20; nenhuma solubilidade na água.

8.5 Características técnicas (Struers S.d.a): ponto de ebulição 285°C ; densidade 0.97; nenhuma solubilidade na água.

de cerca de 40° C para a fluidizar um pouco. Para se obter uma preparação bem feita, tornou-se necessário fazer uma mistura na proporção de 90% de resina para 10% de endurecedor. Num copo de pyrex juntaram-se 180 ml de resina com 20 ml de endurecedor (200 ml no total), quantidade calculada como suficiente para os 21 moldes necessários para a amostra T3-2. A seguir, com uma vareta de vidro, misturaram-se muito bem estes dois componentes. Como resultado, no seio da mistura apareceram inúmeras bolhas de ar as quais, devido à viscosidade do líquido, tinham alguma dificuldade em se libertarem. Para apressar a libertação das bolhas ar, o copo foi imerso no aparelho de ultrassons durante alguns minutos.

8.2.4. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após a preparação da resina, despejou-se em cada molde uma quantidade suficiente para tapar a amostra de carvão. Em seguida, com um *clip*, misturou-se muito bem a amostra com a resina até se obter uma pasta homogénea e viscosa. O processo inverso, isto é, primeiro deitar-se a resina e depois ir-se deitando o carvão, deu melhores resultados de mistura que o primeiro processo.

Como ambos os processos provocaram o aparecimento de inúmeras bolhas de ar, tornou-se necessário colocar as amostras dentro duma estufa de vácuo para que as bolhas de ar pudessem libertar-se. As condições utilizadas foram: Pressão: 400 mmHg; Temperatura: 50°C; Tempo: 10 min.

A temperatura acima da ambiental destinou-se a aumentar a velocidade de presa do agente aglutinador. Esta temperatura, associada à pressão utilizada, facilitou a libertação das bolhas de ar acima referidas. No entanto, para se encontrarem estes valores de P,T, foi necessário proceder-se a algumas tentativas, pois uma pressão de vácuo mais baixa, provocou uma libertação acelerada das bolhas de ar que levaram atrás de si as partículas de carvão, provocando um empolamento da mistura. Por outro lado, uma temperatura mais alta provocou um endurecimento mais rápido do agente aglutinador, impedindo a libertação das bolhas de ar. Como resultado disto, a pastilha ficou com o aspecto duma escória esponjosa.

Após este processo, o resto da mistura aglutinadora foi vertida nos moldes até mais ou menos 1/2 ou 3/4 de altura. Não convém encher totalmente os moldes para que não seja muito difícil tirar a amostra.

Seguidamente, as amostras foram deixadas em repouso por um período de 24 h para que a resina pudesse solidificar convenientemente.

Após este período, as amostras foram tiradas dos moldes com um taco de madeira e um martelo. Seguidamente, os "cilindros" foram imediatamente numerados com um gravador nas suas partes laterais. Os "cilindros" apresentavam-se com limites muito irregulares que foi preciso limar, não só para evitar que as lixas fossem rompidas, como para que o preparador as pudesse agarrar sem se magoar.

Para limar as arestas do "cilindro" utilizou-se um disco de lixa de carboneto de silício de granulometria 200# (STRUERS) e diâmetro $\phi = 30$ cm montado num disco rotativo PLANOPOL a alta velocidade e com lubrificação a água. Com esta lixa limou-se a base da amostra e a superfície a observar para facilitar as fases seguintes do polimento. Para que os bordos da superfície da amostra não riscassem nem rasgassem as lixas mais finas das fases seguintes, bem como os panos de polimento, os bordos do "cilindro" foram também limados. Após isso numeraram-se as amostras também na base.

Segue-se o chamado pré-polimento com duas passagens por discos de lixa de carboneto de silício de granulometrias 500# e 1000# (STRUERS) e diâmetro $\phi = 30$ cm montados num disco rotativo PLANOPOL a alta velocidade e com lubrificação a água. Alternativamente, também se utilizaram lixas de granulometria 320# (entre a 220# e a 500#) e 4000# (após a 1000#).

Segue-se o polimento levado a cabo com a utilização de discos mais pequenos ($\phi = 20$ cm), com panos em vez de lixas. Na primeira vez utilizou-se um pano TEXMET 0.3 (BUEHLER) juntamente com pó de alumina de micropolimento A Nº 2 e, na fase seguinte, utilizou-se um pano de SEDA 0.05 (BUEHLER) juntamente com pó de alumina de micropolimento B Nº 3. Convém referir que o abrasivo era uma mistura de pó de alumina com água, nem muito líquida nem muito viscosa. Com cada um destes panos, o processo desenrolou-se em três fases:

- a) Durante 1,5 min, a amostra foi polida com a mistura de alumina+água, carregando bem contra o pano e rodando a amostra contínua e regularmente para que todos os riscos da fase anterior fossem abrangidos pelo abrasivo.

- b) Durante outros 1,5 min faz-se o mesmo mas sem abrasivo, e sim só com água corrente.
- c) Finalmente, durante mais 1,5 min, passou-se a amostra só sobre o pano sem água, não exercendo muita força.

Entre cada fase dos processos descritos, as amostras eram observadas ao microscópio com objectivas a seco para controlo dos riscos que a amostra ainda tinha e para ver se se podia passar à fase seguinte ou se seria necessário continuar na fase em curso ou, inclusivamente, voltar a fases anteriores. Ainda antes de se iniciar a fase seguinte, as amostras eram colocadas em banho de ultrassons para eliminar eventuais partículas de abrasivo retidas na amostra e que pudessem interferir na fase seguinte de polimento. Este processo foi, também, utilizado no fim de cada fase do desgaste para eliminar qualquer partícula de carboneto de silício ou de carvão que pudesse prejudicar a fase seguinte. Este banho de ultrassons foi repetido na fase final do polimento para que possíveis partículas de alumina e/ou carvão não ficassem a nadar no óleo de imersão aquando da observação microscópica. Também no fim de cada fase de polimento, a superfície da amostra em polimento foi cuidadosamente lavada com sabão líquido, usando a polpa do dedo polegar.

Após conclusão do processo de polimento, as amostras foram colocadas num exsiccador por um período mínimo de 24h antes de serem observadas ao microscópio. Destinou-se esta operação a secar a amostra da água com que esteve em contacto durante as fases de desgaste, de pré-polimento e de polimento durante as diversas lavagens.

É interessante notar que as amostras que posteriormente, pela análise petrográfica, mostraram maior quantidade de matéria mineral, foram as mais difíceis de polir, pois a matéria mineral, mais ou menos fácil de se destacar das matrizes, é geralmente mais dura que a matéria orgânica e a sua libertação provoca riscos na superfície de polimento.

NOTA: Tentou-se utilizar a máquina de polimento automático ECOMET 3 da Buehler, com um porta-amostras para 6 amostras simultâneas, pois isto permitiria não só uma superfície totalmente plana, como representaria um ganho de tempo, uma vez que seriam preparadas 6 amostras de cada vez. Contudo, uma vez que não se conseguia um polimento minimamente correcto, quer pelas características do carvão, quer por a máquina ser nova e não se conhecer ainda bem as suas condições de afinação ideal para cada caso, tal obrigaria a uma perda enorme de tempo, motivo pelo qual se optou pelo processo manual.

8.3. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ANÁLISE QUÍMICA E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES FISCO-QUÍMICAS

Na investigação conduzida sobre os carvões de Moatize considerou-se, para além do estudo micropetrográfico, também as determinações de análise química e de propriedades fisico-químicas. Assim, prepararam-se, também, com vista aos ensaios seguintes:

- a) Análise Imediata: Humidade da Amostra para Análise, Cinzas e Matérias Voláteis (e Carbono fixo por cálculo);
- b) Análise Elementar: Enxofre total, Oxigénio, Azoto, Carbono e Hidrogénio;
- c) Propriedades das Cinzas: Fusibilidade e Análise Química;
- d) Propriedades Dilatómicas (Dilatómetro de Audibert-Arnu) e Plastométricas;
- e) Índices de Intumescimento no Cadinho e de Hardgrove;
- f) Poder Calorífico Superior;
- g) Ensaio de Lavabilidade.

Na preparação das amostras T3-2 e T8-2, com vista aos ensaios acima referidos, teve-se em atenção os requisitos descritos nas várias Normas aprovadas, quer a nível internacional (adoptadas em Portugal com base em normas internacionais), quer a nível nacional, tal como referido na Tab. 8.2.

Um estudo das condições requeridas nestas Normas, à excepção das Normas NP 3866-1992, NP 3736-1988 e NP 1020-1992, no que respeita à preparação das amostras para os diversos ensaios, mostra que essas condições são sempre praticamente as mesmas, isto é, a amostra a analisar deve ser moída e peneirada de modo a passar no peneiro de malha 212 μm ^(8.6). Em todos os casos, deve espalhar-se a amostra num tabuleiro durante o tempo suficiente de modo a estabelecer-se o equilíbrio entre a humidade da amostra e a humidade atmosférica do laboratório onde vai decorrer a análise. Em seguida, deve proceder-se à homogeneização da amostra a analisar por um processo, de preferência mecânico, durante cerca de 1 min.

8.6 Chamamos a atenção para o facto de muitas Normas, já com alguns anos de publicação, referirem granulometrias de 200 μm em vez de 212 μm . Nestes casos, está convencionado que, até à publicação de novas edições destas Normas, deve utilizar-se a granulometria de 212 μm .

No caso da determinação do Índice Hardgrove (NP 3866-1992), a granulometria da amostra original é de 4.75 mm. No caso amostra T3-2, o processo de preparação das amostras para análise levou a que as F/SFGs obtidas tivessem granulometrias finais inferiores a 3 mm, 1 mm e 0.5 mm. Atendendo a que a diferença entre a granulometria das F/SFGs <3 mm e a granulometria inicial exigida pela norma NP 3866-1992 (4.75 mm) não é muito grande, decidiu-se experimentar a determinação do Índice Hardgrove nessas F/SFGs.

Para a determinação das Propriedades Dilatométricas (NP 3736-1988), a granulometria inicial das amostras exigida é de 1.5 mm e a final de 0.16 mm, ou seja, compatíveis com as granulometrias finais existentes para as F/SFGs.

No caso da determinação da Fusibilidade das Cinzas (NP 1020-1992), a preparação da amostra segue um processo totalmente diferente, pois a amostra a analisar são as cinzas que resultam da determinação do teor em Cinzas pelo processo descrito na norma NP 1019-1989.

9. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

9.1. INTRODUÇÃO

Como se referiu no capítulo anterior, os peneiros utilizados para a separação granulométrica inicial das amostras T3-2 e T8-2 foram os seguintes: 0.5 mm, 1 mm, 5 mm, 11.2 mm, 25 mm, 50 mm e 90 mm. Como se pode ver pelo estudo da Norma ISO 1953-1972, estes peneiros não seguem o prescrito na mesma, pois que as razões que levaram à escolha desta gama de peneiros tiveram em conta estudos realizados anteriormente sobre os carvões da Bacia Carbonífera de Moatize e levados a cabo por várias empresas do ramo (Streicher 1971, CRIBLA 1973^(9.1), BIF 1983^(9.2), TNCC 1991^(9.3)) e geólogos ao serviço da Companhia Carbonífera de Moçambique - CCM (Gonze 1973). Existem outros estudos sobre a mesma área e levados a cabo por empresas do leste europeu, nomeadamente da ex-RDA, ex-URSS e ex-Jugoslávia, mas que, infelizmente, não estavam todos ao nosso dispor.

Pode-se assim dizer que foram duas as razões que nos levaram a optar pelos peneiros acima mencionados:

- i. estudo de trabalhos anteriores, com o objectivo principal de se poderem comparar os nossos resultados com os resultados de outros estudos; e
- ii. peneiros disponíveis, que levaram a substituir os peneiros de 11 mm e de 80 mm, usados nos trabalhos refeenciados, pelos de 11.2 mm e 90 mm, respectivamente.

Seguidamente apresentam-se os resultados da análise granulométrica das amostras T3-2 e T8-2 e, mais adiante, faz-se um estudo comparativo com os resultados das análises levadas a cabo pelas empresas e pelos geólogos acima mencionados.

9.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS T3-2 E T8-2.

A primeira peneiração das amostras T3-2 e T8-2 (ver ponto 8.1.3) deu os resultados apresentados na Tab. 9.1.

9.1 CRIBLA - Societé Belge d'Études, Recherches et Réalisations Industrielles, Bélgica.

9.2 BIF - Brennstoffinstitut Freiberg, Freiberg, (ex-) República Democrática Alemã.

9.3 TNCC - Trans-Natal Coal Corporation Limited, Johannesburg, República da África do Sul.

As massas iniciais dos carvões, antes da peneiração e já seco ao ar, eram de 156.75 kg (T3-2) e de 126.87 kg (T8-2). Após a primeira peneiração, os somatórios das massas das FGs^(9.4) obtidas era de 153.91 kg (T3-2) e de 123.74 kg (T8-2), o que representa perdas de 1.81% e 2.47% respectivamente.

Na Fig. 9.1 mostra-se a distribuição das FGs dos carvões das duas amostras, em termos de rendimentos tanto das fracções individuais como cumulativos. Comparando as curvas referentes a cada uma das amostras, pode ver-se uma semelhança bastante grande, havendo uma diferença algo maior (cerca de 12%) na FG 50-90 mm. Nas restantes FGs, estas diferenças são muito menores, variando entre 0.05% e 3%. Este comportamento, em carvões de pontos distintos da bacia, evidencia uma certa homogeneidade nos carvões da bacia em estudo no que respeita à distribuição granulométrica. Além disso, estas semelhanças poderão significar, por um lado, que os dois carvões têm comportamentos muito semelhantes durante o processo de fraccionamento granulométrico e, por outro, que o método de peneiração aplicado em cada amostra conduz a resultados idênticos.

Como também se referiu no capítulo anterior, a fase seguinte de peneiração foi a redução das fracções de granulometria >25 mm, a subfracções de granulometria finas <25 mm. Assim, as três fracções de granulometria >25 mm (25-50 mm, 50-90 mm e >90 mm) foram moídas a <25 mm e os produtos resultantes de novo peneirados com os mesmos peneiros da série entre 0-11.2 mm. Obviamente durante este processo, há novas perdas de material. Os resultados estão expressos na Tab. 9.2.

No cômputo global, as perdas de material são de 1.18% para a amostra T3-2 e 1.46% para a amostra T8-2. As perdas parciais nas fracções de granulometrias >25 mm variam bastante, desde cerca de 1% a cerca de 10%.

Na Fig. 9.2 mostra-se a distribuição das F/SFGs resultantes da segunda fase de peneiração. Também neste caso há bastante homogeneidade na distribuição das F/SFGs.

Como resultado da segunda fase de peneiração, surgem várias subfracções de granulometrias idênticas, como se pode ver na Tab. 9.2, ou seja, passa a haver quatro (4) SFGs de cada uma das seguintes FGs: <0.5 mm, 0.5-1 mm, 1-5 mm, 5-11.2 mm e 11.2-25 mm. Importa agora ver como se comporta cada um destes **grupos** (conjunto das F/SFGs com a mesma granulometria) e **séries** (conjunto das F/SFGs desde <0.5 mm

9.4 Chama-se de novo a atenção para o significado das abreviaturas FG, SFG e F/SFG, respectivamente fracção granulométrica, subfracção granulométrica e fracção/subfracção granulométrica

a 11.2-25 mm). Para isso, torna-se necessário reconverter os valores dos rendimentos de cada série a 100%, o que vem expresso na Tab. 9.3.

Os gráficos da Fig. 9.3 representam a distribuição dos rendimentos das fracções de cada série de ambas as amostras T3-2 e T8-2 recalculados a 100% de cada série. Podemos verificar o seguinte:

- i. Os rendimentos das duas séries (T3-2 e T8-2) <25 mm resultantes da primeira peneiração, têm valores muito idênticos, ou seja, os dois gráficos têm praticamente a mesma forma, ambos com um pico máximo a 1-5 mm.
- ii. As outras séries, resultantes da segunda peneiração, têm comportamentos opostos no que respeita a cada uma das amostras, tendo os três gráficos da amostra T3-2 a mesma forma e os três gráficos da amostra T8-2 também a mesma forma, mas já totalmente diferente da amostra T3-2. Assim, em cada série, a amostra T3-2 tem o seu pico sempre na granulometria 11.2-25 mm e a amostra T8-2 tem esse pico sempre na granulometria 1-5 mm. Interessante notar que, em todas estas séries, as granulometrias 5-11.2 mm das amostras T3-2 e T8-2 têm valores praticamente iguais, em termos de percentagem, obviamente.
- iii. Em todas as séries resultantes da segunda fase de peneiração, a amostra T3-2 produz sempre menos finos (<0.5 mm) do que a amostra T8-2, o mesmo se passando quanto a todas as granulometrias <5 mm.
- iv. Em praticamente todas as situações, à excepção da amostra T3-2 (>90 mm), a percentagem relativa das F/SFGs <0.5 mm é maior que a percentagem relativa das F/SFGs 0.5-1 mm.

A Fig. 9.4 mostra os mesmos aspectos que os da Fig. 9.3, mas considerando os valores cumulativos dos rendimentos. Note-se a concordância das curvas referentes às primeiras séries de ambas as amostras, resultantes da primeira fase de peneiração. Nas outras séries, há uma disposição sub-paralela das curvas até às F/SFGs 5-11.2 mm.

Consideremos agora os grupos de F/SFGs iguais, representados na Fig. 9.5. As diferenças existentes nas curvas dos vários grupos reflectem as diferenças mostradas nos gráficos da Fig. 9.4. Assim:

- i. Em todos os grupos, há muitas semelhanças entre as amostras T3-2 e T8-2 no que respeita aos valores da primeira série (1ª fase de peneiração).
- ii. A semelhança de valores das F/SFGs do grupo 5-11.2 mm de todas as séries de ambas as amostras, reflecte-se aqui na coincidência dos gráficos deste grupo.
- iii. As discrepâncias observadas na Fig. 9.4 quanto às outras séries também se reflectem aqui, pelo afastamento das curvas correspondentes de cada amostra.

9.3. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS T3-2 E T8-2 COM OS RESULTADOS DO MESMO TIPO DE ANÁLISES LEVADAS A CABO POR TERCEIROS.

O estudo do fraccionamento granulométrico dos carvões de Moatize, com o objectivo fundamental de se estudar as propriedades do carvão, tem sido feito por diversas vezes por vários organismos e empresas. Um estudo da bibliografia anterior mostra que os critérios de escolha dos peneiros foram os mais variados possíveis (Fig. 9.6), tornando muito difícil fazer um estudo comparativo dos vários resultados o que, contudo, tentaremos.

Além de as séries de peneiros utilizadas serem diferentes, acresce ainda o facto de as amostras estudadas serem também de natureza diferente: desde o tipo de amostra em canal (T3-2 e T8-2), ao carvão tal-qual (Streicher 1971, CRIBLA 1973, Gonze 1973), até a amostras de sondagens (TNCC 1991). Há, ainda, a referir que os resultados da peneiração apresentados respeitam, nuns casos, à amostra total e, noutros casos, a fracções da amostra total. Na primeira situação, temos os trabalhos de Streicher (1971), de Gonze (1973) e da CRIBLA (1973). Na segunda situação, os resultados do BIF (1983) referem-se à FG <10 mm e os do TNCC (1991) à FG <25 mm. Também se deve mencionar o facto de alguns testes terem sido feitos a nível industrial e outros a nível meramente laboratorial.

O número de amostras analisadas também varia de trabalho para trabalho. Assim, enquanto que Gonze (1973) e Streicher (1971) analisam uma ou duas amostras, já os trabalhos da CRIBLA (1973), BIF (1983) e TNCC (1991) analisam algumas dezenas de amostras, o que permite um tratamento estatístico mais realista. Infelizmente, como atrás se disse, tanto os trabalhos do BIF (1983) como do TNCC (1991) se debruçam somente sobre

parte da amostra, de modo que só os resultados da CRIBLA (1973) são passíveis de melhores comparações com os nossos.

Atendendo à Fig. 9.6 a à Tab. 9.4, nota-se que só os peneiros 0.5 mm e 5 mm são comuns às duas colunas de peneiros e no nosso caso, há ainda um peneiro intercalar (1 mm) entre os dois, que está ausente da coluna da CRIBLA (1973). Assim, somámos as fracções 0.5-1 mm e 1-5 mm numa única fracção 0.5-5 mm para uma melhor comparação com os valores da CRIBLA (1973). Quanto aos peneiros acima de 5 mm, são todos diferentes, se bem que, por vezes, sejam bastante próximos. No caso da CRIBLA (1973), entre os peneiros 5 mm e 10 mm há o peneiro 8 mm que não existe no nosso caso. Assim, juntámos as FGs 5-8 mm e 8-10 mm para obter uma FGs maior 5-10 mm para comparar com a nossa FG 5-11.2 mm. Os resultados da comparação vêm apresentados na Fig. 9.7. No que concerne às fracções <0.5 mm e 0.5-5 mm, pode ver-se que, tanto para o nosso caso (amostras T3-2 e T8-2), como para o caso da CRIBLA (1973), os valores dos rendimentos são extremamente semelhantes. Acima da granulometria 5 mm, as curvas apresentam, geralmente, a mesma tendência até às granulometrias 90 mm (T3-2 e T8-2) e 80 mm (CRIBLA 1973), com os rendimentos da CRIBLA (1973) cerca de 2-7% mais baixos que os das amostras T3-2 e T8-2. Acima das granulometrias referidas (80 mm e 90 mm), a situação inverte-se, passando a amostra da CRIBLA (1973) a ter um rendimento muito maior (cerca de 17%) que os das amostras T3-2 (cerca de 3%) e T8-2 (cerca de 1.5%).

No caso de Streicher (1971), se bem que se tivessem utilizado os peneiros citados na Fig. 9.6, não se apresentam os valores dos rendimentos. Contudo, no texto do relatório de Streicher (1971) são apresentados valores fornecidos numa comunicação do Director-Geral da Companhia Carbonífera de Moçambique ao Fuel Research Institute (referida em Streicher 1971), que se comparam com os nossos (Tabela 9.5.). A existência de vários peneiros usados por Streicher (1971) com malhas muito semelhantes às dos nossos permite uma comparação melhor. Como se pode ver na Fig. 9.8, em ambos os casos os valores são relativamente semelhantes, sendo as granulometrias mais baixas (0-11.2 mm e 0-11 mm) as que apresentam maiores rendimentos.

Considerando o trabalho de Gonze (1973), verificamos que ele utiliza duas séries de peneiros para duas subamostras do carvão tal-qual: subamostra 0-11 mm e subamostra >11 mm. A lista dos peneiros utilizados e os resultados estão expressos na Tab. 9.6. De todos estes peneiros, só os 0.5 mm, 1 mm, 5 mm e 25 mm são comuns com os

do nosso trabalho. O peneiro 11 mm pouco difere do peneiro 11.2 mm por nós usado no nosso trabalho. Assim, podem comparar-se as granulometrias <0.5 mm, 0.5-1 mm, 1-5 mm e 5-11 mm com as equivalentes do nosso trabalho (no caso da última, com a granulometria 5-11.2 mm). Convertendo as nossas diversas granulometrias <11.2 mm a 100% de <11.2 mm, e comparando-as com os valores de Gonze (1973) obtém-se a Tab. 9.7. No caso da subamostra >11 mm, as granulometrias que se podem comparar com as nossas são as 11-25 mm e >25 mm. A observação da Tab. 9.7 mostra que a grande diferença em relação aos resultados de Gonze (1973) se refere às F/SFGs 5-11.2 mm. As restantes F/SFGs têm valores mais próximos, contudo, com pequena dispersão. Os rendimentos da sub-amostra >11 mm (Gonze 1973) situam-se entre os valores das F/SFGs >11.2mm de ambas as amostras do nosso trabalho. A Fig. 9.9 mostra os gráficos comparativos entre os resultados de Gonze e das amostras T3-2 e T8-2.

Resta-nos agora comparar os valores obtidos para as amostras T3-2 e T8-2 com os resultados do BIF (1983) e do TNCC (1991). Uma vez que estes dois trabalhos apresentam os valores de F/SFGs das respectivas amostras totais, foi-nos necessário proceder ao cálculo das mesmas F/SFGs das amostras T3-2 e T8-2 para 100%.

Em relação aos valores do BIF (1983), há diferenças quanto aos limites das F/SFGs (Tab. 9.8). Os valores dos rendimentos não podem ser, assim, linearmente comparados. Contudo, as dimensões dos peneiros são suficientemente próximas para se tentar uma comparação. A observação da Fig. 9.10 mostra um comportamento bastante semelhante das curvas dos valores do BIF (1983)^(9.5) e das amostras T3-2^(9.5) e T8-2^(9.5), havendo uma predominância evidente das FGs 1-4 mm (BIF 1983) e 1-5 mm (amostras T3-2 e T8-2). A maior dispersão verifica-se nas FGs mais baixas (<0.5 mm). É, contudo, de salientar, que esta comparação peca não só pelas diferenças entre os limites das FGs, como também nas diferenças nos tipos de amostras analisadas.

Isto aplica-se também aos resultados apresentados pela TNCC (1991). Neste caso, as discrepâncias são deveras enormes, sendo comuns unicamente os valores dos rendimentos relativos às FGs <0.5 mm. A Tab. 9.9 mostra os limites granulométricos da TNCC (1991) comparados com os das amostras T3-2 e T8-2 e a Fig. 9.11 mostra as respectivas curvas. Como se pode ver, no caso dos resultados das análises do TNCC (1991), o comportamento das F/SFGs 0.5-11 mm e 11-25 mm é inverso do

9.5 Em qualquer dos casos, dado o elevado número de amostras analisadas, apresentam-se os valores médios.

comportamento das F/SFGs 0.5-11.2 mm e 11.2-25 mm das amostras T3-2 e T8-2, os quais, entre si, são praticamente iguais.

Parece, portanto, haver uma certa concordância nas curvas granulométricas apresentadas nos vários trabalhos (exceptuando o caso da TNCC 1991), apesar das diferenças de peneiros e de amostras. O que parece ser comum a todos os casos é a certa homogeneidade dos rendimentos das fracções de granulometrias mais baixas, concretamente as <5 mm.

10. ENSAIOS DE LAVABILIDADE

10.1. INTRODUÇÃO

Por razões de ordem exclusivamente prática e de tempo, tendo parecido inadequado fazer as necessárias montagens e/ou adaptações para o efeito no Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, os testes de lavabilidade foram levados a cabo nos laboratórios da empresa McLachlan & Lazar Inspectorate^(10.1) (M&L), Johannesburg, África do Sul. O método laboratorial utilizado foi o descrito na Norma ISO 7936-1992. O material foi preparado de acordo com a Norma AS 1661 (1979). Optou-se por esta Norma precisamente por ter sido concebida para carvões gonduânicos, que é o caso dos carvões de Moatize, e porque as quantidades de amostra exigidas pela mesma Norma são mais baixas que as quantidades exigidas por outras normas (ASTM D 4371 1991; BS 7067 1990), o que, em função das quantidades de amostras de carvão de Moatize existentes e disponíveis, permitiu levar-se a cabo testes de lavabilidade num maior número de F/SFGs.

Inicialmente, todas as F/SFG >0.5 mm foram passadas num peneiro de 0.5 mm a fim de separar os finos e, depois, recalculadas as suas percentagens a 100%. A razão de ser da existência destes finos (<0.5 mm) nas FG >0.5 mm deve-se ao facto de, durante os processos de moagem, peneiração, manuseamento e transporte das mesmas, verificar-se a fragmentação de partículas, fragmentação esta que, geralmente, é mais acentuada nas fracções de maior granulometria, como se pode ver nas figuras incluídas neste capítulo. Em seguida, as F/SFG livres de finos (<0.5 mm), bem como as que à partida já tinham granulometria <0.5 mm, foram sujeitas aos ensaios de lavabilidade em misturas de tetrabromoetileno (d=2.96) + terpentina (d=0.66) + persolve (d=1.64). A lavagem das fracções densimétricas (flutuados - *floats* e afundados - *sinks*) foi feita com benzol.

Os produtos supracitados foram combinados de forma a se obterem líquidos de densidades 1.40, 1.50, 1.55, 1.60, 1.65, 1.70, 1.75 e 1.80. Assim, *a priori*, para cada F/SFG obtiveram-se 8 flutuados (designados por F1.40 a F1.80) e 1 afundado (designado S1.80) mais os finos (<0.5 mm), ou seja, 10 fracções densimétricas no máximo por F/SFG. No entanto, verificaram-se algumas situações em que, para algumas F/SFG, não houve produção de algumas destas fracções densimétricas para algumas densidades. Noutros casos, os rendimentos foram muito baixos, pelo que se optou pelo seguinte:

10.1 Anteriormente chamado McLachlan & Lazar Coal Laboratory.

- a) para densidades ≥ 1.65 , as fracções densimétricas foram combinadas quando a massa fosse < 50 g, desde que o rendimento fosse $< 5\%$;
- b) manter sempre em separado as fracções densimétricas F1.40, F1.50, F1.55 e F1.60, quaisquer que fossem o rendimento e a massa, caso houvesse produção das mesmas.

Os resultados enviados pelo M&L incluíram os seguintes dados: rendimentos, humidade^(10.2) e teor em cinzas^(10.2), quer por fracção, quer cumulativo. As Tab.10.1.A e a Tab.10.1.B indicam as massas de F/SFG enviadas e respectivas granulometrias, bem como as fracções densimétricas e finos obtidos nos ensaios de lavabilidade, respectivamente para as amostras T3-2 e T8-2.

No decorrer do estudo dos resultados dos ensaios de lavabilidade, procedeu-se à combinação de vários flutuados e/ou F/SFG com o objectivo de se obterem compostos cujo rendimento calculado fosse razoável e cujos teores em cinzas (base "seco"), também calculados, fossem $\leq 10\%$, de modo a definir um processo de beneficiação do carvão o mais rendível possível.

10.2. COMPORTAMENTO DAS FRACÇÕES E SUBFRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS NOS ENSAIOS DE LAVABILIDADE

As várias fracções densimétricas+finos (< 0.5 mm) obtidas nos ensaios de lavabilidade (133 para a amostra T3-2 e 132 para a amostra T8-2, ou seja, 265 no total) foram estudadas de acordo com grupos, séries, finos e fracções densimétricas (flutuados e afundados). Consideram-se grupos as F/SFGs de igual granulometria e séries as F/SFGs sequentes de granulometria crescente de < 0.5 mm a 11.2-25 mm^(10.3). Obtêm-se assim, para cada amostra, 5 grupos (< 0.5 mm, 0.5-1 mm, 1-5 mm, 5-11.2 mm e 11.2-25 mm) e 3 séries (T3-2/2 a T3-2/6; T3-2/7 a T3-2/11 e T3-2/12 a T3-2/16). No caso da amostra T8-2, para o grupo 11.2-25 só foi possível obter-se uma FG (T8-2/6). Quanto às séries, há algumas diferenças no que respeita ao número de F/SFGs disponíveis por série entre as duas amostras. Como finos, consideram-se as partes das F/SFGs que passam num peneiro 0.5 mm antes de serem sujeitas aos ensaios de lavabilidade. As fracções densimétricas são as massas das F/SFGs que ficam a sobrenadar (flutuados) ou que afundam (afundados) quando imersas nos líquidos densos em cada um dos casos, i.e. para as densidades 1.40 a 1.80.

10.2 Base "seco ao ar".

10.3 Lembremos aqui que todas as FGs > 25 mm, ou seja, 25-50 mm, 50-90 mm e > 90 mm, foram moídas a < 25 mm e de novo peneiradas numa coluna de peneiros 0.5 mm, 1 mm, 5 mm e 11.2 mm, obtendo-se assim, 5 SFGs por cada uma das fracções de granulometria > 25 mm.

As Tab. 10.2.A e Tab. 10.2.B mostram os resultados obtidos nos ensaios de lavabilidade respectivamente para as amostras T3-2 e T8-2.

10.2.1. GRUPOS

10.2.1.1. Grupo das fracções/subfracções granulométricas <0.5 mm

a) Amostra T3-2: T3-2/2, T3-2/7 e T3-2/12 (Fig. 10.1.A a Fig. 10.1.D)

Todas estas F/SFGs mostram um rendimento muito alto (>81%) para os F1.40 (sendo o da FG T3-2/2 igual a 94.9%, e o valor médio igual a 85.9%) e, em todos os casos, teores em cinzas inferiores 10% (4.4%, 7.9% e 6.1%). Além disso, os gráficos das Fig. 10.1.A e Fig. 10.1.C mostram que fracções da mesma densidade têm rendimentos e teores em cinzas semelhantes (Tab. 10.2.A), sendo a dispersão maior no caso das cinzas e sendo interessante notar que no caso da FG T3-2/2, os teores em cinzas até ao flutuado F1.65 são menores que as correspondentes das SFGs T3-2/7 e T3-2/12, invertendo-se a situação para flutuados mais densos que F1.65 e para o afundado S1.80.

No gráfico da Fig. 10.1.D pode ver-se, também, que o teor cumulativo em cinzas de toda a FG T3-2/2 é inferior a 10% (6.0%); na SFG T3-2/7, o teor cumulativo em cinzas é de 9.4% até ao F1.55, correspondendo a um rendimento cumulativo de 89.4%. Contudo, até ao F1.75, o teor em cinzas cumulativas é só de 10.1% e corresponde a um rendimento de 98.6%. No caso da SFG T3-2/12, a situação é melhor que a da SFG T3-2/7, já que o teor em cinzas cumulativas até ao F1.75 é só de 8.5%, correspondendo a um rendimento cumulativo de 98.2%. Além disso, o teor cumulativo em cinzas de toda a SFG T3-2/12 é pouco superior a 10% (11.3%), ao passo que no caso da SFG T3-2/7 esse teor é maior (13.3%).

Isto poderá significar, *a priori*, que as F/SFGs T3-2/2, T3-2/7 e T3-2/12 são passíveis de ser utilizadas na sua totalidade, atendendo ao facto de o teor em cinzas de 10% é globalmente aceite como o limite tecnológico que separa carvões a serem usados na coqueificação (%c<10%) dos carvões a serem usados na combustão (%c>10%). Se se produzir uma amostra resultante da mistura das três F/SFGs, nas devidas proporções em que são produzidas, obtém-se um composto com um teor em cinzas cumulativas é bastante inferior a 10%:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto <0.5 mm	8.10%	6.82%

b) Amostra T8-2: T8-2/2, T8-2/7 e T8-2/12 (Fig. 10.1.E a Fig. 10.1.H)

De um modo semelhante que para a amostra T3-2, as F/SFGs <0.5 mm mostram um rendimento elevado para os F1.40, mas algo menor do que no caso anterior. Assim, o valor médio é de 70.4% e varia entre 60.3% e 83.3% (sendo o valor mais alto o da FG T8-2/2) e todas com teores em cinzas inferiores a 10% (3.8%, 7.7% e 7.1%). No que respeita às SFGs T8-2/7 e T8-2/12, os rendimentos são muito semelhantes, sendo as maiores diferenças relativas às fracções densimétricas F1.40 e S1.80. Também no caso destas duas SFGs, as fracções da mesma densidade têm rendimentos e teores em cinzas semelhantes (Tab. 10.2.B). No caso das cinzas e, concretamente, para a FG T8-2/2, os teores em cinzas são sempre inferiores do que as correspondentes das SFGs T8-2/7 e T8-2/12.

No gráfico da Fig. 10.1.H, pode ver-se também que o teor cumulativo em cinzas de toda a FG T8-2/2 é inferior a 10% (7.8%); na SFG T8-2/7, o teor cumulativo em cinzas é de 9.3% até ao F1.50, correspondendo a um rendimento cumulativo em 76.8%. Até ao F1.55, o teor em cinzas cumulativas é só de 10.9% e corresponde a um rendimento de 83.7%. No caso da SFG T8-2/12, a situação é semelhante à da SFG T8-2/7, já que o teor em cinzas cumulativas até ao F1.50 é também só de 9.2% para um rendimento cumulativo de 72.2%, e de 11.0% de cinzas cumulativas para um rendimento cumulativo de 79.1% até ao F1.55.

Ao contrário do que se passa no caso da amostra T3-2, a utilização na totalidade, de todas as F/SFGs T8-2/2, T8-2/7 e T8-2/12, origina um composto com um teor em cinzas cumulativas superior a 10%:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto <0.5 mm:	10.9%	12.2%

Contudo, se se obtiver um composto só com as F/SFGs T8-2/2 e T8-2/7, a situação melhora substancialmente, sendo ligeiramente superior a 10%:

	F/SFGs adicionadas	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto <0.5 mm	T8-2/2 + T8-2/7	8.9%	10.6%

10.2.1.2. Grupo das fracções/subfracções granulométricas 0.5-1 mm

a) Amostra T3-2: T3-2/3, T3-2/8 e T3-2/13 (Fig. 10.2.A a Fig. 10.2.D)

Em termos de rendimentos e de teores em cinzas, nota-se uma grande homogeneidade, à semelhança do que acontece no grupo anteriormente descrito. No caso do teor em cinzas, essa homogeneidade é ainda mais evidente. Os rendimentos também são bastante elevados no F1.40 (>74%, com valor médio igual a 88.3%) mas, de qualquer modo, geralmente inferior ao do F1.40 do grupo anteriormente descrito. De referir que, neste grupo, as três F/SFGs só produziram fluviados até ao F1.60.

O teor cumulativo em cinzas de toda a FG T3-2/3 é de 4.6%; a da SFG T3-2/8 é de 9.8% e a da T3-2/13 é de 8.4%, ou seja, sempre inferiores a 10% (Fig. 10.2.D). Isto significa, *a priori*, que também as F/SFGs T3-2/3, T3-2/8 e T3-2/13 podem ser utilizadas na sua totalidade. Se se produzir uma amostra resultante da mistura das três F/SFGs, nas devidas proporções em que são produzidas, obtém-se um composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 0.5-1 mm:	7.4%	6.0%

Supondo que se misturam todas as F/SFGs <0.5 mm e 0.5-1 mm, obtém-se um composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto <1 mm:	15.5%	6.4%

É de referir que em todos estes casos, o teor em cinzas cumulativas é sempre inferior a 10%.

b) Amostra T8-2: T8-2/3, T8-2/8 e T8-2/13 (Fig. 10.2.E a Fig. 10.2.H)

No caso deste grupo, os rendimentos das fracções densimétricas F1.40 são algo mais baixos do que no caso da amostra T3-2, variando entre 55.2% e 84.6%, sendo semelhantes no caso das fracções densimétricas mais densas. No que respeita aos teores em cinzas, a FG T8-2/3 tem teores em cinzas mais baixos do que os outros constituintes do grupo.

O teor cumulativo em cinzas de toda a FG T8-2/3 é de 6.2%. No que concerne às outras duas SFGs do grupo (T8-2/8 e T8-2/13), o teor cumulativo em cinzas só é inferior a 10% para os F1.40, com um valor de 6.5% e 6.7%, respectivamente. O teor em cinzas cumulativas de toda a SFG T8-2/8 é de 14.2% e da T8-2/13 é de 19.0%.

Ao contrário do que se passa com as F/SFGs do correspondente grupo da amostra T3-2, no caso da amostra T8-2 só a FG T8-2/3 pode ser utilizada na sua totalidade, com teores em cinzas cumulativas inferiores a 10%. Contudo, se se misturarem todas as F/SFGs do grupo, obtém-se um composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 0.5-1 mm:	8.6%	9.4%

ou seja, com um teor em cinzas cumulativas inferior a 10%. A mistura das F/SFGs 0.5-1 mm com as <0.5 mm origina um composto com um teor em cinzas cumulativas ligeiramente superior a 10%:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto <1 mm:	19.5%	11.0%

Se em vez de se misturarem todas as F/SFGs <1 mm, se misturarem só algumas delas, podem obter-se outros compostos com teores em cinzas cumulativas inferiores a 10% ou muito ligeiramente superior a este valor:

	F/SFGs adicionadas	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 1	T8-2/2+T8-2/3+T8-2/7+ +T8-2/8	16.5%	9.6%
Composto 2	T8-2/2+T8-2/3+T8-2/7+ +T8-2/8+T8-2/12	18.5%	8.5%
Composto 3	T8-2/2+T8-2/3+T8-2/7+ +T8-2/8+T8-2/13	17.5%	10.0%

10.2.1.3. Grupo das fracções/subfracções granulométricas 1-5 mm

a) Amostra T3-2: T3-2/4, T3-2/9 e T3-2/14 (Fig. 10.3.A a Fig. 10.3.D)

À semelhança dos grupos anteriores, o comportamento quanto aos rendimentos e aos teores em cinzas são semelhantes, sendo contudo mais heterogéneo no caso dos rendimentos do que no das cinzas.

No caso dos rendimentos, a heterogeneidade manifesta-se nos F1.40 e F1.50, sendo os restantes muito idênticos. Isto pode ver-se pelo rendimento da FG T3-2/4 para o F1.40, que é de 77.0%, enquanto que os rendimentos das SFGs T3-2/9 e T3-2/14 são respectivamente de 46.2% e 55.5%. No caso das cinzas, o comportamento é homogêneo.

A FG T3-2/4 tem um teor cumulativo em cinzas inferior a 10% (8.4%); a SFG T3-2/9 o teor cumulativo em cinzas inferior a 10% só no F1.40 (6.9%), correspondendo a um rendimento cumulativo de 46.2%; na SFG T3-2/14, o teor cumulativo em cinzas inferior a 10% verifica-se para F1.50 (9.99%) correspondendo a um rendimento cumulativo de 78.0%. A mistura das F/SFGs deste grupo dá origem a um composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 1-5 mm:	32.2%	9.5%

ou seja, ligeiramente inferior a 10% cinzas cumulativas. Por outro lado, a mistura de todas as F/SFGs <5 mm origina o seguinte composto:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto <5 mm:	47.7%	8.5%

ou seja, um composto cujo teor em cinzas cumulativas é inferior a 10%.

b) Amostra T8-2: T8-2/4, T8-2/9 e T8-2/14 (Fig. 10.3.E a Fig. 10.3.H)

No que respeita a rendimentos, há uma coincidência quase absoluta entre a FG T8-2/4 e a SFG T8-2/9, com rendimentos relativamente elevados do F1.40 (70.1% e 70.7%, respectivamente). O comportamento da SFG T8-2/14 é bastante diferente, já que o rendimento do F1.40 é só de 23.6%, sendo o rendimento máximo correspondente ao F1.50, com um valor quase duas vezes maior (31.3%) do que os mesmos da FG T8-2/4 (17.0%) e da SFG T8-2/9 (16.7%). Estas duas últimas têm rendimentos de cerca de 1% para o S1.80, sendo este valor de 14.6% para a SFG T8-2/14. Contudo, no que respeita aos teores em cinzas, o comportamento dos três componentes é muito idêntico, havendo uma dispersão nítida no que toca ao S1.80.

Considerando agora o teor em cinzas cumulativas, pode ver-se que na FG T8-2/4 esse teor é de 10.1% até ao F1.70, para um rendimento cumulativo de 98.6%, sendo o teor em cinzas cumulativas para toda a FG igual a 11.5%. De um modo semelhante,

na SFG T8-2/9, o teor cumulativo em cinzas é de 9.9% até ao F1.75 para um rendimento cumulativo de 98.6%, e o teor em cinzas cumulativas de toda a SFG é de 11.7%.

Já no que respeita à SFG T8-2/14, a situação é totalmente diferente, pois que o teor em cinzas cumulativas inferior a 10% só se verifica para F1.40, com um valor de 9.4%. O teor em cinzas cumulativas de toda a SFG é de 28.6%. Assim, uma mistura de todos os constituintes deste grupo, origina um composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 1-5 mm:	36.4%	14.2%

Se se misturarem só a FG T8-2/4 com a SFG T8-2/9, obtém-se o seguinte composto:

	F/SFGs adicionadas	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 4	T8-2/4+T8-2/9	30.8%	11.6%

Considerando os teores em cinzas cumulativas destas duas F/SFGs até ao F1.75, bem como o teor em cinzas cumulativas do F1.40 da SFG T8-2/14, podem obter-se novos compostos:

	F/SFGs adicionadas	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 5	T8-2/4: F1.40 até F1.70 T8-2/9: F1.40 até F1.75	30.2%	10.2%
Composto 6	T8-2/4: F1.40 até F1.70 T8-2/9: F1.40 até F1.75 T8-2/14: F1.40	31.6%	10.1%

isto é, ambos muito próximos de 10%. A mistura de todas as F/SFGs <5 mm origina o seguinte composto:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto <5 mm:	55.9%	13.1%

Se se misturarem unicamente as FGs T8-2/2 a T8-2/4 e as SFGs T8-2/7 a T8-2/9, obtém-se o seguinte composto com melhores características do que o anterior:

	F/SFGs adicionadas	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 7	T8-2/2 a T8-2/4 + T8-2/7 a T8-2/9	47.2%	10.9%

10.2.1.4. Grupo das fracções/subfracções granulométricas 5-11.2 mm

a) Amostra T3-2: T3-2/5, T3-2/10, T3-2/15 e T3-2/20 (Fig. 10.4.A a Fig. 10.4.D)

Uma característica comum a todas estas F/SFGs é terem um pequeno pico positivo nos rendimentos do F1.50 (entre cerca de 30-34%). Além disso, o comportamento quanto aos rendimentos é também muito semelhante. Exceptua-se o caso dos F1.40, cujos rendimentos são de 32.7% (T3-2/5), 14.2% (T3-2/10), 20.7% (T3-2/15) e 16.6% (T3-2/20). Além disso, a SFG T3-2/20 apresenta um rendimento mais elevado para o F1.75 (12.2%), enquanto que os outros constituintes do grupo têm rendimentos entre 1.4% e 1.7%. No caso do teor em cinzas, esse comportamento é ainda mais homogéneo, havendo alguma dispersão nos F1.80 e S1.80.

Os teores cumulativos em cinzas destas F/SFGs só são inferiores a 10% nos casos do F1.40 para T3-2/5 (8.7% para um rendimento de 32.7%) e do F1.40 para T3-2/20 (8.4% para um rendimento de 16.6%). Nos casos de T3-2/10 e de T3-2/15 há respectivamente 11.4% de cinzas para 14.2% de rendimento (F1.40) e 10.4% de cinzas para um rendimento de 20.7% (F1.40). O composto obtido da mistura das F/SFGs deste grupo corresponde a 22.5% da massa da amostra total e tem um teor em cinzas cumulativas bastante alto - 20.4%. Contudo, este composto, misturado com os anteriores, origina um outro composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto <11.2 mm:	70.1%	12.3%

isto é, já um pouco acima de 10% de cinzas cumulativas. Quer isto dizer que se poderão misturar algumas fracções densimétricas deste grupo de modo a obter-se um composto com um máximo de 10% de cinzas cumulativas. Assim, se se misturar o composto <5 mm (referido em 10.2.1.3.) com flutuados deste grupo, obtêm-se outros compostos com as seguintes características:

	Flutuados/compostos adicionados	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 1	1.40 + Composto <5	51.6%	8.6%
Composto 2	1.40 + 1.50 + Composto <5	56.6%	9.6%
Composto 3	1.40 + 1.50 + 1.55 + + Composto <5	58.9%	10.3%

Obtêm-se assim algumas combinações com rendimentos bastante bons, bem como teores em cinzas inferiores a 10%, à exceção do composto 3, cujo teor em cinzas é ligeiramente superior a 10%.

b) Amostra T8-2: T8-2/5, T8-2/10, T8-2/15 e T8-2/20 (Fig. 10.4.E a Fig. 10.4.H)

No que respeita a este grupo, as fracções densimétricas com rendimentos mais elevados são as F1.50 que, à semelhança da amostra T3-2, apresentam um pico neste ponto do gráfico. Entre os constituintes deste grupo, há uma variação grande nos valores dos rendimentos desde o F1.40 ao F1.65 e no S1.80. Só os F1.70 a F1.80 têm valores próximos. Esta heterogeneidade já não se verifica, na generalidade, no que toca ao teores em cinzas. Só o F1.80 e o S1.80 têm valores algo diferentes.

Todos os fluuados deste grupo apresentam teores em cinzas (cumulativas ou não) superiores a 10%: 21.1% para a FG T8-2/5, 29.9% para a SFG T8-2/10 e 37.2% para a SFG T8-2/15. Um composto global do grupo apresentaria as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 5-11.2 mm:	23.1%	26.0%

Por outro lado, um composto de todas as F/SFGs <11.2 mm teria as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto <11.2 mm:	79.0%	16.7%

10.2.1.5. Grupo das fracções/subfracções granulométricas 11.2-25 mm

a) Amostra T3-2: T3-2/6, T3-2/11 e T3-2/16 (Fig. 10.5.A a Fig. 10.5.D)

O comportamento dos rendimentos é algo heterogéneo até ao F1.65, sendo muito semelhante acima desta densidade de corte. Neste grupo também se verifica a existência de um pico positivo nos rendimentos do F1.50, à semelhança do grupo anterior. No caso do teor em cinzas, o comportamento também é muito homogéneo. Só no caso da FG T3-2/6 é que há uma fracção densimétrica com um teor em cinzas cumulativas inferior a 10%. É o caso do F1.40 com 8.8% cinzas, correspondendo a um rendimento de 13.4%.

No caso deste grupo, a mistura de todas as suas SFGs dá origem a um composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 11.2-25:	27.6%	23.3%

quer dizer, um rendimento relativamente baixo para um teor em cinzas muito elevado. Só no caso dos F1.40 se obtém uma mistura com um teor em cinzas inferior a 10%: 3.0% da massa da amostra total com 9.5% cinzas cumulativas. Estes F1.40, misturados aos compostos anteriores, dão outros compostos com as seguintes características:

	Flutuados/compostos adicionados	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto 4	1.40 + Composto 1	54.5%	8.6%
Composto 5	1.40 + Composto 2	59.6%	9.6%
Composto 6	1.40 + Composto 3	61.9%	10.3%

Também neste caso se obtém algumas combinações com rendimentos bastante bons, bem como teores em cinzas baixos, à excepção do composto 6, cujo teor em cinzas também é ligeiramente superior a 10%.

b) Amostra T8-2: T8-2/6 (Fig. 10.5.E a Fig. 10.5.H)

No que respeita a esta série, só foi possível proceder-se a ensaios de lavabilidade em relação à FG T8-2/6. Em termos de rendimento, esta FG apresenta algumas semelhanças com as equivalentes da amostra T3-2. Assim, o pico que aparece nos F1.50 em T3-2 está também visível em T8-2/6, mas muito mais acentuado. Desde o F1.55 ao S1.80, os rendimentos são muito semelhantes aos da FG T3-2/6. Contudo, no que toca ao teor em cinzas, os teores das várias fracções densimétricas são muito parecidos com os equivalentes de T3-2. Quanto aos teores em cinzas cumulativas, elas são sempre superiores a 10%, sendo de 22.9% para toda a FG.

NOTA: é de referir que, dentro de cada grupo referente à amostra T3-2, as SFGs resultantes da moagem e repeneiração da FG 25-50 mm (concretamente as SFGs 7, 8, 9, 10 e 11) têm teores em cinzas cumulativas mais altos do que as equivalentes resultantes da moagem e repeneiração da FG 50-90 mm (concretamente as SFGs 12, 13, 14, 15 e 16) e as equivalentes originais (concretamente as FGs 2, 3, 4, 5 e 6). No que respeita à amostra T8-2, a situação é já outra. Assim, são as SFGs resultantes da moagem e peneiração da FG 50-90 mm (concretamente as SFGs 12, 13 e 14) as que têm maiores teores em cinzas cumulativas.

10.2.2. SÉRIES

Em ambas amostras T3-2 e T8-2, e observando as Fig. 10.6.A e E (Série 1), Fig. 10.7.A e E (Série 2) e Fig. 10.8.A e E (Série 3), pode ver-se que, para os rendimentos cumulativos, há geralmente uma variação progressiva de valores mais altos para mais baixos (para cada fracção densimétrica) em função do aumento de granulometria das F/SFGs dentro de cada série. Para os rendimentos de cada fracção verifica-se que, em todas as séries (e nas duas amostras), as F/SFGs 5-11.2 mm e 11.2-25 mm têm um pico referente ao F1.50, enquanto que para as outras F/SFGs, o pico corresponde ao F1.40.

No caso dos teores cumulativos em cinzas (Fig. 10.6.D e H, Fig. 10.7.D e H e Fig. 10.8.D e H) verifica-se, geralmente, para cada fracção densimétrica, um aumento do teor cumulativo em cinzas das F/SFG de granulometrias menores para as maiores de cada série. Em qualquer dos casos, o teor cumulativo em cinzas nunca ultrapassa os 27.2%. Os teores em cinzas dos afundados variam entre cerca de 50% e 80%.

As várias misturas das F/SFGs de cada série dão origem a compostos com as seguintes características:

a) Amostra T3-2

Série	F/SFGs	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
1	T3-2/2 e T3-2/3	10.8%	5.1% (*)
	T3-2/2 a T3-2/4	33.6%	6.7% (*)
	T3-2/2 a T3-2/5	44.8%	9.8% (*)
	T3-2/2 a T3-2/6	60.0%	12.9%
2	T3-2/7 e T3-2/8	2.7%	10.1% (**)
	T3-2/7 a T3-2/9	8.0%	12.4%
	T3-2/7 a T3-2/10	14.1%	17.8%
	T3-2/7 a T3-2/11	21.0%	20.3%
3	T3-2/12 e T3-2/13	2.0%	8.6% (*)
	T3-2/12 a T3-2/14	6.1%	11.2%
	T3-2/12 a T3-2/15	10.4%	15.6%
	T3-2/12 a T3-2/16	16.0%	18.4%
TOTAL	T3-2/2 a T3-2/16 + T3-2/20	97.8%	15.4%

(*) e (**) - ver o significado no quadro da página seguinte.

b) Amostra T8-2

Série	F/SFGs	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
1	T8-2/2 e T8-2/3	11.5%	7.1% (*)
	T8-2/2 a T8-2/4	34.5%	10.1% (**)
	T8-2/2 a T8-2/5	48.7%	13.3%
	T8-2/2 a T8-2/6	66.9%	16.0%
2	T8-2/7 e T8-2/8	5.0%	15.4%
	T8-2/7 a T8-2/9	12.7%	13.1%
	T8-2/7 a T8-2/10	17.8%	18.0%
3	T8-2/12 e T8-2/13	3.0%	18.4%
	T8-2/12 a T8-2/14	8.6%	25.0%
	T8-2/12 a T8-2/15	12.5%	28.9%
TOTAL	T8-2/2 a T8-2/15	97.1	18.0

Os compostos marcados com (*) têm todos teores em cinzas inferiores a 10%. No caso dos compostos marcados com (**) o teor em cinzas é muito ligeiramente superior a 10%, pelo que ainda poderá ser considerado tal-qual. Da comparação dos dois quadros, fica claro que as F/SFGs da amostra T3-2 apresentam condições de lavabilidade mais favoráveis do que as F/SFGs da amostra T8-2.

10.2.3. FINOS (<0.5 mm) PENEIRADOS

a) Amostra T3-2: T3-2/3, T3-2/4, T3-2/5, T3-2/6, T3-2/8, T3-2/9, T3-2/10, T3-2/11, T3-2/14, T3-2/15, T3-2/16

A percentagem de finos é baixa só nas F/SFGs do grupo 0.5-1 mm (T3-2/3 e T3-2/8), não ultrapassando 7% correspondendo a teores em cinzas entre 6.3% e 17.1%. No caso do grupo 1-5 mm (T3-2/4, T3-2/9 e T3-2/14), a de produção de finos é dispar, variando entre 8.6% e 27.8%, com teores em cinzas variando entre 5.7% e 11.9%. No grupo 5-11.2 mm (T3-2/5, T3-2/10 e T3-2/15), a produção de finos é mais uniforme, variando entre 29.6% e 37.6%, correspondendo a teores em cinzas entre 12.4% e 17.8%. O grupo 11.2-25 mm (T3-2/6, T3-2/11 e T3-2/16) caracteriza-se por uma ainda maior uniformidade na produção de finos, variando entre 31.1% e 34.6%, com teores em cinzas variando entre 15.5% e 20.8%. Verifica-se assim que, para grupos de granulometria mais alta, os teores em cinzas aumentam, bem como os respectivos rendimentos. Misturando todos os finos peneirados antes dos ensaios de lavabilidade, obtém-se um composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto de finos 1:	22.0%	9.1%

A mistura de todos estes finos <0.5 mm com as F/SFGs <0.5 mm (T3-2/2, T3-2/7 e T3-2/12) dá origem a um composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto de finos 2:	27.7%	12.1%

ou seja, com teores em cinzas relativamente altos. Se a este composto retirarmos os finos relativos às SFGs T3-2/10, T3-2/11, T3-2/15 e T3-2/16, todos com teores em cinzas superiores a 17%, obtém-se um outro composto, já com teores em cinzas inferiores a 10%:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto de finos 3:	20.0%	9.6%

b) Amostra T8-2: T8-2/3, T8-2/4, T8-2/5, T8-2/6, T8-2/8, T8-2/9, T8-2/10, T8-2/14, T8-2/15

Ao contrário do que se passa na amostra T3-2, a percentagem de finos peneirados antes dos ensaios de lavabilidade das F/SFGs da amostra T8-2 é extremamente baixa. Assim, a percentagem total de finos peneirados é de 0.6% da massa da amostra total, variando entre 0.004% e 0.2% nas F/SFGs. No que respeita ao grupo 0.5-1 mm (T8-2/3, T8-2/8 e T8-2/13), os finos variam entre 0.8% e 6.4%, com um teor em cinzas entre 8.5% e 20.6%. O grupo 1-5 mm (T8-2/4, T8-2/9 e T8-2/14) tem entre 0.1% e 0.7% de finos com um teor em cinzas de 16.8%. Finalmente, o grupo 5-11.2 mm (T8-2/5, T8-2/10 e T8-2/15) tem entre 0.01% e 0.2% de finos com teores em cinzas variando entre 11.9% e 19.2%.

Ao contrário da amostra T3-2, na amostra T8-2 a produção de finos e os respectivos teores em cinzas não aumentam com o aumento da granulometria. Uma mistura de todos estes finos origina um composto com as seguintes características:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto de finos 4:	0.6%	13.4%

Construindo um composto com estes finos mais as F/SFGs <0.5 mm (T8-2/2, T8-2/7 e T8-2/12), obtém-se o seguinte:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto de finos 5:	11.5%	12.2%

Se, à semelhança do que se fez para a amostra T3-2, retirarmos os finos com teores em cinzas superiores a 17%, obtém-se um composto com um teor em cinzas próximo de 10%:

	% Massa da amostra total	% Cinzas cumulativas
Composto de finos 6:	9.3%	10.6%

A comparação dos resultados referentes às duas amostras mostra claramente que a amostra T8-2 produz menos finos que a amostra T3-2, e que os mesmos apresentam maiores teores em cinzas para os mesmos tipos de compostos.

10.2.4. FRACÇÕES DENSIMÉTRICAS

Das várias fracções densimétricas obtidas nos ensaios de lavabilidade, as únicas que mostram interesse em ser analisadas em separado e como um todo, são as fracções densimétricas F1.40. Assim, a massa global dos F1.40 de todas as F/SFGs soma 38.2% da massa global da amostra total no caso da amostra T3-2 e o teor em cinzas cumulativas da mistura de todos eles, à proporção com que são produzidos, é de 5.4%, teor bastante inferior a 10%. No caso da amostra T8-2, também se verifica serem as fracções densimétricas F1.40 as que mostram melhores características. Assim, para o caso desta segunda amostra, a massa global das fracções densimétricas F1.40 é de 46.1% e o teor em cinzas cumulativas é de 7.0%. Todas as outras fracções densimétricas, quando misturadas do mesmo modo que a anterior, apresentam teores em cinzas cumulativas muito superiores a 10%. Como referência, a Tab. 10.3. mostra esses valores.

10.3. CORRELAÇÃO ENTRE RENDIMENTO DE LAVABILIDADE E TEOR EM CINZAS

Projectando num gráfico XY os valores dos teores em cinzas em função dos rendimentos de lavabilidade (Fig. 10.9) de todas as densidades de corte de todas as F/SFGs, pode ver-se que, para ambas as amostras, há uma distribuição recíproca com os seguintes parâmetros:

Amostra	Equações de regressão	Coefficientes de regressão
T3-2	$\%c (s) = 1/(0.002*\%R+0.024)$	-0.82
T8-2	$\%c (s) = 1/(0.002*\%R+0.028)$	-0.74

Pode ver-se deste quadro que as equações são praticamente idênticas, sendo iguais os parâmetros referentes ao declive e sendo ligeiramente diferentes os parâmetros

referentes à intersecção com o eixo dos Y. É de notar que, para a amostra T3-2, a zona do gráfico com maior dispersão de pontos é entre 10% e 40% de rendimento e entre 0% e 40% de teor em cinzas (seco). No caso da amostra T8-2, a dispersão é maior e mais espalhada, o que se pode verificar pelo coeficiente de regressão mais fraco.

Por outro lado, na Fig. 10.10 pode ver-se como se distribuem as diversas fracções densimétricas/finos e, na Fig. 10.11, os campos de distribuição de cada densidade de corte no gráfico %Rendimento-%Cinzas (seco), campos estes que se distinguem perfeitamente, mais no caso da amostra T3-2 do que na T8-2. De facto, as fracções densimétricas separam-se umas das outras havendo, geralmente, zonas de sobreposição entre elas. Contudo, o S1.80 distingue-se perfeitamente dos fluviados em ambas as amostras. As fracções densimétricas de densidade superior a 1.55 têm rendimentos sempre inferiores a 20%. Por seu lado, os afundados têm rendimentos geralmente sempre inferiores a 5%, excepção feita ao S1.80 na amostra T8-2, que pode atingir quase 30%. De referir que as áreas de distribuição dos F1.75 e F1.80 são praticamente as mesmas; o F1.70, por seu lado, separa-se distintamente dos dois anteriores na amostra T3-2 e não tanto na amostra T8-2.

Os gráficos tridimensionais da Fig. 10.12 (A e B) mostram, para cada rendimento e respectivo teor em cinzas, a respectiva massa na amostra total, ou seja, corresponde ao gráfico da Fig. 10.9 em 3 dimensões, respectivamente para as amostras T3-2 e T8-2. Usando um programa de computador apropriado (SURFER) os gráficos da Fig. 10.12 podem ser refeitos no sentido de se encontrarem as isolinhas das percentagens de massa da amostra total (Fig. 10.13 A e B). Assim, a observação do gráfico da Fig. 10.13.A (amostra T3-2) mostra um pico de maior percentagem de massa da amostra total para um rendimento de cerca de 80% com cerca de 2% cinzas (seco). Por outro lado, as isolinhas >9% de massa da amostra total estão todas abaixo de 10% cinzas (seco), situação que pode ser considerada bastante favorável. No que toca à amostra T8-2 (Fig. 10.13.B), a situação é menos favorável, já que o pico de maior concentração se refere a um rendimento de cerca de 90%, mas correspondendo a um teor em cinzas de 25%.

10.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DA AMOSTRA T3-2 E OS DA AMOSTRA T8-2

Passamos a comparar os resultados dos ensaios de lavabilidade levados a cabo nos carvões das duas amostras. No que respeita aos grupos de F/SFGs (Fig. 10.14) pode ver-se que, considerando as F/SFGs que foram lavadas (e equivalentes nas duas amostras),

há uma correlação linear positiva entre compostos equivalentes das duas amostras, quer no que toca às respectivas percentagens de massa da amostra total (Fig. 10.14.A), quer no que toca aos respectivos teores em cinzas (Fig. 10-14.B), em ambos os casos com coeficientes de correlação linear muito bons (>0.99). Pelas equações das rectas de regressão, pode ver-se que as percentagens de massa da amostra total e os teores em cinzas são mais altos na amostra T8-2 do que na amostra T3-2 para os grupos equivalentes:

	Equações de regressão	Coefficientes de regressão
% massa da amostra total	$(T8-2) = 1.12*(T3-2) + 0.76$	0.998
% cinzas (seco)	$(T8-2) = 1.08*(T3-2) + 3.88$	0.994

No caso das séries, a situação altera-se. Da observação dos gráficos da Fig. 10.15, pode ver-se um comportamento da 1ª série diferente dos comportamentos das 2ª e 3ª séries, estas duas semelhantes entre si. Assim, os declives das rectas de regressão referentes à 1ª série são muito inferiores aos declives das rectas de regressão referentes às outras duas séries. No caso das percentagens de massa da amostra total, há regressão linear positiva para as três séries:

% massa da amostra total	Equações de regressão	Coefficientes de regressão
1ª Série	$(T8-2) = 0.16*(T3-2) + 2.66$	0.963
2ª Série	$(T8-2) = 0.68*(T3-2) + 7.80$	0.984
3ª Série	$(T8-2) = 0.82*(T3-2) + 6.74$	0.992

No caso dos teores em cinzas, não se encontrou correlação referente à 2ª série, verificando-se, ainda que no caso das 1ª e 3ª séries, as rectas de regressão linear têm comportamentos muito semelhantes:

% cinzas (seco)	Equações de regressão	Coefficientes de regressão
1ª Série	$(T8-2) = 0.16*(T3-2) + 2.60$	0.963
2ª Série		
3ª Série	$(T8-2) = 1.11*(T3-2) + 15.14$	0.999

No caso dos finos (<0.5 mm) e dos compostos de finos com F/SFGs <0.5 mm, não há nenhuma correlação, quer para as percentagens de massa da amostra total, quer para os teores em cinzas.

10.5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM OS DE TRABALHOS PRECEDENTES

Durante a análise dos resultados dos ensaios de lavabilidade, foi possível compará-los com os resultados de ensaios similares apresentados em vários relatórios de programas de prospecção e exploração levados a cabo por distintas empresas, a saber: Streicher (1971), Brennstoffinstitut Freiberg-BIF (1983), Trans-Natal Coal Corporation Limited-TNCC (1991). Tomando em consideração os resultados apresentados (curvas granulométricas e de lavabilidade), bem como os métodos e critérios utilizados, podem tecer-se as seguintes considerações:

a) A comparação dos resultados apresentados nestes relatórios entre si e com os nossos deve ser feita com as devidas precauções, já que as amostras utilizadas são extremamente variáveis, isto é, ou são amostras de carvão tal-qual, ou amostras em canal, ou amostras de sondagens ou, ainda, FGs retiradas da amostra total.

b) Enquanto que os nossos ensaios são ensaios laboratoriais, devido às quantidades relativamente pequenas de amostra, os ensaios levados a cabo pelas empresas responsáveis pelos relatórios acima citados são, no geral, ensaios industriais. Além disso, nem sempre as quantidades de amostra disponíveis eram suficientes para se seguirem à risca as quantidades definidas nas normas.

c) As várias FGs estudadas são muito variadas quanto aos seus limites granulométricos inferior e superior utilizados.

Na Tab. 10.4. apresentam-se, resumidamente, alguns parâmetros que ilustram a heterogeneidade acima descrita. Como se pode ver, a discrepância é enorme em todos os aspectos. O estudo comparativo dos resultados dos vários estudos pode ser feito em termos de teores em cinzas e/ou rendimentos por fracção densimétrica ou cumulativos. Passamos a considerar separadamente cada um dos casos.

10.5.1. VALORES POR FRACÇÃO DENSIMÉTRICA

10.5.1.1. Ensaios de lavabilidade no Fuel Research Institute (Streicher 1971)

Na Fig. 10.17.A estão projectados os resultados dos rendimentos por fracção densimétrica em relação aos respectivos teores em cinzas, igualmente por fracção, de todos os flutuados e afundados de todas as FGs estudadas. À semelhança do que acontece com os carvões das amostras T3-2 e T8-2 (Fig. 10.10 e Fig. 10.11), também aqui os valores

relativos a cada flutuado e afundado se encontram perfeitamente separados uns dos outros e numa forma mais clara do que na amostra T3-2 e, por maioria de razão (ponto 10.3.), do que na amostra T8-2. Aliás, a tendência que mostra a disposição dos pontos relativos ao S1.70 (aumento do rendimento significa aumento do teor em cinzas) também se pode verificar na amostra T8-2 para o S1.80. No entanto, comparando os gráficos da Fig. 10.10 e da Fig. 10.17.A, podem notar-se algumas diferenças claras:

a) Enquanto que na Fig. 10.10 a densidade de corte de valor mais baixo é a 1.40, na Fig. 10.17.A essa densidade é 1.30. Quanto às densidades de corte de valores mais elevados, elas são respectivamente 1.80 e 1.70. Contudo, em ambos os casos, são as densidades de corte de valores mais baixos que apresentam maior dispersão em termos de rendimento.

b) No gráfico da Fig. 10.10 há um aumento generalizado do teor em cinzas em direcção aos rendimentos mais baixos, até cerca de 40% de cinzas, altura a partir da qual, um aumento em cinzas já não significa uma diminuição dos rendimentos, mas sim uma estabilização dos seus valores. No que respeita à amostra T8-2, verifica-se a mesma tendência mas, a partir de 60% de cinzas, há um aumento do rendimento. Este aumento de rendimento também é visível no caso de Streicher (1971) - Fig. 10.17.A - para valores em cinzas superiores a 40%.

c) A separação das áreas de projecção dos dados na Fig. 10.17.A é total, enquanto que no caso das Fig. 10.10 e Fig. 10.11 há algumas zonas de sobreposição.

É importante referir que, nos dois casos, só as densidades de corte 1.50 e 1.70 são comuns. As outras são todas diferentes o que, obviamente, dificulta a comparação. Contudo, se projectarmos os valores dos teores em cinzas, em cada caso, em função das respectivas densidades de corte (Fig. 10.16^(10.4)), pode ver-se que, no caso dos resultados de Streicher (1971), as FGs têm teores mais elevados em cinzas do que no caso das amostras T3-2 e T8-2. Isto está patente nas equações das rectas de regressão linear. De notar, em ambos os casos, o elevado coeficiente de regressão linear (>0.94):

Amostra	Equações de regressão	Coefficientes de regressão
T3-2:	$\%c = 98.97*DC - 128.63$	$r = 0.964$
T8-2:	$\%c = 88.20*DC - 111.95$	$r = 0.943$
Streicher (1971):	$\%c = 100.27*DC - 126.23$	$r = 0.989$

10.4 Neste gráfico também estão representados os valores relativos aos dados do BIF (1983), do TNCC (1991) e a recta de regressão da globalidade dos dados.

Um outro aspecto interessante a considerar é o que vem reflectido na Fig. 10.17.B. Enquanto que na Fig. 10.17.A as séries correspondem a cada densidade de corte, no caso da Fig. 10.17.B as séries correspondem às várias FGs tratadas. Posto isto, verifica-se que podemos dividir as séries (no caso de Streicher 1971) em dois grupos distintos:

a) Séries cujas densidades de corte de valores mais baixos têm rendimentos mais altos e teores em cinzas mais baixos: neste caso há um aumento no teor em cinzas até cerca de 40% com uma diminuição dos rendimentos; a partir deste ponto há um aumento concomitante do teor em cinzas com o aumento dos rendimentos.

b) Séries cujas densidades de corte de valores mais baixos têm também baixos teores em cinzas, mas rendimentos muito baixos: neste caso há um aumento concomitante do teor em cinzas com o aumento dos rendimentos até cerca de 20% de cinzas, que corresponde a um valor médio de 15% de rendimentos e a uma densidade de corte entre 1.42 e 1.46; a partir deste ponto o comportamento é idêntico ao do das séries anteriores, isto é, há um aumento no teor em cinzas até cerca de 40% de cinzas com uma diminuição dos rendimentos e, a partir deste ponto, há um aumento concomitante do teor em cinzas com o aumento dos rendimentos.

As séries do primeiro grupo correspondem, geralmente, às granulometrias mais finas e as do segundo grupo às granulometrias mais grosseiras. Comum, no entanto, aos dois grupos de séries, é a inflexão das curvas num ponto que corresponde a cerca de 40% de cinzas para um rendimento de 2.5% e uma densidade de corte de 1.66.

10.5.1.2. Ensaio de lavabilidade no Brennstoffinstitut Freiberg (BIF 1983)

Os resultados dos ensaios de lavabilidade levados a cabo no BIF (1983) estão representados na Fig. 10.18.A em que, do mesmo modo que foi feito para os dados de Streicher (1971), se representam os teores em cinzas dos flutuados e dos afundados em função dos rendimentos. Em comparação com os gráficos idênticos relativos às amostras T3-2 e T8-2 (Fig. 10.10) e a Streicher (1971) (Fig. 10.17.A), pode ver-se que os vários flutuados e afundados se separam bem uns dos outros, havendo contudo um pouco mais de sobreposição do que nos casos das amostras T3-2 e T8-2 e uma sobreposição ainda maior do que no caso de Streicher (1971). Refira-se, ainda, uma muito maior dispersão de pontos do que nos casos anteriores e que há densidades de corte relativamente elevadas que

produzem fluuados com altos rendimentos e altos teores em cinzas, situação que não se verifica nos dois casos anteriores.

As tendências nítidas mostradas nas Fig. 10.10 e Fig. 10.17.B, em que há variações graduais dos teores em cinzas com os rendimentos, quer positivas quer negativas, não se verifica dum modo tão evidente neste caso (Fig. 10.18.B). O que se verifica é que as curvas (que representam os valores médios dos teores em cinzas) aparecem como linhas quebradas sem variações lógicas de teores em cinzas em função das densidades de corte. Parece, contudo, haver pontos de inflexão mais ou menos comuns de 10% em 10% de teor em cinzas, até cerca de 40%. A partir daqui, uma diminuição nos rendimentos é concomitante com um aumento dos teores em cinzas. Não é possível, portanto, tirar conclusões credíveis. Apesar desta situação, verifica-se que os valores médios dos teores em cinzas obtidas em cada densidade de corte tem um comportamento idêntico aos dos da amostra T3-2 e de Streicher (1971), isto é, há uma correlação estreita entre estas duas variáveis, com um coeficiente de regressão linear de 0.985 (Fig. 10.16). A equação da recta de regressão é:

Amostra	Equação de regressão	Coeficiente de regressão
BIF (1983):	$\%c = 83.05*DC - 103.69$	$r = 0.985$

Comparando com as rectas de regressão obtidas para as amostras T3-2 e T8-2, isto significa que as diferenças entre os teores em cinzas dos vários fluuados/afundados variam à roda de 3.5%, para mais ou para menos, consoante se trate das densidades de corte mais altas ou mais baixas.

10.5.1.3. Ensaio de lavabilidade no Trans-Natal Coal Corporation (TNCC 1991)

Os ensaios de lavabilidade apresentados pelo TNCC (1991) referem-se a três tipos de colheita:

- Camada Chipanga;
- Bancada inferior da Camada Chipanga;
- Bancada superior da Camada Chipanga.

Projectando os teores em cinzas dos fluuados e dos afundados em função dos respectivos rendimentos (Fig. 10.19.A), pode observar-se uma separação nítida das áreas de projecção de cada fracção densimétrica, havendo, contudo, alguma sobreposição dos pontos relativos ao F1.65 e F1.75 e uma grande dispersão dos pontos relativos ao S1.75. É

interessante notar que os rendimentos dos S1.75 são, geralmente, superiores a 20%, podendo atingir mais de 80%, o que não acontece nos casos das amostras T3-2 e T8-2, de Streicher (1971) e do BIF (1983). Dos casos analisados até agora, este é o único em que os teores em cinzas dos afundados atingem valores tão elevados. Nos outros casos, eles raramente atingem valores maiores de 10%.

Considerando agora as séries correspondentes às várias FGs tratadas para os três casos (Fig. 10.19.B) verifica-se que há um comportamento algo semelhante ao dos das granulometrias mais grosseiras de Streicher (1971) (comparar com Fig. 10.17.B), isto é, partindo dos fluviados menos densos em direcção aos afundados, verifica-se um aumento dos teores em cinzas com diminuição dos rendimentos até cerca de 40% de cinzas equivalente à zona de projecção dos F1.65 (este valor, no caso de Streicher (1971) é de F1.66). Acima deste teor em cinzas, há um aumento acentuado dos rendimentos.

Voltando, de novo, à Fig. 10.16, podemos observar o comportamento dos teores médios em cinzas dos vários fluviados. Verifica-se que as rectas de regressão são muito semelhantes entre si e às rectas de regressão relativas aos outros ensaios de lavabilidade e que os coeficientes de regressão linear também são muito altos. A equação da recta de regressão e o coeficiente de regressão linear são os seguintes:

Amostra	Equação de regressão	Coeficiente de regressão
TNCC (1991):	$\%c = 92.83 * DC - 117.70$	$r = 0.999$

Da observação do gráfico da Fig. 10.16 verifica-se, ainda, que as rectas de regressão são todas sub-paralelas entre si e com declives muito parecidos. Coeficientes de correlação linear altos também são uma característica em todos os casos. Há, contudo, a referir a recta referente a Streicher (1971) que se destaca de todas as outras, mostrando uma média superior de teores em cinzas. O sub-parallelismo apresentado por todas as rectas entre si mostra que a divergência entre elas se dá na direcção das densidades de corte mais elevadas. O facto de as rectas de regressão linear serem todas praticamente paralelas entre si levou-nos a calcular a recta de regressão global, envolvendo todos os dados. Assim, surge uma nova recta (Fig. 10.16) com as mesmas características que as anteriores:

	Equação de regressão	Coeficiente de regressão
Global:	$\%c = 92.62 * DC - 115.86$	$r = 0.956$

Nesta altura há que salientar um aspecto muito importante: apesar de as amostras analisadas serem de tipos, granulometrias e locais de origem diferentes, bem como serem diferentes os laboratórios e as densidades de corte utilizadas, é muito homogéneo o comportamento de todos os flutuados no que respeita aos teores em cinzas em função das densidades de corte. Assim, através da recta de regressão global, será possível prever o teor médio em cinzas para os flutuados de todas as densidades de corte. Assim sendo, e utilizando a recta acima referida, pode elaborar-se uma tabela de previsões (Tab. 10.5.). Igualmente, para se obter um flutuado com um determinado teor em cinzas, pode-se proceder de modo inverso, mostrando a Tab. 10.6. as densidades de corte a usar para se obter um flutuados com um determinado teor em cinzas..

10.5.2. VALORES CUMULATIVOS

10.5.2.1. Ensaio de lavabilidade nas amostras T3-2 e T8-2

Projectando num gráfico XY os valores dos teores em cinzas cumulativas em função dos rendimentos cumulativos (Fig. 10.20.1.A e Fig. 10.20.2.A) relativos a cada amostra estudada, bem como a separação dos respectivos pontos em função das granulometrias comuns, pode verificar-se a existência de duas faixas de concentração de pontos (Fig. 10.20.1.B e Fig. 10.20.2.B):

- a) uma faixa onde caiem todos os pontos referentes a todos os flutuados/afundados de todas as F/SFGs de granulometrias <5 mm;
- b) uma faixa onde caiem todos os pontos referentes a todos os flutuados/afundados de todas as F/SFGs >5 mm.

É interessante notar que os limites superior e inferior de cada faixa (determinados empiricamente) são paralelos entre si, e que as larguras das faixas aumentam das granulometrias menores para as mais grosseiras. Assim, as rectas-limite de cada faixa (de determinação empírica) têm as seguintes equações gerais (Fig. 10.20.1.B e Fig. 10.20.2.B):

a) Na amostra T3-2, os limites superior e inferior de ambas as faixas têm a mesma equação: $Y = 0.22 \cdot X + b$;

b) Na amostra T8-2, os limites superior e inferior de cada faixa são paralelas entre si, mas diferentes entre cada faixa, isto é, para a faixa das granulometrias <5 mm a equação é $Y = 0.22 \cdot X + b$ e para a faixa das granulometrias >5 mm é $Y = 0.18 \cdot X + b$

Projectando agora os mesmos pontos, mas considerando como séries os valores relativos a cada flutuado/afundado (Fig. 10.21.1 e Fig. 10.21.2), verifica-se que há certas tendências de disposição rectilínea em cada série. Assim, calcularam-se as equações das rectas de regressão para cada caso, tendo-se obtido os parâmetros e os coeficientes de regressão linear que constam da Tab. 10.7.

Verifica-se que com o aumento das densidades de corte os valores dos parâmetros das rectas também aumentam progressivamente e duma forma regular, aumento esse muito maior no caso da amostra T3-2 do que no caso da amostra T8-2. Assim, se projectarmos num gráfico os valores das intersecções em função dos declives (Fig. 10.22^(10.5)), obtém-se uma disposição linear dos pontos, correspondente a uma recta de regressão com a seguinte equação:

Amostra	Equações de regressão	Coefficientes de regressão
T3-2:	$b = -101.89*a + 4.12$	$r = -0.999$
T8-2:	$b = -126.49*a - 1.35$	$r = -0.999$

10.5.2.2. Ensaio de lavabilidade no Fuel Research Institute (Streicher 1971)

Do mesmo modo que para o caso dos dados das amostras T3-2 e T8-2, também aqui se projectaram os teores em cinzas cumulativas em função dos rendimentos acumulados (Fig. 10.23.A). Neste gráfico podem observar-se duas áreas de concentração de pontos, a saber:

- a) área correspondente às granulometrias <0.5 mm, sejam as referentes às FGs originais, sejam as referentes às FGs já moídas e repeneiradas;
- b) área correspondente às granulometrias >0.5 mm, sejam as referentes às FGs originais, sejam as referentes às FGs já moídas e repeneiradas.

Projectando agora os mesmos pontos, mas considerando como séries os valores relativos a cada flutuado/afundado (Fig. 10.23.B) verifica-se que, à semelhança do que acontece no caso das amostras T3-2 e T8-2, há certa tendência de disposição rectilínea em cada série. Assim, calcularam-se as equações das rectas de regressão para cada caso (Fig. 10.23.C), tendo-se obtido os parâmetros e os coeficientes de regressão linear que figuram na Tab. 10.8.

10.5 Neste gráfico incluem-se as rectas referentes aos dados do BIF (1983) e do Streicher (1971).

Verifica-se que, tal como acontece com os dados das amostras T3-2 e T8-2, com o aumento das densidades de corte, os valores dos parâmetros das rectas também aumentam progressivamente e duma forma regular. Assim, se projectarmos num gráfico os valores das intersecções em função dos declives (Fig. 10.22), obtém-se uma disposição linear dos pontos correspondente a uma recta de regressão com a seguinte equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$b = -102.83*a - 2.36$	$r = -0.999$

ou seja, uma correlação praticamente ideal.

10.5.2.3. Ensaio de lavabilidade no Brennstoffinstitut Freiberg (BIF 1983)

Ainda do mesmo modo que para o caso dos dados das amostras T3-2 e T8-2 e de Streicher (1971), também aqui se projectaram os teores em cinzas cumulativas em função dos rendimentos cumulativos (Fig. 10.24.1.A e Fig. 10.24.1.B). Neste caso, não nos é possível definir zonas de concentração como em T3-2, T8-2 e Streicher (1971), já que os pontos se referem a amostras totais de sondagens e não a certas granulometrias, como nos casos anteriores. Os pontos referentes às sondagens da Secção 5 (Fig. 10.24.1.B) apresentam muito maior dispersão do que as sondagens referentes às outras secções (Fig. 10.24.1.A).

A disposição linear dos pontos referentes aos flutuados/afundados não é tão evidente como nos casos anteriores (Fig. 10.24.1.A), o que se evidencia pelos coeficientes de regressão linear calculados para as respectivas rectas de regressão (Fig. 10.24.1.B). Como se pode ver da Tab. 10.9, os coeficientes de regressão não vão além de -0.65, havendo casos em que não há correlação. Ainda, do mesmo modo que no caso dos dados das amostras T3-2 e T8-2 e de Streicher (1971), com o aumento das densidades de corte, os valores dos parâmetros das rectas também aumentam progressivamente e duma forma regular. Se projectarmos num gráfico os valores das intersecções em função dos declives (Fig. 10.22) obtém-se uma disposição linear dos pontos, correspondente a uma recta de regressão com a seguinte equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$b = -117.31*a + 7.75$	$r = -0.992$

ou seja, uma óptima correlação. Apesar das diferenças entre as três rectas (T3-2, T8-2, BIF(1983) e Streicher (1971)), elas têm comportamentos muito semelhantes. Calculando a recta de regressão referente a todos os pontos, obtém-se a seguinte equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$b = -99.26*a + 5.29$	$r = -0.992$

10.5.2.4. Ensaio de lavabilidade no Trans-Natal Coal Corporation (TNCC 1991)

Como se referiu no ponto 4.1.3, no caso das análises do TNCC (1991), há a considerar os dados referentes à camada Chipanga no seu todo e os referentes, quer à bancada inferior, quer à bancada superior. Nas três situações, consideram-se, ainda, duas granulometrias: 0.5-10 mm e 10-25 mm. Nos gráficos relativos à projecção dos teores em cinzas cumulativas em função dos rendimentos cumulativos (Fig. 10.25.1.A, Fig. 10.25.1.B, Fig. 10.25.2.A e Fig.10.25.2.B) pode ver-se bem a separação que há entre estas duas granulometrias.

A disposição linear dos pontos relativos aos flutuados/afundados, não é tão evidente como nos dois primeiros casos (T3-2, T8-2 e Streicher) (Fig. 10.26), o que se evidencia pelos coeficientes de regressão linear calculados para as respectivas rectas de regressão (Fig. 10.26.B). E, como se pode ver da Tab. 10.10, os coeficientes de regressão não vão além de -0.79.

Enquanto que nos casos das amostras T3-2 e T8-2, de Streicher e do BIF), há um aumento concomitante dos parâmetros das rectas de regressão com o aumento das densidades de corte, no caso do TNCC (1991) o único parâmetro que aumenta é o da intersecção com os eixo dos YY'. O parâmetro de declive é mais ou menos constante, ou seja, as rectas são sub-paralelas, não se podendo calcular para este caso a equação de variação dos parâmetros da recta de regressão. Contudo, os pontos referentes aos dados do TNCC (1991) foram projectados no gráfico da Fig. 10.22 para comparação.

Se projectarmos num diagrama XY os valores de todos os parâmetros de intersecção de rectas de regressão em função dos respectivos declives (Fig. 10.22), para todos os casos, obtemos uma recta de regressão com a seguinte equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$b = -99.09*a + 6.18$	$r = -0.988$

10.6. CURVAS DE LAVABILIDADE

As curvas de lavabilidade permitem perceber quais as relações que existem entre os teores em cinzas dos afundados e dos flutuados a qualquer densidade de corte e a quantidade (rendimentos) dos respectivos produtos.

10.6.1. CURVAS DE LAVABILIDADE CLÁSSICAS

As Tab. 10.11 e Tab. 10.12 apresentam os dados utilizados na construção das curvas de lavabilidade clássicas das amostras T3-2 e T8-2, respectivamente, e apresentadas no volume de anexos como Fig. 10.29 (1 a 31). Nestas tabelas, a partir dos rendimentos de cada fracção densimétrica e dos respectivos teores em cinzas (calculados na "base seco"), calcularam-se todos os parâmetros necessários para a construção das cinco (5) curvas dos de lavabilidade utilizadas, a saber:

- curva 1: permite determinar o teor médio em cinzas dos flutuados acima duma determinada densidade de corte (DC) (colunas 5 e 7);
- curva 2: permite determinar o teor médio em cinzas dos afundados abaixo duma determinada DC (colunas 8 e 10);
- curva 3: permite determinar a DC a utilizar para se obter um produto com um determinado teor médio em cinzas (colunas 1a e 5);
- curva 4: permite determinar o teor em cinzas do corte (colunas 3 e 11);
- curva 5: relaciona a densidade de corte com a quantidade de material que se situa no intervalo dessa $DC \pm 0.1$ (colunas 1b e 12)^(10.6).

No caso da curva 1 é, por vezes, necessário utilizar-se uma outra escala de cinzas para se obter uma maior precisão de leitura, principalmente quando os teores de cinzas cumulativos dos flutuados são relativamente baixos.

Como se pode ver nas Tab. 10.2.A e Tab. 10.2.B, durante os ensaios de lavabilidade não houve ou não foi possível recolher alguns flutuados por a sua quantidade ser insuficiente para análise. Nestes casos, estes flutuados foram adicionados ao(s) flutuado(s) seguintes(s) e as cinzas determinadas referem-se aos somatórios dos mesmos. É por isso que nas tabelas Tab. 10.11 e Tab. 10.12 os intervalos da coluna 1a são variáveis e diferentes dos da coluna 1b (esta usada para a determinação da curva 5).

10.6 As colunas 1a e 1b são substituídas pela coluna 1 (única) quando os valores das duas coincidem.

10.6.1.1. Interpretação das curvas de lavabilidade

As curvas de lavabilidade utilizam-se para se determinar o melhor processo para se obter um produto com o menor teor em cinzas possível, mas com um rendimento apropriado. No caso dos carvões analisados (T3-2 e T8-2), há F/SFGs cujos teores em cinzas (seco) são por si suficientemente baixos, permitindo a utilização global das mesmas, sem necessidade de se proceder às técnicas de lavabilidade. É o caso das seguintes F/SFGs cujos teores em cinzas são inferiores a 10% (entre parêntesis, os respectivos teores em cinzas):

Amostra T3-2: T3-2/2 (6.0%), T3-2/3 (4.5%), T3-2/4 (8.9%), T3-2/8 (9.7%), T3-2/13 (8.8%);

Amostra T8-2: T8-2/2 (7.9%), T8-2/3 (6.12%).

A partir dos dados originais das F/SFGs, calcularam-se os valores relativos a vários compostos. Assim, calcularam-se os compostos relativos às granulometrias <0.5 mm (C1), 0.5-1 mm (C2), 1-5 mm (C3), 5-11.2 mm (C4) e 11.2-25 mm (C5)^(10.7). Posteriormente calcularam-se outros compostos resultantes da combinação de várias destas granulometrias: <1 mm (C1-2), <5 mm (C1-3), <11.2 mm (C1-4), <25 mm (C1-5)^(10.7), 0.5-5 mm (C2-3), 0.5-11.2 mm (C2-4), 0.5-25 mm (C2-5)^(10.7), 1-11.2 mm (C3-4), 1-25 mm (C3-5)^(10.7) e 5-25 mm (C4-5)^(10.7). Também nestes compostos calculados se encontram alguns com teores em cinzas bastantes baixos (<10%). Citemos, por exemplo:

Amostra T3-2: C1 (7.8%), C2 (5.9%), C1-2 (6.8%), C1-3 (9.4%) e C2-3 (9.8%);

Amostra T8-2: C2 (8.8%)

Importa agora saber se a formação destes compostos origina um aumento significativo dos rendimentos que justifique os processos de moagem e repeneiração levados a cabo nas F/SFGs >25 mm.

No caso da amostra T3-2, o composto C1-3, engloba todas as F/SFGs <5 mm com um rendimento de 47.8% da massa da amostra total e um teor em cinzas de 9.4%, ou seja, quase metade do carvão tem um teor em cinzas bastante baixo. No caso da amostra T8-2, o mesmo composto C1-3 tem um rendimento maior do que na amostra T3-2 (55.9%), mas com um teor em cinzas algo mais elevado (12.4%), o que significa que este composto terá possivelmente de ser lavado.

10.7 Só para os carvões do tambor T3-2.

Todas as outras F/SFGs de ambas as amostras têm que ser sujeitas ao processo de lavabilidade para se obterem produtos com baixos teores em cinzas.

a) Amostra T3-2

Como se viu anteriormente, os compostos C1, C2 e C3 não necessitam de ensaios de lavabilidade pois o composto destes três (C1-3) tem baixos teores em cinzas.

No que respeita aos compostos C4 e C5, a situação altera-se, pois os seus teores em cinzas são muito mais altos, 24.0% e 26.5% respectivamente, para rendimentos de 22.5% e 27.6% (ou seja, 50% da amostra total).

As curvas de lavabilidade das F/SFGs originando o composto C4 estão representadas nas curvas das Figs. 10.29.4, 10.29.9, 10.29.14 e 10.29.19. Para se obter um novo composto C1-4 com um teor em cinzas perto de 10%, há duas hipóteses:

i. ou as F/SFGs são cortadas a 12.5% de cinzas, obtendo-se um rendimento global de 7.3% que, adicionado ao composto C1-3, origina um composto (C1-4a) com 9.8% de cinzas e 55.0% da massa da amostra total;

ii. ou as mesmas F/SFGs são cortadas a 15% de cinzas, obtendo-se então um novo composto (C1-4b) com 10.5% de cinzas e 59.6% da massa da amostra total.

A lavagem destas mesmas F/SFGs a 10% de cinzas origina produtos com rendimentos muito baixos e só é possível nas F/SFGs T3-2/5 e T3-2/20 (com 3.0% e 0.2% da massa da amostra total, respectivamente), o que não é exequível na prática.

O mesmo tipo de raciocínio pode fazer-se para o composto C5: o corte das suas F/SFGs a 12.5% de cinzas dá um rendimento global de 8.1% da massa da amostra total e a 15% de cinzas dá um rendimento de 12.0% da massa da amostra total. Se juntarmos ao composto C1-4a as F/SFGs do composto C5 lavadas a 12.5% de cinzas, obtém-se um novo composto (C1-5a) com 10.12% de cinzas e 63.1% da massa da amostra total. Também seria impraticável uma lavagem a 10% de cinzas, só possível na FG T3-2/6 e com um rendimento de 3.8% da massa da amostra total. Podemos resumir estes dados no seguinte quadro:

composto	% massa na amostra total	% cinzas	F/SFGs
C1	8.2	7.8	2, 7, 12
C2	7.4	5.9	3, 8, 13
C1-2	15.6	8.8	2, 3, 7, 8, 12, 13
C3	32.2	10.6	4, 9, 14
C1-3	47.8	9.4	2 a 4, 7 a 9, 12 a 14
C4	22.5	24.0	5, 10, 15, 20
C1-4	70.2	14.1	2 a 5, 8 a 10, 9 a 15, 20
C1-4a	55.0	9.8	2 a 4, 7 a 9, 12 a 14; 5, 10, 15, 20 (lavadas a 12.5% cinzas)
C1-4b	59.6	10.5	2 a 4, 7 a 9, 12 a 14; 5, 10, 15, 20 (lavadas a 15% cinzas)
C5	27.6	26.5	6, 11, 16
C1-5	97.8	17.6	2 a 16, 20
C1-5a	63.1	10.2	2 a 5, 7 a 10, 12 a 15, 20; 6, 11, 16, 20 (lavadas a 12.5% cinzas)

Destes dados pode concluir-se que a melhor combinação é a do C1-5a que, apesar de ter um teor em cinzas muito ligeiramente superior a 10%, tem um rendimento de 63.1% da massa da amostra total.

Para a lavagem a 12.5% de cinzas das F/SFGs T3-2/5, T3-2/10, T3-2/15 e T3-2/20, as densidades de corte a usar são, respectivamente, 1.452, 1.406, 1.415 e 1.454; para a lavagem a 15% de cinzas das mesmas F/SFGs, as densidades de corte passam a ser 1.497, 1.446, 1.462 e 1.488.

No caso das F/SFGs T3-2/6, T3-2/11 e T3-2/16 a lavagem a 12.5% de cinzas exige densidades de corte de 1.440, 1.442 e 1.456; para a lavagem a 15%, essas densidades passam a ser de 1.478, 1.442 e 1.456.

b) Amostra T8-2

A situação destas F/SFGs é algo mais desfavorável do que no caso anterior, pois só duas delas (T8-2/2 e T8-2/3) e um composto (T8-2/C2) têm teores em cinzas inferiores a 10%.

O composto C1 tem um teor em cinzas de 12.3% para um rendimento de 10.9% da massa da amostra total. Contudo, a mistura deste com o composto C2 origina o composto C1-2 com um rendimento de 19.5% da massa da amostra total e um teor em cinzas muito próximo de 10.3%.

Por outro lado, o composto C1-3, resultante da mistura dos compostos C1, C2 e C3, tem um rendimento de 55.9%, mas com um teor em cinzas de 12.4%. Porém, se se lavarem as F/SFGs T8-2/4, T8-2/9 e T8-2/14 a 10% de cinzas e misturarmos o resultante com os compostos C1 e C2, obtém-se um novo composto C1-3a com um rendimento de 48.1% da massa da amostra total com um teor em cinzas de 10.1%.

Os constituintes do composto C4 (T8-2/5, T8-2/10 e T8-2/15) têm todos teores em cinzas muito elevados. Os teores em cinza mínimos a que se conseguem lavar os constituintes é de 12.5% para o T8-2/5 e 15% para os restantes dois, e todos com rendimentos muito baixos. A mistura destes três constituintes lavados origina um composto C4a com 6.9% da massa da amostra total (o C4 tinha 23.1%, ou seja, o C4a corresponde a 30% de C4) e um teor em cinzas de 12.9%. A mistura deste composto C4a com o composto C1-3a origina um composto C1-4a com um rendimento pouco maior de 50% (55.0%) e um teor em cinzas de 10.5%, isto é, um pouco maior do que o composto C1-3a.

À semelhança do amostra T3-2, também resumimos os dados anteriores no quadro seguinte:

composto	% massa na amostra total	% cinzas	F/SFGs
C1	10.9	12.3	2, 7, 12
C2	8.6	8.8	3, 8, 13
C1-2	19.5	10.3	2, 3, 7, 8, 12, 13
C3	36.4	14.2	4, 9, 14
C1-3	55.9	12.4	2 a 4, 7 a 9, 12 a 14
C1-3a	48.1	10.1	2, 3, 7, 8, 12, 13; 4, 9, 14 (lavados a 10%)
C4	23.1	25.2	5, 10, 15
C4a	6.9	12.9	5 (lavado a 12.5%) e 10, 15 (lavados a 15%)
C1-4	79.0	18.3	2 a 5, 7 a 10, 12 a 15
C1-4a	55.0	10.5	2 a 4, 7 a 9, 12 a 14; 5, 10, 15 (lavadas a 12.5 e 15%)
C1-5	97.1	19.1	2 a 6, 7 a 10, 12 a 15, 20; 6

Parece, portanto, que a melhor combinação é a do composto C1-3a com quase 50% do carvão com 10.1% de cinzas.

No caso da lavagem a 10% de cinzas das F/SFGs T8-2/4, T8-2/9 e T8-2/14 do composto C3, as densidades de corte são respectivamente 1.482, 1.594 e 1.400. Na lavagem a 12.5% e a 15% de cinzas das F/SFGs T8-2/5, T8-2/10 e T8-2/15 do composto C4, as densidades de corte são, respectivamente, 1.400, 1.406 e 1.400.

10.6.2. CURVA M

10.6.2.1. Introdução

A curva M, também chamada de curva do valor médio, é uma curva de lavabilidade alternativa às curvas clássicas. A base teórica para a sua construção é vectorial, já que resulta da soma de vectores correspondentes aos teores em cinzas das várias fracções densimétricas.

O método, utilizado pela primeira vez por F.W. Mayer de Bochum, RFA (referido em Osborne 1988), tende a substituir as curvas clássicas de lavabilidade por apresentar algumas vantagens na resolução de problemas gerais na tecnologia de lavagem dos carvões, especialmente nas misturas de carvões tal-qual e de produtos lavados (Osborne 1988). As vantagens são;

- i. a diminuição do número de cálculos;
- ii. a diminuição do número de curvas;
- iii. o aumento da precisão na determinação dos teores em cinzas até 60%;
- iv. o fornecimento de mais informação no que concerne à extracção de mistos.

Como desvantagem temos a considerar uma construção gráfica algo mais complicada do que nas curvas clássicas.

Os gráficos das curvas M têm como abcissas os teores em cinzas, normalmente até 35%, e em ordenadas os rendimentos. Para carvões com teores em cinzas maiores do que 35%, adoptam-se métodos próprios em que estes teores em cinzas (>35%) aparecem nas ordenadas do lado direito do gráfico, calculados mediante fórmulas próprias (Osborne 1988). Para construir a curva M procede-se do seguinte modo (Fig. 10.26.A):

- a) Nas ordenadas, a partir da origem O, marcam-se os valores cumulativos dos rendimentos das várias fracções densimétricas ($p_1, p_2, p_3, \text{etc.}$);
- b) Nas abcissas procede-se do mesmo modo para os valores cumulativos das cinzas das várias fracções densimétricas ($c_1, c_2, c_3, \text{etc.}$);
- c) A partir da origem O traçam-se linhas rectas (i, ii, iii, etc.) que a liguem aos pontos $c_1, c_2, c_3, \text{etc.}$ das abcissas.

- d) Para a determinação dos pontos F1, F2, F3, etc., traçam-se, a partir dos pontos p1, p2, p3, etc. das ordenadas, rectas paralelas ao eixo X até encontrarem as rectas i, ii, iii, etc.
- e) A curva M determina-se unindo a origem O ao ponto F1, este ao ponto F2, este ao ponto F3, e assim sucessivamente. O último ponto Fi deve estar situado no eixo X (100% rendimento cumulativo) no ponto ci correspondente ao teor em cinzas da amostra total.

No caso desta união de pontos O, F1, F2, F3, ..., Fi, através de processos gráficos de computador, o que se obtém é uma linha quebrada, correspondendo a um polígono aberto cujos vértices correspondem às fracções densimétricas obtidas para cada densidade de corte. Se se diminuirm progressivamente os intervalos entre as densidades de corte, este polígono tende a aproximar-se duma linha curva que representa todos os valores entre os extremos O e Fi. Para se obterem estas curvas em computador, determinaram-se as curvas polinomiais de regressão, utilizando para o efeito um programa de gráficos, chamado MicroCal Origin 2.94. Calculadas as equações destas curvas, elas foram projectadas em conjunto com os verdadeiros pontos obtidos por análises. A partir daqui procedeu-se à interpretação das curvas de lavabilidade. Construindo as curvas deste modo, é possível determinar vários parâmetros (Fig. 10.26.B):

a) Determinação do rendimento teórico do lavado (pf) e do respectivo refugo: para se obter um produto com, digamos, cf % de teor médio em cinzas, une-se o ponto correspondente das abcissas com a origem (recta i). A ordenada pf do ponto de intersecção desta recta i com a curva M (ponto A) dá o valor do rendimento teórico do flutuado. Obviamente que a quantidade teórica de refugo se obtém subtraindo a 100% o valor de pf.

b) Determinação do teor médio em cinzas do refugo (cr): determina-se unindo o ponto A com o ponto C de intersecção da curva M com o eixo X (teor em cinzas da amostra total) - recta ii - e traçando uma paralela a ela (recta iia) que passa na origem e vai cortar o eixo X (se o teor em cinzas do refugo for $\leq 35\%$) ou a ordenada do lado direito (se o teor em cinzas for $> 35\%$) no ponto cr.

c) Determinação do teor em cinzas do corte (cc): é necessário traçar-se uma tangente à curva M no ponto A - recta t - e, a partir da origem O, traçar-se uma paralela a t (recta ta). O ponto de encontro da recta ta com o eixo X (se o teor em cinzas do corte for $\leq 35\%$) ou a ordenada do lado direito (se o teor em cinzas for $> 35\%$) dá o teor em cinzas do corte cc.

d) Determinação da quantidade de mistos: para se reduzir ao máximo a perda de material combustível, o teor médio em cinzas do refugo deve ter um valor mínimo de 65% (Osborne 1988). A quantidade teórica de refugo com este teor médio em cinzas obtém-se unindo o ponto de 65% de cinzas com a origem O (recta iii) e traçando uma paralela (recta iiiia) a ela que passa no ponto C e corta a curva M no ponto B. O valor da ordenada deste ponto B (pr), subtraída a 100%, dá o valor da quantidade teórica deste refugo. A partir dos pontos de intersecção A e B, determina-se a quantidade de mistos, subtraindo o valor das respectivas ordenadas.

e) Determinação do teor médio em cinzas dos mistos (cm): unem-se os pontos A e B e, a partir da origem O, traça-se uma paralela (recta iv) que vai cortar o eixo X (se o teor em cinzas dos mistos for $\leq 35\%$) ou a ordenada do lado direito (se o teor em cinzas for $> 35\%$) no ponto cm.

A forma com que a curva M se apresenta possibilita algumas considerações:

- quanto mais inclinada for a linha OC (Fig. 10.26.B), menor o teor em cinzas da amostra;
- uma mudança brusca no declive da curva M representa condições de fácil lavabilidade, enquanto que variações mais graduais de declive representam difíceis lavabilidades.

Nas curvas M desenhadas para as F/SFGs lavadas dos carvões das amostras T3-2 e T8-2 adicionaram-se as curvas clássicas de densidade relativa/rendimento (Fig. 10.29.1 a Fig. 10.29.31). A partir delas é possível determinarem-se as densidades de corte a que se verificam as condições pretendidas.

Como se pode verificar a partir do que até aqui foi dito, a determinação gráfica destes valores torna-se algo complexa, sendo, contudo, possível determiná-los analiticamente, bastando para isso determinar o algoritmo apropriado que possa ser resolvido por processos informáticos, o que facilita desde logo o trabalho. Os dados de partida para calcular este algoritmo são: equação da função de regressão, o teor global em cinzas da F/SFG lavada e o teor em cinzas desejado para o carvão lavado. Assim, os passos para o cálculo do algoritmo são:

a) A recta i e a função têm respectivamente as equações:	$Y = (100/cf)*X$ (1)
	$Y = f(X)$ (2)
b) As coordenadas do ponto A (x1,y1) determinam-se pela intersecção desta recta i (1) com a função da curva M (2), ou seja	$(100/cf) = f(X)$ (3)
A ordenada y1 é o rendimento teórico do fluuado	pf
A quantidade do respectivo refugo é	100-pf
c) O declive das rectas ii e iia é dado pela expressão	$(100-y1)/(C-x1)$ (4)
A equação da recta iia, da qual se tira cr, é	$Y = X*(100-y1)/(C-x1)$ (5)
O valor de cr é o valor de Y para X = 100.	
d) Sabendo a equação da função da curva M (polinómio de grau n), a tangente t à curva no ponto A é a derivada de grau n-1 da dita função	$d^{(n-1)}f(X)/dX^{(n-1)}$ (6)
Assim, a equação da recta ta é dada pela expressão	$Y = X*(d^{(n-1)}f(X)/dX^{(n-1)})$ (7)
O ponto cc é o valor de Y para X = 100.	
e) A recta iii que liga os 65% de cinzas à origem O tem como equação	$Y = 0.65*X$ (8)
A da recta iiia que é paralela à iii e passa em C tem como equação	$Y = 0.65*X + 100 - 0.65*C$ (9)
A intersecção desta recta com a função $Y = f(X)$ é o ponto B, cujas coordenadas (x2,y2) se determinam através da igualdade	$0.65*X+100-0.65*C = f(X)$ (10)
Une-se o ponto A ao ponto B cuja recta tem um declive de	$(y2-y1)/(x2-x1)$ (11)
A equação da recta iv, paralela a este segmento AB, tem como equação a expressão	$Y = (y2-y1)/(x2-x1)$ (12)
O valor de cm é o valor de X para Y = 100.	
f) O rendimento teórico dos mistos é dado pela diferença	$y2-y1$ (13)

10.6.2.2. Aplicação da curva M aos carvões das amostras T3-2 e T8-2.

Tanto para os carvões da amostra T3-2 como para os da amostra T8-2, as F/SFGs com teores em cinzas bastante baixos não necessitam de ser sujeitas a processos de lavabilidade, pois podem ser utilizadas na sua globalidade. O mesmo não se verifica para as restantes F/SFGs.

As várias curvas M de lavabilidade (Fig. 10.29) foram estudadas, apresentando-se algumas alternativas que vêm expressas nas Tab. 10.13, Tab. 10.14 e Tab. 10.15. A Tab. 10.16 apresenta um resumo das três anteriores.

10.6.2.2.1. Fracções/subfracções granulométricas <5 mm

Nas Tab. 10.13, Tab. 10.14 e Tab. 10.15, as F/SFGs <5 mm da amostra T3-2 referem-se sempre aos seus valores globais, já que não necessitam de lavagem (T3 tal-qual ou P1.3). Neste caso, o produto P1.3 corresponde a 47.8% da massa total do carvão da amostra T3-2 e apresenta um teor em cinzas de 9.7%. No caso da amostra T8-2, para as F/SFGs <5 mm, apresentam-se dois grupos de dados:

- P1.8 para as F/SFGs tal-qual, que representa 55.9% da massa total do carvão da amostra T8-2 e apresenta um teor em cinzas de 13.0%, algo superior ao caso das mesmas granulometrias da amostra T3-2;

- P1a.8-A para as F/SFGs lavadas a 10% cinzas, com as respectivas densidades de corte a que elas são obtidas. O produto representa 49.9% da massa total do carvão da amostra T8-2 com um teor em cinzas de 10.0%. As densidades de corte a que se conseguem estes produtos lavados a 10% de cinzas variam entre 1.413 e 1.600. O total dos refugos que saem destas operações de lavagem - S1a.8-A - totalizam 6.0% da massa total do carvão da amostra T8-2 e apresentam um teor em cinzas de 38.0%.

Misturando os produtos P1.3 e P1.8 na proporção de 1:1, obtém-se um novo produto P1.3+8 que representa 51.8% da massa total dos carvões das amostras T3-2+T8-2 e tem um teor em cinzas de 11.5%. Por outro lado, misturando o mesmo produto P1.3 com o produto P1a.8-A, obtém-se um produto P1.3+8a-A que representa 48.8% de massa total dos carvões das amostras T3-2+T8-2 com um teor em cinzas de 9.9% e os mesmos refugos - S1.3+8a-A - representam 3.0% da massa total dos carvões de T3-2+T8-2 com 38.0% de cinzas.

Uma vez que numa lavaria não é possível, nem prático, lavar o carvão a variadíssimas densidades de corte, decidiu-se calcular o valor pesado da densidade de corte resultante das várias densidades que se utilizaram para se obter as F/SFGs lavadas a 10% cinzas, sendo o valor "pesado" obtido para a densidade de corte é de 1.547. Assim sendo, nos gráficos das curvas M das mesmas F/SFGs da amostra T8-2, calcularam-se os rendimentos teóricos e os teores médios teóricos das cinzas das mesmas (Tab. 10.14). Obtém-se, deste modo, um produto P1a8-B que representa 51.8% da massa total do carvão da amostra T8-2 com um teor em cinzas de 10.5%. O total dos refugos que saem destas operações de lavagem - S1a.8-B - totalizam 4.1% da massa total do carvão da amostra T8-2 e apresentam um teor em cinzas de 45.6%. O produto P1a8-B, misturado na

proporção de 1:1 com o produto P1.3 origina um composto P1.3+8a-B que representa 49.8% da massa total dos carvões das amostras T3-2+T8-2 e tem um teor em cinzas de 10.1% e os mesmos refugos - S1.3+8a-B - representam 2.0% da massa total dos carvões de T3-2+T8-2 com 45.6% de cinzas. Em resumo:

Lavado	Rendimento	Cinzas	DC	Refugo	Rendimento	Cinzas
P1.3	47.8	9.7				
P1.8	55.9	13.0				
P1.3+8	51.8	11.5				
P1a.8-A	49.9	10.0	1.547*	S1a.8-A	6.0	38.0
P1.3+8a-A	48.8	9.9	1.547*	S1.3+8a-A	3.0	38.0
P1a.8-B	51.8	10.5	1.547+	S1a.8-B	4.1	45.6
P1.3+8a-B	49.8	10.1	1.547+	S1.3+8a-B	2.0	45.6

* Valor pesado resultante dos valores das DC individuais;

+ Valor pesado aplicado a todas as F/SFGs

10.6.2.2.2. Fracções/subfracções granulométricas 5-25 mm

O mesmo tipo de cálculos foi feito para as granulometrias 5-25 mm dos carvões das duas amostras. Contudo, há algumas diferenças entre os carvões da amostra T3-2 e os da amostra T8-2. Enquanto que os primeiros podem ser lavados até 10% de cinzas, os do segundo são mais heterogêneos, havendo casos em que a lavabilidade só pode ser feita a 25% de cinzas. Assim, no caso da amostra T3-2 (Tab. 10.13), as granulometrias 5-25 mm foram lavadas de modo a se obterem produtos com teores em cinzas de 15% (produto P2.3-A), representando 21% da massa total do carvão da amostra T3-2 e entre 10-15% de cinzas (produto P3.3-A), representando 18% da massa total do carvão da amostra T3-2 com 11.4% de cinzas. No primeiro caso, o valor pesado da densidade de corte é de 1.487 e, no segundo, é de 1.432. Os refugos resultantes do primeiro caso - S2.3-A - representam 29.8% da massa total do carvão da amostra T3-2 com 32.1% de cinzas e, no segundo caso - S3.3-A, representam 32.1% da massa total do carvão da amostra T3-2 com 33.2% de cinzas.

No caso da amostra T8-2 (Tab. 10.13), as lavagens foram feitas a vários teores em cinzas (entre 12.5 e 25%), obtendo-se um produto P2.8-A com um teor em cinzas de 16.9% e representando 19.3% da massa da amostra total. Os refugos deste produto - S2.8-A - representam 22% da massa da amostra total com 31.3% de cinzas.

Misturando os produtos P2.3-A e P2.8-A na proporção de 1:1, obtém-se um produto P2.3+8-A com 15.9% de cinzas e constituindo 20.1% da massa total dos carvões das amostras T3-2+T8-2. Por outro lado, misturando os produtos P3.3-A e P2.8-A também na proporção de 1:1, obtém-se um produto P3.3+8-A com 14.3% de cinzas e constituindo 18.6% da massa total dos carvões das amostras T3-2+T8-2.

Se se lavarem as F/SFGs da amostra T3-2 a uma densidade de corte de 1.487, obtém-se um produto P2.3-B com 15.1% de cinzas e 24.7% da massa total do carvão da amostra T3-2 e um refugo S2.3-B com 35.4% de cinzas e 25.4% da massa total do mesmo carvão. Se essa lavagem for feita a uma densidade de corte de 1.432, o produto obtido P3.3-B tem 11.4% de cinzas e 15.5% da massa total do carvão da amostra T3-2, com um refugo S3.3-B com 31.7% de cinzas e 34.6% da massa total do mesmo carvão.

Por outro lado, se se lavarem as F/SFGs da amostra T8-2 a uma densidade de corte de 1.461, obtém-se um produto P2.8-B com 16.6% de cinzas e 20.7% da massa total do carvão da amostra T8-2, com um refugo S2.8-B com 32.7% de cinzas e 20.5% da massa total do mesmo carvão.

Misturando agora, nas proporções de 1:1, os produtos P2.8-B, primeiro com o produto P2.3-B e, depois, com o produto P3.3-B, obtém-se os produtos P2.3+8B e P3.3+8B e os respectivos refugos S2.3+8-B e S3.3+8-B com as seguintes características:

Produto	% da massa total	% de cinzas	DC (pesada)
P2.3+8-B	22.7%	15.8%	1.473
P3.3+8-B	18.6%	14.4%	1.447
S2.3+8-B	23.0%	34.2%	
S3.3+8-B	27.1%	32.4%	

Em resumo:

Lavado	Rendimento	Cinzas	DC	Refugo	Rendimento	Cinzas
P2.3-B	21.0	15.0	1.487*	S2.3-B	29.8	32.1
P2.8-B	19.3	16.9	1.461*	S2.8-B	22.0	31.3
P2.3+8-B	20.1	15.9	1.473*	S2.3+8-B	25.5	32.2
P3.3-B	18.0	11.4	1.432*	S1a.8-B	32.1	33.2
P2.8-B	19.3	16.9	1.461*	S1.3+8a-B	22.0	32.3
P3.3+8-B	18.6	14.3	1.447 ⁺	S1a.8-B	27.1	32.4

* Valor pesado resultante dos valores das DC individuais;

+ Valor pesado aplicado a todas as F/SFGs

Se se lavarem agora as F/SFGs 5-25 mm das duas amostras às densidades de corte 1.473 e 1.447, obtêm-se novos produtos com as características presentes no quadro resumo que segue:

Lavado	Rendimento	Cinzas	DC	Refugo	Rendimento	Cinzas
P2.3-C	22.4	14.2	1.473 ⁺	S2.3-C	27.7	34.5
P2.8-C	24.5	11.5	1.473 ⁺	S2.8-C	16.7	60.6
P2.3+8-C	23.5	12.8	1.473 ⁺	S2.3+8-C	22.2	44.3
P3.3-C	18.1	12.3	1.432 ⁺	S1a.8-C	32.0	32.8
P2.8a-C	17.9	15.8	1.432 ⁺	S1.3+8a-C	23.3	43.5
P3.3+8-C	18.0	14.0	1.432 ⁺	S1a.8-C	27.7	32.2

+ Valor pesado aplicado a todas as F/SFGs

Se se projectarem num gráfico XY os teores em cinzas de todos estes produtos (flutuados e refugos) em função dos respectivos rendimentos (Fig. 10.27), verifica-se que ocorrem quatro campos de concentração de pontos:

a) um campo correspondendo aos produtos lavados de granulometria <5 mm, cujos rendimentos variam entre cerca de 45%-55% e cujos teores em cinzas variam entre 10%-15%;

b) num campo oposto do gráfico, outra concentração de pontos correspondendo aos refugos obtidos nas lavagens dos produtos anteriores, com rendimentos muito baixos, à volta de 5%, e teores em cinzas de cerca de 40%-45%.

c) situados mais ou menos a meio entre estas duas últimas concentrações, ocorrem outras duas: uma delas corresponde aos produtos lavados com granulometrias de 5-25 mm, com rendimentos entre 15%-25% e teores em cinzas entre 10%-20%; a outra corresponde aos refugos obtidos nas lavagens dos produtos anteriores e tem rendimentos algo maiores que os respectivos lavados, ou seja, entre 20%-35% e com teores em cinzas também maiores, entre 30%-60%.

Esta diferença na projecção dos pontos referentes às granulometrias <5 mm e 5-25 mm é consequência da diferente resposta de cada um dos grupos aos processos de lavabilidade, sendo de referir que as granulometrias <5 mm são muito mais facilmente laváveis do que as granulometrias 5-25 mm. Isto também se torna evidente pela forma das curvas M de lavabilidade das F/SFGs de cada grupo.

Se projectarmos agora os rendimentos dos produtos lavados em relação às respectivas densidades de corte (Fig. 10.28), verifica-se que as granulometrias <5 mm, que correspondem a valores mais altos de rendimentos, correspondem também a densidades de

corte mais altas (>1.54), enquanto que para as granulometrias 5-25 mm, as densidades de corte correspondem a valores <1.50. A correlação entre rendimentos e densidades de corte tem a forma duma equação polinomial de grau 2 com a seguinte expressão e o seguinte coeficiente de regressão:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$DC = 1.30 + 0.01 * R - 9.90 * 10^{-5} * R^2$	$r = 0.980$

10.6.2.2.3. Conclusões

Os produtos lavados referentes às várias F/SFGs que têm teores em cinzas iguais ou próximos de 10%, poderão, assim, ser usados no fabrico de coque. Por exemplo, o guia de utilização do carvão de Quinn & Callcott (1994) refere que o teor em cinzas (base "seco") dos carvões para o fabrico de coque varia entre 5.8%-10.3%, se bem que em certos casos o teor em cinzas admitido possa ir até 25%. No caso dos produtos lavados com teores em cinzas mais altos (até 15%), eles poderão ter outras aplicações, como em centrais térmicas de combustão com carvão pulverizado e na produção de cimento (Quinn & Callcott, 1994).

Os refugos, com teores em cinzas que variam entre 32%-46%, poderão ser usados para combustão a nível doméstico. Ainda segundo Quinn & Callcott (1994), os teores em cinzas dos carvões para este fim podem ir até 40%.

11. DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DOS CARVÕES

11.1. INTRODUÇÃO

Não têm sido muitos os trabalhos apresentados no que concerne à descrição pormenorizada dos constituintes petrográficos dos carvões de Moçambique e, concretamente, da Bacia Carbonífera de Moatize. No que respeita aos carvões desta bacia, há, contudo, a referir os trabalhos de Sousa & Mériaux (1970, 1971), Sousa (1984), Kunstner et al (1985), Vasconcelos (1988) e Vasconcelos & Santos (1988; 1989), que fazem uma descrição, umas vezes mais outras vezes menos pormenorizada dos constituintes micropetrográficos dos carvões em causa. Além destes trabalhos, outros há que só apresentam dados da composição maceral sem entrar em pormenores de descrição dos mesmos. São eles o relatório BIF (1983), o relatório Moatize Summary (1990) e o TNCC (1991).

O objectivo principal da caracterização petrográfica dos carvões é a determinação de parâmetros que definam a qualidade dos carvões. Os parâmetros a que nos referimos são concretamente: Grau, Composição Petrográfica e Categoria. Por Grau (ou grau de incarbonização) refere-se ao estágio de evolução atingido pela matéria orgânica por acção dos agentes de incarbonização. Por Composição Petrográfica entende-se a composição dum carvão no que respeita aos constituintes orgânicos elementares a nível microscópico (macerais) e às associações em que estes macerais ocorrem (microlitótipos), os quais permitem tirar ilações, para além das de carácter tecnológico na utilização do carvão, também quanto ao tipo de matéria orgânica de partida e, por vezes, quanto às condições prevalecentes à data da sua deposição. A Categoria, refere-se à quantidade de matéria mineral presente no carvão, a qual pode fornecer preciosas indicações não só quanto à utilização tecnológica dos carvões, mas também quanto às condições ambientais de sedimentação. Note-se que a categoria de um carvão pode ser estimada a partir tanto da análise petrográfica, em termos de percentagem de matéria mineral, como da análise química.

11.2. DESCRIÇÃO DOS CONSTITUINTES MICROPETROGRÁFICOS

11.2.1. INTRODUÇÃO

O estudo dos constituintes micropetrográficos dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize foi feito tendo como princípio e base as definições presentes no "International Handbook of Coal Petrography-2nd Edition" (1963)^(11.1) e no "International Handbook of Coal Petrography-Supplement to the 2nd Edition" (1971)^(11.2), bem como nas Normas portuguesas NP 3605 (1992) e NP 4218 (1992) e suas equivalentes da ISO (ISO 7404-3, 1984; ISO 7404-4, 1988, respectivamente), normas estas, por sua vez, baseadas no Léxico 1 (1963) e no Léxico 2 (1971). No que respeita ao estudo dos carvões em luz fluorescentes, seguiram-se os princípios definidos no "International Handbook of Coal Petrography-2nd Supplement to the 2nd Edition" (1976)^(11.3).

As definições de macerais, microlitótipos, carbominerites e minerite presentes nos carvões e que constam do Léxico 1 (1963) e Léxico 2 (1972) foram feitas com os conhecimentos existentes na altura em que essas obras foram feitas. A evolução dos métodos de estudo microscópico dos carvões, concretamente a aplicação dos métodos de fluorescência, permitiu detectar propriedades e aspectos, até então desconhecidos, dos macerais dos carvões. Inclusivamente, este facto permitiu a descoberta de novos macerais do grupo das Liptinites (Teichmüller 1974a). A reacção dos vários constituintes micropetrográficos à irradiação por luz azul e ultravioleta provou ser dependente, não só dos tipos de constituintes, como do grau de incarbonização atingido pelos carvões. Todos estes aspectos não vêm referidos nas definições presentes no Léxico 1 (1963), no Léxico 2 (1971) e nas normas (NP 3605-1992, ISO 7404-3, 1984) pelo que, teoricamente, eles não deveriam ser tomados em conta. Por outro lado, é sabido que o ICCP está prestes a publicar um novo suplemento ao Léxico 1 (1963) onde constam estes novos factos, bem como outras propriedades até agora não incluídas nas folhas do Léxico 1 (1963) e do Léxico 2 (1971) (propostas de folhas da vitrinite e dos macerais deste grupo enviadas em anexo à carta de Wolf (1994) a todos os membros do ICCP). Assim, e como num processo de investigação científica não podemos ficar presos a normas e leis, sob risco de a própria investigação estagnar, e até que se proceda ou não à oficialização destas propostas, decidimos aplicar estes métodos aos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, o que se manifestou da maior utilidade e do maior interesse, como à frente se pode concluir,

11.1 Deste ponto em diante passaremos a referir esta obra como Léxico 1.

11.2 Deste ponto em diante passaremos a referir esta obra como Léxico 2.

11.3 Daqui em diante passaremos a referir esta obra como Léxico 3.

principalmente porque os métodos de fluorescência nunca foram utilizados em carvões de Moçambique e permitiram detectar alguns aspectos e fenómenos novos. Por este motivo incluem-se nas várias sub-capítulos deste capítulo os aspectos de fluorescência julgados pertinentes. Referimo-nos concretamente à vitrinite, às argilas e aos carbonatos. As ocorrências de manifestações de hidrocarbonetos e de matrizes organominerais são tratadas em sub-capítulos à parte.

Os constituintes micropetrográficos referidos no Léxico 1 (1963) e no Léxico 2 (1971) são os que constam das tabelas Tab. 11.1 (para os macerais) e Tab. 11.2 (para os microlitótipos, carbominerites e minerite). Durante o estudo verificámos a ocorrência de alguns outros constituintes que não vêm referidos naquelas tabelas. Referimo-nos concretamente ao carbono pirolítico, às vitrinites alteradas (entende-se por vitrinite alterada a vitrinite que se apresenta ou cataclada ou oxidada/meteorizada) e às ocorrências de macerais que morfologicamente são atribuíveis ao grupo da liptinite, mas cujas características ópticas são actualmente típicas da inertinite. É o caso das resinas, esporos e cutículas oxidadas. Porque o carbono pirolítico apresenta as mesmas características ópticas que os macerais do grupo da inertinite, ele é descrito em conjunto com este grupo de macerais. Quanto às manifestações de liptinite oxidada, se bem que também apresentem características ópticas da inertinite, elas são descritas na liptinite.

As análises macerais e de microlitótipos, carbominerites e minerite presentes nas várias F/SFGs dos carvões das amostras T3-2 T8-2 mostraram que as diferenças que entre elas existem se dão ao nível das quantidades de cada constituinte, não havendo diferenças quanto à presença/ausência dos diversos constituintes. Por isso, no que a seguir se descreve neste sub-capítulo, não se fazem referências às F/SFGs. As diferenças entre elas são referidas no sub-capítulo 11.3. (Caracterização Petrográfica das Fracções e Subfracções Granulométricas).

Nalgumas das análises de macerais, minerais e carbominerites, alguns tipos não são contados, nomeadamente as corpocolinites, gelocolinites, macrinites, macrinites, carbonatos, sulfuretos, carbanquerites, carbopirites e carbossilicites. Não significando isto, contudo, que não ocorram; simplesmente as suas percentagens são demasiado baixas para serem contadas.

11.2.2. MACERAIS

Uma característica geral dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize é a dominância absoluta, evidente e generalizada dos macerais do grupo da vitrinite sobre os outros constituintes, exceptuando situações particulares que eventualmente possam ocorrer. Este facto, evidente nas análises macerais levadas a cabo durante o presente estudo, houvera sido já referido em trabalhos anteriores (Sousa & Mériaux 1970, 1971; Sousa 1984; Künstner et al 1985; Vasconcelos, 1988; Vasconcelos & Santos 1988, 1989; Moatize Summary 1990; Projecto Integrado 1991).

Se observarmos os resultados apresentados na Tab. 11.3, os números falam por si. À excepção dum único caso (SFG T8-2/16, 11.2-25 mm), as percentagens em vitrinite são superiores a 50%. Por seu lado, as percentagens em inertinite são sempre inferiores a 40%. Recalculando os valores da Tab. 11.3 para carvão puro (sem matéria mineral), os teores em vitrinite variam entre 59 e 95% com valores médios de 77% e os da inertinite variam entre 5 e 41% com valores médios de 23% (e, obviamente 0% de liptinite)^(11.4), o que está mais de acordo com os carvões paleozóicos norte-atlânticos do que com os gonduânicos.

Os carvões da Bacia Carbonífera de Moatize têm uma idade pérmica, tendo sido depositados antes da fracturação do Gondwana. Pertencem, portanto, à família de carvões de ambiente gonduânico. Duas das características gerais dos carvões desta família são, primeiro, terem um alto conteúdo de macerais do grupo da inertinite, conteúdo este que pode ser bastante superior a 50% e, segundo, terem a matéria mineral intimamente intercrecida com a matéria orgânica, tornando muito difícil a sua lavabilidade. A alta percentagem de inertinite dos carvões gonduânicos pode ser vista nos diagramas VLI (Fig. 11.1) relativos aos carvões gonduânicos e norte-atlânticos paleozóicos e mesozóicos (Vasconcelos S.d.b^(11.5)). Como se pode verificar desta figura, todos os carvões (gonduânicos e norte-atlânticos, paleozóicos e mesozóicos) são fundamentalmente vitriniticos, pois que as áreas de maior concentração de pontos se encontram mais próximos dos vértices referentes à vitrinite. Contudo, algumas diferenças se podem ver, diferenças essas que se referem aos campos de ocorrência dos carvões paleozóicos norte-atlânticos e gonduânicos no diagrama VLI. Este diagrama tinha já sido publicado por Snyman (1961) e à medida que os conhecimentos sobre a petrografia dos carvões de todo o Mundo foram

11.4 Os teores máximos, mínimos e médios de vitrinite e inertinite que se apresentam no resto deste parágrafo não têm em conta os dados relativos à SFG T8-2/16, manifestamente anómala.

11.5 Os diagramas VLI apresentados em Vasconcelos (s/d) foram publicados em Sousa et al (1992).

umentando, o diagrama foi sendo progressivamente alterado e actualizado (Sousa & Mériaux 1970, 1971; Sousa 1984, 1985 e outros). As diferenças apresentadas nos diagramas da Fig. 11.1 resultam dum levantamento de dados sobre a composição petrográfica de carvões de todo o Mundo (mais de 4000 análises), cujo tratamento estatístico é apresentado por Vasconcelos (S.d.b):

a) Nos carvões húmicos paleozóicos norte-atlânticos, as percentagens de vitrinite são sempre superiores a 50% e as de inertinite sempre inferiores a 50%; nos carvões paleozóicos gonduânicos, as percentagens de vitrinite podem ir até cerca de 10% e as de inertinite até 90%; quanto à liptinite, aparece em quantidades muito semelhantes em ambos os casos, sempre inferiores a 25%.

b) Situação semelhante ocorre nos carvões mesozóicos, isto é, tanto os norte-atlânticos como os gonduânicos^{11.6} são fundamentalmente vitriniticos; se bem que nos norte-atlânticos as percentagens de vitrinite possam descer a 25% e as de inertinite atingir 75%, nos gonduânicos as percentagens de vitrinite descem até 10% e as de inertinite sobem a 90%; quanto às liptinites, elas têm os mesmos valores que no caso dos carvões húmicos paleozóicos, ou seja, não há diferenças entre carvões paleozóicos, mesozóicos, gonduânicos e norte-atlânticos.

No que respeita ao intercrescimento da matéria mineral com a matéria orgânica, os carvões da Bacia Carbonífera de Moatize seguem a "regra gonduânica", o mesmo já não se podendo dizer igualmente da composição maceral, pois que a vitrinite domina sobre a inertinite.

A Fig. 11.1 resume em diagramas triangulares VLI dados da composição maceral de carvões gonduânicos paleozóicos africanos, asiáticos, sul-americanos e australianos em termos globais e por países (África e Ásia). Como se pode ver desta figura, os carvões africanos são geralmente mais pobres em liptinite ($<\pm 10\%$) que os asiáticos, brasileiros e australianos. Por outro lado, no cômputo global, em África existem mais carvões vitriniticos do que nas restantes regiões apontadas. Pesam neste facto os carvões de Moçambique e da África do Sul. Os carvões asiáticos e australianos são muito semelhantes em termos globais e os do Brasil aproximam-se mais dos norte-atlânticos em termos de composição petrográfica, pois são mais pobres em inertinite. Um dos aspectos a ter em conta no caso dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize por nós estudados é o facto de

11.6 Convém aqui referir que o sentido da palavra "gonduânico" aplicada aos carvões mesozóicos tem uma conotação geográfica; referem-se aos carvões de idade mesozóica que ocorrem nos mesmos territórios que pertenceram ao Gondwana.

os macerais do grupo da liptinite serem muito raros e de identificação difícil, exceptuando uma ou duas F/SFGs mais ricas em matéria mineral. Passamos a descrever detalhadamente os vários macerais e minerais observados ao longo deste estudo.

11.2.2.1. Grupo da Vitrinite

Como se pode ver da observação dos resultados da análise maceral apresentados na Tab. 11.3, os macerais do grupo da vitrinite mais frequentes são a telocolinite, seguida da desmocolinite. Estudos petrográficos levados a cabo em carvões gonduânicos da Austrália (Marchioni 1980), do Brasil (Corrêa da Silva 1989), do Butão (Mukherjee et al 1988) e da Índia (Mukherjee & Datta 1959; Navale et al 1983; Navale & Misra 1984; Chakrabarti 1987; Chatterjee et al 1990) mostraram que esta situação é muito comum e, mesmo, predominante nos carvões gonduânicos. Os nossos resultados, por outro lado, confirmam resultados anteriores sobre a predominância da telocolinite sobre a desmocolinite em carvões da Bacia Carbonífera de Moatize (Sousa & Mériaux 1970, 1971; Vasconcelos 1988; Vasconcelos & Santos 1988, 1989). Inclusivamente, Chakrabarti (1987) refere que a razão (Telocolinite + Telinite)/Desmocolinite nos carvões de Madhya Pradesh (Índia) varia entre 4/1 e 9/1; no caso de Moatize, esta razão varia entre 2:1 e 17:1. Quanto aos outros macerais do grupo, a ocorrência é pouco significativa em termos quantitativos. A gelocolinite e a corpocolinite raramente ultrapassam os 0.3%, ou seja, um ou dois pontos por amostra. No geral dos carvões gonduânicos, estes dois macerais são também de ocorrência muito fraca (Marchioni 1980), mas Navale & Misra (1984) referem que a corpocolinite é bastante frequente nos carvões da Índia Peninsular. A telinite também não é muito frequente (Pareek & Pande 1970; Marchioni 1980; Navale et al 1983; Navale & Misra 1984; Hagelskamp & Snyman 1988; Mukherjee et al 1988), com quantidades máximas de 4%, mas normalmente $\leq 2\%$. A vitrodetrinite tem a mesma ocorrência que a telinite, contudo, algumas vezes apresenta percentagens um pouco mais elevadas, chegando a atingir 7%. Uma percentagem relativamente alta de vitrodetrinite é referida por Pareek & Pande (1970) nos carvões indianos de Wardha Valley. Quanto às vitrinites alteradas, raramente ultrapassam os 3%.

Vários autores (Snyman 1961; Navale & Misra 1984; Chakrabarti 1987; Mukherjee et al 1988; Chatterjee et al 1990) referem a existência de semivitrinite, especialmente em carvões de coque (Chatterjee et al 1990), que não foi por nós considerada em separado, mas que também ocorre nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize. Trata-se de um maceral intermédio entre a vitrinite (telocolinite e/ou telinite) e a semifusinite (com

ou sem estrutura celular bem conservada) que, obviamente, tem propriedades e características intermédias entre os dois macerais. Assim, pode ou não apresentar resquícios de estrutura celular, tem um poder reflector algo mais elevado do que a vitrinite e mais baixo do que o da semifusinite, e tem uma cor cinzenta mais clara e mais escura do que a vitrinite e a semifusinite, respectivamente.

Os estudos de fluorescência levados a cabo por Vasconcelos (s/d) nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize mostraram que certas vitrinites reagem à irradiação com luz azul obtida com um filtro de excitação BG 12 ($\lambda = 408$ nm), utilizando em simultâneo um filtro de paragem K430 e um espelho dicróico TK510. Como se sabe de estudos sobre a fluorescência dos vários macerais, a vitrinite é pouco fluorescente e quando fluoresce, fá-lo na cor vermelha escura a castanha (Teichmüller 1974a; Teichmüller & Wolf 1977). Segundo Teichmüller (1982), a quantidade de vitrinites fluorescentes aumenta de cerca de 10% da vitrinite total para um grau de incarbonização correspondente a $PR_{vit}=0.6\%$, aumentando para 80% para $PR_{vit}=1.95\%$ e diminui de novo até 10% para $PR_{vit}=1.7\%$. Embora não se tenha procedido à contagem da vitrinite fluorescente nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, e tendo em conta o PR_{vit} dos mesmos (1.33-1.41%) e os dados de Teichmüller (1982), a quantidade de vitrinite fluorescente deveria rondar os 50%.

A reacção das vitrinites fluorescentes à incidência da luz azul (Teichmüller 1982) caracteriza-se por uma alteração na intensidade de fluorescência com o tempo de irradiação, a ponto de se formar uma névoa (ver 11.2.3.) sobre as partículas que lhes mascaram todo e qualquer pormenor (Vasconcelos S.d.a), como se pode ver na Est. I-b. Se, após algum tempo de irradiação, tornarmos a observar as partículas em luz reflectida normal, verifica-se que as mesmas se apresentam totalmente riscadas (Est. I-a).

De acordo com Davis et al (1989), o pico de máxima intensidade de fluorescência da vitrinite ocorre para um $PR_{vit}=\pm 0.9\%$ (Carvão Betuminoso altamente volátil A-ASTM ou passagem Gasflammkohle-Gaskohle-DIN), diminuindo progressivamente com o aumento do grau de incarbonização. Teichmüller (1982) havia já observado que, na sondagem Kohlhaus 1 (Alemanha) entre 1216 m e 1296 m de profundidade, há um aumento do teor em vitrinite fluorescente, correspondendo estas profundidades a um PR_{vit} entre 0.92% e 0.97%. Isto é, os picos de máxima intensidade de fluorescência da vitrinite corresponderão a um máximo no teor em vitrinite fluorescente. Ainda segundo os mesmos autores, a fluorescência apresentada pela vitrinite dos carvões deste grau de incarbonização (a que pertencem os carvões da Bacia Carbonífera de

Moatize) é uma fluorescência secundária, que começa nos Carvões Sub-betuminosos C/B (ASTM). Esta fluorescência secundária deve-se à existência de substância lipídicas ricas em hidrogénio (Teichmüller & Wolf 1977; Teichmüller 1982) a embeber os microsporos da vitrinite a que Teichmüller (1982) chama de substâncias betuminosas. Estas substâncias provêm doutros macerais do grupo da liptinite como exsudatos em fases mais anteriores da incarbonização e que, devido à sua fluidez, migram, indo instalar-se e embeber a estrutura microporosa da vitrinite.

Fenómenos de fluorescência em carvões gonduânicos tinham sido já referidos em carvões predominantemente inertiníticos do Níger (Alpern 1978) de idade carbonífera inferior (Viseano) com um grau de incarbonização correspondente a um $PR_{vit}=0.71\%$.

a) Telocolinite

A telocolinite é o mais frequente maceral do grupo da vitrinite. Característico deste maceral é o seu aspecto homogêneo, não denotando alguma estrutura (Est. I-c), e apresentam-se em bandas de espessura mais ou menos constante (Mukherjee & Datta 1959; Chakrabarti 1987; Pareek 1987; Corrêa da Silva 1989; Navale & Saxena 1989), podendo afilar para as extremidades. No caso dos carvões de Godavari, Navale et al (1983) referem que os leitos homogêneos de telocolinite mais espessos são raros, sendo frequentes os de espessura mais fina. Na Est. I-c, a banda de telocolinite tem uma espessura de cerca de 40 μm a 50 μm , e podem comparar-se as suas características com as da fusinite adjacente. Enquanto que a telocolinite é cinzenta e sem estrutura, a fusinite tem uma cor mais branca, apresenta estrutura celular (deformada) e tem um poder reflector muito mais alto.

Muitas vezes característico das telocolinites é apresentarem inclusões minerais dispersas ou alinhadas em leitos muito finos, bem como inclusões doutros macerais, principalmente inertinites (Est. I-d, Est. VIII-a) (Navale et al 1983; Chakrabarti 1987; Pareek 1987).

É frequente observarem-se nos leitos da telocolinite microfracturas (fendas de retracção) que cortam os leitos transversalmente (Est. I-c, Est. XXXI-a), fracturas estas que geralmente se interrompem no contacto com os outros constituintes. Trata-se de aspectos também observados em telocolinites de carvões doutras regiões (Chakrabarti 1987). Nos carvões do Butão (Mukherjee et al 1988) são referidas microfracturas de aspecto dendrítico.

Por vezes, mas de ocorrência muito rara devido à baixa percentagem de telinite, pode observar-se nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize a transição da telocolinite para telinite (Chakrabarti 1987).

b) Desmocolinite

Não tão comum como a telocolinite, tem contudo uma boa representatividade. As bandas de desmocolinite ocorrem lado a lado ou alternando com as bandas de telocolinite. À semelhança da telocolinite, tem também uma cor cinzenta e não apresenta nenhuma estrutura. Contudo, diferem da telocolinite por terem um poder reflector algo mais baixo e uma cor cinzenta um pouco mais escura (Est. II-a). Típico da desmocolinite é servirem de cimento à inertodetrinite e a minerais (Navale et al 1983; Sousa 1984; Chakrabarti 1987; Navale & Saxena 1989), sendo muito raro este maceral apresentar contornos nítidos e bem definidos.

c) Corpocolinite e Gelocolinite

Estes dois macerais são muito pouco frequentes e de representação pouco típica. Nas Est. II-b,c pode ver-se gelocolinite preenchendo os lúmens duma fusinite de elevado poder reflector.

d) Telinite

A telinite é o constituinte estruturado da vitrinite, isto é, apresenta estrutura celular de origem vegetal. Nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, a telinite não é um componente frequente, o que está de acordo com o geral para os carvões gonduânicos (Navale 1965; Pareek & Pande 1970; Marchioni 1980; Navale et al 1983; Navale & Misra 1984; Hagelskamp & Snyman 1988; Mukherjee et al 1988) e, quando ocorre, raramente a estrutura se apresenta bem conservada. Uma boa conservação da estrutura da telinite (telinite 1) está geralmente ligada a um preenchimento dos lúmens por outros componentes, geralmente minerais. É o caso da telinite representada na Est. III-a cujos lúmens estão preenchidos por sulfuretos de cor branca e com relevo e poder reflector muito mais elevados que os da telinite envolvente. Na Est. III-b os sulfuretos ocupam inteira e completamente todos os lúmens da telinite, conferindo a este maceral uma cor aparente demasiado escura em comparação com a sua cor real. Na Est. III-c ocorre uma telinite em que os lúmens se encontram muito compactados (Mukherjee & Datta 1959; Mukherjee et al 1988) e que se notam como estrias de tom algo diferente da restante vitrinite (telinite 2).

O preenchimento dos lúmens da telinite por matéria mineral foi referido para carvões sul-africanos (Snyman 1961; Hagelskamp & Snyman 1988), sendo dominantes os minerais de argila e raros os sulfuretos, o que está de acordo com os nossos resultados. Contudo, nestes carvões sul-africanos (concretamente em Highveld), é frequente aparecer micrinite a preencher os lúmens da telinite, situação que não se verifica nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize. Também nos carvões indianos se observam telinites com lúmens preenchidos por argilas (Navale et al 1983; Navale & Saxena 1989) e, também, por micrinite (Navale & Saxena 1989). A ausência de telinite com lúmens preenchidos por colinite nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize concorda com as observações de Snyman (1961) para a generalidade dos carvões sul-africanos.

Nos nossos carvões foi possível observarem-se as variedades de telinite 1 e telinite 2, as primeiras das quais ilustradas nas fotos referidas acima, sendo as segundas mais frequentes. De onde em onde foi possível observar estágios de transição para a telocolinite (Chakrabarti 1987). Por vezes, mas raramente, nota-se a transição gradual da telinite para a semifusinite, passando pelo que Taylor et al (1989) designam por semivitrinite estruturada.

e) Vitrodetrinite

Como se referiu anteriormente, contou-se como vitrodetrinite durante as análises macerais os agregados de partículas de vitrinite, maioritariamente de telocolinite, resultantes da fragmentação do carvão pelos processos de transporte, manuseamento, peneiração e moagem (Est. IV-a). Não são vitrodetrinites no sentido genético do termo, mas foram contadas como tal, pois não parece que haja outro maceral do grupo onde estas partículas se possam classificar. Além disso, optou-se pela contagem tendo em atenção a sua ocorrência frequente.

A presença de vitrodetrinite na verdadeira acepção da palavra é muito rara nestes carvões, como se pode ver da Tab. 11.1, onde as vitrodetrinites se referem maioritariamente a partículas de vitrinite com a origem acima referida. Contudo, na Est. XXV-a podem ver-se partículas de vitrodetrinite embebidas num aglomerado compacto de carbonatos.

A pequena percentagem de vitrodetrinites nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize não parece ser situação geral nos carvões gonduânicos. Assim, Pareek & Pande (1970) referem abundância de vitrodetrinite nos carvões de Wardha Valley (Índia). Por seu lado, Pareek (1970) fala da associação frequente de vitrodetrinite com fusinite (vitrinertite)

nos carvões de Sohagpur (Índia). Se bem que não o afirmem taxativamente, Hagelskamp & Snyman (1988) referem que os carvões de Highveld (África do Sul) são constituídos maioritariamente por macerais de origem detritica, onde obviamente se inclui a vitrodetrinite.

f) Vitrinite alterada

As alterações que se podem observar nas vitrinites afectam geralmente a telocolinite e podem resultar numa fracturação intensa e generalizada e num esmagamento das partículas conferindo-lhe um aspecto de cataclasito (Est. IV-b) e/ou numa meteorização das mesmas (Est. IV-c). Mukherjee et al (1988) falam na existência de vitrinite esmagada e, concretamente cataclasada, nos carvões do Butão (Himalaias) atribuindo a génese destes aspectos a origem tectónica. Outras vezes, a fracturação não é tão intensa nem tão extensa, denotando o início do processo de alteração.

g) Criptovitrinite

Como se sabe, alguns macerais podem ser quimicamente atacados por algumas substâncias (ataque químico^(11.7)) pondo a descoberto estruturas escondidas pelos processos de gelificação. Assim, as telocolinites que sofreram um ataque químico põem a descoberto aspectos de estruturas teliníticas a que se dá o nome de criptotelinites (Est. V-a, b, c). No caso da Est. V-a-c, além das criptotelinites, podem observar-se criptocorpolinites de dimensões variando entre 30 μm e 70 μm .

11.2.2.2. Grupo das Liptinite

Como se sabe, com a evolução da incarbonização, as propriedades ópticas dos macerais dos grupos da vitrinite e da liptinite convergem e, a partir de um dado momento, tornam-se iguais, não sendo mais possível distingui-los. Por vezes, porém, é ainda possível distinguir aspectos da morfologia original dos macerais do grupo da liptinite. Contudo, dado o facto de as suas propriedades ópticas se terem alterado profundamente, estes constituintes não podem mais ser considerados como liptinite. O estudo dos carvões mostra que o ponto a partir do qual as propriedades ópticas da vitrinite e da liptinite convergem correspondem a um teor em matérias voláteis (seco, sem cinzas) da vitrinite de cerca de 28% (Stach 1982a) o que, por sua vez, corresponde a um poder reflector da vitrinite de cerca de 1.10%. Neste ponto, o PR_{lip} iguala o PR_{vit} , a partir do qual não é

11.7 Para o ataque químico usamos uma solução de KMnO_4 (25g) em H_2O (75 ml) + H_2SO_4 (5g, concentrado) (Mackowsky 1982b). Na literatura em língua inglesa, este ataque tem a designação de *etching*.

possível distinguir os dois grupos de macerais pelo poder reflector, sendo o caso nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, pelo que nas contagens de macerais a liptinite iguala 0%. De facto, como se pode ver adiante, o poder reflector médio das vitrinite dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize varia entre 1.38% e 1.40%, ou seja, bastante acima do ponto de convergência referido. Esta ausência de liptinite tinha sido já referida por Sousa & Mériaux (1970, 1971). Dos vários estudos que se debruçam sobre os carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, poucos referem a existência de liptinite (Künstner et al 1985; Summary Report 1990; Projecto Integrado 1991). Estes trabalhos referem percentagens de liptinite que não vão além de 0.8% e, normalmente, à volta de 0.2%. Em nenhum caso, porém, referem de que tipo de liptinite se trata, nem em que contexto ela foi observada. Contudo, nas partículas muito ricas em matéria mineral, pode observar-se liptinite (esporinite preservada) com um poder reflector muito baixo e que, em luz azul, apresenta fluorescência nos castanhos alaranjados.

a) Esporinite

A SFG T8-2/16, cuja vitrinite tem um PR=1.35%, mostra um esporo trilete bem visível em luz azul (Est. VI-a). Em luz natural reflectida, o esporo tem uma cor castanha escura, com textura granular, de forma indefinida (Est. VI-b), em tudo semelhante ao aspecto da liptinite em carvões de mais baixo grau de incarbonização e, também, ao aspecto de muitos dos minerais da argila. Também noutras F/SFGs e/ou densimétricas muito ricas em matéria mineral se podem observar microsporos com cor quase negra em luz natural e uma cor de fluorescência laranja a acastanhada, menos intensa que a cor de fluorescência do esporo trilete acima referido (Est. VII- a, b). A cor de fluorescência do esporo trilete é laranja-acastanhada, também semelhante aos minerais da argila em fluorescência. Isto está em contradição com o facto de a fluorescência da liptinite desaparecer para $PR_{vit}=1.2\%$, equivalente ao segundo salto de incarbonização (Teichmüller & Wolf 1977).

No sentido de se isolarem alguns destes esporos para análise palinológica, procedeu-se ao tratamento do composto da amostra T3-2 pelo método de preparação palinológica descrito por Streef (1985). Da observação microscópica das preparações palinológicas, verificou-se que a quantidade de esporos era muito pequena; contudo, foi possível identificar esporos dos géneros *Cirratriradites* (Est. VI-g), *Punctatisporites* (Est. VI-f) e *Retusotriletes* (Est. VI-c, d, e), todos eles pertencentes ao grupo dos Triletes, e, ainda, um esporo de identificação muito difícil, pertencente ao grupo dos Monoletes (Est. VI-h). Segundo Traverse (1988) os géneros *Punctatisporites* e *Retusotriletes* têm uma

distribuição temporal bastante lata, podendo encontrar-se desde o Silúrico até ao Pérmico médio. Quanto ao género *Cirratiradites*, é característico do Pérmico inferior a médio (Traverse 1988; Hart 1965), correspondendo assim ao Grupo Ecça do Supergrupo do Karoo (andares Sakmario e Artinskiano - Falcon 1989).

b) Liptinite oxidada

Fazemos aqui referência a certas ocorrências com morfologia de macerais do grupo da liptinite, mas que atingiram o poder reflector e a cor típicos das inertinites e que, na contagem de macerais, são consideradas como tal.

Os casos mais óbvios são as resinas oxidadas que, para efeitos de contagem de macerais, são convencionalmente incluídas na esclerotinite. Estas resinas oxidadas aparecem, geralmente, como corpos arredondados esféricos, outras vezes elípticos, imersos, quer na vitrinite, quer na fusinite^(11.8). Outro tipo de ocorrências parecem ser cutinites oxidadas, que aparecem com as mesmas características ópticas das resinas oxidadas (cor clara e alto poder reflector) e dispostas como uma espécie de "filamentos" paralelamente aos leitos de telocolinite e no interior destes (Est. VIII-a).

c) Exsudatinite

A ocorrência de exsudatinite foi referida pela primeira vez por Teichmüller (1974b) com a utilização de métodos de fluorescência. A exsudatinite ocupa espaços vazios, concretamente os lúmens celulares da fusinite, da semifusinite, da esclerotinite (Est. XVI-b) e da telinite, bem como fracturas na vitrinite (Est. VIII-c). De referir que Teichmüller (1982) fala de preenchimentos celulares muito fluorescentes nas fusinites que ocorrem nos carvões das sondagens de Kohlhaus I (mesma sondagem que a referida no sub-capítulo referente à vitrinite). Supomos que se refira à exsudatinite, mencionada no mesmo artigo como substâncias betuminosas de neo-formação. Em simultâneo com o aparecimento destas substâncias betuminosas ocorrem nas mesmas amostras da referida sondagem libertações de hidrocarbonetos líquidos a partir das fracturas da vitrinite. Estas manifestações também ocorrem nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize (ver mais adiante, em 11.2.3.). Também ocorre exsudatinite associada a sulfuretos (Est. VIII-b). A exsudatinite só é detectável em luz azul, pois que em luz natural confunde-se com buracos, poros e fracturas vazias, uma vez que são negras e não apresentam reflectividade.

11.8 Para uma descrição destes corpos, deve consultar-se a alínea referente à esclerotinite (inertinite).

As formas de ocorrência da exsudatinite sugerem que este mineral é de origem secundária. Estudos anteriores (Teichmüller 1974a) referem que a exsudatinite aparece pela primeira vez no estado de Carvão Sub-Betuminoso C/B (ASTM) e que é expelida em fase fluida móvel a partir de macerais liptiníticos, indo instalar-se noutros locais (lúmens, poros, fracturas e fendas). Em luz azul, a exsudatinite ocorre com uma cor amarela alaranjada brilhante (Est. VIII-b,c).

Os aspectos ópticos da exsudatinite dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, estão em contradição com o grau de incarbonização atingido pelo carvão. De facto, neste grau de incarbonização, a exsudatinite já não deveria apresentar fluorescência e devia ter uma cor bastante mais clara em luz natural. O facto de isto não acontecer deverá, possivelmente, ser explicado por uma migração da exsudatinite de fora para dentro da camada de carvão numa altura em que a incarbonização já iria avançada, impedindo assim que a exsudatinite atingisse o grau de incarbonização correspondente ao do carvão onde ela ocorre.

d) Liptodetrinite e outras Liptinites

Outros aspectos da liptinite podem ser vistos nas Est. IX-a,b,c. Em todos estes casos, são visíveis corpos com fluorescência amarela alaranjada, à semelhança do esporo trilete referido, se bem que a morfologia não seja de esporo, mas doutros tipos de liptinite. Também em luz natural se notam os mesmos aspectos referidos anteriormente para o mesmo esporo (Est. IX-d).

O facto de nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize (caso da SFG T8-2/16) a liptinite ter a mesma cor natural que os minerais da argila e os mesmos aspectos de fluorescência, torna difícil a sua distinção, principalmente se ocorrerem na forma de liptodetrinite, isto é, sem morfologia própria. Tal é particularmente evidente nos casos das carbominerites com bastantes argila. É possível, portanto, que em muitas das contagens macerais, muito do que é contado como minerais da argila seja de facto liptinite (liptodetrinite).

11.2.2.3. Grupo da Inertinite

No grupo da inertinite englobam-se vários macerais que ocorrem, todos, nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize. Do resultado das nossas análises petrográficas, o mais abundante de todos eles é a fusinite. Este facto está, por um lado, em contradição com

outros estudos, em que a semifusinite domina sobre a fusinite (Sousa & Mériaux, 1970, 1971; Sousa 1984; Moatize Summary 1990) e, por outro, confirma os resultados doutros trabalhos (Vasconcelos, 1988; Vasconcelos e Santos 1988, 1989; Projecto Integrado 1991). Quanto aos outros macerais do grupo, seguem-se em termos de abundância a inertodetrinite e a esclerotinite. No caso dos carvões sul-africanos de Highveld (Hagelskamp & Snyman 1988), a inertodetrinite é o maceral do grupo mais abundante.

No que respeita os carvões gonduânicos doutras regiões, verificam-se situações semelhantes à dos nossos resultados, em que a fusinite domina sobre a semifusinite e, outras situações, em que se passa a situação inversa. Nos carvões de Sohagpur (sub-bacias de Rungta-Amlai e Kotma - Pareek 1987), de Wardha Valley (área de Majri - Pareek & Pande 1970), de Godavari (Navale et al 1983), todos da Índia, há camadas de carvão em que a fusinite domina sobre a semifusinite. A situação oposta pode ser observada em vários carvões da Índia Peninsular (Navale & Saxena 1989; Chatterjee et al 1990; Navale & Misra 1984) como em Godavari (Navale et al 1983), no Butão (Mukherjee et al 1988) e no Brasil (Alpern & Nahuys 1985).

Quanto à macrinite, à micrinite e ao carbono pirolítico, são constituintes de ocorrência muito rara. Nos trabalhos atrás referidos (Sousa & Mériaux, 1970, 1971; Sousa 1984; Moatize Summary 1990) não se faz sequer referência nem às inertodetrinites, nem ao carbono pirolítico. Uma descrição pormenorizada sobre a morfologia, génese e ocorrências do carbono pirolítico no sentido geral é feita por Sousa (1978) num trabalho sobre as perantracites do Douro (Portugal).

Como atrás se disse, é típico dos carvões gonduânicos haver, muitas vezes, predominância dos macerais da inertinite sobre os da vitrinite. Por vezes, essa predominância é total. Exemplos deste facto encontram-se nos carvões carboníferos do Níger (Alpern 1978), nos de Madagáscar (Alpern & Rakatoarivelo 1972) e nos da Zâmbia (Money & Drysdale 1975), em que a percentagem de inertinite é sempre superior a 50% e, muitas vezes, >90%.

a) Fusinite

A fusinite é o maceral mais frequente do grupo da inertinite nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize e ocorre nas mais variadas formas e estruturas celulares, que podem estar perfeitamente conservadas, comprimidas, destruídas ou deformadas (Chakrabarti 1987; Navale et al 1983). Muitas vezes, a estrutura celular está num estado

mais ou menos conservado devido ao facto de os lúmens estarem preenchidos por constituintes minerais, que podem ser argilas, carbonatos e/ou sulfuretos. A Est. X-a mostra um caso típico de estrutura celular conservada por carbonatos (calcite) a preencher os lúmens. Neste caso, contudo, a estrutura celular apresenta-se parcialmente destruída pois que a fusinite sofreu alguma desagregação anterior ao preenchimento por este mineral epigenético. A ocorrência destes minerais a preencher os lúmens das estruturas celulares da fusinite foi referida por Navale (1981), Navale et al (1983), Pareek (1987), Mukherjee et al (1988) e Navale & Saxena (1989). Navale et al (1983) referem a ocorrência de carbonatos a preencher fracturas que cortam a fusinite.

Nos carvões por nós estudados é possível distinguir-se entre a degradofusinite e a pirofusinite, esta em muito menor quantidade, a primeira com paredes celulares mais grosseiras que a segunda (Pareek & Pande 1970), o que significa geralmente que a degradofusinite tem estruturas celulares menos bem conservadas do que a pirofusinite (Navale et al 1983; Mukherjee et al. 1988; Navale & Saxena 1989). A Est. X-c mostra uma pirofusinite cujos lúmens estão preenchidos por minerais da argila, mantendo intacta a estrutura celular. Contudo, o melhor exemplo de estrutura celular intacta pode ser visto na Est. XI-a,b, onde os lúmens estão preenchidos por argila. A destruição das estruturas celulares pode ter aspectos variados, dependendo do tipo de destruição, do tipo de tecido afectado e, também, da direcção da superfície observada em relação ao grão. A estrutura estrelada típica de muitas fusinites (Est. XIII-a, Est. XXXIII-a) (Pareek & Pande 1970; Navale et al 1983; Mukherjee et al 1988; Navale & Saxena 1989) também pode ser observada nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize (Est. XIII-a). A deformação que as fusinites apresentam, além da compactação da estrutura celular (Est. XIII-c, Est. XXXIII-b), é o dobramento da mesma (Est. XII-a).

É interessante notar que os leitos de fusinite deformada estão intercalados em leitos doutros macerais não deformados, o que significa que as deformações são sinsedimentares (Sousa 1978) (Est. XVII-a). Além de ocorrerem em leitos e bandas (Navale et al 1983; Chakrabarti 1987), a fusinite pode também ocorrer como fragmentos na desmocolinite (Chakrabarti 1987).

Numa mesma amostra, é frequente verem-se lado a lado fusinites de aspectos totalmente diferentes, denotando graus de oxidação diferentes ou reacções várias de tecidos diferentes aos mesmos fenómenos de oxidação. Na Est. XIII-a podem ver-se duas fusinites,

uma mais esbranquiçada e de partículas mais finas do que a outra, ambas apresentando estrutura estrelada.

Na Est. X-b ocorre um aspecto muito interessante já que se verifica a existência duma fusinite cujos lúmens se encontram ocupados por uma material fusinitizado com a mesma cor e o mesmo relevo que a fusinite em que se encontram. Por outro lado, na Est. XVIII-a, ocorre uma fusinite com os lúmens preenchidos por micrinite.

Quando os cortes observados são feitos longitudinalmente à estrutura dos tecidos lenhosos, é possível verem-se pormenores dos tecidos, tais como traqueias (Est. XXVIII-c).

A transição da fusinite para semifusinite é um aspecto não muito frequente, o que concorda com as observações de Snyman (1961) e Taylor et al (1989) em carvões gonduânicos.

Muitas vezes associada à fusinite ocorre esclerotinite (Est. XIII-c,d) que ataca a estrutura da primeira (Pareek 1987). A associação da fusinite com a vitrodetrinite observada por Pareek (1987) nos carvões de Sohagpur não foi observada nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, já que a vitrodetrinite é um maceral raro. A associação da fusinite com resinas oxidadas, igualmente referida por Pareek (1987) nos mesmos carvões de Sohagpur também se pode observar nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize.

b) Semifusinite

A semifusinite é comum e tem características ópticas e morfológicas que se situam na transição entre vitrinite e fusinite. De facto, o seu poder reflector e a sua cor são, geralmente, maior e mais clara do que o da vitrinite e menor e mais cinzenta do que os da fusinite. Quanto à sua estrutura celular, é bem visível, só que os lúmens celulares estão coalescidos e as paredes celulares mais grossas, indicando uma gelificação inicial antes dos fenómenos de oxidação. Apesar de ser comum observar-se na semifusinite a estrutura celular, há bastantes casos em que ela não é mais visível, como referem Taylor et al (1989) que verificaram a transição de semifusinite com estrutura celular para semifusinite sem estrutura celular. A maioria da semifusinite dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize é do tipo degradofusinite, o que também é referido por Navale et al (1983) para os carvões de Godavari.

É frequente observarem-se, numa única partícula, todos os estádios de transição entre a vitrinite (telocolinite e, mais raramente, telinite) e a semifusinite e entre a semifusinite e a fusinite (Navale et al 1983; Navale & Misra 1984; Chakrabarti 1987). Estes factos tornam, por vezes, difícil distinguir a semifusinite da vitrinite, por um lado, e da fusinite, por outro, principalmente se observamos uma partícula que está num estágio de transição.

À semelhança da fusinite, a semifusinite também pode apresentar a estrutura celular dobrada e compactada (Est. XIV-a).

Do mesmo modo que acontece com a vitrinite, também algumas semifusinites mostram alterações sob a acção do ataque químico, pondo em maior evidência a estrutura celular (Est. XIV-a). As Est. XIV-a e Est. V-b mostra a estabilidade da fusinite e da esclerotinite à acção deste ataque.

Utilizando luz polarizada para a observação da semifusinite, pode ver-se uma anisotropia característica que confere à partícula um aspecto ondulado (Est. XV-a,b); este aspecto é chamado de "chagrin" (dada a similitude morfológica com os couros assim designados) e resulta da justaposição das paredes celulares dos tecidos mais ou menos gelificados, provocando anisotropia (Sousa 1978).

No caso dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize acontece aparecerem muitas vezes semifusinites de estrutura celular muito fina, o que lhe dá um aspecto granular, e com um grau de oxidação tão intenso que lhe dá um aspecto dourado (Est. XV-c).

A semifusinite, à semelhança do que acontece com a fusinite, ocorre quer em fragmentos na desmocolinite, como acontece nos carvões de Sohagpur (Chakrabarti 1987) ou em bandas finas ou espessas (Navale et al 1983; Taylor et al 1989) (Est. XVII-b).

O preenchimento dos lúmens celulares da semifusinite por matéria mineral é ocorrência comum nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize. Os minerais mais frequentes são os minerais da argila. Contudo, ocorrências doutros minerais nos lúmens da semifusinite são referidas por Navale (1981), Navale et al (1983) e Navale & Saxena (1989), que descrevem a presença de carbonatos e sulfuretos. Navale & Saxena (1989) referem também a presença de carbonatos a preencherem microfracturas que atravessam os grãos de semifusinite. Além de semifusinites com lúmens ocupados por matéria mineral, também as há com os lúmens vazios.

c) Esclerotinite

Maceral pouco frequente, ocorre contudo sob os mais variados aspectos. Sousa (1984) refere três tipos de esclerotinite nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize:

- i) plectenquiminite - constituída de plectênquima de fungos;
- ii) corposesclerotinite - esporos e esclerotos de fungos; e
- iii) pseudocorposesclerotinite - geralmente resinas oxidadas.

Estes três tipos de esclerotinite foram, também, por nós encontrados nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize. Uma característica geral a todos os tipos de esclerotinite é os seus elevados poderes reflectores e relevo e uma cor amarela intensa, por vezes de aspecto metálico. Além dos três tipos de esclerotinite acima mencionados, há que referir a acção dos fungos que atacam os tecidos vegetais, particularmente as fusinites. Esta esclerotinização, quando muito avançada, origina um componente em tudo semelhante à esclerotinite no que respeita a propriedades ópticas, dureza e relevo, se bem que não corresponda à esclerotinite típica resultante dos tecidos dos próprios fungos, o que se pode observar nas Est. XIII-c,d e Est. XXXIV-a,b, e que foi, também, referido por Snyman (1961) e Pareek (1987). A associação da esclerotinite com a fusinite e a semifusinite, se bem que dominante, não é a única, pois pode também encontrar-se esclerotinite associada à vitrinite (Navale 1965).

É comum observarem-se corpos esclerotiníticos arredondados e elípticos dispostos lado a lado e ligados entre si e embebidos na vitrinite - plectênquima (Est. XVI-c). Estes corpos têm uma cor branca e um elevado relevo denunciando a sua grande dureza relativa. Quanto à esclerotinite resultante de resinas oxidadas, podemos encontrar alguns tipos diferentes:

- i) Corpos isolados que, geralmente, apresentam no seu interior fendas simples ou entrecruzadas (*notches*) que podem atingir a bordadura do corpo (Est. XVI-a, Est. XXVIII-a) e terem cerca de 40 μm de comprimento e 7 μm de largura. É frequente estes corpos esclerotiníticos estarem associados a minerais vários, geralmente sulfuretos. Um outro tipo ocorre sob a forma de corpos arredondados esféricos ou elípticos com um (Est. XVI-e,f) ou mais vacúolos centrais. Estes corpos podem atingir dimensões várias: 40 μm , 20 μm . Quanto aos vacúolos, variam em número e dimensão. Os corpos têm diâmetros muito variados, indo dos 18 μm aos 60 μm e os vacúolos também têm dimensões variadas: ou aparecem como minúsculos orifícios no centro, quase coalescidos, ou têm

diâmetros que variam dos 5 μm aos 60 μm ; isto significa que as paredes dos corpos podem ter espessuras também variadas, desde muito espessas a muito finas. Outros corpos apresentam um aspecto esponjoso devido a inúmeros orifícios pequenos.

ii) Corpos globulares isolados ou agregados, geralmente arredondados ou elípticos com bordos lisos ou crenulados.

Incluídos na esclerotinite, refere-se a existência de corpos esferoidais (Sousa 1978) totalmente desprovidos de estrutura interna (Est. XVI-d). Estes corpos devem provir da oxidação de corpocolinites e de glóbulos homogêneos de resinas (Sousa 1978) (Est. XVI-d, Est. XVII-a,b).

Convém aqui referir que a esclerotinite também não é um maceral que ocorrem em grande quantidade noutros carvões, se bem que os vários tipos de esclerotinite referidos anteriormente, quer os esclerotos, as resinas oxidadas ou as corpocolinites oxidadas, também se encontram normalmente presentes nos carvões gonduânicos, como referem Mukherjee & Datta (1959), Snyman (1961), Navale (1965), Pareek & Pande (1970), Navale & Misra (1984), Chakrabarti (1987), Pareek (1987), Mukherjee et al (1988) e Navale & Saxena (1989).

d) Macrinite

Vários autores referem que a macrinite é um maceral pouco frequente (Mukherjee & Datta 1959; Chatterjee et al 1990). É, de facto, um maceral muito pouco frequente nos carvões estudados. A sua ocorrência foi referida noutros estudos (BIF 1983; Vasconcelos 1988; Vasconcelos & Santos, 1988, 1989), sendo a sua percentagem de ocorrência sempre inferior a 1%. Na Est. XVIII-b pode ver-se, embebida na vitrinite, uma macrinite de forma oval com dimensões entre 130 e 90 μm , de cor mais branca, poder reflector e relevo mais altos que os da vitrinite envolvente. O tipo de macrinite referido na Est. XVIII-b foi também reconhecido por Taylor et al (1989) que descrevem a existência de macrinite em bandas, estas não observadas nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize.

e) Micrinite

São poucas as ocorrências de micrinite, raramente ultrapassando os 0.5%. Na Est. XVIII-a pode ver-se micrinite a preencher lúmens de fusinite. Esta escassez de micrinite é referida por vários autores como situação geral nos carvões gonduânicos. Assim, Pareek & Pande (1970), Alpern (1978), Chakrabarti (1987), Pareek (1987) e Chatterjee et

al (1990) referem que a micrinite é rara nos carvões gonduânicos e, por vezes, está mesmo ausente (Mukherjee et al 1988). Mukherjee & Datta (1959) e Pareek & Pande (1970) referem que nos carvões, a micrinite ocorre em maiores percentagens associada aos leitos ricos em inertinites, sendo menos frequente em leitos ricos em vitrinite.

f) Inertodetrinite

A inertodetrinite não é um maceral muito frequente nos nossos carvões, como acontece em muitos carvões gonduânicos (Chakrabarti 1987; Pareek 1987). Contudo, Hagelskamp & Snyman (1988) e Snyman (1989) referem carvões sul-africanos em que a inertodetrinite é o maceral dominante. Por outro lado, em carvões indianos (Navale & Misra 1984; Navale & Saxena 1989; Chatterjee et al 1990) e nigerinos (Alpern 1978) a inertodetrinite, se bem que não dominante, é um maceral muito comum.

As partículas de inertodetrinite ocorrem geralmente isoladas ou em pequenos grupos no seio doutros macerais, geralmente vitrinite (Est. III-c) (Chakrabarti 1987; Pareek 1987; Navale & Saxena 1989). Contudo, Hagelskamp & Snyman (1988) referem ser muito rara a associação da inertodetrinite com a vitrinite em carvões de Highveld (África do Sul). A associação com carbominerites (Est. XVIII-c) também é frequente (Navale et al 1983; Mukherjee et al 1988). Pode, contudo, acontecer que as partículas ocorram em agregados de inúmeras partículas de dimensões, formas, cores e poderes reflectores diferentes, como está patente na Est. XIX-a. Esta diversidade permite, contudo, determinar muitas vezes a origem da inertodetrinite. Todavia, essa possibilidade é muitas vezes impossível, como referem Taylor et al (1989) que descrevem inertodetrinites arredondadas, muitas vezes difíceis de separar da macrinite e da vitrodetrinite.

Partículas de inertodetrinite resultantes da fracturação de várias inertinites por processos de transporte, moagem e peneiração dos carvões, podem ser vistas misturadas com partículas vitriniticas com a mesma origem (Est. IV-a).

g) Carbono pirolítico

Como atrás se referiu, este constituinte está descrito no sub-capítulo da inertinite pela única razão de terem propriedades ópticas semelhantes às dos macerais deste grupo.

A ocorrência deste constituinte não é muito frequente, aparecendo em corpos de dimensões variadas. No caso da Est. XXI-a, o carbono pirolítico ocorre na forma de

glóbulos esféricos com mais de 100 μm de diâmetro, normalmente coalescendo entre si e apresentando, geralmente, no seu interior vacúolos de dimensões várias, que podem ter diâmetros de 5 a 30 μm . Estas dimensões podem, contudo, ser muito menores. Em luz natural reflectida, os glóbulos apresentam uma estrutura concêntrica e radial (estrutura em folha de cone), estrutura esta que é melhor posta em evidência com luz polarizada e/ou com cunha de quartzo, como é bem patente nas Est. XX-a,b.

É de referir que os glóbulos de carbono pirolítico podem ocorrer isolados e/ou agrupados no seio de desmocolinites e de carbominerites. Nestes casos, pode ver-se que a microestratificação acompanha o contorno dos glóbulos. Este aspecto é visível na Est. XIX-b,c em que aparece um glóbulo de carbono pirolítico, com as suas estruturas radiais bem visíveis e evidenciadas em luz polarizada e com cunha de quartzo (Est. XIX-c). Outras vezes ocorrem associados a macerais do grupo da inertinite, como acontece na Est. XXI-b, em que o carbono pirolítico mostra uma transição para a fusinite. Esta transição pode ser posta em evidência com o uso de luz polarizada com cunha de quartzo.

11.2.3. MATÉRIA MINERAL

A matéria mineral é bastante frequente nos carvões por nós estudados, sendo fundamentalmente singenética. Sousa (1984) refere que a matéria mineral por si identificada nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize é toda singenética, mas nós observámos também minerais epigenéticos. São vários os minerais que aparecem nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, sendo os mais frequentes os minerais da argila, conforme foi já referido em vários trabalhos (Aires-Barros et al. 1984; Sousa 1984; Künstner et al 1985; Vasconcelos 1988; Vasconcelos & Santos 1988, 1989; Moatize Summary 1990; Projecto Integrado 1991). Também a confirmar os resultados apresentados nas obras acima referidas, o quartzo é o segundo mineral mais abundante. Os minerais epigenéticos que aparecem nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize são, fundamentalmente, carbonatos, aparecendo sulfuretos de onde em onde.

a) Minerais da Argila

São os minerais mais frequentes nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize e, geralmente, nos restantes carvões gonduânicos. As formas de ocorrência são muito variadas, podendo ocorrer em leitos no interior da telocolinite (Est. II-a) (Navale et al 1983; Navale & Saxena 1989), em bandas de carbargilite ou, simplesmente, de minerais puros de argila (minerite) (Est. XXII-a) e, ainda, preenchendo lúmens de estruturas celulares

vitricas e/ou inerticas (Est. X-c, Est. XI-a,b) (Snyman 1961; Navale et al 1983; Navale & Saxena 1989; Chakrabarti 1987). Nestes casos apresentam-se em agregados com uma cor castanha, mais ou menos escura, e com aspecto terroso e granular. Sousa (1984), Pareek & Pande (1970), Navale et al (1983) e Hagelskamp & Snyman (1988) referem ainda que as argilas servem muitas vezes de cimento a inertites. Também se podem observar não só inertite (Est. XXXV-c,d) como também vitrite associada às argilas (Navale 1965; Hagelskamp & Snyman 1988). Por vezes, estes agregados ocorrem não a preencher lúmens de estruturas celulares, mas embebidos noutros macerais. É o caso das Est. XXIV-a,b, que apresentam um agregado destes, de 20 µm de diâmetro, que apresenta reflexões internas laranja-acastanhadas.

Uma outra forma de ocorrência de minerais da argila é em grãos de aspecto mais cristalizado, podendo mostrar ou não uma estrutura típica com diferenças de coloração e brilho que se dispõem paralelamente entre si, denotando a estrutura dos filossilicatos a que pertencem (Est. XXII-b). Estes grãos podem atingir dimensões de 100 µm. Esta estrutura pode ser vista em lâmina delgada com uma ampliação conveniente (50X) como se observa na Est. XXII-c. Outras vezes, as argilas ocorrem em bandas mais espessas e algo extensas, como se ilustra na Est. XXXV-a.

A dominância das argilas verificada nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize foi, também, verificada noutros carvões gonduânicos, como os de Godavari (Navale et al 1983), de Wardha Valley (Pareek & Pande 1979), de Highveld (Hagelskamp & Snyman 1988) e outros (Navale & Saxena 1989; Chatterjee et al 1990).

As argilas ocorrem, muitas vezes, associadas a outros minerais, principalmente quando de origem singenética, sendo o quartzo o mais frequente (Pareek & Pande 1970; Snyman 1961; Hagelskamp & Snyman 1988; Navale & Saxena 1989).

Como se sabe, as argilas do tipo caulino são fluorescentes (Teichmüller & Wolf 1977; Wolf 1993) e, nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, ocorre este fenómeno também. Em irradiação com luz azul, as argilas apresentam-se com uma cor de fluorescência laranja-acastanhada que põem em evidência a sua estrutura lamelar de filossilicatos e, também, as dimensões dos grãos. Assim, as Est. XXIII-b,c mostram claramente a estrutura lamelar das argila. Por outro lado, a Est. XXIII-a mostrando o mesmo aspecto lamelar, evidencia também que os grãos são muito mais pequenos do que os mostrados nas outras duas fotos anteriores. Outro aspecto de argilas fluorescentes vem referido na Est. XI-b. É de referir, ainda, que o uso da fluorescência permite, muitas vezes,

verificar se os lúmens dos tecidos estão preenchidos por argilas ou se estão vazios. É o que se pode ver nas Est. XIII-a,b, em que os lúmens duma das fusinites estão vazios e os da outra estão preenchidos por argilas. Contudo, em luz natural, não é possível fazer a distinção, não sendo também possível, muitas vezes, sem fluorescência, distinguir se manchas escuras no seio doutros macerais são vazios ou minerais.

b) Carbonatos

Os carbonatos são minerais epigenéticos (Snyman 1961; Navale et al 1983) e não são abundantes, contrastando com as observações de Navale & Saxena (1989) em que os carbonatos são os minerais mais abundantes. Dos carbonatos, o mais frequente é a calcite, se bem que Sousa (1984) refira a sua ausência nos mesmos carvões. Estes minerais aparecem normalmente a preencher os lúmens de estruturas celulares, principalmente de fusinite ou, mais raramente, preenchendo fracturas (Navale et al 1983). No caso da Est. X-a, a calcite apresenta uma cor castanha acinzentada, de aspecto relativamente homogéneo e translúcido típico, pois conseguem ver-se à transparência algumas partículas de inertinite. A birrefringência da calcite pode ser reconhecida se rodarmos a platina e verificarmos a variação da cor.

Contrastando com o aspecto generalizado de minerais preenchendo lúmens celulares, os carbonatos aparecem também como massas de grandes dimensões contendo macerais no seu interior (Est. XXV-a, Est. XXXVI-a), sejam vitrodetrinite, sejam inertodetrinite. Também é normal encontrarem-se grãos de calcite embebidos na vitrinite (Est. XXV-c) ou misturados com argilas (Navale 1981).

Vários autores referem, frequentemente, siderite associada às argilas (Pareek & Pande 1970; Chatterjee et al 1990). Künstner et al (1985) referem que a siderite é muito rara nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize.

O comportamento dos carbonatos, concretamente da calcite, à irradiação com luz azul (Teichmüller & Wolf 1977) é variável, havendo casos em que apresentam fluorescência amarela-dourada (Est. XXV-b) e, outros, em que essa fluorescência não existe, fenómenos estes que se passam mesmo em grãos a preencher lúmens contíguos de fusinite, como se pode ver na Est. XXV-b, em que as partes escuras não são só fusinites, mas também alguns lúmens com carbonatos não fluorescentes. Um aspecto interessante a notar nesta mesma fotografia é um zonamento de cristalização da calcite posto em evidência pela luz azul e que ocorre num único grão.

c) Quartzo

É o segundo mineral em ocorrência nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize. Nos carvões de Madagáscar (Alpern & Rakotoarivelo 1972) o quartzo é o mineral dominante. Aparece, normalmente, em grãos arredondados elípticos de dimensões reduzidas, podendo, contudo, mas raramente, atingir 200 μm . Nestes casos é frequente apresentarem agulhas de rútilo no seu interior e notarem-se reflexões internas (Est. XXVI-a,b,c). O quartzo é, assim, totalmente detrítico, sendo o transporte denotado pelo arredondamento dos grãos.

Pareek & Pande (1970) observaram quartzo nos lúmens da fusinite nos carvões de Wardha Valley; mas, como atrás se disse, o quartzo ocorre fundamentalmente associado com as argilas ou ainda embebido nos leitos de vitrinite.

Se bem que o quartzo não seja fluorescente, o uso de fluorescência permite muitas vezes distinguir o quartzo de orifícios nos macerais, pois que, como o quartzo é transparente, a luz azul é parcialmente reflectida por reflexões internas, dando ao grão do mineral uma cor castanha escura.

d) Sulfuretos

São pouco frequentes nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize onde ocorrem na forma de sulfuretos singenéticos e, mais raramente, epigenéticos (Vasconcelos & Santos 1988). No primeiro caso, ocorrem geralmente no seio da vitrinite e, no segundo, a preencher fracturas e/ou lúmens de estruturas celulares (Est. III-a,c) (Navale & Saxena 1989; Chakrabarti 1987) e/ou associados às argilas ou, ainda, a debruar grãos de vitrinite, o que contudo é muito raro. Nos carvões de Bangladesh (Bostick et al 1991) os sulfuretos são, fundamentalmente, epigenéticos e preenchem fracturas, situação oposta à dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize.

O sulfureto mais comum é a pirite, com cor amarela metálica intensa. Outros sulfuretos, menos comuns, têm também um elevado poder reflector, contudo não tão alto como o da pirite, e uma cor mais esbranquiçada. Este segundo tipo de sulfuretos é fundamentalmente epigenético, pois aparece quase sempre a preencher os lúmens celulares da fusinite (Est. XXVII-b). Por vezes é possível encontrarem-se estes dois tipos de sulfuretos, lado a lado, associados às argilas (Est. XXVII-a).

A pirite singenética ocorrem na forma de grãos pequenos, isolados e disseminados na telocolinite (Snyman 1961) ou, ainda, em grãos de tal modo agregados que originam corpos globulares, a que se dá o nome de corpos frambóides, que ocorrem na telocolinite (Est. XXVIII-a,b), ou isoladamente ou agrupados (Vasconcelos & Santos 1988). Numa das amostras observadas foi encontrada, no seio da fusinite, uma secção euédrica, de forma hexagonal, dum sulfureto, possivelmente pirrotite (Est. XXVIII-c).

Uma breve referência ao comportamento dos sulfuretos à luz azul deve ser feita, pois que estes minerais apresentam uma intensa cor azul-esverdeada.

e) Óxidos e Hidróxidos

Os óxidos e hidróxidos presentes nestes carvões são geralmente de ferro. Os primeiros têm uma cor branca acinzentada e, os segundos, são castanho-avermelhados, translúcidos e granulares e resultam geralmente da alteração dos óxidos (Est. XXIX-a). Alguns hidróxidos de ferro, geralmente a limonite, provêm da alteração da pirite, como se pode ver na Est. XXIX-c (luz natural) e na Est. XXIX-d (luz polarizada). Nesta última fotografia, os minerais apresentam cores de polarização vermelhas típicas. Como se pode ver na Est. XXIX-b, os hidróxidos, avermelhados em luz natural, têm uma cor amarela dourada intensa em luz azul.

f) Outros Minerais

Durante o estudo microscópico das amostras de carvão da Bacia Carbonífera de Moatize foi possível observar outros minerais, alguns deles difíceis de identificar. Assim:

Na Est. XXX-a ocorre um grão com cerca de 80 μm de cor castanha com superfícies de clivagem paralelas à direcção de alongamento do grão. Deve tratar-se, possivelmente, duma mica.

Como se referiu na alínea sobre o quartzo, é frequente os grãos deste mineral apresentarem agulhas de rútilo (Est. XXVI-a,c).

Foi observado um agregado de minerais cinzento-acastanhados embebidos em matriz argilosa (Est. XXX-d). Em luz azul (Est. XXX-e) estes minerais apresentam forma euédrica hexagonal. Supõe-se tratar-se de apatite.

Na FG T3-2/5 foram observados alguns cristais aparentemente cúbicos (Est. XXX-c) na vitrinite, à volta dos quais há um halo não pleocróico, mas que apresenta uma leve fluorescência.

Outros minerais aparecem como grãos isotrópicos com forte iridescência (Est. XXX-b) embebidos em vitrinites e/ou carbominerites.

Se bem que não tenham sido encontrados durante este estudo, foram, contudo, observados minerais radioactivos em carvões da camada Chipanga na Mina Chipanga IV em trabalho anterior (Vasconcelos & Santos, 1989).

11.2.4. MANIFESTAÇÕES DE HIDROCARBONETOS

O estudo dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize com a utilização dos métodos de fluorescência (Vasconcelos s/d) permitiu identificar, pela primeira vez nestes carvões, manifestações de hidrocarbonetos.

Como se pode ver na Est. XXXI-a, há um leito de telocolinite que apresenta uma microfractura que, observada em fluorescência (Est. XXXI-b) apresenta uma mancha amarela esverdeada típica de hidrocarbonetos. Por vezes, estas manchas têm uma cor mais amarelada que no caso anterior. Na Est. XXXI-c observam-se outras manifestações de cor ainda mais amarela que as anteriores e com forma de gotículas.

Um outro aspecto de libertação de hidrocarbonetos manifesta-se por películas oleosas à superfície das telocolinites que apresentam, em luz reflectida natural, estrutura mais ou menos concêntrica em de anéis de Newton (Est. XXXI-d,f) e, em luz azul, têm cor amarela esverdeada (Est. XXXI-e,g). É interessante notar que se se observarem partículas de telocolinite com luz azul ao fim de alguns meses de repouso, aumentam substancialmente as manifestações de hidrocarbonetos, como se pode ver nas Est. XXXII-a,b.

Os hidrocarbonetos também podem ocorrer embebendo a minerite, como vem detalhado em 11.2.5.2.

11.2.5. MICROLITÓTIPOS

Os microlitótipos, segundo a definição do Léxico 2 (1971) são associações de um ou mais tipos de macerais, em bandas com um mínimo de 50 μm de espessura. É sabido que há três grupos de macerais - vitrinite, liptinite e inertinite - os quais, associando-se,

constituem os microlitótipos. Os microlitótipos podem, assim, ser constituídos por um, dois ou três grupos de macerais, dando origem, respectivamente, às monomacerites, às bimacerites e às trimacerites (Tab. 11.2):

- a) monomacerites: microlitótipos constituídos por macerais de um só grupo de macerais;
- b) bimacerites: microlitótipos constituídos por macerais de dois grupos de macerais;
- c) trimacerites: microlitótipos constituídos por macerais dos três grupos de macerais.

Devido à quase total ausência de macerais do grupo da liptinite, os únicos microlitótipos presentes nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize são as monomacerites (vitrite e inertite) e as bimacerites (vitrinertite). Todos os outros microlitótipos que, por definição, têm liptinite na sua composição, não se encontram presentes: liptite (monomacerite), clarite e durite (bimacerites), clarodurite, duroclarite e vitrinertoliptite (trimacerites), embora ocorram noutros carvões gonduânicos em que a liptinite é comum.

Os dados sobre a composição em microlitótipos doutros carvões gonduânicos (Brasil, Índia e Austrália) mostram uma variação muito grande de bacia para bacia e de camada para camada dentro de cada bacia. Por exemplo, os carvões de Talcher (Navale 1965) têm como microlitótipos dominantes as trimacerites. Já os carvões de East Bokaro (Bhattacharyya & Mukherjee 1969), alguns de Sohagpur (Pareek 1987), e os de Leigh Creek, Callide e Blair Athol na Austrália (Shibaoka & Smyth 1975) têm as durites+inertites como microlitótipos dominantes. Por outro lado, os carvões brasileiros de Morungava (Alpern & Nahuys 1985), os indianos da formação geológica de Tikakparbat (Navale 1981) e os australianos de Singleton, Newcastle inferior e Ipswich (Shibaoka & Smyth 1975) têm as clarites+vitrites como microlitótipos dominantes. Carvões com quantidades semelhantes de vitrite+clarite/durite+inertite/trimacerite+vitrinertite podem ser encontrados em carvões da formação de Barakar na Índia (Navale 1981), em Sohagpur, também na Índia (Chakrabarti 1987), em Greta, Baralaba, Newcastle superior, alguns de Leigh Creek na Austrália (Shibaoka & Smyth 1975) e em Santa Rita no Brasil (Corrêa da Silva et al 1984).

11.2.5.1. Vitrite

Sendo a vitrite constituída por mais de 95% de vitrinite, poderiam ser subdivididas segundo o tipo de vitrinite que as compõem. Aliás, na Tab. 11.2 referem-se dois termos, contudo já caídos em desuso: a colite e a telite, compostos respectivamente por colinite e por telinite. Sabemos que os macerais mais comuns do grupo da vitrinite presentes nestes carvões são a telocolinite e a desmocolinite, ambos variedades da colinite. Sendo assim, a colite é o microlitótipo dominante da vitrite. Contudo, durante a análise de microlitótipos, a vitrite foi contada como tal, não se fazendo distinção entre colite, telite e outros.

Sendo natural que a abundância dum determinado maceral corresponderá à abundância da monomacelite respectiva, é de supor que nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize a colite seja constituída, predominantemente, por telocolinite e desmocolinite. Considerando que os outros macerais mais frequentes do grupo da vitrinite - telinite e vitrodetrinite - são de ocorrência rara, podemos dizer que a telite e a vitrite constituída por vitrodetrinite são também muito raras. Além disso, as telinites observadas tinham todas os lúmens celulares ocupados por matéria mineral. Nesses sentido, a telite propriamente dita (com lúmens vazios) só foi observada para as telinites 2 (Est. III-b), já que o preenchimento dos lúmens com matéria mineral coloca o componente no grupo das carbominerites.

Sendo frequente a ocorrência de telocolinite e de desmocolinite lado a lado e por vezes em bandas alternantes, muitas das colites são constituídas por estes dois macerais do grupo da vitrinite (Est. II-a).

As estampas que a seguir se referem mostram bons exemplos de vitrites. Assim, na Est. I-c está representada uma vitrite constituída de telocolinite; na Est. IV-c observa-se uma vitrite constituída de vitrinites alteradas (fracturadas e meteorizadas) e na Est. IV-b observa-se uma vitrite constituída por vitrinite muito fracturada. A Est. II-a apresenta uma vitrite (constituída de desmocolinite) com impurezas de argilas dispostas em leitos paralelamente à microestratificação. A Est. III-c mostra uma telite. Finalmente, as Est. III-a,b mostram telinites em carbominerites (carbopirites), com sulfuretos a preencherem os lúmens, sulfuretos que aparecem em maior quantidade do que a própria telinite.

O facto de os carvões gonduânicos da Bacia Carbonífera de Moatize, em termos de composição maceral, se parecerem mais com os carvões norte-atlânticos, reflecte-se nas percentagens de microlitótipos. Assim, segundo Stach (1982b), as percentagens de vitrite dos carvões gonduânicos variam entre 20 e 30%. Contudo, como se pode ver na Tab. 11.4, há percentagens de vitrite que atingem mais de 85%. É claro que os dados da Tab. 11.4 se referem a FGs do carvão total; contudo, se calcularmos a média pesada para o carvão global, o valor da vitrite é de 65.1% e de 59.7% para as amostras T3-2 e T8-2, respectivamente.

11.2.5.2. Inertite

A inertite, por definição, é constituída por mais de 95% de macerais do grupo da inertinite, seja por um ou mais macerais deste grupo. Durante a análise maceral, a inertite foi contada segundo o maceral dominante (>95%) do grupo. Assim, a fusite é uma inertite composta de mais de 95% de fusinite. No caso de inertites compostas por >95% de esclerotinite, utilizámos o termo esclerotite que, segundo o Léxico 2 (1971), já caiu em desuso. Achámos, porém, por bem aplicá-lo para distinguir este tipo de inertites.

Na Tab. 11.4, na coluna referente à inertite, os valores das percentagens deste grupo de microlitótipos não corresponde, normalmente, à soma dos seus microlitótipos. Isto deve-se a haver inertites constituídas por mais do que um maceral do grupo da inertinite, por exemplo, fusinite+semifusinite, fusinite+esclerotinite, etc., não sendo assim possível atribuir um nome próprio como, por exemplo, a inertite das Est. XIII-c,d, constituídas por fusinite e esclerotinite e a inertite da Est. XVIII-a, constituída por fusinite e micrinite (esta a preencher os lúmens da fusinite).

Dos microlitótipos da inertite, os mais comuns são as fusites (com valores máximos de 2% e 23.8%, em função da granulometria da F/SFG) e as semifusites (valores máximos de 1.0% e 5.6%), já que são as fusinites e as semifusinites os macerais mais abundantes do grupo da inertinite. Outras ocorrências, mas em muito menor quantidade, são a esclerotite (<2.0%), a inertodetrinite (<0.6%) e a macroíte (<0.3%), pois os macerais esclerotinite, inertodetrinite e macrinite são muito pouco frequentes.

a) Fusite

As fusites que ocorrem nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize são de dois tipos: fusite dura e fusite mole. A fusite mole tem os lúmens livres de matéria mineral e são as verdadeiras fusites na verdadeira acepção da palavra (Est. XXXIII-a,b). Quando os lúmens da fusinite estão preenchidos por matéria mineral (a chamada fusite dura) passamos a ter uma carbominerite e não uma fusite (Est. X-a,c). No entanto, se durante as contagens de microlitótipos, mais de 60% dos pontos do retículo caírem na fusinite, o microlitótipo é contado como fusite. A fusite ocorre, muitas vezes, em finas bandas, ou alternando com as vitrite ou intercalada nesta.

b) Semifusite

Do mesmo modo que a fusinites, a semifusinite (Est. XIV-a, Est. XV-a,b,c) pode ou não aparecer impregnada de matéria mineral, e as considerações que se fizeram na alínea anterior (fusites) sobre considerar-se fusite ou carbominerite também se aplicam à semifusite. Dum modo geral, a literatura refere que a semifusinite ocorre em maior quantidade que a fusinite (Stach 1982a), o que não é o caso face aos nossos resultados. Deste modo, nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize por nós estudados a semifusite é também menos frequente que a fusite.

c) Esclerotite

A esclerotite é pouco frequente e nem sempre está presente. É considerada como tal quando o retículo de 20 pontos cai sobre um plectênquima de fungo, uma fusinite esclerotizada, uma resina oxidada ou um corpo esférico suficientemente grande para abarcar o retículo. A Est. XXXIV-a mostra uma esclerotite composta de fusinite esclerotizada.

d) Macroíte

A macroíte, composta unicamente por macrinite, é extremamente rara, já que a macrinite é um maceral muito raro nestes carvões. Além disso, é considerado o microlitótipo mais raro da inertite (Stach 1982b).

e) Inertodetrinite

A inertodetrinite, considerado um microlitótipo muito frequente nos carvões gonduânicos (Stach 1982b) é, à semelhança da macroíte, também raro nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize (<0.6%). A Est. XIX-a mostra uma inertodetrinite típica, com partículas de inertodetrinite com cores e poderes reflectores diversos.

11.2.5.3. Vitrinertite

O termo vitrinertite foi proposto por Alpern (1954) para referir bimacerites compostas, fundamentalmente, por mais de 95% de vitrinite+inertinite. É um microlitótipo muito comum nos carvões estudados, praticamente com a mesma abundância da inertite. Nestes carvões, a vitrinertite varia entre 7% e 30%. Dentro da vitrinertite, podemos considerar aquela em que a vitrinite domina sobre a inertinite (vitrinertite V) e aquela em que a inertinite domina sobre a vitrinite (vitrinertite I). Para efeitos de contagem, considerámos ainda a vitrinertite com quantidades iguais de inertinite e vitrinite (vitrinertite VI).

Nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, a vitrinertite é composta, fundamentalmente, por telocolinite e/ou desmocolinite e por fusinite e/ou semifusinite. São raras as vitrinertites em que entram outros macerais dos grupos da vitrinite e da inertinite. Os macerais do grupo da inertinite que podem ocorrer em vitrinertite sem ser a fusinite ou a semifusinite são a esclerotinite e a inertodetrinite. No caso da Est. I-d aparece uma vitrinertite V em que a inertinite é constituída por inertodetrinite e fusinite esclerotinizada. Nas Est. II-b,c está representada vitrinertite I constituída por fusinite e por gelocolinite.

Nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, a vitrinertite V domina sobre a vitrinertite I e a vitrinertite VI, o que está de acordo com a dominância da vitrinite sobre a inertinite. Por seu lado, a vitrinertite I domina ligeiramente sobre a vitrinertite VI. Em termos de definição dos microlitótipos (Léxico 1963), a vitrinertite VI não existe, pelo que os valores de vitrinertite VI por nós contados devem ser repartidos pela vitrinertite V e vitrinertite I na mesma proporção em que elas existem.

11.2.6. CARBOMINERITES E MINERITE

Como está patente na Tab. 11.4, as carbominerites são associações entre matéria orgânica e matéria mineral, em que esta última ocorre entre os valores limites de 20 % e 60%, excepto para o caso dos sulfuretos, em que os limites considerados são de

5 % e 20%, devido à alta densidade destes minerais em relação aos outros. Por seu lado, a minerite é a associação de matéria orgânica com matéria mineral em que esta última está presente em percentagens maiores do que 60% (ou 20% no caso dos sulfuretos). A matéria orgânica que constitui as carbominerites e a minerite pode ser qualquer (Stach 1982b), podendo dominar os macerais do grupo da vitrinite ou da inertinite ou, ainda, estes ocorrerem em iguais proporções. Contudo, esta separação não foi feita na análise de microlitótipos.

11.2.5.1. Carbominerites

Como a seguir se descreve, as carbominerites podem ser subdivididas em cinco tipos, consoante o mineral que as constitui: carbargilite (matéria orgânica+argilas), carbanquerite (matéria orgânica+carbonatos), carbossilicite (matéria orgânica+quartzo), carbopirite (matéria orgânica+sulfuretos) e carbopoliminerite (matéria orgânica+diversos minerais). Nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, a carbargilite domina sobre todas as outras carbominerites. Seguem-se a carbopoliminerite, a carbossilicite, a carbopirite e a carbanquerite.

a) Carbargilite

Ocorrem em percentagens que vão dos 1.4% aos 13%, excepção feita à SFG T8-2/16, que contém 31% de carbargilite. Os constituintes que foram contados como carbargilite são de vários tipos:

- i) leitos de argilas incluídos nas telocolinities (Est. XXII-a);
- ii) argilas dispersas em desmocolinite (Est. II-a) e misturadas com inertodetrinite (Est. XVIII-c) e vitrodetrinite;
- iii) argilas preenchendo os lúmens das estruturas celulares da telinite, fusinite (Est. X-c, Est. XI-a,b), semifusinite e esclerotinite;

b) Carbanquerite

A carbanquerite é pouco frequente, havendo algumas fracções em que não aparecem. Quando ocorre, a carbanquerite raramente excede 0.8%. A forma mais comum e frequente de carbanquerite ocorre com carbonatos (geralmente calcite) preenchendo os lúmens da fusinite (Est. X-a) e da semifusinite. Raramente a carbanquerite ocorre com a vitrinite como matéria orgânica associada.

c) Carbossilicite

A carbossilicite é pouco frequente, havendo uma ou duas SFGs onde não foi contada a carbossilicite. Quando ocorre, a presença da carbossilicite varia entre 0.2% e 1%. Frequentemente, a carbossilicite tem alguma argila misturada.

d) Carbopirite

A carbopirite, à semelhança da carbossilicite, é também pouco frequente, nunca ocorrendo acima de 1%. Os sulfuretos que constituem a carbopirite são geralmente corpos frambóides de pirite (Est. XXVIII-b) ou lúmens de fusinite e/ou esclerotinite (Est. XXXIV-b) e telinite (Est. III-a) preenchidos por pirite ou outros sulfuretos.

e) Carbopoliminerite

Os minerais que constituem a carbopoliminerite são fundamentalmente argilas e quartzo. Por vezes, ocorrem outros minerais não identificáveis. Na Est. XXXIV-c está representada uma carbopoliminerite constituída por argilas e pirite.

11.2.6.2. Minerite

A minerite é, fundamentalmente, constituída por argilas (Est. XXXV-a,b,c). É rara a minerite composta fundamentalmente por outros minerais e, quando ocorre, os minerais mais comuns são a pirite (Est. XXVII-a), o quartzo (Est. XXVI-a,b) e os carbonatos (Est. XXV-a, Est. XXXVI-a). Contudo, observou-se raramente minerite constituída por óxidos e hidróxidos de ferro (Est. XXIX-a,c) ou constituída por uma mistura de argilas com outros minerais, possivelmente apatite (Est. XXX-d).

No caso da minerite há a referir a ocorrência de casos com estruturas particulares, supondo-se serem constituídas basicamente por argilas, parecendo os minerais ocupar os lúmens celulares de macerais do tipo telinite. Aliás, os restos de macerais são bem visíveis e regularmente ordenados por toda a partícula de minerite. Estes aspectos são visíveis na Est, XXXV-b,c. À excepção da SFG T8-2/16, que tem uma percentagem de minerite de 22%, a percentagem de minerite raramente supera 6%.

11.2.6.3. Matrizes Organominerais

No decorrer do estudo micropetrográfico destes carvões, observámos várias partículas de minerite que, em luz azul, apresentam uma fluorescência nos tons alaranjados e acastanhados (Est. XXXVI-b, Est. XXXVII-a,b). Estas partículas de minerite, que ocorrem só nas F/SFGs >5 mm e, concretamente, nas fracções densimétricas F1.65 a F1.80 e S1.80 (obviamente com maior concentração de matéria mineral), são extremamente semelhantes opticamente ao que se designa por matriz organomineral, termo este aplicado às concentrações de matéria orgânica em sedimentos com matéria orgânica dispersa (MOD) (Robert 1985).

Segundo Mukhopadhyay (1985), as matrizes organominerais são comuns em rochas-mãe do petróleo e em carvões ricos em matéria mineral, como os carvões terciários do Grupo Jackson do Texas. Este termo sofreu uma pequena modificação, pois Teichmüller & Ottenjann (1977) e Teichmüller (1985) aplicaram a designação "matriz betuminosa-mineral" aos xistos betuminosos com *Posidomia* da Alemanha. Acontece que nem todos os componentes orgânicos destas matrizes são liptiníticos, havendo partículas inertiníticas e vitriníticas. Assim, segundo a proposta de Mukhopadhyay (1985), haveria três tipos de matrizes organominerais - liptiníticas, inertiníticas e vitriníticas - consoante os tipos dominantes de constituintes orgânicos presentes. A matriz liptinítica corresponderia à matriz betuminosa-mineral de Teichmüller & Ottenjann (1977) e Teichmüller (1985).

Robert (1985, 1988), ao descrever os principais grupos de matéria orgânica, refere-se às matérias primárias sem estrutura, das quais constam as matrizes sapropélicas e as matrizes húmicas, além dos três grupos de macerais (primários e secundários), dos produtos líquidos ou sólidos da incarbonização e a matéria orgânica dispersa (MOD) nas rochas. Interessa-nos, neste ponto, considerarmos só as matrizes.

Segundo Robert (1985, 1988), as matrizes sapropélicas têm as algas como matéria orgânica. O termo sapropélico aqui aplica-se unicamente às algas, não incluindo, como no Léxico 1 (1963) os cannel-coal, ricos em esporos, que são biológica e sedimentologicamente de origem terrestre ou seja, autóctonos em relação à bacia de sedimentação. Microscopicamente, as matrizes sapropélicas são carbonatadas ou argilosas e, em luz azul, apresentam-se geralmente fluorescentes, com cores variando desde o verde ($PR_{vit}=0.4\%$) a laranja-acastanhado ($PR_{vit}=1\%$). No caso das matrizes húmicas (Robert 1985, 1988), a matéria mineral é carbonatada ou argilosa, à semelhança das anteriores. Em luz azul apresentam cores verde-amarelado a laranja-acastanhado de intensidade raramente

forte e que podem persistir até $PR_{vit}=1.30\%$ ou, mesmo, a um grau mais elevado. Estas matrizes húmicas ocorrem em estreita associação com matéria carbonosa húmica e parecem ser mais resistentes ao aumento da incarbonização do que as exinites, e a sua fluorescência pode ir até 1.5% ou mesmo 2% de PR_{vit} .

Estas considerações sobre as matrizes húmicas parecem estar de acordo com as nossas observações. A ocorrência de esporos preservados pode levar-nos a pensar que a fluorescências das partículas de minerite em questão sejam parcialmente devidas à presença de liptinites degradadas. Por outro lado, a existência de exsudatinite a preencher microfracturas da vitrinite e lúmens da fusinite e da semifusinite, bem como a libertação de hidrocarbonetos líquidos a partir de microfracturas da vitrinite, ambos com cores de fluorescência próprias, as quais também se manifestam nas partículas de minerite em questão, leva-nos a supôr que estas também estão a impregnadas naqueles constituintes.

Estamos, assim, perante uma situação que,, para a qual, não há terminologia própria aplicável ao caso dos carvões. É sabido que os hidrocarbonetos líquidos não são considerados constituintes das rochas. Por isso, torna-se necessário e importante considerar a introdução de terminologia própria para casos como estes. Sugere-se, assim, a introdução do termo "matriz organomineral" pela extrema semelhança óptica das minerites fluorescentes com as matrizes organominerais que ocorrem em sedimentos com matéria orgânica dispersa.

Convém, ainda, referir que a observação microscópica em luz natural reflectida não permite a distinção das partículas de minerite com fluorescência das partículas de minerite sem fluorescência. O uso da luz azul torna-se, assim, imprescindível para pôr estes tipos de ocorrência em evidência.

Nota: a contagem da minerite inclui estas partículas fluorescentes.

11.3. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS FRACÇÕES E SUBFRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS

11.3.1. INTRODUÇÃO

Com vista a fazer a caracterização petrográfica dos carvões de Moatize, procedeu-se à contagem dos componentes micropetrográficos - macerais, minerais, microlitótipos, carbominerites e minerite - com base nas Normas em vigor (NP 3605-1992, NP 4218-1992) e no Léxico do ICCP.

Em virtude de os macerais do grupo da liptinite serem extremamente raros, não são tidos em conta no que a seguir se descreve, a não ser pontualmente e quando para tal fosse necessário. Assim, as Tab. 11.3 e Tab. 11.4 apresentam os resultados da análise petrográfica para macerais+minerais e microlitótipos+carbominerites+minerite das amostras T3-2 e T8-2.

Tendo o carvão sido preparado de modo a obterem-se várias F/SFGs, importa agora saber como se comporta a distribuição dos macerais, minerais, microlitótipos, carbominerites e minerite por essas FGs^(11.9) e SFGs.

Além da distribuição dos macerais, minerais, microlitótipos, carbominerites e minerite pelas várias F/SFGs das amostras T3-2 e T8-2, também se analisa a distribuição dos geles, tecidos e detritos (da vitrinite e da inertinite) pelas mesmas F/SFGs. Não se pretende, porém, com isto tirar alguma conclusão sobre ambientes de sedimentação, já que só se analisaram duas amostras, uma de cada mina, e os valores apresentados referem-se a F/SFGs e não a amostras totais, se bem que para estes casos eles possam ser calculados. Pretende-se sim saber, se o estudo da distribuição destes componentes nas F/SFGs permitem definir novos parâmetros que as caracterizem e diferenciem.

11.3.2. COMPOSIÇÃO MACERAL E MINERAL

A Fig. 11.2 (A e B) mostra a variação da vitrinite, da inertinite e da matéria mineral nas FGs das amostras T3-2 e T8-2. Em ambos os casos e para todas as FGs, a vitrinite é o constituinte dominante. Contudo, os carvões da amostra T8-2 são mais ricos em matéria mineral e, para a inertinite, as FGs mais finas são também mais ricas que as da amostra T3-2. Um aspecto saliente da observação dos gráficos da Fig. 11.2 é que há um

11.9 No caso das FGs >25 mm, os valores são valores pesados calculados a partir dos valores das respectivas SFGs.

decréscimo geral na percentagem em vitrinite desde a FG <0.5 mm até à FG 50-90 mm e, a partir daqui, um aumento da vitrinite para as FG's >90 mm. Assim, nas amostras T3-2 e T8-2, a composição maceral e mineral das FGs varia dentro dos seguintes limites:

Amostra	Vitrinite	Inertinite	M. Mineral
T3-2	93 - 62%	31 - 5%	8 - 2%
T8-2	87 - 58%	26 - 10%	16 - 3%

O grande aumento da percentagem de minerais na FG 50-90 mm do T8-2 deve-se a uma percentagem extremamente anómala de matéria mineral na SFG T8-2/16 (>11.2 mm). Fora este pormenor, as percentagens em matéria mineral das FGs dos carvões de ambas as amostras nunca ultrapassam os 10%. Projectando os dados da composição petrográfica em diagramas triangulares, obtêm-se os gráficos da Fig. 11.2 (C e D). Nestes gráficos podem ver-se os mesmos aspectos referidos anteriormente.

Considerando a composição maceral e mineral das F/SFGs, passamos a descrever o comportamento das séries de F/SFGs de granulometrias crescentes (de <0.5 mm a >11.2 mm) e dos grupos de F/SFGs de igual granulometria, isto é, F/SFGs <0.5 mm, 0.5-1 mm, 1-5 mm, 5-11.2 mm e >11.2 mm. Assim:

a) Séries de fracções e subfracções granulométricas

A Fig. 11.3 (A e B) mostra a variação dos teores em vitrinite, em inertinite e em matéria mineral das várias F/SFGs das amostras T3-2 e T8-2. Por outro lado, na Fig. 11.5 (A e B) os dados estão representados em diagrama triangular. Da observação dos gráficos pode observar-se o seguinte:

i) Em cada uma das séries, sejam as da amostra T3-2, sejam as da amostra T8-2, são as F/SFGs <0.5 mm e 0.5-1 mm as que têm maior percentagem em vitrinite e a menor percentagem em inertinite e em matéria mineral; por outro lado, as F/SFGs 5-11.2 e >11.2 têm menores percentagens em vitrinite e maiores percentagens em inertinite e em matéria mineral.

ii) A percentagem em matéria mineral é sempre inferior a 10% para a amostra T3-2, havendo na amostra T8-2 três SFGs com esse valor bastante superior a 10%; é o caso das SFGs T8-2/11 (>11.2 mm) com 14%, T8-2/15 (5-11.2 mm) com 21% e T8-2/16 (>11.2 mm) com 43%.

Se se considerarem os valores médios de cada série granulométrica (Fig. 11.3 C e D), observa-se que as séries da amostra T3-2 são um pouco mais ricas em vitrinite do que as respectivas da amostra T8-2. A inertinite tem praticamente a mesma ocorrência nas séries granulométricas das duas amostras e a matéria mineral é algo mais abundante nos carvões da amostra T8-2, especialmente na terceira série granulométrica. Este facto deve-se, de novo, à SFG T8-2/16 (>11.2 mm).

b) Grupos de fracções e subfracções granulométricas

Dispondo os dados em função de granulometrias iguais, obtêm-se os gráficos da Fig. 11.4 (A e B) e Fig. 11.5 (C e D). Pode observar-se, para qualquer grupo dos carvões de ambas as amostras, que os valores máximos de vitrinite correspondem ao primeiro termo de cada grupo, havendo em seguida um decréscimo até ao segundo ou ao terceiro termo, com nova subida até ao quarto termo. Em praticamente todos os casos, o mínimo de percentagem em vitrinite corresponde a um máximo da percentagem em matéria mineral. Contudo, há uma excepção no caso da amostra T8-2 em que, no quinto grupo (5-11.2 mm), o último termo é o que apresenta maior percentagem em vitrinite.

Os valores médios para cada grupo de igual granulometria (Fig. 11.3 C e D) mostra, em ambos os casos, um decréscimo nos conteúdos de vitrinite dos grupos de granulometria mais fina para os mais grosseiros. Nas duas amostras, há um aumento dos teores em inertinite dos grupos mais finos para os mais grosseiros. Quanto à matéria mineral, ela é mais ou menos constantes nos grupos da amostra T3-2, mas mostra um aumento, na amostra T8-2, dos grupos mais finos para os mais grosseiros.

Em resumo e na globalidade, tanto para as séries como para os grupos, o comportamento da composição maceral e mineral, segue o mesmo padrão dentro de cada um deles.

11.3.2.1. Vitrinite

Vejamos agora como se distribuem os vários componentes da vitrinite dentro de cada F/SFG. Da análise petrográfica, os macerais mais frequentes do grupo da vitrinite são a telocolinite e a desmocolinite. Os outros macerais ocorrem, geralmente, em percentagens bastante mais baixas, sendo o mais comum a vitrodetrinite, com percentagens variando entre 0.2 e 7% em ambas as amostras. Ocorrem, também, pequenas proporções de telinite (<4%), de gelocolinite e de corpocolinite (<0.3%), bem como manifestações de

vitrinite alterada (<4%). Atendendo à enorme desproporção entre os teores em telocolinite+desmocolinite e os restantes macerais do grupo, estes últimos foram agrupados sob a designação de "outros". A corpocolinite e a gelocolinite ocorrem em todas as F/SFGs, mas a sua percentagem é tão baixa que, durante o processo de contagem de macerais, raramente calhavam no retículo de contagem. Por esta razão, na Tab. 11.3, há muitas F/SFGs com 0% destes macerais. No que toca à telinite e à vitrinite alterada (normalmente telocolinite alterada), são mais frequentes que os dois macerais anteriores. Contudo, apesar de pouco frequentes, os carvões da amostra T8-2 têm um pouco mais de telinite e de vitrinite alterada do que os carvões da amostra T3-2.

Um aspecto a recordar quanto à vitrodetrinite é que, devido ao transporte das amostras e aos processos de moagem, de peneiração e de manuseamento, muita da vitrinite fracturou bastante. Assim, as partículas resultantes dessa fracturação foram contadas como vitrodetrinite, se bem que a vitrodetrinite propriamente dita praticamente não ocorre.

A variação destes macerais ao longo das F/SFGs (Fig. 11.6 A e B, Fig. 11.7 A e B e Fig. 11.8 A e B) segue, como seria de esperar, a mesma tendência da vitrinite total referida nas Fig. 11.2 A e B, Fig. 11.3. A e B e Fig. 11.4 A e B. Nos carvões da amostra T3-2, a desmocolinite, dentro de cada série (Fig. 11.7 A e B), é mais abundante nas F/SFGs mais grosseiras. O mesmo já não se passa no caso da amostra T8-2, em que a desmocolinite tanto pode dominar nas FGs mais grosseiras como nas de granulometria intermédia. Em ambos os casos, a telocolinite é sempre dominante sobre a desmocolinite e sobre os outros macerais do grupo. Os valores médios de cada série granulométrica (Fig. 11.7 C e D), mostram valores constantes de desmocolinite e de "outras" vitrinites, mostrando os carvões da amostra T3-2 ligeiramente mais desmocolinite e menos "outras" vitrinites do que os carvões da amostra T8-2.

Relativamente aos grupos de igual granulometria (Fig. 11.8 A e B) são os primeiros e últimos termos de cada grupo os mais ricos em telocolinite e os intermédios os mais ricos em desmocolinite. Os valores médios de cada grupo (Fig. 11.8 C e D) mostram um decréscimo nos teores em telocolinite dos grupos mais finos para os mais grosseiros, com a consequente variação dos outros constituintes.

As Fig. 11.6 C e D e Fig. 11.9 A a D apresentam diagramas triangulares em que se relacionam precisamente os teores em telocolinite, desmocolinite e os "outros" macerais do grupo da vitrinite. Em todos os três casos, os pontos concentram-se na parte superior do diagrama, isto é, junto ao vértice da telocolinite. Quanto aos outros macerais, a

disposição dos pontos mostra haver mais desmocolinite que "outros", se bem que por vezes, a diferença não seja notória, já que muitos dos pontos estão projectados quase à mesma distância do vértice da desmocolinite e do vértice dos "outros". Este facto é mais evidente no caso dos carvões da amostra T8-2, precisamente por haver algo mais telinite e vitrinite alterada do que na amostra T3-2.

11.3.2.2. Inertinite

Dos macerais do grupo da inertinite, os mais frequentes são a fusinite, a semifusinite e a inertodetrinite. Quanto aos outros macerais do grupo - micrinite, macrinite e esclerotinite ^(11.10) - são pouco frequentes, nunca ultrapassando 1%.

Como se pode ver da Fig. 11.10 as FGs da amostra T8-2 têm geralmente mais inertinite que as da amostra T3-2, excepto no que se refere às FGs 25-50 mm e 50-90 mm. Este facto reflecte-se nas proporções de cada um dos macerais do grupo da inertinite em cada FG.

A semifusinite é mais abundante nas FG's da amostra T8-2 (entre 6.2-2.8%) do que nas da amostra T3-2 (entre 4.8-1.8%). As "outras" inertinites (esclerotinite, macrinite e micrinite) têm uma distribuição irregular em ambos os casos, aplicando-se o que atrás se disse sobre a contagem da corpocolinite e da gelocolinite também às "outras" inertinites. A inertodetrinite mostra um aumento de teor das FGs mais finas para as mais grosseiras. A fusinite é mais frequente na amostra T3-2 (máximo de 19.7%) do que na amostra T8-2 (máximo de 15.9%).

Considerando agora as séries de granulometrias (Fig. 11.11 A e B), verifica-se geralmente serem as FGs mais grosseiras as mais ricas em inertinites. Por outro lado, as "outras" inertinites são mais frequentes nas FGs da amostra T3-2. A semifusinite tem uma distribuição regular no caso dos carvões da amostra T3-2, o que já não acontece no caso dos carvões da amostra T8-2. Neste caso a uniformidade de distribuição da semifusinite só se verifica na primeira série granulométrica. Nas outras séries granulométricas, a semifusinite diminui das SFGs mais finas para as mais grosseiras. Comparando os dois gráficos da Fig. 11.11 A e B, verifica-se uma maior irregularidade na distribuição das inertinites no caso da amostra T8-2 do que no caso da amostra T3-2. É interessante notar que, apesar destas irregularidades, os valores médios de cada série granulométrica

11.10 Inclui-se, neste grupo, para efeitos de contagem, o carbono pirolítico.

(Fig. 11.11 C e D) mostram exactamente o mesmo padrão de distribuição em ambas as amostras, com ligeiras variações na composição maceral.

No que respeita aos grupos da mesma granulometria (Fig. 11.12 A e B), há um aumento geral nos teores em inertinite nos termos de cada grupo. Os primeiros termos de cada grupo são os mais pobres em fusinite. Se bem que em termos de valores médios dos grupos (Fig. 11.12 C e D), eles mostrem a mesma tendência nos carvões das duas amostras, há diferenças nítidas entre as duas, com um aumento mais gradual do teor em fusinite na amostra T8-2 do que na amostra T3-2.

11.3.2.3. Matéria Mineral

Como se pode ver dos gráficos da Fig. 11.13, as argilas são os minerais mais abundantes nos carvões de ambas as amostras, variando entre 6.7-1.6% na amostra T3-2 e entre 13.1-2.5% na amostra T8-2. Os restantes minerais - quartzo, sulfuretos, carbonatos, óxidos de ferro, etc. - ocorrem em percentagens que não excedem os 3%. Quanto aos minerais em si, o quartzo é mais frequente nas FGs da amostra T8-2 do que nas da amostra T3-2, ocorrendo o oposto no caso dos sulfuretos e carbonatos. Assim, na amostra T3-2 o quartzo ocorre com uma percentagem máxima de 0.9% e na amostra T8-2 atinge 1.3%. Quanto aos sulfuretos e carbonatos, chegam a atingir 1% na amostra T3-2 e não ultrapassam 0.3% na amostra T8-2.

Em ambas as amostras, as FGs 50-90 mm são as mais ricas em minerais, sendo a da amostra T8-2 mais rica que a da amostra T3-2, isto devido à extrema abundância de minerais da SFG T8-2/16 (>11.2 mm) da FG 50-90 mm, que atinge 43% de matéria mineral. Esta SFG apresenta 38% de argilas, 2% de quartzo e 2.4% de "outros" minerais. É de referir a presença quase exclusiva de argilas nas FG's 0.5-1 mm e 1-5 m da amostra T3-2, havendo uma situação algo semelhante no caso dos carvões da amostra T8-2.

No que respeita agora às séries de F/SFGs (Fig. 11.14 A e B), a primeira série de cada tambor é a mais pobre em minerais. Verifica-se um aumento geral de minerais até às duas terceiras séries granulométricas (Fig. 11.14 C e D) e nova diminuição para as últimas séries. No geral, as séries são bastante irregulares quanto à distribuição de minerais. Os valores médios das séries granulométricas mostram maiores teores em quartzo e em "outros" minerais nas séries da amostra T8-2, ao passo que os sulfuretos são mais frequentes nas séries da amostra T3-2. As argilas são mais abundantes nas séries da amostra T8-2, com quantidades muito elevadas na 3ª série, chegando a atingir 15%.

Quanto aos grupos de igual granulometria (Fig. 11.15. A e B) é tendência global um aumento da percentagem em minerais para os grupos de maiores granulometrias e, dentro de cada grupo, serem os terceiros termos (correspondentes às séries 50-90 mm) os mais ricos em minerais. No que toca aos valores médios de cada grupo, há um aumento geral dos grupos mais finos para os mais grosseiros, sendo esse aumento muito pronunciado no caso da amostra T8-2.

11.3.3. COMPOSIÇÃO EM MICROLITÓTIPOS

O estudo da distribuição dos macerais e minerais foi de igual modo levado a cabo para o caso dos microlitótipos, carbominerites e minerite. Assim, na Fig. 11.16 está representada a distribuição destes componentes ao longo das FGs das amostras T3-2 e T8-2. Como resulta da análise dos gráficos, a vitrite é o microlitótipo mais abundante, sendo as FGs mais finas as mais ricas neste microlitótipo, com um decréscimo até à FG 50-90 mm e novo aumento na FG >90 mm. À excepção das FGs 50-90 mm, as percentagens em vitrite são geralmente superiores a 50% e atingem 86% na amostra T3-2 e 81% na amostra T8-2.

A inertite é menos frequente nas FGs mais finas do que nas grosseiras, sendo contudo algo mais abundante nos carvões da amostra T8-2 (entre 23.3-5.4%) do que nos do T3-2 (entre 19.4-4%). O mesmo se passa quanto à vitrinertite. No que concerne às carbominerites, abundam mais nos carvões da amostra T8-2 do que nos do T3-2 até à FG 11.2-25 mm. Acima desta FG a situação inverte-se. A minerite é muito constante nos carvões da amostra T3-2, variando entre 1.5-0.2%. Na amostra T8-2, esta constância verifica-se até à FG 25-50 mm e, acima desta granulometria, há um aumento nas suas percentagens, atingindo 6.1%. Apesar destas diferenças pontuais, pode dizer-se que existe um padrão comum de comportamento dos microlitótipos+carbominerites+minerite nos carvões das duas amostras.

Considerando agora a distribuição destes componentes nas séries granulométricas podemos verificar o seguinte (Fig. 11.17 A e B):

- i) As F/SFG's mais finas são sempre mais ricas em vitrite, decrescendo este componente, geralmente, para as mais grosseiras.
- ii) Situação inversa verifica-se no caso da inertinite e da vitrinertite.
- iii) A distribuição das carbominerites e da minerite é extremamente irregular. Referência especial deve ser feita quanto à quantidade anormal de carbominerites e de

minerite da SFG T8-2/16 (>11.2 mm) a qual, obviamente, influi nas percentagens em que ocorrem os outros microlitótipos. Nesta FG, as carbominerites atingem 39% e a minerite 22%.

Os valores médios das séries granulométricas (Fig. 11.17 C e D) mostram um teor mais elevado em vitrite na amostra T3-2 e teores mais elevados em minerite na amostra T8-2. A inertite, a vitrinertite e as carbominerites têm valores mais ou menos semelhantes nas respectivas séries.

Os grupos de igual granulometria (Fig. 11.18 A e B) mostram padrões idênticos de distribuição nos carvões das duas amostras, sendo os primeiros e os últimos termos de cada grupo os mais ricos em vitrite e os mais pobres em inertite, em vitrinertite, em carbominerites e em minerite, enquanto que nos termos intermédios a situação inverte-se. Os carvões da amostra T3-2 mostram maiores valores médios de vitrite e menores valores médios de minerite do que nos da amostra T8-2 (Fig. 11.18 C e D).

11.3.3.1. Vitrite

Na contagem de microlitótipos, não foi feita a distinção entre as várias vitrites existentes.

11.3.3.2. Inertite

Na inertite distinguimos a fusite, a semifusite, a inertodetríte, as esclerotite e a macroíte. Os gráficos da Fig. 11.19 são elucidativos quanto às enormes diferenças entre os carvões das duas amostras no que toca à semifusite e à esclerotite. Assim, as FGs da amostra T8-2 têm muito mais semifusite (entre 5.6-2.4%) do que as da amostra T3-2 (entre 3-1%). Neste caso, há um aumento da percentagem de semifusite das FGs finas para as grosseiras. No caso da amostra T8-2, a percentagem deste componente é mais ou menos constante, havendo um ligeiro aumento na FG 11.2-25 mm. Quanto à esclerotite, ela está praticamente ausente nos carvões da amostra T8-2, mas a FG 11.2-25 mm mostra uma percentagem "anormal" (1.8%) para a média geral. Nos carvões da amostra T3-2 a percentagem de esclerotite é constante em todas as FGs. A inertodetríte e a macroíte praticamente só estão presentes nas FG's >11.2 mm. A fusite é, indubitavelmente, o microlitótipo mais abundante da inertite, aumentando a sua percentagem das FGs finas para as grosseiras. Estes aspectos podem também ser observados nos gráficos das séries granulométricas (Fig. 11.20 A e B) e dos grupos de igual granulometria (Fig. 11.21 A e B).

Os valores médios das séries granulométricas (Fig. 11.20 C e D) mostram valores semelhantes de fusite nas duas amostras. Contudo, a semifusite e a inertodetríte são mais abundantes na amostra T8-2 do que na amostra T3-2, passando-se o oposto para o caso da esclerotite. A macroíte não tem praticamente nenhuma expressão. Considerando os valores médios dos grupos de igual granulometria (Fig. 11.21 C e D) há, nos dois casos, um aumento da fusite para os grupos mais grosseiros. Os grupos da amostra T8-2 são mais ricos em semifusite do que os da amostra T3-2. Por seu lado, a esclerotite abunda mais nos grupos da amostra T3-2. Quanto à inertodetríte, tem mais ou menos a mesma expressão nos grupos de ambas as amostras.

11.3.3.3. Vitrinertite

Das três vitrinertites consideradas, a mais abundante é a vitrinertite V; a vitrinertite I e vitrinertite VI têm percentagens de ocorrência muito semelhantes (Fig. 11.22). A ocorrência da vitrinertite aumenta das FGs mais finas para as mais grosseiras. Quanto à distribuição da vitrinertite pelas séries granulométricas (Fig. 11.23) e pelos grupos de igual granulometria (Fig. 11.24), é bastante irregular.

11.3.3.4. Carbominerites e Minerite

Como se pode ver da Fig. 11.25, a carbargilite é a carbominerite mais abundante. Contudo, pode claramente ver-se que há diferenças evidentes na distribuição nos carvões das duas amostras. A carbossilicite é mais ou menos constante nos carvões da amostra T8-2, mas nos da amostra T3-2 praticamente só ocorrem nas FGs >25 mm. A carbopirite é pouco frequente em ambos os casos. Quanto à carbanquerite, apresenta variação idêntica à da carbossilicite nos carvões das duas amostras. A carbopoliminerite é mais abundante nas FGs mais grosseiras nos carvões das duas amostras.

No que respeita à minerite, tem ocorrência semelhantes nos dois casos, à exceção da FG 50-90 mm da amostra T8-2, devido à anomalia já referida na SFG T8-2/16 (>11.2 mm).

Do mesmo modo que para a vitrinertite, também é muito irregular a distribuição das carbominerites e da minerite nas séries granulométricas (Fig. 11.26 A e B) e nos grupos de igual granulometria (Fig. 11.27 A e B). Os valores médios das séries granulométricas (Fig. 11.26 C e D) e dos grupos de igual granulometria (Fig. 11.27 C e D) não mostram nenhuma identidade.

11.3.4. CORRELAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES EM MACERAIS/MINERAIS COM AS DE MICROLITÓTIPOS/CARBOMINERITES+MINERITE

Sendo os microlitótipos associações naturais de macerais e as carbominerites e a minerite associações de minerais com macerais, em que os primeiros atingem entre 20%-60% (5%-20% no caso dos sulfuretos) no caso das carbominerites e mais de 60% (20% no caso dos sulfuretos) no caso da minerite, é natural que a ocorrência destes influa na ocorrência dos microlitótipos, das carbominerites e da minerite. Neste sentido, correlacionou-se a composição em vitrinite, em inertinite e em minerais com a composição em microlitótipos, em carbominerites e em minerite onde estes constituintes são mais frequentes.

No caso da vitrinite, efectuámos a correlação com a composição em vitrite, em vitrinertite V e metade do conteúdo em vitrinertite VI (Fig 11.28 A). Para a inertinite, a correlação foi feita com a inertite, a vitrinertite I e metade da vitrinertite VI (Fig. 11.29 A). Na Fig. 11.29 A verifica-se que o gráfico apresenta duas zonas bem distintas de projecção dos pontos relativas à vitrinite e à inertinite, respectivamente. A matéria mineral foi correlacionada com a minerite (Fig. 11.29 B).

A correlação entre as percentagens de vitrinite (VT) e as de vitrite(VIT)+vitrinertite V (VTIv)+1/2 vitrinertite VI (VTIvi) é positiva e quase perfeita. Se atentarmos ao coeficiente de correlação linear, verifica-se ser igual a 0.98. Não se procedeu ao cálculo em separado das rectas de regressão para os casos dos tambores T3-2 e T8-2, pois os pontos têm uma distribuição muito semelhante. O mesmo se aplicou ao caso da inertinite.

A correlação entre as percentagens de inertinite (IN) e as de inertite (INT)+vitrinertite I (VTIi)+1/2 vitrinertite VI (VTIvi) também é positiva com coeficientes de correlação linear ligeiramente menores do que no caso anterior. As rectas de regressão linear para o primeiro e segundo casos referidos são respectivamente as seguintes:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$VIT+VTIv+1/2VTIvi = 1.12*V - 10.51$	$r = 0.98$
$INT+VTIi+1/2VTIvi = 0.81*I + 0.97$	$r = 0.96$

No caso da determinação da recta de regressão e do coeficiente de correlação linear relativos ao segundo caso, não se teve em conta um ponto anómalo (marcado como tal no gráfico A da Fig. 11.29).

Considerando a correlação entre as percentagens em matéria mineral e em minerite, há uma diferença nítida entre os dois tambores. No caso da amostra T3-2, não há correlação ($r = 0.07$) e os pontos têm uma dispersão muito grande. No caso da amostra T8-2 há uma correlação nítida, sendo o coeficiente de correlação linear de 0.95 e os pontos apresentam menor dispersão. Apesar destas diferenças notórias entre as duas amostras, considerando o total dos dados, há uma correlação linear muito boa entre as percentagens de minerais (MM) e de minerite (MIN). Assim, as equações de regressão linear são:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
T3-2: $MIN = 0.02*MM + 0.84$	$r = 0.07$
T8-2: $MIN = 0.54*MM - 1.53$	$r = 0.95$
Total: $MIN = 0.51*MM - 1.32$	$r = 0.92$

11.3.5. GELES, TECIDOS E DETRITOS

O estudo da composição maceral dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize permitiu também o estudo do comportamento e da distribuição dos constituintes sob a forma de geles, de tecidos e de detritos dentre os macerais dos grupos da vitrinite e da inertinite pelas várias F/SFGs. Por razões óbvias, e já referidas em alíneas anteriores do capítulo 11, a liptinite não será aqui referida.

Como se sabe, os macerais que ocorrem no carvão são função de vários factores, entre eles o tipo de constituinte vegetal de origem, os tipos de condições ambientais de deposição desse constituinte, o transporte, o grau de alteração bio-geoquímica, etc. Assim, os mesmos materiais podem evoluir de várias formas e dar origem a diferentes tipos de macerais. Deste modo, é possível subdividir os macerais em três tipos: geles, tecidos e detritos (Tab. 11.5).

A Tab. 11.6 mostra a distribuição dos componentes em geles, em tecidos e em detritos em termos globais (vitrinite+inertinite) e em termos específicos (vitrinite e inertinite). Passamos a descrever agora a distribuição e o comportamento destes componentes nas F/SFGs.

11.3.5.1. Vitrinite e Inertinite

O gráfico da Fig. 11.30 A mostra a distribuição dos geles, dos tecidos e dos detritos (vitrinites+inertinites) nas FGs dos carvões das duas amostras. Comparando o comportamento dos geles nas duas amostras, pode ver-se a mesma tendência, isto é, um

decréscimo na percentagem de geles das FGs mais finas para as mais grosseiras, com um ligeiro acréscimo na FG >90 mm. À excepção da FG 50-90 mm, a amostra T3-2 tem sempre maiores percentagens de geles do que a amostra T8-2. De referir que a percentagem de geles é sempre superior a 60%, rondando os 90% nas granulometrias mais finas. Quanto aos detritos, raramente excedem 10% e têm valores muito semelhantes em ambas as amostras, sendo as diferenças mínimas. A tendência geral é um acréscimo nas percentagens, das FG's mais finas para as mais grosseiras, com um ligeiro decréscimo na FG >90 mm. Até à FG 11.2-25 mm, a amostra T8-2 é ligeiramente mais rica em detritos do que a amostra T3-2, invertendo-se a situação a partir daqui. No que respeita aos tecidos, a sua percentagem raramente supera 25%. Em ambas as amostras há um acréscimo gradual de tecidos até à FG 25-50 mm (até $\pm 25\%$) e depois um decréscimo ligeiro até aos 20% na FG >90 mm. No caso dos tecidos, verifica-se maior concentração na amostra T8-2 do que na amostra T3-2 até à FG 11.2-25 mm, invertendo-se a situação a partir daqui.

No gráfico B da Fig. 11.30, mostra-se a distribuição dos geles, tecidos e detritos nas F/SFGs. É de realçar que, dentro de cada conjunto de F/SFGs de <0.5 a 11.2-25 mm, os tecidos mostram um decréscimo das granulometrias mais finas para as mais grosseiras, excepção feita para a amostra T8-2 na última SFG 11.2-25 mm (resultante da moagem a <25 mm e peneiração da FG >90 mm). O comportamento dos tecidos e dos detritos segue a mesma tendência, dentro de cada conjunto, que a tendência mostrada no gráfico A da Fig. 11.30 desde as FGs <0.5 às 11.2-25 mm, ou seja, um aumento progressivo destes constituintes das granulometrias mais finas para mais grosseiras. Pode assim dizer-se que, em termos gerais, a distribuição dos geles, tecidos e detritos nas FGs se reflecte nas SFGs delas resultantes.

11.3.5.2. Vitrinite

Os componentes sob a forma de geles ou que sofreram gelificação preferencial mais abundantes da vitrinite são a telocolinite e a desmocolinite. Nas várias F/SFGs das amostras T3-2 e T8-2, a telocolinite varia entre 27%-85% e a desmocolinite entre 5%-23%. Quanto aos restantes componentes dentro do agrupamento - vitrinite alterada, corpocolinite e gelocolinite - nunca excedem 5%, sendo geralmente inferiores a 2.5%. Os tecidos estão representados pela telinite, sempre inferiores a 2% e os detritos pelas vitrodetrinite que, raramente, ultrapassam os 7%, rondando geralmente percentagens à volta dos 4%.

A Fig. 11.30 A mostra a distribuição dos geles, dos tecidos e dos detritos nas várias FGs. Os geles, tanto na amostra T3-2 como na amostra T8-2, constituem sempre a

maioria dos componentes, com percentagens sempre superiores a 90%. Até à FG 11.2-25 mm, os geles são um pouco mais abundantes na amostra T3-2, invertendo-se a situação a partir daí. Em ambas as amostras, as percentagens de geles diminuem das granulometrias mais finas para as mais grosseiras, com um ligeiro aumento na FG >90 mm.

Tanto os tecidos como os detritos nunca excedem 10% e, em ambas as amostras, a sua distribuição é idêntica. No que respeita aos conjuntos de F/SFGs <0.5 a 11.2-25 mm (Fig. 11.30 B), notam-se as mesmas tendências que as da Fig. 11.30 A.

11.3.5.3. Inertinite

Ao contrário do caso da vitrinite, os componentes inertiníticos mais frequentes são os tecidos, dentro dos quais dominam a fusinite (variando entre 3% e 24%) e a semifusinite (variando entre 2% e 5%). A esclerotinite, mais rara, varia entre 0% e 2%. A distribuição dos três tipos de componentes é a mesma nos carvões das duas amostras (Fig. 11.31 C). A distribuição dos tecidos na amostra T3-2 é mais uniforme do que na amostra T8-2, sendo que a primeira é geralmente mais rica em tecidos do que a segunda. A distribuição dos tecidos é também mais uniforme na amostra T3-2 do que na T8-2 e os geles têm exactamente o mesmo comportamento nas duas amostras.

Dentro de cada conjunto granulométrico <0.5 a 11.2-25 mm, a distribuição dos componentes é extremamente irregular (Fig. 11.31 D), não seguindo nenhuma tendência, como acontece na vitrinite e na vitrinite-inertinite. Contudo, apesar da irregularidade, os componentes das duas amostras têm comportamentos muito semelhantes.

11.3.5.4. Relação entre os geles, os tecidos e os detritos de composição vitrínica com os mesmos de composição inertínica

Projectando os componentes da vitrinite e da inertinite sob a forma de geles, tecidos e detritos (Fig. 11.32), podemos ver três campos distintos de distribuição dos pontos, dispostos numa tendência hiperbólica. Assim, os geles concentram-se no eixo das abcissas (vitrinite) entre 80 e 100% e os tecidos no eixo das ordenadas (inertinite) entre 60% e 90%, denotando, no primeiro caso, mais geles vitrínicos do que inertiníticos e, no segundo caso, mais tecidos inertiníticos do que vitrínicos. Quanto aos detritos, as diferenças entre percentagens de detritos vitrínicos e inertiníticos não é tão grande como nos casos dos geles e dos tecidos; contudo, o diagrama mostra que os detritos inertiníticos

são mais abundantes do que os detritos vitriniticos, isto é, variam entre 15% e 40% nos inertiniticos e entre 0 e 15% nos vitriniticos.

11.3.6. INDICES PETROGRÁFICOS

Os índices petrográficos são parâmetros que relacionam as percentagens de macerais entre si e podem dar indicações preciosas sobre os materiais de origem e suas condições ambientais de sedimentação. Vários são os índices petrográficos que têm sido utilizados e aplicados a carvões de vários tipos, idades e proveniências. Citemos, a este respeito, os trabalhos de Diessel (1982), Navale & Misra (1984), Harvey & Dillon (1985), Diessel (1986), Kalkreuth & Leckie (1989), Kalkreuth et al (1991), Marchioni & Kalkreuth (1991) e Correia (1993).

Os índices petrográficos, para serem utilizados em estudos ambientais, devem referir-se a amostras de carvão tal-qual e não a F/SFGs. Contudo, tendo a composição petrográfica sido determinada para as várias F/SFGs, alguns destes índices foram calculados para as mesmas no sentido de se reconstituírem os mesmos em relação às duas amostras globais (T3-2 e T8-2). Neste sentido, é possível dizer algo sobre as condições ambientais de deposição dos locais onde as amostras foram colhidas. A Tab. 11.7 mostra alguns dos índices petrográficos utilizados na literatura acima referida.

11.3.6.1. Índice de Gelificação (IG) e Índice de Preservação de Tecidos (IPT)

O índice de gelificação (IG), como o próprio nome indica, é a razão entre macerais que sofreram gelificação (vitrinite e macrinite) e os que sofreram oxidação (semifusinite, fusinite e inertodetrinite) (Diessel 1986). O índice de preservação de tecidos (IPT), por seu lado, relaciona macerais que apresentam estrutura celular (telinite, telocolinite^{11.11}, semifusinite e fusinite) com macerais sem estrutura celular (desmocolinite, macrinite e inertodetrinite) (Diessel 1986).

Estes índices definidos por Diessel (1986) e resultantes de adaptações doutros índices utilizados anteriormente pelo mesmo autor (Diessel 1982), foram calculados para as duas amostras globais (T3-2 e T8-2) carvão da Bacia Carbonífera de Moatize. No entanto, no nosso cálculo, as fórmulas dos índices sofreram uma ligeira adaptação pois que, tanto no IG como no IPT, foi introduzida a esclerotinite em conjunto com a fusinite e a semifusinite,

11.11 A telocolinite só mostra estrutura celular após ataque químico. É, portanto, uma cripto-estrutura.

já que a grande maioria da esclerotinite presente, quando ocorre, é fundamentalmente resultante de tecidos de fungos.

Os valores calculados destes dois índices para as amostras T3-2 e T8-2 são os seguintes:

Amostra	Índice de Preservação de Tecidos (IPT)	Índice de Gelificação (IG)
T3-2	6.2	5.3
T8-2	5.8	3.9

A Fig. 11.33 representa o diagrama que relaciona o IPT com o IG (Kalkreuth et al 1991) com projecção dos valores reconstituídos destes índices para as amostras T3-2 e T8-2. Como se pode ver deste gráfico, os carvões das amostras T3-2 e T8-2 são formados em pântanos de floresta húmida em ambiente telmático. A zona do gráfico onde se projectam as duas amostras corresponde a carvões em que a %V > %I e em que as percentagens de vitrinite estruturada são maiores que as percentagens de vitrinite degradada, o que concorda com os nossos resultados da análise maceral. A predominância de vitrinite é indicativa de vegetação florestal em zonas subtropicais com escassos episódios mais secos (Navale 1981). Por outro lado, os pontos relativos às duas amostras caem dentro da área para carvões bandados brilhantes (Kalkreuth et al 1991), o que é o caso dos carvões em estudos.

11.3.6.2. Razão Vitrinite/Inertinite (V/I)

A relação entre a vitrinite total e a inertinite total foi utilizada por Navale & Misra (1984) para correlações estratigráficas regionais dos carvões pérmicos da Índia e, posteriormente, Harvey & Dillon (1985) utilizaram o mesmo índice para definir ambientes de sedimentação em carvões pensilvanianos dos EUA^(11,12). Também Kalkreuth & Leckie (1989) utilizaram o mesmo índice em carvões cretácicos canadianos. Este índice fornece indicações sobre o grau de oxidação sofrido pelo matéria vegetal à altura da sua deposição (Correia 1993). Na sua interpretação há que ter em atenção que quanto maior for o valor de V/I, menor é o grau de oxidação sofrido pela matéria vegetal (Harvey & Dillon, 1985).

A razão V/I aplicada às F/SFGs permite reconstituir os valores de V/I para as amostras T3-2 e T8-2:

11.12 Neste caso, a inertinite total foi deduzida a micrinite.

Amostra	Índice V/I
T3-2	5
T8-2	4

É de notar aqui que os valores de V/I são praticamente iguais aos do IG, o que não é de estranhar se tivermos em conta as fórmulas de cálculo destes índices (Tab. 11.7).

11.3.6.3. Diagramas triangulares W-D-R e T-D-F

Estes diagramas, definidos por Diessel (1982) entram em conta com dois índices que, mais tarde, originaram o IG e o IPT (referidos no sub-capítulo 11.3.6.1; Diessel 1986). Esses índices são o "wood ratio" - TF/D - (razão entre macerais derivados da "madeira" e macerais dispersos) e um índice de gelificação - T/F (diferente do apresentado em Diessel 1986). Na definição destes índices é aplicado o conceito de maceral diagnóstico, isto é, maceral que fornece indicações quanto à sua origem e às condições ambientais de sedimentação.

O diagrama triangular W-D-R relaciona os macerais diagnósticos fusinite+semifusinite+telinite+telocolinite (W) e inertodetrinite+alginite+esporinite (D) com os restantes macerais considerados não diagnósticos (R). Por seu lado, o diagrama triangular T-D-F desdobra o grupo W anterior em dois novos grupos: telinite+telocolinite (T) e fusinite+semifusinite (F); D é igual ao anterior. Ou seja, o primeiro diagrama fornece indicações quanto ao grau de preservação de tecidos e o segundo sobre o grau de oxidação/gelificação sofrido pelos constituintes orgânicos originais.

No caso dos diagramas triangulares W-D-R e T-D-F (Fig. 11.34), os valores das respectivas associações de macerais estão representados no quadro seguinte:

Amostra	Diagrama triangular W-D-R			Diagrama triangular T-D-F		
	W	D	R	T	D	F
T3-2	82	9	9	75	5	20
T8-2	81	5	14	74	8	21

ou seja, os componentes sob a forma de tecidos (W) são sempre superiores a 80% e os sob a forma de detritos (D) sempre inferiores a 10%. Os restantes ocorrem sempre em percentagens inferiores a 15%. Estamos, assim, perante a situação em que $R < 50\%$ e os macerais do grupo W podem ser subdivididos em macerais formados em condições anaeróbias (T) e aeróbias (F) (Diessel 1982), construindo-se então o diagrama triangular

T-D-F). Neste caso, a relação TF/D é de cerca de 4 e, como consequência (Diessel 1982), a relação T/F pode funcionar como índice de gelificação, ou seja, dominam os macerais resultantes da gelificação.

Ainda segundo Diessel (1982), a relação entre fusinite (FU)+semifusinite (SF) e a inertodetrinite (ID) poderá dar indicações sobre a aloctonia/autoctonia da fusinite e da semifusinite. Se o valor da razão (FU+SF)/ID for alto, significa que a pouca inertodetrinite presente resulta de alguma degradação mecânica da fusinite e da semifusinite *in situ*. Se o valor for baixo, então deverá ter havido um certo grau de transporte que levou a uma maior fracturação daqueles dois macerais. No caso das duas amostras em questão, os valores da razão (FU+SF+SC)/ID são de 4 (Fig. 11.35):

Amostra	Relação (FU+SF+SC)/ID
T3-2	4
T8-2	4

Segundo Diessel (1982), o intervalo 4-8 para a razão (FU+SF)/ID indica fusinites e semifusinites autóctones.

11.3.6.4. Índice VA/VB

Este índice relaciona a vitrinite estruturada (Vitrinite A - telinite+telocolinite) com a vitrinite matricial e detritica (Vitrinite B - desmocolinite+vitrodetrinite). Foi usado por Kalkreuth & Leckie (1989) em carvões cretácicos canadenses e por Marchioni & Kalkreuth (1991), tendo neste caso os autores introduzido algumas alterações: no nominador, além da telinite e da telocolinite, incluíram a corpocolinite (no interior dos lúmens celulares); no denominador consideram a vitrinite restante. No caso das amostras em estudo, o índice VA/VB tem os seguintes valores:

Amostra	Índice VA/VB
T3-2	5
T8-2	5

11.3.6.5. Conclusões

Em conclusão, os carvões estudados formaram-se em ambiente telmático a partir de um pântano de floresta húmida em zona subtropical húmida. O grau de oxidação sofrido pela matéria vegetal é baixo, considerando os valores elevados do IG e da razão

V/I. Por seu lado, a transformação da matéria vegetal dá-se fundamentalmente em ambiente anaeróbico.

Os elevados teores em vitrinite A, fundamentalmente telocolinite, e em fusinite+semifusinite e os baixos teores em inertodetrinite, parecem indicar condições principalmente autóctones de deposição do carvão.

11.3.7. PODER REFLECTOR DA VITRINITE E GRAU DE INCARBONIZAÇÃO

O grau de incarbonização de um carvão representa o estado de evolução atingido pela respectiva matéria orgânica original como resultado das alterações sofridas por acção de agentes químicos e físicos. O grau de incarbonização pode ser medido por meio de vários parâmetros físicos e químicos, como por exemplo, o poder reflector (máximo ou aleatório) da vitrinite, os teores em humidade, em matérias voláteis, em carbono, em hidrogénio, o poder calorífico superior, etc. Não é, porém, possível utilizar todos estes parâmetros em simultâneo para toda a gama de carvões. Cada um destes parâmetros tem um intervalo de aplicação (correspondente ao intervalo em que o parâmetro varia com a máxima sensibilidade) consoante o grau de incarbonização dos carvões a considerar. Contudo, o poder reflector da vitrinite é o parâmetro com uma aplicação mais lata, abrangendo quase toda a gama de carvões. Um quadro elucidativo sobre a aplicabilidade dos vários parâmetros pode ser visto na Fig. 13.4.

O poder reflector aleatório da vitrinite das várias F/SFGs das amostras T3-2 e T8-2, foi determinado tendo em conta as especificações constantes da Norma NP 3606-1992, correspondente à Norma ISO 7404:5-1992 e às prescrições do Léxico 1 (1963) e do Léxico 2 (1971). Nalgumas das F/SFGs, contudo, não foi possível determinar as 100 medições mínimas exigidas na referida Norma. As medições foram determinadas em amostras em grão polidas, observadas em imersão em óleo, utilizando a objectiva 50x.

Os valores das determinações dos poderes reflectores aleatórios das várias F/SFGs das amostras T3-2 e T8-2 vêm resumidos na Tab. 11.8 e os respectivos reflectogramas vêm ilustrados nas Fig. 11.36.A e Fig. 11.36.B. Como se pode ver na referida tabela, os valores dos poderes reflectores aleatórios das vitrinites dos carvões das duas amostras, quando considerada globalmente a média, são muito semelhantes, sendo de 1.38% para a amostra T3-2 e 1.37% para a amostra T8-2. Os valores de cada F/SFG variam entre 1.33-1.41% para a amostra T3-2 e 1.33-1.43% para a amostra T8-2.

Comparam-se, de seguida, os resultados obtidos durante este estudo e os resultados publicados em vários trabalhos (Sousa & Mériaux 1970, 1971; BIF 1983; Sousa 1984; Vasconcelos 1988; Vasconcelos e Santos 1989; Moatize Summary 1990; Projecto Integrado 1991). Assim, na Fig. 11.37.A representam-se os valores médios dos poderes reflectores das vitrinites^(11.13) das camadas Sousa Pinto, Chipanga, Bananeiras e Grande Falésia (valores publicados na bibliografia acima referida) e na Fig. 11.37.B os mesmos valores projectam-se em relação à espessura de sedimentos (incluindo camadas de carvão) acima de cada camada, consideradas as espessuras referidas na coluna estratigráfica da Série Produtiva da Fig. 6.3. É notório, da observação dos dois diagramas da Fig. 11.37, que a camada mais profunda (Sousa Pinto) apresenta valores mais altos de poder reflector do que a camada mais superficial (Grande Falésia), tendo as camadas intermédias (referem-se aqui só as camadas Chipanga e Bananeiras) poderes reflectores intermédios entre os das camadas Sousa Pinto e Grande Falésia. Por seu lado, das camadas Chipanga e Bananeiras, a primeira e a mais profunda, tem um poder reflector mais elevado do que a segunda e mais superficial. Tudo isto está em perfeito acordo com o conceito do aumento do grau de incarbonização com a profundidade no caso de incarbonização "normal" (Lei de Hilt). No caso do diagrama B da Fig. 11.37, há uma correlação linear com excelente coeficiente de correlação entre a espessura (em metros) de sedimentos subjacentes (E) e o poder reflector (PR), sendo a equação de regressão linear a seguinte:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$E = 835.20 \times PR\% - 990.19$	$r = 0.95$

Através desta equação é possível calcular o gradiente do poder reflector que, neste caso, é igual a 1.197%/km ou 0.1197%/100m. Em ambos os diagramas da Fig. 11.37 também se projectam os valores correspondentes às amostras T3-2 e T8-2. Se bem que os resultados obtidos durante este estudo sejam um pouco inferiores aos valores médios para a camada Chipanga apresentados nos estudos acima referidos, situam-se contudo entre os valores das camadas Sousa Pinto e Bananeiras, sendo de referir que a equação da recta de regressão acima referida foi calculada tendo também em conta estes valores de T3-2 e T8-2.

Considerando agora o diagrama de Lopatin (1971), modificado por Correia (1993), e que relaciona o índice de temperatura-tempo (Tit) com o poder reflector (Fig. 11.38), e entrando em consideração com a equação que os correlaciona, calculámos o gradiente geotérmico da Bacia Carbonífera de Moatize. Assim, e considerando as idades

11.13 Em relação a estes valores, não é possível saber se são poderes reflectores aleatórios ou máximos.

aproximadas da deposição das camadas Sousa Pinto (± 280 Ma - base do Ecça) e Grande Falésia (± 270 Ma - topo do Ecça), o gradiente geotérmico é calculado em $22^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (ou $2.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$).

11.4. PETROGRAFIA DAS FRACÇÕES DENSIMÉTRICAS (FLUTUADOS, AFUNDADOS E FINOS) RESULTANTES DOS ENSAIOS DE LAVABILIDADE

Como se pode ver dos dados apresentados tanto na Tab. 10.1 como na Tab. 10.2, o número de fracções densimétricas obtidas nos ensaios de lavabilidade é bastante elevado. Contudo, muitos dos rendimentos foram muito baixos, quer em termos de percentagem, quer em termos de massas, o que, em ambos os casos, não permitiu que se reservasse uma parte para análises petrográficas. Assim, na Tab. 11.9 estão representadas as fracções densimétricas de que se retirou uma parte para estas análises. Torna-se claro que não é possível fazer uma comparação global de cada uma das F/SFGs em termos de petrografia, já que elas não estão igualmente representadas em termos de fracções densimétricas.

Do mesmo modo que se procedeu para as F/SFGs, também se levou a cabo o estudo petrográfico das fracções densimétricas em termos de macerais, minerais, microlitótipos, carbominerites e minerite. A Tab. 11.10.A apresenta os resultados em termos de composição maceral e mineral da amostra T3-2 e a Tab. 11.11.A em termos de microlitótipos, carbominerites e minerites.

Dada a falta de dados sobre todas as fracções densimétricas de todas as F/SFGs, decidiu-se calcular a composição petrográfica média de cada fracção densimétrica, isto é, a composição petrográfica média dos flutuados F1.40, F1.50, etc., afundados (S1.80) e finos <0.5 mm, que estão apresentados na Tab. 11.12.A para a amostra T3-2. A projecção, em diagrama de áreas e em diagramas triangulares, da composição maceral e mineral média das fracções densimétricas (Fig. 11.39), mostra o seguinte:

a) Somente os flutuados F1.40 e F1.50, bem como os finos <0.5 mm, têm a vitrinite como constituinte principal ($>50\%$), tanto em valores individuais como em valores médios.

b) As percentagens de inertinite nunca excedem 40% e as de minerais ficam aquém de 30% , excepto para o S1.80, em que os minerais atingem mais de 73.2% .

c) Observando o gráfico correspondente à composição petrográfica média, verifica-se uma diminuição progressiva e contínua dos teores em vitrinite com o aumento das densidades das fracções densimétricas; os teores em inertinite sobem, estabilizam e diminuem de novo; e os teores em minerais sobem gradual e continuamente no mesmo sentido em que decrescem os teores em vitrinite.

d) Os valores correspondentes aos finos <0.5 mm situam-se na mesma área de projecção dos F1.40.

A variação dos teores médios de inertinite e de minerais com os teores médios em vitrinite segue uma tendência linear, com coeficientes de regressão linear de $r = -0.96$ (Fig. 11.40.A), se exceptuarmos os valores referentes ao S1.80. É interessante notar que ambas as rectas de regressão linear são perfeitamente paralelas:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$IN = -0.50*VT + 58.07$	$r = -0.96$
$MM = -0.50*VT + 41.86$	$r = -0.96$

isto é, tanto os teores em inertinites (IN) como em minerais (MM) variam na razão inversa dos teores em vitrinites (VT). Por outro lado, a variação dos teores de minerais com os teores de inertinites é também linear; simplesmente neste caso a correlação não é tão boa, já que o coeficiente de correlação linear é algo mais baixo; além disso os teores em inertinites e minerites variam na razão directa (Fig. 11.40.A):

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$MM = 0.83*IN - 10.26$	$r = 0.84$

A variação dos teores médios em macerais e minerais com as densidades de corte (FD) está patente no gráfico da Fig. 11.40.B. Pode ver-se que, quanto maior for a densidade de corte, menores são os teores em vitrinite e maiores os teores em inertinite e em minerais. No caso da vitrinite e dos minerais, a correlação com as densidades de corte é muito boa, sendo um pouco menor no caso da inertinite:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$VT = -150.7*FD + 284.4$	$r = -0.97$
$IN = 63.62*FD - 65.42$	$r = 0.85$
$MM = 87.03*FD - 118.90$	$r = 0.996$

No que toca aos microlitótipos, às carbominerites e à minerite, pode dizer-se que o seu comportamento é em tudo semelhante ao dos macerais e dos minerais. Senão, comparem-se os gráficos Fig. 11.39.A e Fig. 11.41.A: assim como os teores médios em vitrinite decrescem das fracções mais leves para as mais pesadas, também os teores médios em vitrite seguem a mesma tendência. O teor em inertite sobe das fracções mais leves para as mais pesadas e decresce nitidamente para o afundado S1.80, o que acontece, também, no caso da inertinite. Quanto às carbominerites, têm o mesmo comportamento da inertite, com um decréscimo acentuado no S1.80 (o mesmo acontece com os minerais) compensado por um grande aumento no teor em minerite, a qual tem teores mais ou menos semelhantes nas restantes fracções densimétricas.

Projectando num diagrama triangular os dados relativos a grupos de microlitótipos (vitrinite+inertite+vitrinertite), carbominerites (matéria orgânica+inorgânica e minerite (matéria inorgânica) (Fig. 11.41.B), verifica-se uma separação nítida dos pontos referentes às diversas FGs. Pode ver-se neste diagrama que até ao flutuado F1.70, a percentagem em minerite é mais ou menos constante, sempre inferior a 10%. No caso dos teores médios (Fig. 11.41.C) nota-se uma diminuição gradual e contínua dos teores em grupos de microlitótipos com um concomitante aumento de carbominerites até ao flutuado F1.70. Daqui ao afundado S1.80, o teor em grupos de microlitótipos cai bruscamente, enquanto que a diminuição em carbominerites é mais suave.

Comparando agora a variação dos teores nestes componentes com as densidades de corte (Fig. 11.42) pode verificar-se o seguinte:

a) O teor em vitrite diminui de cerca de 70% no flutuado F1.40 para cerca de 33% no flutuado F1.50, sendo a diminuição a partir daqui mais suave, até cerca de 12% no flutuado F1.70.

b) A inertite e a vitrinertite variam exactamente da mesma maneira, com um ligeiro pico no flutuado F1.50 (cerca de 24-25%), diminuindo para cerca de 15% no flutuado F1.70.

c) As carbominerites aumentam mais ou menos uniformemente do flutuado F1.40 (cerca de 4%) ao flutuado F1.70 (cerca de 45%).

d) O mesmo se passa em relação à minerite, sendo o crescimento muito mais suave, entre cerca de 1% no flutuado F1.40 e 10% no flutuado F1.70.

12. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS CARVÕES

O carvão é rocha sedimentar formada de restos vegetais em vários estágios de preservação por processos que envolvem a compactação do material soterrado em bacias de sedimentação (Léxico 1, 1963). Sendo de origem orgânica, é composta fundamentalmente de carbono, hidrogénio e oxigénio e por quantidades menores de azoto, enxofre e outros elementos, bem como de quantidades menores de minerais intercrecidos ou interestratificados de origem primária e/ou secundária. Importa, assim, saber como todos estes constituintes se manifestam nos carvões em estudos. Sabendo nós que os carvões são extremamente variáveis não só no que toca ao grau de incarbonização como também em função duma série de factores de origem (tipo de deposição, comunidade vegetal, clima, ambiente geológico-estrutural da bacia de deposição da matéria vegetal, etc.), e quando tais factores influenciam as suas propriedades físicas e químicas, torna-se pois necessário estabelecer tais propriedades quando se tem em vista caracterizar em pormenor um carvão. Vários são os parâmetros físicos e químicos que se utilizam para caracterizar os carvões, do ponto de vista tanto do grau de incarbonização, como suas aplicações. Podemos agrupar estes parâmetros nas seguintes categorias:

- a) Análise imediata e poder calorífico, assim chamadas por serem de realização mais ou menos rápida. Nesta designação incluem-se as determinações seguintes: humidade, teor em cinzas, em matérias voláteis e em carbono fixo. Com vista a uma primeira caracterização do carvão, nomeadamente perante a sua possibilidade de utilização tecnológica na combustão, muitos autores associam aos resultados da análise imediata também o de uma propriedade físico-química - o poder calorífico - critério que seguimos por razões de ordem prática.;
- b) Análise elementar, na qual se determinam os teores dos elementos químicos constituintes da matéria orgânica do carvão, tais como o carbono, o hidrogénio, o oxigénio, o enxofre, o azoto, o cloro, etc;
- c) Propriedades coqueificantes, determinadas com base no índice de intumescimento (II), nas propriedades dilatométricas e plastométricas e no índice Roga (este não determinado neste estudo);

- d) Propriedades mecânicas, definidas, nomeadamente, através do índice de Hardgrove (IHG);
- e) Análise química e fusibilidade das cinzas;
- f) Poder reflector dos macerais/grupos de macerais, nomeadamente da vitrinite que, sendo simultaneamente um parâmetro petrográfico, foi já tratado no capítulo respectivo.

No nosso trabalho, procedeu-se ao estudo destas propriedades nas várias F/SFGs das amostras T3-2 e T8-2. O estudo foi, geralmente, feito a nível das variações destas mesmas propriedades nas diferente séries e grupos granulométricos^(12.1).

12.1. ANÁLISE IMEDIATA

As análises imediatas podem ser usadas para determinar o grau de incarbonização, mostrar a relação entre componentes combustíveis e não-combustíveis e fornecer algumas bases de avaliação do carvão em processos de compra e venda e em processos de beneficiação (ASTM D 3172-89). As análises imediatas são levadas a cabo em amostras de carvão previamente secas ao ar nas condições ambientais do laboratório quanto à temperatura e à humidade atmosférica. Os resultados das análises imediatas podem ser expressos em várias bases de cálculo (NP 3539, 1987): como recebido, seco ao ar, seco, húmido sem cinzas, seco sem cinzas, etc. A Tab. 12.1 mostra os valores da humidade, e dos teores em cinzas, em matérias voláteis e em carbono fixo para as F/SFGs das amostras T3-2 e T8-2 expressos na base "seco ao ar".

12.1.1. HUMIDADE DA AMOSTRA PARA ANÁLISE (haa) (Fig. 12.1)

A humidade da amostra para análise foi determinada segundo a Norma NP 1011 (1989) e calcula-se através da perda de peso da amostra quando aquecida a uma temperatura entre 104°C e 110°C sob uma corrente de ar seco. Trata-se, portanto, dum método gravimétrico indirecto. Os valores da humidade da amostra para análise, determinados na base "seco ao ar" variam entre 0.6% e 1.2% nas F/SFGs da amostra T3-2, e entre 0.4% e 1.1%, no caso da amostra T8-2. Os valores da humidade da amostra para análise na base "húmido sem cinzas" são, obviamente, maiores. Assim, na amostra T3-2, os valores variam entre 0.7% e 1.5% e, nos da amostra T8-2, entre 0.5% e 1.2%.

(12.1) Lembramos aqui que se entende por séries o conjunto de F/SFGs sequentes de granulometria crescente de <0.5 mm a 11.2-25 mm e por grupos as F/SFGs da mesma granulometria. Mais adiante aplica-se a palavra termo para os componentes de cada série e cadagrupo.

12.1.2. TEOR EM CINZAS (c) (Fig. 12.2)

O teor em cinzas é determinado pelo método ISO conforme definido na NP 1019 (1989). Segundo esta mesma Norma, a amostra de carvão é aquecida ao ar (atmosfera oxidante) segundo uma lei de aquecimento apropriada até uma temperatura de 815°C e durante o tempo suficiente até se obter uma massa constante.

O teor em cinzas resulta da matéria mineral englobada no carvão, durante ou após a deposição da matéria vegetal, e dos restos que ficam da combustão da própria matéria orgânica. O seu teor é sempre inferior ao teor em matéria mineral por decomposição e desvolatilização parcial desta matéria (Liu, 1990), desvolatilização esta devida à perda de água de cristalização dos minerais da argila e doutros minerais hidratados, à perda de dióxido de carbono dos carbonatos, à oxidação da pirite e outros sulfuretos, etc. (Unsworth, 1991). A determinação do teor em cinzas é de importância capital pois elas não só reduzem o poder calorífico do carvão, como representam um peso morto no transporte.

Na amostra T3-2, o teor em c (base "seco ao ar") varia entre um mínimo de 5.3% (T3-2/4) e um máximo de 22.0% (T3-2/16). Na amostra T8-2, os valores extremos são 6.4% (T8-2/3) e 35.5% (T8-2/11). Também à semelhança do que se passa com a humidade da amostra para análise, os teores em cinzas da amostra T8-2 são sempre mais altos do que os teores na amostra T3-2.

Como tendência geral, nos carvões de ambas as amostras, os teores em cinzas aumentam dos termos granulometricamente mais finos para os mais grosseiros em cada série. Dentro de cada grupo, os valores mais baixos correspondem ao primeiro e último termo. Considerando os valores médios pesados de cada série e cada grupo, verifica-se o seguinte:

a) Os valores médios pesados são mais baixos na primeira série, havendo um aumento na segunda série e uma diminuição progressiva até à quarta série na amostra T3-2; na amostra T8-2 o pico máximo é na terceira série; em qualquer dos casos, as quartas séries têm valores médios mais baixos do que as terceiras séries.

b) A nível de grupos, os dois primeiros têm os valores médios pesados de cinzas mais baixos, havendo um aumento progressivo até ao quarto grupo; esse aumento continua-se até ao quinto grupo na amostra T3-2, mas na amostra T8-2 há um ligeiro decréscimo. Em ambos os casos, o primeiro grupo tem um teor em cinzas relativamente mais alto que o segundo grupo.

12.1.3. TEOR EM MATÉRIAS VOLÁTEIS (MV) (Fig. 12.3)

O teor em matérias voláteis é determinado pelo método ISO (ISO 331, 1989) conforme definido na NP 3423-87. O carvão é aquecido a uma temperatura de 900°C durante 7 minutos ao abrigo do ar e o teor em voláteis calcula-se pela diferença de peso da amostra antes e depois do aquecimento. Os voláteis libertados são predominantemente CO, CO₂, CH₄, H₂, H₂O e vapores de alcatrão originados a partir da matéria orgânica. Da matéria mineral, como se referiu atrás, liberta-se predominantemente CO₂, H₂O e S. Nesta capítulo consideramos as matérias voláteis calculadas nas bases "seco" e "seco sem cinzas".

Na base "seco", e considerando o caso da amostra T3-2, as F/SFGs mais finas de cada série são as que apresentam valores mais altos, entre 18% e 20%; na amostra T8-2, passa-se o mesmo, excepção feita na primeira série, em que o terceiro termo tem o valor mais alto de todos. O teor em MV dos dois primeiros termos das séries da amostra T8-2 variam entre 16% e 19%, ou seja, geralmente os teores em MV são mais baixos na amostra T8-2 do que nos da amostra T3-2. Na quarta série de ambos os casos, o último termo apresenta um ligeiro aumento nos teores das MV. No caso dos grupos, os segundo e terceiro termos de cada um têm, geralmente, valores mais baixos de MV que os primeiro e quarto grupos.

Na base "seco sem cinzas", os teores em MV variam entre 19% e 21% na amostra T3-2 e entre 19% e 23% na amostra T8-2. No caso das MV(ssc) não se consegue divisar nenhuma ordem de variação tanto a nível de séries como de grupos. Considerando agora os valores médios pesados das séries e dos grupos, verifica-se o seguinte:

a) Os teores em MV(s) nos carvões das duas amostras são mais altos na primeira série ($\pm 18\%$), verificando-se o valor mínimo na segunda série ($\pm 16\%$) na amostra T3-2 e na terceira série ($\pm 15\%$) na amostra T8-2. No caso dos grupos, a amostra T3-2 mostra um decréscimo dos primeiros grupos ($\pm 19\%$) aos últimos grupos (16%), não havendo uma variação tão grande no caso da amostra T8-2, em que os teores em MV(s) nos três primeiros grupos são muito semelhantes ($\pm 18\%$) e os dois últimos grupos também semelhantes entre si ($\pm 16.2\%$).

b) No caso das MV(ssc), o comportamento nas duas amostras é diferente. Na amostra T3-2, os primeiro e segundo grupos têm valores mais altos do que na amostra T8-2; contudo, os terceiro a quinto grupos apresentam uma situação inversa.

12.1.4. PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCs) (Fig. 12.4)

Define-se poder calorífico superior (PCs) como a quantidade de calor libertada na combustão completa da unidade de massa do carvão (Liu, 1990). O poder calorífico superior determina-se de acordo com a Norma ISO 1928 (1976).

Na base "seco", o PCs varia entre 27 e 34 MJ/kg na amostra T3-2 e entre 23 MJ/kg e 35 MJ/kg no caso de T8-2. No caso das séries, a amostra T3-2 mostra um aumento do PCs(s) dos primeiros aos segundos termos das séries, seguido duma diminuição progressiva até aos últimos termos de cada série. No caso da amostra T8-2, esta situação só se verifica na primeira série, sendo a diminuição progressiva do primeiro ao último termo de cada série. No caso do PCs(ssc), a variação dos valores é muito pequena. Na amostra T3-2, cujos valores de PCs(ssc) rondam os 35 MJ/kg, os primeiros termos têm valores mais altos que os restantes; na amostra T8-2 verifica-se geralmente o mesmo, mas os valores são um pouco mais altos que na amostra T3-2, sendo de 36-37 MJ/kg. No que diz respeito aos grupos há um comportamento idêntico nas duas amostras tanto no que toca ao PCs(s) como ao PCs(ssc). Considerando os valores médios pesados do PCs(s), podemos observar o seguinte:

a) No caso das séries, os valores máximos (± 31 MJ/kg) verificaram-se na primeira série, seguindo-se um decréscimo até à segunda série (± 28 MJ/kg) na amostra T3-2 e até à terceira série (± 25 MJ/kg) na amostra T8-2, com nova subida até à quarta série (± 29 MJ/kg);

b) No caso dos grupos, há um acréscimo até ao terceiro grupo (± 32.5 MJ/kg) na amostra T3-2 e até ao segundo grupo (± 33 MJ/kg) na amostra T8-2. Na amostra T3-2, o decréscimo referido continua até ao quinto grupo, mas na amostra T8-2 verifica-se um ligeiro aumento.

12.2. ANÁLISE ELEMENTAR

No caso das amostras T3-2 e T8-2, determinaram-se os teores dos seguintes elementos: carbono, hidrogénio, oxigénio (por cálculo), azoto e enxofre total. Na Tab. 12.2 apresentam-se os valores respectivos para as amostras T3-2 e T8-2. Muitas vezes, nas análises elementares também se determina o cloro, mas no caso dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize este elemento não foi determinado.

12.2.1. TEOR EM CARBONO (C) (Fig. 12.5)

O teor em carbono, bem como o teor em hidrogénio, foi determinado segundo o método ISO (ISO 609-1975) segundo a NP 3863 (em publicação), pelo método da combustão a alta temperatura. A amostra é queimada numa corrente de oxigénio a alta temperatura, em que o hidrogénio é transformado em água e o carbono em dióxido de carbono. A variação do carbono ao longo das séries e dos grupos dos carvões das duas amostras tem exactamente o mesmo comportamento que o do poder calorífico superior, pelo que há uma relação muito estreita entre os dois parâmetros. Comparando os teores em carbono (base "seco") dos carvões das duas amostras, pode ver-se que os da amostra T3-2 têm uma dispersão algo maior (68-84%) do que os da amostra T8-2 (56-82%).

12.2.2. TEOR EM HIDROGÉNIO (H) (Fig. 12.6)

O teor em hidrogénio na amostra T3-2 tem uma variação diferente da da amostra T8-2. Na amostra T3-2, o teor em H(s) diminui gradualmente do primeiro ao último termo das primeira e terceira séries e, na amostra T8-2, varia do mesmo modo nas segunda e terceira séries. Nas outras séries de ambas as amostras há um aumento para o segundo termo e um decréscimo até ao último. O H(ssc) tem uma variação sem qualquer ordem, sendo os valores na amostra T3-2 mais variáveis do que na amostra T8-2. No que toca aos grupos, não há nenhuma ordem de variação específica.

Quanto aos valores médios pesados, as séries da amostra T3-2 têm valores muito parecidos de H(s) e H(ssc); nos grupos há um decréscimo dos valores do H(s) do primeiro ao último grupo, mas a nível do H(ssc) há oscilações. No caso da amostra T8-2, os valores médios pesados do H(ssc) relativos às séries e aos grupos são extremamente parecidos. No caso do H(s) há uma variação decrescente da primeira à terceira série com um aumento na quarta série. Nos grupos há um ligeiro aumento no segundo grupo e novamente no quinto grupo.

12.2.3. TEOR EM OXIGÉNIO (O) (Fig. 12.7)

O teor do oxigénio foi calculado a partir dos teores doutros constituintes (haa, c, C, H, N, St) subtraídos de 100%. Os teores em oxigénio na base "seco" variam enormemente entre cerca de 1.3-4.8% na amostra T3-2 e entre 1.2-5.9% nos da amostra T8-2. Os teores em oxigénio na base "seco sem cinzas" varia entre 1.5-6% na amostra T3-2 e entre 1.6-8.7% nos da amostra T8-2.

12.2.4. TEOR EM AZOTO (N) (Fig. 12.8)

O azoto foi determinado pelo processo de Kjeldahl (NP 1012, em publicação). O carvão é aquecido com ácido sulfúrico concentrado, em que o azoto é transformado em sulfato de amónio, seguidamente destilado em meio alcalino com produção de amoníaco, posteriormente absorvido pelo ácido sulfúrico.

Os teores em azoto têm uma variação semelhante à dos teores do hidrogénio, sendo relativamente semelhantes nas duas amostras no que toca aos valores calculados na base "seco". A variação dos valores na base "seco sem cinzas" é bastante diferente nas duas amostras. Assim, o N(s) na amostra T3-2 varia entre 1.3-1.9% e no T8-2 entre 1.3-2.2%.

Em termos de valores médios pesados, o N(s) mostra um decréscimo da primeira à terceira série de ambas as amostras, com novo decréscimo para a quarta série na amostra T3-2 e um acréscimo na amostra T8-2. No que toca aos grupos, o N(s) diminui do primeiro ao quinto grupo em ambas as amostras. Quanto ao N(ssc), os comportamentos são semelhantes em ambas as amostras.

Os valores médios pesados do N(s) nas séries da amostra T3-2 variam entre 1.5%-1.65% e, da amostra T8-2, entre 1.6%-1.9%. Nos grupos, a variação é de entre 1.5%-1.85% na amostra T3-2 e entre 2%-1.7% na amostra T8-2. Quanto aos valores do N(ssc), na amostra T3-2 varia entre 1.85%-2% e, na amostra T8-2, varia entre 2%-2.3%.

12.2.5. TEOR EM ENXOFRE TOTAL (St) (Fig. 12.9)

Considera-se enxofre total, como o próprio nome indica, o somatório de todas as formas de enxofre presente no carvão, isto é, o enxofre sulfato, o enxofre piritico e o enxofre orgânico. O enxofre total foi determinado pelo método de combustão a alta temperatura, segundo o descrito na NP 1016 (em publicação). O processo baseia-se na combustão do carvão numa corrente de oxigénio a uma temperatura de 1350°C.

Em termos de valores médios pesados, a amostra T3-2 têm valores mais altos de St do que os da amostra T8-2. Nas séries, o St(s) varia entre 0.72%-0.84% na amostra T3-2, os valores-limite na amostra T8-2 são de 0.45%-0.7%. No caso dos grupos, esses valores-limites são de 0.75%-0.86% na amostra T3-2 e de 0.58%-0.9% na amostra T8-2.

12.3. PROPRIEDADES COQUEFICANTES

Na Tab. 12.3 apresentam-se os valores das propriedades coqueficantes - índice de intumescimento e propriedades dilatométricas - das F/SFGs das amostras T3-2 e T8-2. O índice de intumescimento só se determinou nos carvões da amostra T8-2.

12.3.1. ÍNDICE DE INTUMESCIMENTO (II) (Fig. 12.10)

É um teste bastante rápido que se utiliza para controlar as propriedades coqueficantes do carvão. Contudo, não fornece indicações sobre plasticidade e resistência do coque, características fundamentais na definição das propriedades coqueficantes do carvão (Zimmerman 1979). Os limites inferiores do índice de intumescimento apropriados para a coqueificação variam conforme os autores. Segundo Zimmerman (1979), o limite inferior é de 3 1/2. Contudo, na tabela sobre a utilização do carvão de Quinn & Callcott (1994), esse limite é de 6, podendo ir até valores de 1.

O processo de determinação do índice de intumescimento consiste em aquecer, em condições apropriadas correspondentes a uma lei de aquecimento uniforme (NP 1017-1989), com bico de Bunsen até uma temperatura de 820°C uma dada quantidade de carvão num cadinho. Deste processo resulta um botão de coque cuja forma é comparada com uma série-padrão a que correspondem os diferentes índices de intumescimento.

O II só foi determinado nas F/SFGs da amostra T8-2, à exceção das subfracções de granulometria 11.2-25 mm. Na primeira série granulométrica, os valores do II variam entre 4 e 9. O valor máximo corresponde à FG <0.5 mm (T8-2/2). Na segunda série, os valores variam entre 1 e 6, na terceira entre 1 e 4.5 e na quarta série entre 2 e 7. Nestas três séries, os valores mínimos correspondem às granulometrias <1 mm.

12.3.2. DILATÓMETRO DE AUDIBERT-ARNU

As propriedades determinadas com o dilatômetro de Audibert-Arnu seguem a metodologia definida na NP 3736-1988, em que um provete de carvão moído a 0.16 mm é sujeito a um aquecimento progressivo de 3°C/min. As alterações sofridas pelo lápis de carvão são medidas (em termos de comprimento) pela deslocação de um êmbolo assente sobre a extremidade superior do dito provete.

No caso mais geral, durante o aquecimento, o carvão começa a amolecer (T1) concomitantemente com uma contracção que atinge um valor máximo à temperatura T2, começando então a dilatar até nova temperatura (T3) em que termina a dilatação. A temperatura T1 designa-se como temperatura de amolecimento e mede-se quando o êmbolo se desloca 0.5 mm; a temperatura T2 chama-se temperatura de máxima contracção; e a temperatura T3 diz-se temperatura de máxima dilatação. A diferença das posições do êmbolo às temperaturas T1 e T2 dá o valor da contracção (a) e a diferença das posições do êmbolo às temperaturas T1 e T3 dá o valor da dilatação (b). Na Norma NP 3736-1988 estão definidos quatro tipos de curvas dilatométricas: (i) com dilatação positiva, (ii) com dilatação negativa, (iii) só com contracção, que estabiliza a uma dada temperatura (T2) e (iv) só com contracção que aumenta com a temperatura.

Como se pode ver dos gráficos das Fig. 12.11.1 e Fig. 12.11.2, são muito poucas as F/SFGs dos nossos carvões que apresentam dilatação, quer positiva, quer negativa. No caso da amostra T3-2, as dilatações negativas verificam-se nas FGs T3-2/3 e T3-2/4. As restantes só apresentam contracção ou do tipo (iii) ou do tipo (iv) definidos no parágrafo anterior. No caso da amostra T8-2 há, contudo, alguns exemplos de dilatação positiva (T8-2/2, T8-2/4, T8-2/17 e T8-2/18). Os casos de dilatação negativa verificam-se nas SFGs T8-2/7, T8-2/8, T8-2/12 e T8-2/13. As restantes apresentam só contracção.

A temperatura T1 (Fig. 12.11.3), na amostra T3-2, varia entre um mínimo de 415°C a um máximo de 438°C, sendo esses valores de 411°C e 440°C na amostra T8-2. A temperatura T2 (Fig. 12.11.3), na amostra T3-2 varia entre valores limites de 448°C e 502°C e, na amostra T8-2, entre 432°C e 561°C. As temperaturas T3 só se mediram na amostra T8-2 e variam entre 468°C e 487°C, correspondendo a dilatações máximas que variam entre 17% e 34%. As contracções máximas (Fig. 12.11.3) variam entre 10% e 30% na amostra T3-2 e entre 12% e 33% na amostra T8-2. Projectando num gráfico os valores de T1 e T2 (Fig. 12.12.A), verifica-se que um aumento de T1 significa um aumento de T2 segundo a equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$T2 = 1.414 * T1 - 132.607$	$r = 0.61$

e com um coeficiente de correlação relativamente baixo. Projectando os valores de T2 e os poucos valores disponíveis de T3, relativos à amostra T8-2 (Fig. 12.12.B), verifica-se também um aumento concomitante das duas temperaturas segundo a equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$T3 = 1.278 * T2 - 86.941$	$r = 0.0.944$

mas já com um coeficiente de correlação alto.

12.4. PROPRIEDADES MECÂNICAS: ÍNDICE HARDGROVE (IHG)

Os valores relativos a este parâmetro vêm referidos na Tab. 12.4. Devido à falta de material suficiente, não foi possível realizar este teste em todas as F/SFGs nos carvões das duas amostras. O índice de Hardgrove, que indica a resistência do carvão à moagem, é determinado segundo a Norma NP 3866-1992 e é expresso por um número empírico (Unsworth 1991), que, quanto maior, mais fácil é o carvão de moer. De acordo com esta Norma, o carvão deve ser moído inicialmente a 4.75 mm, tomando-se, em seguida, uma porção de 1kg que será moída a 1.18 mm, rejeitando-se a fracção <600µm. Contudo, quando se decidiu também fazer os ensaios de Hardgrove das amostras para os quais havia quantidade suficiente, elas estavam já moídas a <3 mm. Como se sabe, o IHG sobreestima o grau de resistência à moagem pois que o carvão sofre uma pré-moagem (Mackowsky, 1982b) e a resistência dos grãos individuais aumenta pois diminui o número de fracturas em cada um deles em comparação com o número de fracturas dos grãos na sua consistência original. Uma vez que a granulometria de partida nos ensaios realizados é inferior à definida na Norma NP 3866-1992, os valores de IHG determinados deverão ser maiores do que os esperados se tivermos em conta o diagrama de van Krevelen (1993), o que se verifica se se projectarem os pontos relativos às amostras T3-2 e T8-2 neste diagrama, em que aparecem acima da linha definida pelo referido autor.

Se bem que o número de dados não seja muito grande, é possível ver, a partir da Fig. 12.13, que o IHG aumenta com o aumento do teor em carbono (s) do respectivo carvão. No caso dos dados existentes, o aumento do IHG com o teor em carbono (s) segue uma equação cúbica de expressão:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$C(s) = -6.501 * 10^{-4} * IHG^3 + 0.154 * IHG^2 - 11.546 * IHG + 348.293$	$r = 0.892$

Na Fig. 12.13 existe um ponto perfeitamente deslocado da tendência geral que não foi tomado em consideração no cálculo desta equação.

Na Fig. 12.14 e em relação às primeira e segunda séries, pode ver-se que os termos de granulometrias iniciais mais finas têm valores de IHG mais elevados do que os de granulometria inicial mais grosseira, o que à partida parece um contrasenso em relação ao que atrás se disse. Porém, como o ensaio foi levado a cabo em granulometrias não estabelecidas na norma, é difícil de explicar este facto.

12.5. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E FUSIBILIDADE DAS CINZAS

12.5.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS CINZAS (Fig. 12.15)

As cinzas das F/SFGs T3-2 foram analisadas quimicamente de acordo com as normas ASTM D 3682-91 (para SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O e TiO₂) e BS 1016:Part 14:1979 (para SO₃, P₂O₅). Os resultados vêm expressos na Tab. 12.5. Uma análise desta tabela e da Fig. 12.15 mostra que estas cinzas têm uma composição silico-aluminosa, pois são os óxidos de silício (SiO₂) e de alumínio (Al₂O₃) os que aparecem em maiores quantidades. No caso do SiO₂, os valores variam entre 63.31% e 70.39%; por seu lado, o Al₂O₃ varia entre 17.34% e 27.36%. Os teores em óxido de ferro III (Fe₂O₃), o terceiro maior componente, são relativamente baixos, raramente excedendo 2%. Os teores em óxido de cálcio (CaO) são baixos, mas variando entre limites relativamente largos, i.e., entre 0.05% e 3.18%. Os teores em óxidos de metais alcalinos (Na₂O e K₂O) são também baixos e de teores relativamente constantes, sendo o K₂O sempre mais abundantes que o Na₂O. Os valores de K₂O variam entre 1.47% e 2.24% e os de Na₂O entre 0.28% e 1.50%. Os teores em óxido de magnésio (MgO) são ainda mais baixos, variando entre 0.05% e 0.71%. No que toca ao trióxido de enxofre (SO₃), os teores são sempre inferiores a 0.3%. Os teores de pentóxido de fósforo (P₂O₅) são os mais baixos de todos, sempre inferiores a 0.11%. O óxido de titânio (TiO₂) também aparece em teores muito baixos, variando entre 0.21% e 2.41%.

12.5.2. FUSIBILIDADE DAS CINZAS

A determinação das temperaturas a que as cinzas fundem é importante, tendo em conta o tipo de fornos a usar. Há casos em que os fornos estão desenhados de modo a recolher cinzas no estado sólido e em pó, pelo que nestes casos não é possível usarem-se carvões cujas cinzas tenham um baixo ponto de fusão.

As cinzas, de que se determinaram as respectivas composições químicas, foram sujeitas aos ensaios de fusibilidade em atmosfera oxidante, segundo o processo descrito na NP 1020-1992, tendo-se determinado os valores das temperaturas de amolecimento (T1), de hemisfério (T2) e de escoamento (T3) que vêm expressos na Tab. 12.6. A temperatura de amolecimento (T1) é a temperatura à qual o cone de cinzas (feito de acordo com a Norma) começa a sofrer um arredondamento do seu vértice. A temperatura de hemisfério (T2) é a temperatura em que a altura da amostra é igual a metade da largura da base. A temperatura de escoamento (T3) é a temperatura em que a altura da amostra é igual a um terço da largura da base. As temperaturas de fusão são função da composição mineralógica das cinzas e da atmosfera (reduzora ou oxidante) a que se dá a fusão. No que respeita às temperaturas T2 e T3, os resultados de que dispomos não são totalmente quantitativos, pois eles foram-nos fornecidos como sendo todos >1600°C. Resta-nos fazer algumas considerações sobre a temperatura T1. Na grande maioria das F/SFGs, a temperatura T1 é superior a 1200°C, à excepção das F/SFGs <0.5 mm (T3-2/2 - 1057°C e T3-2/7 - 1180°C), e sempre inferior a 1300°C (Fig. 12.16).

Dentro de cada grupo de granulometrias, a tendência é as temperaturas aumentarem do primeiro ao último termo, excepção feita ao último grupo, em que as temperaturas decrescem. Quanto às séries, as variações dentro de cada uma são todas diferentes, não havendo regra geral de variação.

Aparentemente, a composição química das cinzas não parece influir na temperatura de amolecimento (T1) (Fig. 12.17). Acontece porém que as gamas de variação dos principais componentes químicos são relativamente pequenas, bem como a gama de variação das temperaturas T1, pelo que este facto deve influir na falta de correlação, talvez apenas aparente.

12.6. RELAÇÃO ENTRE OS VÁRIOS PARÂMETROS

A análises e os ensaios levados a cabo e referidos anteriormente e em capítulos anteriores, têm em vista caracterizar e classificar os carvões por meio de parâmetros numéricos. Os carvões são substâncias naturais, cujas propriedades químicas e físicas são função da respectiva composição química. Sendo assim, é natural que os vários parâmetros se interrelacionem entre si. Neste ponto pretendemos mostrar como isto acontece nos carvões estudados com base no estudo das correlações entre vários parâmetros, seguidas de comentários nos casos julgados pertinentes.

Os carvões são constituídos por macerais dos grupos da vitrinite, da inertinite e da liptinite (este praticamente ausente nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize), bem como de vários tipos de minerais, quer singenéticos, quer epigenéticos, tanto primários como secundários.

Como é sabido, cada um dos grupos de macerais caracteriza-se pela predominância de um ou outro componente químico. Assim, a vitrinite é constituída fundamentalmente por carbono, a liptinite por hidrogénio e a inertinite por oxigénio. Além do elemento dominante, cada um destes macerais contém os outros dois, e ainda outros elementos, tais como azoto, cloro, enxofre, etc. Além dos macerais, existem os minerais que, no caso das amostras T3-2 e T8-2, são predominantemente minerais das argilas, ou seja, aluminossilicatos (o que está de acordo com a composição química das cinzas referida anteriormente) com uma certa percentagem de água na sua estrutura. Existem ainda sulfuretos de ferro, sílica e carbonatos, além de outros minerais em menor quantidade. Estes minerais, na determinação dos teores em matérias voláteis, contribuem com alguns destes voláteis, como atrás se disse.

O carvão também se caracteriza pelo poder calorífico, que é uma expressão da libertação de calor pela combustão do carvão como resultado de reacções exotérmicas entre a matéria orgânica do carvão e o oxigénio (Mackowsky, 1982a). As substâncias libertadoras de calor são o C, H, S e N, ao passo que o O e a matéria mineral consomem calor. Assim, um carvão com uma alta percentagem de inertinite (rica em O) tem um poder calorífico mais baixo do que um carvão rico em vitrinite e/ou liptinite (ricos em C e H, respectivamente). Como seria de esperar, se se projectarem os valores do poder calorífico superior (PCs) em função dos teores em vitrinite (Fig. 12.18.A) verifica-se que um aumento do teor em vitrinite significa também um aumento do PCs segundo uma lei expressa pela seguinte equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$PCs(s) = 9.355 + 0.350 \cdot V - 9.872 \cdot 10^{-4} \cdot V^2$	$r = 0.861$

Assim, para valores de vitrinite entre 50-60%, o PCs(s) varia entre 23-27 MJ/kg, ao passo que para valores de vitrinite de cerca de 90%, o PCs(s) sobe para 33-34 MJ/kg. No que toca à relação entre o PCs(s) e o teor em inertinite (Fig. 12.18.B), observa-se uma correlação segundo a equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$PCs(s) = 34.782 - 0.247*I$	$r = -0.782$

Observando agora a variação do PCs(s) com o teor em matéria mineral (Fig. 12.18.C), verifica-se um decréscimo do primeiro com o aumento do teor em matéria mineral:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$PCS(s) = 33.973 - 0.911*MM + 0.019*MM^2$	$r = 0.791$

ou seja, estas equações confirmam os factos referidos anteriormente. O aumento do PCs(s) com os teores em C, H, N e S (total) também é um facto nos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize. Assim, os aumentos do PCs(s) em função dos teores nos elementos atrás referidos nas amostras T3-2 e T8-2 seguem as seguintes equações:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$PCs(s) = 2.141 + 0.371*C(s)$	$r = 0.964$ (Fig. 12.18.D)
$PCs(s) = -16.058 + 17.420*H(s) - 1.497*H(s)^2$	$r = 0.896$ (Fig. 12.18.E)
$PCs(s) = 11.030 + 11.381*N(s)$	$r = 0.854$ T3-2 (Fig. 12.18.F)
$PCs(s) = 8.712 + 11.529*N(s)$	$r = 0.837$ T8-2 (Fig. 12.18.F)
$PCs(s) = 19.056 + 14.750*St(s)$	$r = 0.802$ (Fig. 12.18.G)

O teor em matérias voláteis (na "base seco") também varia com os teores dos macerais e/ou minerais. O teor em matérias voláteis aumenta com o teor em vitrinite e diminui com o aumento dos teores em inertinite e em matéria mineral segundo as equações:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$MV(s) = 13.621 - 0.028*V + 0.001*V^2$	$r = 0.842$ (Fig. 12.19.A)
$MV(s) = 20.137 - 0.146*I$	$r = -0.804$ (Fig. 12.19.B)
$MV(s) = 19.449 - 0.518*MM + 0.013*MM^2$	$r = 0.688$ (Fig. 12.19.C)

Se o PCS(s) e o teor em MV(s) aumentam com o teor em vitrinite, C, H, N e St e diminuem com os teores em inertinite e matéria mineral é natural que um aumento dos teores em MV signifique também um aumento do PCS, o que de facto se verifica nestes carvões (Fig. 12.19.D):

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$PCS(s) = -6.347 + 2.682*MV(s) - 0.034*MV^2$	$r = 0.883$

Por outro lado, se o PCs e as MV diminuem com o teor em matéria mineral e as cinzas resultam do resíduo da matéria mineral após a combustão desta, é de prever que o PCs e as MV também diminuam com o aumento do teor em cinzas:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$PCs(s) = 35.146 - 0.323*c(s)$	$r = -0.948$ (Fig. 12.19.E)
$MV(s) = 20.225 - 0.183*c(s)$	$r = -0.938$ (Fig. 12.19.F)

O teor em cinzas varia com o teor em matéria mineral do seguinte modo:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$c(s) = 4.524 + 2.634*MM$	$r = 0.780$ (Fig. 12.19.G)

De igual modo, os teores dos elementos químicos C, H, N e St diminuem com o aumento do teor em cinzas:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$C(s) = 89.718 - 0.932*c(s)$	$r = -0.993$ (Fig. 12.20.A)
$H(s) = 4.919 - 0.053*c(s)$	$r = -0.936$ (Fig. 12.20.B)
$N(s) = 1.960 - 0.010*c(s) - 4.907*10^{-4}*c(s)^2$	$r = 0.963$ T3-2 (Fig. 12.20.C)
$N(s) = 2.265 - 0.022*c(s) - 1.372*10^{-4}*c(s)^2$	$r = 0.964$ T8-2 (Fig. 12.20.C)
$St(s) = 0.959 - 0.012*c(s) - 1.326*c(s)^2$	$r = 0.882$ (Fig. 12.20.D)

Um dos parâmetros usados na caracterização mecânica do carvão é o índice Hardgrove (IHG) que quantifica a maior ou menor dificuldade de o moer. Quanto maior o IHG, maior a facilidade de o moer. Um carvão rico em matéria mineral e, por conseguinte, em cinzas, será mais difícil de moer do que um carvão pobre em matéria mineral, pois que esta é geralmente mais dura que a matéria orgânica. Na Fig. 12.20.E está patente esta relação que se traduz pela seguinte relação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$IHG = 103.442 - 1.892*c(s)$	$r = -0.943$

ou seja, para um teor em matéria mineral de cerca de 7.5%, o IHG é de cerca de 95; contudo, para um teor em matéria mineral de cerca de 22.5%, o IHG é de cerca de 60. Por outro lado, um aumento das matérias voláteis provoca um aumento do IHG (Fig. 12.20.F):

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$IHG = -70.317 + 8.564*MV(s)$	$r = 0.935$

O aumento do IHG com o aumento dos teores em C, H, N e St só é claro no caso do carbono, em que a relação entre os dois parâmetros (Fig. 12.20.G) se rege pela equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$IHG = 198.192 - 5.172 * C(s) + 0.047 * C(s)^2$	$r = 0.897$

No caso dos outros elementos (Fig. 12.21.A, Fig. 12.21.B e Fig. 12.21.C) não se pode dizer que hajam correlações, antes se verifica uma tendência do aumento do IHG com o aumento dos teores daqueles elementos. Esta tendência também se verifica com o aumento do teor em vitrinite (Fig. 12.21.D). Contudo, no caso da inertinite, um aumento do teor deste maceral implica um decréscimo do IHG (Fig. 12.21.E), o que se passa também com o aumento do teor em matéria mineral (Fig. 12.21.F). Há ainda uma relação directa entre o PCs e o IHG (Fig. 12.21.G) o que não é de estranhar, pois que um aumento nos teores de C, H, N e St provocam não só um aumento no PCs como também no IHG. Assim, essa relação é expressa pela equação:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$IHG = -67.884 + 4.866 * PCs(s)$	$r = 0.935$

Outro parâmetro usado na caracterização dos carvões, mas ligado às propriedades coqueificantes nos carvões betuminosos. De facto, nem os carvões sub-betuminosos, nem as antracites mostram índices de intumescimento superiores a 0 (Sousa et al. 1992, Fig. 5; Fig. 13.4 deste trabalho) O II só foi medido na amostra T8-2. O II é uma propriedade inerente à matéria orgânica e varia com o grau de incarbonização sendo, por isso, função das matérias voláteis presentes no carvão. Na Fig. 12.22.A, mostra-se a variação do II com o teor em MV:

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$II = -7.442 + 0.006 * MV(s) + 0.042 * MV(s)^2$	$r = 0.859$

De igual modo, um aumento do teor em cinzas provoca uma diminuição da quantidade de matéria orgânica e, conseqüentemente, uma diminuição do II (Fig. 12.22. B):

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$II = 15.010 - 0.737 * c(s) + 0.010 * c(s)^2$	$r = 0.963$

Também é evidente a diminuição do II com o aumento da quantidade de matéria mineral (Fig. 12.22.C). Se o aumento do teor em MV provoca um aumento do II, também os elementos químicos voláteis (C, H, N e St) provocam o mesmo efeito no II (Fig. 12.22.D, Fig. 12.22.E, Fig. 12.22.F e Fig. 12.22.G):

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$II = 53.032 - 1.782 \cdot C(s) + 0.015 \cdot C(s)^2$	$r = 0.959$
$II = 48.317 - 30.518 \cdot H(s) + 4.953 \cdot H(s)^2$	$r = 0.961$
$II = 5.998 - 11.313 \cdot N(s) + 5.830 \cdot N(s)^2$	$r = 0.847$
$II = -5.571 + 17.092 \cdot St(s)$	$r = 0.807$

Obviamente, pelas razões já expressas atrás, um aumento do PCs significará um aumento do II (Fig. 12.23.A):

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$II = 30.232 - 2.786 \cdot PCs(s) + 0.064 \cdot PCs(s)^2$	$r = 0.952$

Do mesmo modo que há uma relação directa do IHG e do II com os teores em C, H, N e St, também há uma relação directa entre os dois índices (Fig. 12.23.B):

Equação de regressão	Coefficiente de regressão
$II = -13.616 + 0.232 \cdot IHG$	$r = 0.947$

O aumento do teor em vitrinite e a diminuição do teor em inertinite indiciam uma tendência, em ambos os casos, para o aumento do II. Essas tendências podem ser quantificadas através das seguintes equações (Fig. 12.23.C e Fig. 12.23.D) que, contudo, apresentam coeficientes de correlação baixos:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$II = -13.517 + 0.305 \cdot V - 7.566 \cdot 10^{-4} \cdot V^2$	$r = 0.764$
$II = 9.628 - 0.249 \cdot I$	$r = 0.696$

Atrás referimos que nas matérias voláteis se encontra o C, H, N e St. As equações seguintes são claras em mostrar a variação positiva destes elementos com o teor em matérias voláteis:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$C(s) = -139.999 + 20.729 \cdot MV - 0.477 \cdot MV^2$	$r = 0.955$ Fig. 12.24.A
$H(s) = -7.269 + 1.071 \cdot MV - 0.024 \cdot MV^2$	$r = 0.919$ Fig. 12.24.B
$N(s) = -1.751 + 0.310 \cdot MV - 0.006 \cdot MV^2$	$r = 0.900$ T3-2 Fig. 12.24.C
$N(s) = -3.748 + 0.512 \cdot MV - 0.011 \cdot MV^2$	$r = 0.954$ T8-2 Fig. 12.24.C
$St(s) = -4.077 + 0.485 \cdot MV - 0.012 \cdot MV^2$	$r = 0.829$ Fig. 12.24.D

Os resultados obtidos com o ensaio no dilatómetro de Audibert-Arnu não mostram que haja alguma relação entre as três temperaturas T1, T2 e T3 (respectivamente de amolecimento, de máxima contracção e de máxima dilatação) e a composição do carvão, quer em matérias voláteis, em cinzas, em carbono, em vitrinite, inertinite e matéria mineral. O único facto digno de nota é que em qualquer gráfico que relacione cada um dos constituintes atrás referidos com as temperaturas T1, T2 e T3 há uma separação nítida entre o campo onde caem os pontos referentes a T1 e o campo referente aos pontos relativos a T2. Os pontos referentes a T3 misturam-se com os pontos referentes a T2. A única relação possível de verificar é uma leve variação decrescente de T1 e T2 com o aumento do II (Fig. 12.24.E e Fig. 12.24.F), variação esta mais nítida em T2 do que em T1. Em relação a T3, os dados são inconclusivos pois só dispomos de 4 valores.

Em relação ao oxigénio, há um aspecto a que se deve chamar a atenção: quando se projectam os valores dos vários parâmetros em função dos teores em oxigénio, há **sempre** dois campos distintos:

a) um relativo à amostra T3-2. com os pontos mostrando uma grande dispersão; e

b) outro relativo à amostra T8-2, em que se nota sempre uma orientação dos pontos.

A título de exemplo, refira-se o diagrama relativo à variação do carbono com o oxigénio (Fig. 12.24.G).

Procurou-se, também, encontrar alguma relação entre o poder reflector da vitrinite (PRvit) e os valores dos vários parâmetros atrás referidos. Acontece, porém, que os valores de PRvit medidos variam num intervalo muito estreito, entre 1.33% e 1.43%, ou seja, um intervalo de 0.10%, pelo que se torna difícil, em tão curto intervalo, observar-se alguma variação digna de nota. Contudo, pode divisar-se uma certa tendência para o PRvit subir com o aumento do PCs (Fig. 12.25.A), o mesmo acontecendo com o carbono (Fig. 12.25.B). Um aumento do teor em cinzas provoca um abaixamento do PRvit (Fig. 12.25.C). Contudo, não nos esqueçamos que nestes carvões há inúmeros leitos de matéria mineral, principalmente argilas, que tornam o polimento destes carvões extremamente difícil, dificuldade esta que aumenta com o aumento do teor em matéria mineral. Com um polimento deficiente os valores do PRvit são forçosamente mais baixos.

Por fim, relacionam-se entre si os teores em cinzas, matérias voláteis e poder calorífico com os teores em carbono fixo (este calculado a partir dos primeiros):

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$CF(s) = 89.718 - 0.931 * c(s)$	$r = -0.993$ Fig. 12.25.D
$CF(s) = -110.108 + 16.988 * MV(s) - 0.389 * MV(s)^2$	$r = 0.917$ Fig. 12.25.E
$PCs(s) = 15.834 - 0.025 * CF(s) + 0.004 * CF(s)^2$	$r = 0.974$ Fig. 12.25.F

13. CLASSIFICAÇÃO DOS CARVÕES ESTUDADOS

No caso dos carvões, tal como em todos os materiais, substâncias e/ou produtos e seres naturais, a necessidade de se definirem sistemas de classificação com base nos princípios básicos da Sistemática (i.é., juntando objectos com aspectos comuns em grupos que se distinguem de outros grupos que apresentem características diferentes e, por fim, designando os grupos constituídos) é por si mais do que evidente, tanto mais que se trata de recursos naturais que são comercializados a nível internacional a uma escala bastante grande e generalizada (Krevelen 1993; Sousa 1991, 1992; Sousa et al. 1992).

Quando se começou a explorar o carvão há mais de 100 anos em vários países, constituíram-se e deram-se nomes a agrupamentos e classificaram-se os carvões consoante as suas necessidades de utilização prática com a aplicação de parâmetros diferindo de país para país (Liu 1990). O desenvolvimento do comércio mundial pôs a nu uma falta de normalização e duma linguagem comum a todos, pelo que as confusões se começaram a generalizar. Este aspecto é ainda hoje um facto, pois que, apesar das tentativas de se definir um sistema internacional de classificação de carvões, muitos países continuam a usar os seus próprios sistemas, se bem que com pontos comuns. Passamos a referir alguns exemplos:

a) nos E.U.A. os carvões são classificados com base no grau (NP 3603-1992) segundo a Norma ASTM D 388-91a.

b) na França a Norma NF M 10-001:1990 define a actual Codificação Internacional CEE-NU^(13.1) dos Carvões de Grau Médio e Grau Superior de que adiante falaremos em pormenor e substitui a mesma Norma NF M 10-001 de 1972 que classificava os carvões segundo o "tipo" em conformidade com a antiga Classificação Internacional CEE-NU dos Carvões-de-Pedra (International Classification of Hard Coals by Type, 1956); uma outra Norma (NF M 10-003, 1988) classifica os carvões destinados à coqueificação, classificação esta que vem publicada também na NP 4230-1993; a Norma NP 3607-1992 descreve o sistema de classificação do Centre de Pyrolyse de Marienau com base em parâmetros químicos, petrográficos e tecnológicos.

c) no Reino Unido, os carvões são simultaneamente classificados e codificados segundo o teor em matérias voláteis na base "seco sem matéria mineral" e no índice de Gray-King, classificação adoptada pelo National Coal Board/British Coal (1964) e que vem descrito na Norma NP 3604-1992.

13.1 Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas (Genebra).

d) na Austrália, a classificação e codificação simultâneas baseiam-se no poder calorífico superior na base "seco, sem cinzas" conforme vem descrito nas Normas AS 2096-1987 e NP 4222-1992.

e) na China, a Norma GB 5751-1986 classifica os carvões com base nos teores em matérias voláteis e em hidrogénio na base "seco, sem cinzas" (parâmetros de grau) e nas propriedades dilatométricas do dilatómetro de Audibert-Arnu.

f) na Polónia, a Norma PN-82/G-97002 aplica-se aos carvões betuminosos e classifica-os segundo o teor em matérias voláteis e o poder calorífico (ambos na base "seco, sem cinzas") e no índice de intumescimento.

g) na ex-URSS, e supomos que nos países que fizeram parte daquela União, a Norma GOST 25543-88 apresenta uma extensa classificação aplicada a todas as gamas de carvão e que se baseia em critérios genéticos e tecnológicos.

h) na África do Sul existe uma especificação para carvões betuminosos e antracíticos (Specification for Anthracitic and Bituminous Coals, 1982) em que se definem graus em termos do poder calorífico, de várias propriedades químicas (na base "seco") e de granulometrias

As classificações chinesa, soviética, australiana e americana aplicam-se a carvões de todos os graus de incarbonização, enquanto que as restantes se referem a carvões de grau médio e de grau superior.

Do ponto de vista histórico, porém, várias têm sido as propostas de sistemas de classificação de carvões, sendo de referir a mais antiga que se conhece e que é devida a Libavius datada de 1599 em que os carvões aparecem classificados no quadro mais vasto do conjunto dos caustobiólitos (matérias orgânicas sedimentares fósseis) (Sousa 1991, 1992; Sousa et al. 1992). Ao longo dos séculos seguintes propuseram-se variadíssimos sistemas, sendo de referir, pela sua importância científica e consequente divulgação internacional, a classificação de Seyler datada de 1938 (Krevelen 1993) que se baseia nos teores de hidrogénio e de carbono (na base "seco sem matéria mineral") como parâmetros básicos, a partir dos quais é possível preverem-se outros parâmetros, tais como o poder calorífico superior, teores em matérias voláteis, em oxigénio, etc. Snyman et al. (1983) adaptou esta classificação para carvões da África Austral, em que os parâmetros de base usados são os mesmos, mas em que também é possível prever a composição petrográfica e o poder reflector da vitrinite (Falcon 1986b).

Os sistemas de classificação que têm vindo a ser desenvolvidos até há alguns anos atrás baseavam-se, contudo, no conhecimento das propriedades dos carvões norte-atlânticos. À medida que os carvões do Hemisfério Sul começaram a entrar no mercado mundial, verificou-se que os parâmetros dessas classificações não se adaptavam a estes carvões. Assim, surgiu a necessidade de se definir um sistema que se adapte, de facto, a todos os carvões. Apareceu, assim, a Classificação Universal dos Combustíveis Sólidos Fósseis de Alpern (Alpern 1981), com base no conhecimento científico dos carvões. A classificação dita de Alpern foi submetida pelo Governo Francês (COAL/GE.3/R.77/Add.1 ECE-UN, 1986) à CEE-NU para estudo e eventual adopção como sistema internacional para uma classificação de carvões em camada. Publicaram-se entretanto, várias versões melhoradas, sendo a última versão publicada em Alpern et al. (1989). Nesta classificação, o carvão é classificado quanto ao grau, ao tipo e à categoria. Também se estabeleceu uma Codificação Internacional para Carvões de Grau Médio e Grau Superior da CEE-NU (NP 3420-1992), que é uma classificação codificada de âmbito comercial.

Nas Fig. 13.1.A e Fig. 13.1.B apresenta-se o esquema geral da classificação científica de Alpern para combustíveis sólidos fósseis (Sousa et al. 1992) onde se projectam os pontos referentes aos carvões das amostras T3-2 e T8-2.

Este sistema foi, entretanto, de facto adoptado como a base da Classificação Internacional dos Carvões em Camada em estudo pela CEE-NU, através de um Grupo de Peritos em Codificação/Classificação da Comissão do Carvão/Grupo de Trabalhos do Carvão da CEE-NU. Nas Figs. 13.2.A e 13.2.B apresenta-se esta proposta onde se projectam os pontos referentes aos carvões das amostras T3-2 e T8-2, respectivamente. Nas Figs. 13.3.A e 13.3.B apresentam-se as versões planificadas deste sistema. Na Fig. 13.4. o sistema anterior é apresentado na forma de tabela, em que a classificação é comparada com os sistemas nacionais da Austrália, E.U.A. e Alemanha (International Classification of Seam Coals, em publicação).

Para a elaboração da proposta da CEE-NU houve, ainda, várias contribuições nacionais no que respeita a eventuais divisões, respectivos limites e nomenclaturas com base na composição petrográfica. Apresentamos as propostas da ex-URSS (Fig. 13.6) e da Alemanha (Fig. 13.7) (Sousa et al, 1992), ambas baseadas na composição petrográfica dos carvões, e onde se projectam também os carvões das amostras T3-2 e T8-2.

O facto de os carvões Gondwânicos apresentarem, muitas vezes, uma maior variabilidade na composição maceral do que os carvões norte-atlânticos levou investigadores sul-africanos a procederem a uma adaptação desta classificação à sua realidade (Falcon 1986b). Por exemplo, o termo fúsico não é adaptável pois que nos carvões sul-africanos (e, geralmente nos gondwânicos) a inertinite dominante é a semifusinite e não a fusinite, pelo que o termo fúsico é substituído pelos termos inértico e intermédio. Por outro lado, a existência de grandes quantidades de macerais com propriedades de transição entre a vitrinite e a inertinite (semifusinite) leva a que parte desses constituintes seja incluído na inertinite (semifusinite inerte) e a outra parte adicionada à vitrinite (semifusinite reactiva), criando-se assim o grupo dos reactivos e o grupo dos inertes (Falcon 1986b). As Figs. 13.5.A e 13.5.B mostram o esquema de classificação de Alpern adaptada à realidade sul-africana e onde se projectam os pontos referentes aos carvões das amostras T3-2 e T8-2, respectivamente. No caso da análise maceral destes carvões não se fez distinção entre semifusinites reactivas e inertes. Uma estimativa visual (aquando da análise maceral) diz-nos, contudo, que a semifusinite reactiva não aparece em grande quantidade. Assim, decidimos projectar nos diagramas das duas figuras anteriores os pontos relativos aos carvões dos dois tambores, considerando nos reactivos só a vitrinite e nos inertes só a inertinite total.

Uma adaptação do esquema da Classificação de Alpern aos carvões indianos houvera já anteriormente sido feita por Navale & Misra (1983) e que, no que respeita à classificação segundo a composição petrográfica, se introduz o termo "misto", na transição entre os termos "vítico" e "fúsico", denotando já nessa altura a preocupação e a necessidade de melhorar a Classificação de Alpern de modo a poder aplicar-se a mesma a carvões de todas as proveniências e origens. A projecção das F/SFGs dos carvões por nós estudados no esquema de Navale & Misra (1983) mostra que 75% das F/SFGs da amostra T3-2 e 90% das da amostra T8-2 caem no campo dos carvões víticos e as restantes das duas amostras no campo dos mistos. No que toca ao grau, e com base no P_{vit} , as F/SFGs classificam-se todas como meso-betuminosas.

Da observação de todas estas figuras, conclui-se o seguinte quanto aos carvões estudados neste trabalho:

a) Na classificação Alpern (Fig. 13.1.A e Fig. 13.1.B) os carvões são todos classificados como meso-betuminosos (T3-2 e T8-2) quanto ao grau. No que toca à composição petrográfica, são fundamentalmente víticos ($V > 65\%$), havendo algumas

F/SFGs dos dois tambores com composição física ($V < 65\%$ com $I > L$). Quanto à categoria, algumas das F/SFGs caem na subdivisão dos mistos (só no caso do T8-2), caindo todas as outras na subdivisão dos carvões

b) Na Classificação Internacional dos Carvões em Camada da CEE-NU (Fig. 13.2.A e Fig. 13.2.B), que decorre, como acima se disse, do sistema de classificação descrito anteriormente, as F/SFGs caem quase todas nos carvões de grau médio-B e algumas nos carvões de grau médio-A, os primeiros correspondendo aos carvões meso-betuminosos e os segundos aos carvões per-betuminosos da escala de grau. Quanto à categoria, os carvões da amostra T8-2 têm F/SFGs que caem nos carvões de categoria muito inferior, o que não acontece na amostra T3-2. No caso desta amostra, as F/SFGs vão, no máximo, até aos carvões de categoria inferior, quase no limite para os carvões de categoria média. Em ambas as amostras há F/SFGs que caem nos carvões de categoria superior ($c < 10\%$). Se analisarmos agora a versão planificada desta classificação (Fig. 13.3.A e Fig. 13.3.B), embora quanto ao grau e à categoria as divisões sejam, obviamente, as mesmas que na versão não planificada, na versão planificada podemos visualizar a sua posição no diagrama triangular VLI (único critério admitido nesta classificação para definir a posição de um carvão quanto à composição petrográfica) sendo a este propósito de referir que, em ambas as amostras, um aumento da percentagem da vitrinite (recalculada sem matéria mineral) representa uma diminuição do teor em cinzas.

c) Na classificação sul-africana proposta por Falcon (1986b) por adaptação da Classificação Científica de Alpern (Fig. 13.5.A e Fig. 13.5.B) e no que respeita ao grau todos os nossos carvões são meso-betuminosos (tal como na classificação Alpern) o que equivale aos carvões betuminosos medianamente voláteis (mnb) na classificação ASTM. No que toca à categoria há mais carvões puros ($c < 10\%$) na amostra T3-2 do que na amostra T8-2. Na amostra T8-2 há uma percentagem que cai nos carvões com teores em cinzas entre 11-30% e os restantes com teores em cinzas entre 31-50%, enquanto que na amostra T3-2 todos os outros caem nos carvões com teores de cinzas entre 11-30%.

d) No que toca exclusivamente à composição petrográfica, na proposta ex-URSS (Fig. 13.6), praticamente todos os carvões de ambas as amostras caem na divisão da vitrinite e poucos na divisão da vitrinite-inertinite, em que o limite da separação entre as duas divisões corresponde a 60% vitrinite. Na proposta alemã (Fig. 13.7), a amostra T3-2 apresenta alguns carvões vitríticos, sendo os restantes vitrinertíticos V; a amostra T8-2 apresenta alguns carvões no limite entre os vitríticos e os vitrinertíticos, um no campo dos vitrinertíticos I e os restantes no campo dos vitrinertíticos V.

A Tab. 13.1 mostra a Codificação Internacional CEE-NU dos Carvões de Grau Médio e de Grau Superior na qual se consideram os seguintes parâmetros fundamentais (COAL/GE.3/R.77/Add.1, 1986; International Codification System for Medium and High Rank coals, ECE-UN, 1988; NP 4230-1992):

- a) Valor médio do poder reflector aleatório da vitrinite (%);
- b) Características do reflectograma;
- c) Índice de composição em grupos de macerais (% em volume, sem matéria mineral);
- d) Índice de intumescimento no cadinho;
- e) Teor em matérias voláteis (base "seco, sem cinzas");
- f) Teor em cinzas (base "seco, sem cinzas");
- g) Teor em enxofre total (base "seco, sem cinzas");
- h) Poder calorífico superior em MJ/kg (base "seco, sem cinzas").

Cada um destes parâmetros é codificado com um ou dois dígitos, sendo que no final, o código total de cada carvão contém 14 dígitos. Porém, no caso de parâmetros não determinados, os dígitos são substituídos por "x" ou "xx" conforme se refiram a um ou dois dígitos, respectivamente. Além dos parâmetros fundamentais, há parâmetros suplementares a utilizar segundo especificações a estabelecer pelos respectivos compradores (NP 3420-1992; Sousa et al. 1992). Alguns destes parâmetros são: análise granulométrica, capacidade de retenção de humidade, composição e fusibilidade das cinzas, ensaios de lavabilidade, humidade total, índices de Gray-King, Hardgrove e de Roga, etc. A Tab. 13.2. mostra a codificação dos carvões das amostras T3-2 e T8-2 de acordo com este sistema. No caso das F/SFGs da amostra T3-2 e as T8-2/11, T8-2/21, o código está incompleto por falta de dados sobre o índice de intumescimento.

O sistema australiano de classificação e codificação aplica-se a carvões de todos os graus (NP 4222-1992). A classificação faz-se em termos de grau, através do poder calorífico superior (MJ/kg) (base "em equilíbrio higroscópico, sem cinzas" ou base "seco, sem cinzas"). No caso concreto dos carvões em estudo, e segundo este critério, eles são todos de grau alto. Estabelecido o grau, procede-se à codificação dos mesmos em termos dos seguintes parâmetros: %R_{max}, Poder Calorífico Superior-MJ/kg (seco, sem cinzas), % Matérias Voláteis (seco, sem cinzas), Índice de Intumescimento, % Cinzas (seco) e

% Enxofre total (seco)^(13.2). No código final deste sistema existem 11 dígitos (Tab. 13.3). Na Tab. 13.4 apresenta-se a codificação dos carvões em estudo com base no sistema australiano.

Por fim, as especificações sul-africanas para carvões betuminosos e antracíticos estão patentes na Tab. 13.5. Neste sistema há 6 parâmetros codificados em letras e algarismos: poder calorífico superior (seco ao ar), teores em matérias voláteis, em cinzas, em enxofre total (os três na base "seco"), temperatura de fusão das cinzas (°C) e granulometria. Na Tab. 13.6 aplica-se este sistema aos carvões das amostras T3-2 e T8-2.

13.2 No caso dos carvões de grau baixo, em vez de se utilizarem os teores em matérias voláteis, utiliza-se a humidade na camada (como amostrado)

14. CONCLUSÕES

14.1. A Bacia Carbonífera de Moatize situa-se em Moçambique, na província nortenha de Tete e, estruturalmente, está depositada num *graben* de orientação NW-SE encaixado em rochas precâmblicas do Proterozóico Médio a Superior, pertencentes à Série Ígnea de Tete e Angónia. A orientação do *graben* está condicionada por falhas de bordadura que seguem a orientação geral NW-SE do cinturão móvel do Zambeze que se estende entre os cratões da Zâmbia e do Zimbábwè com a direcção E-W, de ocidente até à Barragem de Cahora-Bassa, e NW-SE, deste último local para sudeste e para jusante do Rio Zambeze. A formação do *graben* de Moatize provocou uma subsidência lenta, permitindo a conservação dos depósitos do Supergrupo do Karoo, subsidência esta que, por compressão lateral dos sedimentos, dá origem a sinclinais e anticlinais abertos com eixos de orientação geral NW-SE, isto é, paralelos ao alongamento do *graben*.

Além das falhas de bordadura, a Bacia Carbonífera de Moatize encontra-se intensamente fracturada em várias direcções, dominando as orientações ENE-WSW e NNW-SSE, sendo esta última a orientação preferencial para a intrusão dos diques doleríticos que cortam os sedimentos do Supergrupo do Karoo.

As rochas do Supergrupo do Karoo, onde estão incluídas as camadas de carvão, são rochas sedimentares de origem continental com uma idade que vai do Carbonífero Superior ao Triásico. Contudo, a fase final deste Supergrupo está representada pela emissão alternada de lavas ácidas e básicas que, na região de Moatize, não estão representadas. As únicas manifestações ígneas dentro da Bacia Carbonífera em questão são as intrusões das soleiras e dos diques doleríticos, já de idade jurássica, e contemporâneos das manifestações ígneas mesozóicas ligadas à fase inicial de abertura do *Rift Valley* da África Oriental.

O Supergrupo do Karoo assenta directamente sobre as rochas precâmblicas, quer por inconformidade, quer por contacto por falha, desconhecendo-se a existência de rochas de idades do Câmbrio ao Devónico. Característico do Supergrupo do Karoo em geral, e Moatize não é excepção, é a sedimentação começar com um depósito de conglomerados composto por calhaus rolados a sub-angulosos a que se atribui uma origem glacial. No caso concreto de Moatize esta origem não é muito fácil de provar dada a quase total ausência de algumas das características que definem estes depósitos, ou seja, superfícies estriadas, quer nos calhaus, quer nas superfícies de deposição. Há, contudo,

algumas referências a locais onde ocorrem calhaus estriados. A esta formação conglomerática de base chama-se Série Tilitica (ou Termo de base) que pode atingir os 130 m, havendo contudo zonas onde ela é muito pouco espessa ou mesmo inexistente. Por cima desta série assenta a Série Produtiva (ou Termo Intermédio), com espessuras variando entre 240 m e 470 m, e é constituída fundamentalmente por uma sequência de rochas pelíticas com algumas rochas areníticas e camadas de carvão, estas com espessuras variáveis e que podem atingir um total de seis (6) na sequência completa. Os pelitos são constituídos por xistos argilosos, siltitos e argilitos, geralmente de aspecto cinzento a negro devido a conterem uma certa quantidade de matéria orgânica carbonosa. Típico da Série Produtiva, bem como da Série Tilitica, é a variação lateral de fácies, havendo passagens graduais de xisto ou arenito para carvão e vice-versa. Estas passagens graduais laterais (espaciais) também se verificam temporalmente, sendo que os muros e tetos das camadas de carvão não se definem por contactos nítidos. Os arenitos apresentam, por vezes, aspecto conglomerático e têm, muitas vezes, estratificação cruzada e inclinada, assim como aspectos de deposição lenticular. A continuidade lateral das camadas de arenito é interrompida por longas distâncias. Todos estes aspectos, bem como a presença de carvões com altos teores em cinzas e intercalações argilosas, são característicos de ambiente de deposição flúvio-deltaico em águas pouco profundas. A subdivisão das camadas de carvão em bancadas reflecte uma subsidência rítmica. A continuidade das camadas de carvão ao longo da bacia é, também, variável. Das várias camadas de carvão, a Camada Chipanga é a que apresenta maior continuidade e homogeneidade de composição e de espessura. Todas os outros apresentam fortes variações laterais de fácies. Por cima da Série Produtiva ocorre a Série de Matinde (ou Termo Superior) de origem fluvial constituída fundamentalmente por arenitos, arcoses e conglomerados.

As três séries descritas constituem o Grupo do Ecça a que é atribuída uma idade Carbonífero Superior a Pérmico Inferior. Segue-se o Grupo do Beaufort de idade pérmica, que não ocorre propriamente na Bacia Carbonífera de Moatize, mas sim na zona da Cidade de Tete, a cerca de 25 km a oeste de Moatize. O Karoo Superior, sobreposto ao Grupo de Beaufort, tem uma idade triásica-jurássica e está representado unicamente pelos diques e soleiras doleríticas.

14.2. Os carvões da Bacia Carbonífera de Moatize têm sido sujeitos a variados estudos ao longo deste século, levados a cabo por empresas e organismos de vários países. Para a elaboração deste trabalho, procedeu-se ao estudo dos mesmos de modo a definir-se um esquema de preparação das amostras colhidas (referidas como T3-2 e T8-2 para as

amostras colhidas nas minas Chipanga III e Chipanga VIII, respectivamente). Actualmente em Moatize reduz-se todo o carvão produzido a uma granulometria <11 mm. No presente trabalho, estudam-se todas as granulometrias. A escolha das granulometrias a que se peneirou o carvão em estudo teve por base vários critérios, a saber: esquema actualmente utilizado na lavaria das Minas de Moatize, estudo de trabalhos anteriores com vista a estudos comparativos e, obviamente, peneiros disponíveis. Assim, os peneiros escolhidos foram os de 0.5 mm, 1 mm, 5 mm, 11.2 mm, 25 mm, 50 mm e 90 mm.

Comparando os rendimentos da peneiração das duas amostras estudadas, verifica-se uma distribuição idêntica entre si, sendo a granulometria dominante a de 1-5 mm com um rendimento de 22.7% em ambos os casos. As quantidades das FGs <1 mm são praticamente iguais nos dois casos (com diferenças até 0.33%), sendo ligeiramente superiores na amostra T8-2. A distribuição dos rendimentos das FGs >5 mm é praticamente o mesmo nas duas amostras. No que respeita à moagem das FGs >25 mm a uma granulometria <25 mm e à peneiração deste produto moído nos peneiros 0.5 mm, 1 mm, 5 mm e 11.2 mm, o comportamento das duas amostras é idêntico, havendo ligeiras diferenças nas granulometrias >11.2 mm correspondentes às granulometrias 25-50 mm e 50-90 mm. Por outro lado, a variação dos rendimentos das FGs resultantes da moagem é a mesma que a variação verificada para os carvões estudados.

O estudo comparativo com ensaios granulométricos levados a cabo por Streicher (1971), CRIBLA (1973), Gonze (1973), BIF (1983) e TNCC (1991) mostra grandes semelhanças entre os nossos resultados e os de Streicher, Gonze e BIF, sendo as distribuições dos vários rendimentos muito semelhantes entre si. No que respeita os resultados da CRIBLA, a grande discrepância verifica-se nos valores dos rendimentos das granulometrias mais grosseiras (>80 mm no caso da CRIBLA e >90 mm no nosso caso). Assim, a CRIBLA apresenta valores superiores a 15%, sendo, no caso das amostras T3-2 e T8-2, os valores inferiores a 5%. Obviamente que esta diferença se vai reflectir nas quantidades das outras fracções. Acontece, porém, que a distribuição das FGs <80 mm (CRIBLA) e <90 mm (T3-2 e T8-2) são iguais, ambas com um máximo nas FGs 0.5-5 mm. Para o caso do TNCC, a discrepância é total para as granulometrias <25 mm. Isto deve-se ao facto de as amostras analisadas pelo TNCC serem amostras de sondagem e as por nós estudadas serem amostras em canal. Apesar deste último facto, pode-se concluir existir uma certa uniformidade entre os resultados por nós obtidos e os obtidos pelos outros organismos e empresas. Evidentemente que as comparações seriam muito mais válidas se as granulometrias utilizadas por todos fossem as mesmas, o que não é o caso. Atendendo ao

facto de as várias amostras analisadas provirem de variados locais da Bacia Carbonífera e de os resultados obtidos manifestarem uma certa homogeneidade e uniformidade, poder-se-á concluir que, na generalidade, todos os carvões da Bacia Carbonífera de Moatize apresentam o mesmo comportamento à peneiração e à moagem.

14.2.1. A análise petrográfica das várias F/SFGs estudadas, mostrou que os carvões de Moatize são predominantemente vitríníticos, havendo um único caso em que os macerais da inertinite dominam sobre os da vitrinite. Neste caso particular há, também, uma concentração anómala de minerais. Característico destes carvões é a ausência quase total de macerais do grupo da liptinite, isto certamente devido ao grau de incarbonização atingido por estes carvões ($PR_{vit} \geq 1.38\%$), já, que acima do grau de incarbonização correspondente a $PR_{vit}=1.2\%$, as propriedades ópticas da liptinite e da vitrinite convergem, não sendo possível distinguir os dois grupos de macerais, a não ser por aspectos morfológicos que eventualmente possam subsistir, como resinas oxidadas, esporinite e cutinite. Quando se fez a análise maceral, seguiu-se a metodologia definida no Léxico do ICCP e nas Normas ISO, que obriga a uma contagem maceral em luz reflectida natural. Nestas condições, a liptinite não é visível, pelo que nas contagens a liptinite corresponde a 0%. A observação posterior destes carvões em luz azul permitiu, porém, identificar verdadeira liptinite fluorescente e, geralmente, associada a grandes concentrações de matéria mineral. Uma vez identificada a liptinite em luz azul, procedeu-se à observação dos mesmos campos em luz natural, tendo-se verificado que a liptinite apresenta as características ópticas destes constituintes em carvões de graus de incarbonização bastante mais baixos. O aparecimento destas liptinites em carvões com o grau de incarbonização verificado só poderá ser explicado pelo facto de os minerais, predominantemente argilosos, terem protegido a liptinite da acção térmica, preservando assim as suas características iniciais.

O maceral mais frequente do grupo da vitrinite é a telocolinite, seguida da desmocolinite, situação muito frequente e dominante nos carvões gonduânicos em que se enquadram os carvões de Moatize. A ocorrência doutros macerais deste grupo é muito baixa. Quanto à inertinite, o maceral mais frequente é a fusinite, seguida da semifusinite. Esta predominância da fusinite sobre a semifusinite foi confirmada para carvões gonduânicos doutros continentes. Dos outros macerais do grupo, a inertodetrinite é o que tem maior expressão, sendo a macrinite, a micrinite e a esclerotinite raras. No que toca à liptinite *sensu strictum* só foi identificada, como acima se referiu, pelo uso da luz azul, e mesmo assim em quantidades muito pequenas, tendo-se identificado somente esporinite. A matéria mineral é predominantemente singénica, ocorrendo alguma epigenética, sendo

esta geralmente constituída por carbonatos e pirite. As argilas são os minerais mais abundantes de todos.

Como a liptinite não foi contada, optou-se pela construção de diagramas V,I,M (vitrinite-inertinite-matéria mineral) em vez dos clássicos V,L,I (vitrinite-liptinite-inertinite). Verifica-se assim que as fracções granulométricas dos carvões das amostras T8-2 têm um pouco mais de matéria mineral que os da amostra T3-2, o que vem confirmar o que atrás se disse sobre o maior teor em cinzas nos carvões da amostra T8-2 do que nos da amostra T3-2. Como era de esperar, as FGs mais finas são mais ricas em vitrinite do que as mais grosseiras, sendo as da amostra T3-2 algo mais ricas em vitrinite do que as da T8-2.

A telocolinite, como atrás se disse, é a vitrinite mais frequente. Contudo, a desmocolinite é mais frequente nas F/SFGs mais grosseiras do que nas mais finas. Também se referiu atrás que a fusinite é a inertinite predominante. Porém, nas F/SFGs mais finas há mais semifusinite do que nas mais grosseiras. Na inertodetrinite não se conseguiu determinar nenhuma variação com a granulometria das fracções. Os minerais mais frequentes são os da argila e é de referir que, nos carvões dos dois tambores, são as SFGs referentes à FG 50-90 mm que apresentam quantidades mais elevadas de minerais de argila. A predominância dos minerais da argila sobre os outros minerais explica a composição silico-aluminosa das cinzas destes carvões. O quartzo é o segundo mineral em abundância, sendo de origem detrítica pois apresenta-se sempre na forma de grãos arredondados.

Como consequência da composição maceral e mineral, os carvões em estudo têm a vitrite e a vitrinertite V como microlitótipos fundamentais. As carbominerites dominantes serão obviamente as carbargilites. A vitrite é o microlitótipo mais abundante e aparece em maior quantidade nas F/SFGs <11.2 mm. As carbominerites+minerite são, pelo contrário, mais abundantes nas F/SFGs mais grosseiras. Os diagramas triangulares monomacerites/bimacerites/carbominerites+minerite mostram serem as monomacerites os microlitótipos dominantes, sendo as percentagens dos outros constituintes são muito semelhantes.

A correlação entre os dois grupos macerais da vitrinite e da inertinite e os microlitótipos em que eles mais ocorrem é muito boa. No caso concreto, a vitrinite correlaciona-se com a vitrite, a vitrinertite V e metade da vitrinertite V=I; por seu lado, a inertinite correlaciona-se com a inertite, a vitrinertite I e metade da vitrinertite V=I. Esta correlação ($r > 0.95$) mostra que é muito pouca a vitrinite e a inertinite associadas com as carbominerites e as minerite. A correlação geral entre minerais e minerite é algo mais baixa

que as anteriores, mas nesta correlação não se entrou em linha de conta com os minerais presentes nas carbominerites.

Quando se consideram os macerais em termos da sua origem e da sua morfologia (detritos, geles e tecidos), a diferença entre os dois grupos de macerais da vitrinite e da inertinite é notória, como se pode ver na Fig. 11.32. A vitrinite é predominantemente constituída por geles e a inertinite por tecidos. Considerando os índices de preservação de tecidos (IPT) e de gelificação (IG) (Fig. 11.22), pode ver-se que eles diminuem das FGs mais finas para as mais grosseiras. Esta variação concomitante dos dois índice significa uma relação directa entre os dois que se manifesta através das equações:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$IPT = 0.82 + 1.37*IG - 0.03*IG^2$	$r = 0.98$ (1)
$IPT = 1.21 + 1.30*IG - 0.03*IG^2$	$r = 0.93$ (2)

em que (1) se refere às FGs e (2) às F/SFGs.

Outros índices petrográficos são, à semelhança dos anteriores, reflexo da composição petrográfica. Os diagramas W-D-R e T-D-F de Diessel (1982), mostram que os macerais dos carvões de Moatize são fundamentalmente derivados da "madeira" (W-D-R) e são, fundamentalmente, de formação em ambiente anaeróbio (T-D-F). A relação entre as quantidades de fusinite+semifusinite e as de inertodetrinite (Diessel 1982), mostra que os dois primeiros macerais são principalmente autóctones, havendo inertodetrinite resultante da desagregação *in situ* das fusinites+semifusnites (valores entre 4 e 8). Valores inferiores a 4, mas superiores a 2, indicam certo grau de aloctonia das inertodetrinites.

O estudo da composição maceral das fracções densimétricas mostra, como seria de esperar, que as fracções mais leves são mais ricas em vitrinite e, as mais pesadas, mais ricas em minerais. As fracções mais leves e a mais pesada são as mais pobres em inertinite, enquanto que nas outras fracções os teores de inertinite são muito semelhantes. Um estudo da variação das percentagens de macerais e de minerais com as densidades de corte mostra que quanto maior for a densidade de corte, menor é a percentagem de vitrinite e maior é a percentagem de minerais. Estas variações fazem-se segundo equações lineares de alto coeficiente de correlação, sendo assim possível prever a composição maceral e mineral das fracções densimétricas em função das densidades de corte.

A Fig. 11.44 mostra a composição em microlitótipos das fracções densimétricas com base em microlitótipos orgânicos/carbominerites/minerite. Da fracção F1.40 até à fracção F1.70, os microlitótipos orgânicos diminuem de cerca de 95% até cerca de 45%, aumentando as carbominerites de 5% até 45%. A minerite, neste intervalo, varia de 0% a 10%, aumentando bruscamente para a fracção S1.80.

Resumindo, os carvões estudados são fundamentalmente vitriniticos, fugindo um pouco da composição maceral média dos carvões gonduânicos pérmicos e aproximando-se mais da composição maceral média dos carvões carboníferos norte-atlânticos. Os macerais predominantes são, sempre, a telocolinite e a fusinite e os minerais predominantes pertencem ao grupo dos minerais da argila. Além disso, pode ver-se que, para os outros macerais, eles se concentram mais ou menos em função das granulometrias das F/SFGs.

A aplicação, pela primeira vez, dos métodos de microscopia em fluorescência aos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, permitiu identificar, também pela primeira vez, aspectos ligados à existência de hidrocarbonetos nestes carvões. Estas manifestações são de dois tipos: películas oleosas à superfície da telocolinite e libertação de gotículas de hidrocarbonetos a partir das microfracturas e dos microporos também da telocolinite. A luz azul permite também identificar vitrinite fluorescente em tons castanhos avermelhados, o que está de acordo com estudos de Teichmüller (1982). Segundo esta autora e ainda segundo Davis et al (1989), a fluorescência da vitrinite em carvões com o grau de incarbonização dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize é uma fluorescência secundária, devida à existência de substâncias lipídicas que embebem os microporos das vitrinites, substâncias estas que são libertadas da liptinite e que, devido à sua fluidez, migram para a estrutura microporosa das vitrinites. Outros fenómenos de fluorescência observados relacionam-se com a matéria mineral, concretamente argilas e carbonatos. Acontece, porém, que nem todos estes minerais apresentam fluorescência: assim como as substâncias lipídicas migram para os microporos dalgumas vitrinites, é muito natural que embebam também alguns minerais. Face ao exposto, torna-se evidente ser necessário aprofundar os estudos de microscopia por fluorescência nos carvões de Moatize.

14.2.2. O poder reflector da vitrinite medido nas várias F/SFGs dá valores muito semelhantes para os carvões dos dois tambores, tanto em valores médios (T3-2 = 1.38%; T8-2 = 1.37%) como em limites de variação (1.33-1.41% - T3-2; 1.33-1.43% - T8-2). A comparação dos PRvit das várias camadas de carvão da Série Produtiva mostra que a

camada Sousa Pinto (a mais inferior) tem um PRvit mais elevado que as camadas superiores. Projectando os valores do poder reflector das várias camadas em função da espessura dos sedimentos sobrejacentes a cada camada, é possível identificar uma correlação linear de equação:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$E = 835.20 \cdot PR_{vit} - 990.19$	$r = 0.95$

da qual se pode calcular o gradiente do PRvit, que é igual a 0.1197%/100 m.

O gradiente geotérmico da Bacia Carbonífera de Moatize pode ser calculado através do diagrama de Lopatin que correlaciona o PRvit com o índice de temperatura-tempo (Tti). Considerando a idade média da camada Sousa Pinto (± 280 M.a. - base do Ecça) e a da camada Grande Falésia (± 270 M.a. - topo do Ecça), o gradiente geotérmico é calculado em 2.2°C/100 m.

14.3. Uma das características dos carvões é terem matéria mineral misturada com a matéria orgânica. No caso dos carvões gonduânicos, esta mistura é, em geral, muito mais íntima do que nos carvões norte-atlânticos, o que torna difícil lavar o carvão de modo a eliminar estes minerais que são um factor que afecta negativamente as propriedades tecnológicas e, obviamente, o seu valor comercial. Contudo, todos os carvões são passíveis de serem lavados com maior ou menor eficiência. Foi esta eficiência que se estudou no caso das amostras T3-2 e T8-2 e se compararam os resultados com os dos mesmos ensaios levados a cabo pelos organismos e empresas já acima referidos. No nosso estudo, cada F/SFG das duas amostras, de que havia quantidades mínimas disponíveis, foi sujeita a ensaios de lavabilidade. A análise dos vários gráficos das Figs. 10.1 a 10.5 permite verificar que os rendimentos das fracções densimétricas das mesmas granulometrias das duas amostras são muito semelhantes entre si. Em ambas as amostras, as granulometrias <5 mm apresentam maiores rendimentos nas fracções densimétricas F1.40, havendo um decréscimo enorme de rendimentos para as fracções densimétricas F1.50 e subsequentes. No caso das restantes granulometrias, a fracção densimétrica com maior rendimento é a F1.50, tendo a fracção densimétrica F1.40 um rendimento de cerca de metade do rendimento de F1.50.

No que respeita ao teor em cinzas (base "seco"), a observação das mesmas figuras mostra que, apesar de nos carvões dos dois tambores, o aumento dos teores em cinzas das fracções mais leves às mais pesadas ser o mesmo, em geral os carvões da amostra T3-2 têm menos cinzas que os equivalentes da amostra T8-2, o que é confirmado pelo

gráfico B da Fig. 10.14, que relaciona os teores em cinzas dos compostos das F/SFGs dos carvões da amostra T3-2 com os da amostra T8-2.

A variação do teor em cinzas (base "seco") das fracções densimétricas com os respectivos rendimentos segue, para ambos os carvões, uma regressão recíproca de igual equação, sendo no entanto o coeficiente de regressão algo mais elevado no caso de T3-2 ($r = 0.882$) do que no caso de T8-2 ($r = 0.822$).

Um estudo estatístico comparativo da variação dos teores em cinzas (base "seco") das várias fracções densimétricas com as densidades de corte utilizadas, tanto no caso dos carvões das amostras T3-2 e T8-2 como nos casos de Streicher (1971), BIF (1983) e TNCC (1991) permite identificar a existência dum padrão comum de variação. Assim, utilizando-se todos os dados acima referidos, é possível definir uma recta de regressão que caracteriza esta variação, recta esta que tem a equação:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$c(s) = 92.62 \cdot DC - 115.86$	$r = 0.956$

em que $c(s)$ é o teor em cinzas (base "seco") e DC a densidade de corte. Ou seja, a partir desta equação será possível prever qual o teor em cinzas que terá uma fracção densimétrica para uma dada densidade de corte e, vice-versa, para se obter um produto lavado com um determinado teor em cinzas é possível prever que densidade de corte se deve usar (ver Fig. 10.6, Tab. 10.5 e Tab. 10.6).

O que até agora se descreveu refere-se aos rendimentos e aos teores em cinzas (base "seco") das diferentes fracções densimétricas. Considerando agora os mesmos parâmetros mas em valores cumulativos, verifica-se ser possível definir, para cada flutuado, uma recta de regressão entre os rendimentos cumulativos e os respectivos teores em cinzas cumulativas, recta essa que, obviamente, terá um declive tanto maior quanto maior for a densidade de corte do respectivo flutuado. Estas rectas também foram definidas para os dados de Streicher (1971), BIF (1983) e TNCC (1991b). Considerando todas estas rectas de regressão de expressão $Y=aX+b$, é interessante notar que há uma estreita variação do coeficiente a e do coeficiente b , como se pode ver da Fig. 10.22: à medida que a aumenta, b também aumenta dum maneira linear, com um coeficiente de regressão linear de $r=-0.994$.

Como atrás se disse em capítulo próprio, o estudo dos ensaios de lavabilidade dos carvões das amostras T3-2 e T8-2 fez-se com recurso às curvas M, se bem que se apresentem também as curvas de lavabilidade clássicas. As curvas M revelaram ser mais simples de desenhar e fornecendo a mesma informação que as curvas clássicas e em menor número de curvas. Neste estudo, as amostras são estudadas em dois grupos de granulometrias: um, as granulometrias <5 mm e, outro, as granulometrias >5 mm.^(14.1.) Um composto de todas as F/SFGs <5 mm referentes aos carvões da amostra T3-2 (produto P1.3) revela um teor em cinzas (base "seco") de 9.7% apresentando o conjunto destas F/SFGs 47.8% do carvão da amostra T3-2. No caso da amostra T8-2 (produto P1.8), os teores em cinzas (mesma base) são de 13%, representando o mesmo conjunto 55.9% do carvão total. O produto P1.3+8 resultante do composto dos dois produtos anteriores revela conter 11.5% de cinzas (mesma base) e corresponde a 51.8% do total dos dois carvões. Como o produto P1.8 tem um teor em cinzas >10%, calculou-se, através das curvas M, os rendimentos e as densidades de corte para se obterem produtos com 10% em cinzas. Calculou-se a densidade de corte média pesada (DC = 1.547) e aplicou-se este valor de novo às curvas M, obtendo-se os rendimentos e os teores em cinzas respectivos. Após isto, calculou-se um novo composto (P1.8a) que corresponde a 51.8% do carvão da amostra T8-2 contendo um teor de cinzas em 10.5%. Um composto de P1.3 com P1.8a, origina um novo produto P1.3+8a com 10.1% de cinzas e correspondendo a 49.8% do carvão total (T3-2+T8-2). O que sobra deste composite corresponde a 2% do peso total de T3-2+T8-2 e tem um teor em cinzas de 45.5%.

No caso das F/SFGs >5 mm, todas elas têm teores em cinzas bastante altos. Procedeu-se de modo idêntico que anteriormente e, após estudar várias possibilidades, é possível obter-se um produto (P2.3+8) correspondendo a 23.5% do carvão total com 12.8% em cinzas, sobrando 22.2% do carvão total com 44.3% de cinzas. Isto obtem-se para uma densidade de corte de 1.473.

Resumindo, a partir dos carvões dos dois tambores, podem obter-se os seguintes produtos:

14.1. É de referir que não dispomos dos resultados referentes a quatro SFG's do carvão da amostra T3-2 e a sete da amostra T8-2.

i. Granulometrias <5 mm:

a) Um produto P1.3+8 com 11.5% em cinzas, correspondendo a 51.8% do carvão total;

ou

b) Um produto P1.3+8a com 10.1% em cinzas, correspondendo a 49.8% do carvão total;

e

c) Um produto S1.3+8a com 45.5% em cinzas, correspondendo a 2% do carvão total;

ii. Granulometrias >5 mm

d) Um produto (P2.3+8) com 12.8% em cinzas, correspondendo a 23.5% do carvão total;

e

e) Um produto (S2.3+8) com 44.3% em cinzas, correspondendo a 22.2% do carvão total.

14.4. As análises imediatas mostram que a humidade da amostra para análise varia entre 0.3% e 1.4%, com valores médios entre 0.8%-1.2% (em T3-2) e entre 0.5%-1.0% (em T8-2). Os teores em cinzas (seco)-c(s) variam entre 5%-22.5% (em T3-2) e entre 5%-35% (em T8-2), ou seja, os carvões da amostra T8-2 são mais ricos em cinzas, confirmando o que mais atrás se disse. Os teores em matérias voláteis (seco)-MV(s) variam entre 19%-23% (seco sem cinzas) nos carvões dos dois tambores. O Poder Calorífico superior (seco sem cinzas)-PCs(ssc) tem valores médios de 35 MJ/kg em T3-2 e de 36-37 MJ/kg em T8-2. Por seu lado, os teores em Enxofre total-St são baixos (<0.9% na base "seco" e <1.0% na base "seco sem cinzas"), o que está de acordo com os baixos teores em pirite destes carvões.

Nas análises elementares, os teores em Carbono (seco sem cinzas)-C(ssc) rondam os 90% em ambos os casos; quanto ao Hidrogénio-H(ssc) e ao Azoto-N(ssc), variam, em ambas as amostras, entre 4.5%-5% e entre 1.6%-2.1%, respectivamente.

Estudando a variação do PCs(s) com a composição maceral e mineral, verifica-se uma correlação positiva linear com o teor em vitrinite e correlações negativas com a inertinite (linear) e a matéria mineral (não linear). Os mesmos tipos de correlação verificam-se também entre macerais/minerais e MV(s). O teor em c(s) aumenta, obviamente, com o teor em matéria mineral.

Quando se interrelacionam os resultados de vários tipos de análises, é de notar que os pontos referentes aos carvões da amostra T3-2 se situam muitas vezes em áreas diferentes das dos carvões da amostra T8-2, havendo contudo a mesma tendência global, o que permite, normalmente, definir equações de regressão globais aos dois carvões.

A correlação MV(s)-PCs(s) é positiva, sendo negativas as correlações c(s)-PCs(s) e Cz(s)-MV(s). No caso c(s)-PCs(s) há uma separação nítida dos pontos referentes aos dois tambores e é interessante notar que a linha que separa as duas zonas de pontos corresponde à recta de regressão geral, sendo que os pontos referentes a T8-2 se situam todos acima desta recta e os de T3-2 abaixo desta recta, significando isto um maior PCs(s) dos carvões referentes a T8-2 do que os do T3-2. A correlação entre c(s) e o C, H, N e St (todos na base "seco") é sempre negativa. No caso do enxofre esta correlação negativa poderá significar que aquele elemento é, fundamentalmente, de origem orgânica. A separação dos pontos referentes a T3-2 e T8-2 é notória para os casos do N(s) e do St(s), sendo os carvões de T82 mais ricos em N e mais pobres em St que os carvões referentes a T3-2.

A variação da MV(s) com o C, H, N e St (todos na base "seco") é, como era de esperar, positiva. Os casos do N(s) e do St(s) mostram novamente diferentes áreas para T3-2 e T8-2.

O estudo do índice de Hardgrove (IHG) mostra que este varia com a composição química. Assim, um aumento nos teores de c(s) faz baixar o IHG, mas um aumento dos teores de MV(s) e C(s) provoca um aumento do IHG. Também as fracções com maior PCs(s) apresentam um IHG mais elevado. A variação do IHG com os teores de H, N e St (todos na base "seco"), vitrinite, inertinite e matéria mineral não é muito nítida. Contudo, pode ver-se uma tendência no aumento do IHG com o aumento nas percentagens de H(s), N(s), St(s) e vitrinite e um decréscimo com os teores em inertinite e em matéria mineral.

Um outro índice medido, mas só nas F/SFG referentes ao tambor T8-2, é o índice de intumescimento (II), cujo valor aumenta com os teores de MV(s), C(s), H(s), N(s), St(s), PCs(s) e de vitrinite e diminui com os teores em c(s) e em matéria mineral. Por outro lado, há uma correlação positiva entre o IHG e o II.

No que toca à composição química das cinzas, elas são fundamentalmente silico-aluminosas, com predominância do SiO₂ sobre o Al₂O₃. Tentou-se definir alguma relação entre a composição química com a temperatura de deformação das cinzas (testes de fusibilidade), a qual se verificou ser inexistente.

Os ensaios no dilatómetro de Audibert-Arnu deram resultados muito variáveis, sendo a situação comum a dos carvões sem dilatação. Isto talvez se explique pelo facto de os carvões terem sofrido alguma oxidação devido ao tempo que decorreu entre a preparação das amostras e a execução dos ensaios. Nos casos em que se conseguiram medir as três temperaturas previstas no ensaio (T1, T2 e T3) foi possível estabelecer uma correlação linear entre T1-T2 e T1-T3.

Também se tentou definir a correlação entre o PR_{vit} com outros parâmetros. Se bem que não seja muito nítido, verifica-se um ligeiro aumento do PR_{vit} com o aumento do PC_s(s) e do C(s), e uma diminuição com o aumento do teor em c(s).

Na Fig. 14.1 está representado um gráfico em que se correlacionam os valores de parâmetros referentes às F/SFGs e densimétricas do carvão da amostra T3-2 com os valores dos mesmos parâmetros referentes aos carvões da amostra T8-2. Os parâmetros considerados nestas correlação são as análises imediatas+elementares, o poder calorífico e as análises petrográficas. Como é bem visível da referida figura, há uma correlação positiva excelente para os diferentes grupos de parâmetros. É interessante notar que os dados referentes aos três grupos de parâmetros têm o mesmo alinhamento, o que não é de estranhar, já que os parâmetros referentes às análises imediatas+químicas e do poder calorífico são função da composição petrográfica. Nesse sentido, definiu-se a recta geral de correlação englobando os valores dos três grupos de análises, cuja equação e coeficiente de regressão lineares são:

Equações de regressão	Coefficientes de regressão
$T8 = 0.95 * T3 + 0.60$	$r = 0.988$

A partir daqui, e dado o elevado nível de correlação, é possível prever-se o que se passa nos carvões da Mina Chipanga VIII, sabendo o que se passa nos carvões da Mina Chipanga III, e vice-versa. É evidente que esta correlação só é aplicável aos carvões destas duas minas. Propõe-se que estudos idênticos sejam estendidos aos carvões das outras minas da Bacia Carbonífera de Moatize, no sentido de se saber se estas correlações existem entre os carvões de todas as minas ou não e, se existem, se são semelhantes ou diferentes. Só

assim se poderá tentar definir um modelo matemático de previsão das características petrográficas e químicas dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize.

14.5. Em função dos resultados obtidos nos ensaios de lavabilidade e nas várias análises petrográficas, imediatas, elementares e outras levados a cabo nas diferentes F/SFGs, podemos concluir o seguinte, tendo em conta os valores médios pesados dos parâmetros de cada grupo de granulometria igual:

a) Os valores médios referentes aos parâmetros das análises imediatas (haa, c(s), MV(s) e PCs(s)) dos grupos 1 (<0.5 mm) e 2 (0.5-1 mm) são, geralmente, manifestamente diferentes dos valores referentes aos grupos 4 (5-11.2 mm) e 5 (11.2-25 mm); os valores do grupo 3 (1-5 mm) são valores intermédios entre os dos grupos 1+2 e 4+5. Isto aplica-se aos carvões das duas amostras;

b) Estas considerações aplicam-se, de igual modo, aos valores médios pesados referentes às análises elementares (C(s), H(s), N(s) e St(s)) bem como às análises petrográficas em termos de vitrinite, inertinite e matéria mineral; além disso, as variações dos teores em macerais, minerais, microlitótipos e carbominerites mais frequentes (telocolinite, fusinite, argilas, vitrite, vitrinertite V e carbargilite), também seguem as mesmas tendências de variação dos valores referentes às análises elementares e às análises petrográficas (em termos de valores de V,L,I);

c) Os resultados dos ensaios de lavabilidade permitem separar dois grupos de F/SFGs em função dos rendimentos e dos teores em cinzas: grupo de granulometrias <5 mm (correspondente aos grupos 1, 2 e 3) e grupo de granulometrias >5 mm (correspondente aos grupos 4 e 5).

Neste sentido, e tendo em conta o que se diz nas três alíneas anteriores, o esquema geral de tratamento/beneficiação do carvão de Moatize que nos parece mais adequado em termos genéricos é o seguinte (Fig. 14.2):

- i) Peneirar todo o carvão a 5 mm de modo a obter duas fracções: <5 mm (Produto 1) e >5 mm;
- ii) Moer a fracção >5 mm a <25 mm e repeneirar de novo a 5 mm, obtendo-se duas subfracções: <5 mm (Produto 2) e >5 mm (Produto 3);
- iii) A subfracção <5 mm (Produto 2) é adicionada à fracção <5 mm (Produto 2) e o conjunto (produto 4) tratado e lavado separadamente da subfracção > 5 mm;

iv) Com base nos ensaios de lavabilidade levados a cabo no decurso deste trabalho, o Produto 4 deve ser sujeito a um processo de lavabilidade a uma densidade de corte de 1.547, obtendo-se um produto lavado (Flutuado 1) com um rendimento de 49.8% e um teor em cinzas de 10.1% e um refugo (Afundado 1) com um rendimento de 2% e um teor em cinzas de 45.6%. Por seu lado, o Produto 3 deve ser primeiro moído a <5 mm e só depois lavado, sugerindo-se duas hipóteses:

iv.1. Lavar a uma densidade de corte de 1.473, obtendo-se um produto lavado (Flutuado 2.1) com um rendimento de 23.5% e um teor em cinzas de 12.8% e um refugo (Afundado 2.1) com um rendimento de 22.2% e um teor em cinzas de 44.3%;

iv.2. Lavar a uma densidade de corte de 1.447, obtendo-se um produto lavado (Flutuado 2.2) com um rendimento de 18% e um teor em cinzas de 14% e um refugo (Afundado 2.2) com um rendimento de 29.7% com um teor em cinzas de 33.1%.

Das duas hipóteses, a primeira parece ser a mais viável, devido ao maior rendimento e ao menor teor em cinzas. Devido ao baixo teor em cinzas do Flutuado 2.1, se se o juntar ao Flutuado 1, obtem-se um novo produto - Flutuado 3.1 - com um rendimento de 73.3% e um teor em cinzas de 11.0%; por outro lado, a junção dos Afundados 1 e 2.1 origina um novo produto - Afundado 3.1 - com 24.2% de rendimento e 44.4% de cinzas. Obtém-se assim um produto lavado com um baixo teor em cinzas e com um rendimento muito bom.

Por fim, refira-se que quanto a aspectos de classificação, na classificação de Alpern para Combustíveis Sólidos Fósseis, os carvões são classificados como meso-betuminosos (com base no PRvit). Em termos petrográficos são carvões vítricos, havendo alguns fúscos. Quanto à categoria, os carvões de T3-2 são fundamentalmente carvões dos grupos C0-C10 e C1-C30, enquanto que nos de T8-2 também há mistos dos grupos M11-M30.

A adaptação da classificação de Alpern aos carvões sul-africanos, permite classificar os carvões como meso-betuminosos (com base no PRvit), do tipo fundamentalmente vítrico, havendo alguns intermédios (vitrinéticos) e pertencendo às categorias de carvão puro e com cinzas; no caso dos carvões da amostra T8-2 alguns são,

ainda, classificados como mistos carbonosos. Em qualquer dos sistemas, os carvões são indubitavelmente betuminosos.

Na Classificação da CEE-NU para Carvões em Camada, os carvões são ortobetuminosos (com base no PRvit), de categorias alta, média e baixa (pelo teor em cinzas, base "seco") e, no caso da amostra T8-2 ainda há alguns de muito baixa categoria. A composição petrográfica, nesta classificação, é definida a partir das percentagens de V,L,I. No caso dos carvões das amostras T3-2 e T8-2, os valores de L são sempre iguais a zero (0).

REFERÊNCIAS

- AFONSO, R.S., 1976. A geologia de Moçambique. (Notícia explicativa da carta geológica de Moçambique). 1:2.000.000. 175 pp.; 2 Mapas. Direcção dos Serviços de Geologia e Minas. Maputo.
- AFONSO, R.S., 1984. Ambiente geológico dos carvões gonduânicos de Moçambique - Uma síntese. In: M.J. LEMOS DE SOUSA (Ed.), Symposium on Gondwana Coals, Lisbon 1983. Proc. and Papers. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, 70, 2: 205-214.
- AIRES-BARROS, L.; SOUSA, M.J.L. & FURTADO, S., 1984. Matéria mineral em carvões de Moçambique. Nota preliminar. In: M.J. LEMOS DE SOUSA (Ed.), Symposium on Gondwana Coals, Lisbon, 1983. Proc. and Papers. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, 70, 2: 293-298.
- ALMEIDA, F., 1958. A classificação dos carvões fósseis. *Rev. Fac. Engenh.*, Porto, 23: 68-98.
- ALPERN B., 1954. Sur quelques propriétés chimiques et cokéfiantes des constituents pétrographiques élémentaires du charbon. *C.R. Congr. Internat. Chem. Ind.*, 27e, Bruxelles, 1954. Sect. 7. Vol. 2. p. 9-13.
- ALPERN, B., 1978. Le Bassin Houiller Viséan d'Agadès. I: Géologie, Pétrographie et Physico-Chemie. *Palinologia*, No. Extraord., 1: 35-42. (I Coloq. Internac. Palinol., Léon, 1977).
- ALPERN, B., 1981. Pour une classification synthétique universelle des combustibles solides. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 5, 2: 271-290. (Journ. "La Géologie des Charbons, des Schistes bitumineux et des Kérogènes", Pau, 1981).
- ALPERN B. & NAHUYS, J., 1985. Carvão da Bacia de Morungava. Estudo de seis sondagens. 151 pp. Fundação da Ciência e Tecnologia - CIENTEC. Porto Alegre.
- ALPERN, B. & RAKATOARIVELO, H., 1972. Etude pétrographique du Bassin Houiller Malgache. *Ann. Soc. géol. Nord.*, Lille, 92: 64-74.
- ALPERN, B.; SOUSA, M.J.L. & FLORES, D., 1989. A progress Report on the Alpern Coal Classification. In: P.C. LYONS & B. ALPERN (Eds.), Coal: Classification, Coalification, Mineralogy, Trace-element Chemistry, and Oil and Gas Potential. *Internat. J. Coal Geol.*, 13, 1/4: 1-19.
- ANDRADE, C.F., 1929. Esboço geológico da Província de Moçambique. 232 pp. Ministério das Colónias. Lisboa.
- ANGELVY, S.d. Rapport sur les gisements houillers du Zambèze. In: C.F. ANDRADE, 1929. *Esboço Geológico da Província de Moçambique*. p. 229. Ministério das Colónias. Lisboa..
- ANTHOINE, R. & DUBOIS, J., 1922a. Sur l'existence des couches du Karroo dans l'Est Africain Portugais. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 45, 2: B156-B158.
- ANTHOINE, R. & DUBOIS, J., 1922b. La valeur industrielle des charbons du bassin charbonnier de Tête (Est-Africain Portugais). *Ann. Soc. géol. Belg.*, 45, 2: B159-B162.
- ANTHOINE, R. & DUBOIS, J., 1925. Les grandes lignes de la géologie du Zambèze dans l'Est Africain Portugais. *C.R. Congr. Géol. Internat.*, 13e, Belgique, 1922. Fasc. 2. p. 751-769. Liège.
- AS 1661. 1979. Australian Standard. Method for float and sink testing of hard coal and presentation of results. Revised Edition. 38 pp. Standards Association of Australia. North Sydney, New South Wales.
- AS 2096. 1987. Australian Standard. Classification and Coding Systems for Australian coals. 8 pp. Standards Association of Australia. North Sydney, New South Wales. 1987.
- ASTM Designation: D 388-92. Standard Classification of Coals by Rank. In: 1992 Annual Book of ASTM Standards, Section 5, Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels, Vol. 05.05, Gaseous Fuels; Coal and Coke. p. 192-195. American Society for Testing and Materials - ASTM. Philadelphia, Pa. 1992.

ASTM Designation: D 3172-89. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. In: 1992 Annual Book of ASTM Standards, Section 5, Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels, Vol. 05.05, Gaseous Fuels; Coal and Coke. p. 315. American Society for Testing and Materials - ASTM. Philadelphia, Pa. 1992.

ASTM Designation: D 3682-91. Standard Test Method for Major and Minor Elements in Coal and Coke Ash by Atomic Absorption. In: 1992 Annual Book of ASTM Standards, Section 5, Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels, Vol. 05.05, Gaseous Fuels; Coal and Coke. p. 361-366. American Society for Testing and Materials - ASTM. Philadelphia, Pa. 1992.

ASTM Designation: D 4371-79. Standard Test Method for Determining the Washability Characteristics of Coal. In: 1992 Annual Book of ASTM Standards, Section 5, Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels, Vol. 05.05, Gaseous Fuels; Coal and Coke. pp. 402-411. American Society for Testing and Materials - ASTM. Philadelphia, Pa. 1992.

ASTM Designation: D 4596-86. Standard Practice for Collection of Chanel Samples of Coal in the Mine. In: 1992 Annual Book of ASTM Standards, Section 5, Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels, Vol. 05.05, Gaseous Fuels; Coal and Coke. p. 407-408. American Society for Testing and Materials - ASTM. Philadelphia, Pa. 1992.

AUSTROMINERAL (vide Technological concept for development ... 1985).

BATES, R.L. & JACKSON, J.A., (Eds), 1987. Glossary of Geology. 788 pp. American Geological Institute. Alexandria, Va.

Bericht über Aufbereitbarkeitsuntersuchungen klein- und großtechnischer Verkokungsversuche mit Steinkohle aus der Volksrepublik Moçambique. GASKOMBINAT SCHWARZPUMPE. Schwarzpumpe, DDR. 1980. (Não publicado).

Bericht - Untersuchung der Probe Nr. 2 von Moatize Kohle aus Moçambique. DEMAG Aktiengesellschaft Geschäftsbereich Metallgewinnung. Duisbirg. 1971 (Não publicado).

BHATTACHARYYA, A. & MUKHERJEE, B., 1969. Petrological studies of coals from East Bokaro coalfield, Bihar. *J. Geol. Soc. India*, Bangalore, 10, 1: 56-64.

BIF (1983) (vide Investigations of coal samples taken ... 1983).

BILARDO, V. & PIGA, P., 1978. Notizie sulla miniera di Moatize (Mozambico). *Ind. Mineraria*, p. 27-36.

BOCK, F., 1983. Estudo palinológico do Karroo Inferior nas bacias de Moatize e N'condezi e do Karroo na mancha de Metangula. Aplicação na exploração do carvão. Direcção Nacional do Carvão. Maputo. (Relatório inédito).

BORDALO, F.M., 1859. Ensaio sobre a estatística de Moçambique e suas dependências da costa oriental da Africa ao Sul do Equador. *Ensaio sobre estatística das possessões portuguezas na Africa occidental e oriental, na Asia occidental, na China e na Oceania*. Lisboa, 2ª Sér., 4: 318 pp.

BORGES, A., 1935. Etudes de géologie appliquée dans la colonie portugaise du Mozambique. Le charbon dans le Mozambique. Découverte de nouveaux affleurements. *Congr. Internat. Min. Métallurg. Géol. Appl.*, 7, Paris, 1935. Sect. *Géologie Appliquée*. T.2. p. 1062-1072.

BORGES, A., 1937. Progrès réalisés dans la géologie du Moçambique par les services officiels de la colonie. *Chron. Min. Colon.*, Paris, 62: 266-267.

BORGES, A., 1946. Os depósitos do Karroo no Distrito de Tete. *Bol. Serv. Ind. Geol.*, Lourenço Marques. Sér. *Geologia e Minas - Memórias e Comunicações*, 8: 3-66.

BORGES, A., 1952. Le Système du Karroo au Mozambique (Afrique Orientale Portugaise). In: C. TEICHERT, *Symposium sur les Séries de Gondwana*. p. 232-250. XIX Congrès Géologique International. Alger.

BOSTICK, N.H.; BETTERTON, W.J.; GLUSKOTER, H.J. & ISLAM, M.N., 1991. Petrography of Permian "Gondwana" coals from boreholes in northwestern Bangladesh, based on semiautomated reflectance scanning. *Organ. Geochem.*, 17, 4: 399-413. (6th Annual Meeting of the Society for Organic Petrology, Urbana, Illinois, 1989).

BRAK-LAMY, J.A.N. & COELHO, A.V.P., 1945. Rochas do Distrito de Tete. Subsídio para o conhecimento petrográfico de Moçambique. *Mem. Junta Missões geogr. Invest. colon.*, Lisboa, Sér. *Geológica.*, 2, 1:56.

BRAK-LAMY, J.A.N. & COELHO, A.V.P., 1948. Alguns elementos para a carta geológica de Moçambique. Rochas do distrito de Tete. I) Eruptivas, intrusivas, metamórficas e sedimentares. (Campanhas de 1936 e 1937). *An. Junta Invest. colon.*, Lisboa, *Estudos de Geologia e Paleontologia*, 3 (t. 2): 93-124.

BRAK-LAMY, J.A.N. & COELHO, A.V.T.P., 1956. Rochas do Distrito de Tete. Subsídio para o conhecimento petrográfico de Moçambique. In: C.F. TORRE DE ASSUNÇÃO; COELHO, A.V.P. & BRAK-LAMY, J., Contribuição para o estudo da petrografia de Moçambique (África Oriental Portuguesa). I - Distrito de Tete. *Bol. Serv. Ind. Geol.*, Lourenço Marques, Sér. *Geologia e Minas - Memórias e Comunicações*, 19: 49-91.

BS 1016: Part 14: 1979. Methods for the Analysis and Testing of Coal and Coke. Part 14. Analysis of Coal Ash and Coke Ash. 36 pp. British Standards Institution. London. 1979.

BS 7067: 1990. British Standard Guide to determination and presentation of float and sink characteristics of raw coal and products from coal preparation plants. 17 pp. British Standards Institution. London. 1990.

CARVALHO, A.H., 1964. O urânio em carvões de Moçambique. *Mem. Acad. Ciên. Lisboa, Cl. Ciências.*, 8: 319-323.

CARVALHO, L.H.B., 1959. Relatório anual da campanha de 1959. Missão de Fomento e Planeamento do Zambeze. (Não publicado).

CARVALHO, L.H.B., 1960. Relatório anual da campanha de 1960. Missão de Fomento e Planeamento do Zambeze. (Não publicado).

CARVALHO, L.H.B., 1977. Formações vulcânicas de Carinde (Tete - Moçambique). Instituto Politécnico de Vila Real. Vila Real. (Tese de doutoramento).

Carvões Portugueses. 105 pp. Instituto Português de Combustíveis. Lisboa. 1941.

CCM (1973) (vide Relatório final nos termos ... 1973).

CHAKRABARTI, N.C., 1987. Petrography and rank in relation to coking characters of certain coal seams in Sohagpur Coalfield, Madhya Pradesh. *Proceed. Nat. Sem. Coal Res. India*, p. 244-263.

CHATTERJEE, C.N.; GHOSE, S. & CHANDRA, D., 1990. Micropetrographic characteristics of certain Lower Permian coal seams of India with special reference to their mode of formation. *Internat. J. Coal Geol.*, 14, 4: 295-308.

CHOFFAT, P., 1887. Dos terrenos sedimentares da África Portuguesa e considerações sobre a Geologia d'este Continente. *Bol. Soc. Geogr. Lisboa*, 7ª Sér., 2: 143-150. (Revista Científica do Jornal do Commercio. 31 de Dezembro de 1886.).

COAL/GE.3/R.77/Add.1 ECE-UN document [25 February 1986]: Preparation of a new ECE Classification of Coals. Draft sub-classification of medium-rank and high-rank coals (transmitted by the Government of France).

Coal investigations in the Province of Tete, the People's Republic of Mozambique. The Minjova Programme. Phase III - "Area based opportunity Study". LKAB International AB. Swede Coal Development SCD AB. Stockholm. 1982. (Não publicado).

- COELHO, A.V.P., 1957. Anortositos de Tete (Moçambique). *Bol. Serv. Ind. Geol.*, Lourenço Marques, Sér. *Estudos, Notas e Trabalhos*, 24: 69-83. (2ª Reun. Comitês Regionais de Geologia Centro-Este e Sul da África (C.C.T.A.), Tananarive, 1957).
- COELHO, A.V.P., 1969. O Complexo Gabro-anortosítico de Tete (Moçambique). (Notas petrográficas - Analogias com o maciço de Bushveld). *Bol. Serv. Geol. Minas*, Lourenço Marques, 35: 63-78.
- CORRÊA DA SILVA, Z.C., 1989. The rank evaluation of South Brazilian Gondwana coals on the basis of different chemical and physical parameters. In: P.C. LYONS & B. ALPERN (Eds), *Coal: Classification, Coalification, Mineralogy, Trace-element Chemistry, and Oil and Gas Potential. Internat. J. Coal Geol.*, 13, 1/4: 21-39.
- CORRÊA DA SILVA, Z.C.; BORTOLUZZI, C.A.; CAZZULO-KLEPZIG, M.; DIAS-FABRÍCIO, M.E.; GUERRA-SOMMER, M.; MARQUES-TOIGO, M.; PAIM, P.S.G.; PICCOLI, A.E.M. & SILVA FILHO, B.C., 1984. Geology of Santa Rita coal basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Internat. J. Coal Geol.*, 3, 4: 383-400.
- CORREIA, M.M.C.M.B., 1993. Contribuição para o conhecimento da petrologia dos carvões da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel (Córdova - Espanha). 2 Vols (Vol. 1 - Texto, 172 pp; Vol. 2 - Quadros; Figuras; Estampas). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Porto. (Tese de doutoramento).
- CRIBLA (1973) (vide Étude des possibilités de valorisation ... 1973).
- DABER, R., 1984. Plantas fósseis de Moçambique. *Ciênc. Tecnol.*, Maputo, 9: 77-81.
- DABER, R., 1986. Condições alóctonas do carvão de Moatize e a composição da flora que o formou. In: *II Jornadas de Engenharias e Ciências de Moçambique, Maputo, 1986*. T.3. p. 191-209. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.
- DAVIS, A.; LIN, R.; DERBYSHIRE, F.J. & BENSLEY, D.F., 1989. Chemical and technological significance of the fluorescence of coal macerals. In: J. YUGAN & L. CHUN (Eds), *C.R. Congr. Internat. Stratigr. Géol. Carbonif.*, 11e, Beijing, 1987. Vol. 5. p. 124-137. Nanjing University Press. Nanjing.
- DIAS, M.B., 1957. Carbonatites do Monte Muambe (Distrito de Tete). Notícia preliminar. *Bol. Serv. Ind. Geol.*, Lourenço Marques, Sér. *Estudos, Notas e Trabalhos*, 24: 53-68.
- DIAS, M.B., 1961. Geologia do Monte Muambe. *Bol. Serv. Geol. Minas*, Lourenço Marques, Sér. *Estudos, Notas e Trabalhos*, 27: 37-64.
- DIESSEL, C.F.K., 1982. An appraisal of coal facies based on maceral characteristics. *Internat. J. Coal Geol.*, 4, 2: 474-483.
- DIESSEL, C.F.K., 1986. On the Correlation between Coal Facies and Depositional Environments. In: *Sympos. Advances in the Study of the Sydney Basin Proc.*, 20th, Newcastle, 1986. p. 19-22. The University of Newcastle. Department of Geology. Newcastle. (Publication No. 246).
- DIXEY, F., 1928. The Lupata Gorge on the Lower Zambezi. *Geogr. J.*, London, 72, 5: 454-455.
- DIXEY, F., 1929a. The Karroo of the Lower Shire-Zambezi Area. *Internat. Geol. Congr.*, 15th, Pretoria, 1929. Vol. 2, Sect. 3, *The Karroo System; its Stratigraphy, Palaeontology and World Distribution*. p. 120-142.
- DIXEY, F., 1929b. A provisional correlation of the Karroo north of the Zambezi. *Internat. Geol. Congr.*, 15th, Pretoria, 1929. Vol. 2, Sect 3, *The Karroo System; its Stratigraphy, Palaeontology and World Distribution*. p. 143-160.
- DIXEY, F., 1930. The Geology of the Lower Shire-Zambezi Area. *Geol. Mag.*, London, 67, 2: 49-60.
- DIXEY, F. & SMITH, W.C., 1929. The Rocks of the Lupata Gorge and the North Side of the Lower Zambezi. *Geol. Mag.*, London, 66, 6: 241-259.
- DURÃO, A.P., 1906. A influência da indústria mineira na valorização de Moçambique. *Bol. Soc. Geogr. Lisboa*, 24ª Sér., 1: 5-21.

EDP-CIMPOR-Teixeira Duarte-PARTEX. (vide Programa do Carvão de Moatize , Vols I a IV e Análise Global, 1986 e 1987).

Einsatz energetischer Kohle in den Zementwerken der Volksrepublik Moçambique. GASKOMBINAT SCHWARZPUMPE. Schwarzpumpe, DDR. 1982. (Não publicado).

Esquema de distribuição das secções no jazigo carbonífero de Moatize. Escala 1:50.000. Instituto Nacional de Geologia, 1984. (Des. Nº22-3-84).

Etude des possibilités de valorisation des charbons de la CCM. Texte (22 pp.); Annexes (136 pp.). CRIBLA, SA (Société Belge d'Études, Recherches et Réalisations Industrielles), 1973. (Anexo ao Relatório final de 1973 da C.C.M., não publicado).

FALCON, R.M.S., 1986a. A brief review of the origin, formation, and distribution of coal in Southern Africa. In: C. ANHAEUSSER & S. MASKE (Eds), *Mineral Deposits of Southern Africa*. Vol. 2. p. 1879-1898. Geological Society of South Africa. Johannesburg.

FALCON, R.M.S., 1986b. Classification of Coals in Southern Africa. In: C. ANHAEUSSER & S. MASKE (Eds), *Mineral Deposits of Southern Africa*. Vol. 2. p. 1899-1921. Geological Society of South Africa. Johannesburg.

FALCON, R.M.S., 1989. Macro- and micro-factors affecting coal-seam quality and distribution in Southern Africa with particular reference to the No. 2 seam, Witbank coalfield, South Africa. In: P.C. LYONS & B. ALPERN (Eds), *Peat and Coal: Origin, Facies, and Depositional Models*. *Internat. J. Coal Geol.*, 12, 1/4: 681-731.

FREITAS, A.J., 1931. Portugal. Colonie de Moçambique. 22 pp. Exposition Coloniale Internationale. Paris.

FREITAS, A.J., 1932a. Algumas notas sobre jazigos minerais e trabalhos mineiros nos territórios de Manica e Sofala e no Distrito de Tete. *Bol. Soc. Estud. Colón. Moçambique*, Lourenço Marques, 1, 2: 27-41.

FREITAS, A.J., 1932b. Algumas notas sobre jazigos minerais e trabalhos mineiros nos territórios de Manica e Sofala e no Distrito de Tete. *Bol. Soc. Estud. Colón. Moçambique*, Lourenço Marques, 1, 3: 57-72.

FREITAS, A.J., 1932c. Jazigos minerais e trabalhos mineiros em Manica e Tete. *Bol. ger. Colón.*, Lisboa, 80: 53-103.

FREITAS, A.J., 1934a. Notas sobre a geologia. 19 pp.; Mapa. Repartição de Indústria, Minas e Serviços Geológicos. Lourenço Marques.

FREITAS, A.J., 1934b. Notas sobre a indústria. 25 pp. Repartição de Indústria, Minas e Serviços Geológicos. Lourenço Marques.

FREITAS, A.J., 1935. Algumas considerações sobre o problema mineiro da Colónia. *Bol. Soc. Estud. Colón. Moçambique*, Lourenço Marques, 27: 206-208.

FREITAS, A.J., 1942. Estudo do subsolo de Moçambique. *Moçambique*, Lourenço Marques, 29: 31-42; 6 Mapas.

FREITAS, A.J., 1959. A geologia e o desenvolvimento económico e social de Moçambique. 396 pp. Junta do Comércio Externo. Lourenço Marques.

GALVÃO, A., 1935. O Futuro do Distrito de Tete. *Bol. ger. Colón.*, Lisboa, 125: 41-57.

GARY, M.; McAfee Jr, R. & WOLF, C.L. (Eds), 1974. *Glossary of Geology*. 857 pp. American Geological Institute, Fallschurch (Va.). 1974.

GB 5751. 1986. National Standards of People's Republic of China. Classification of Chinese coals. 10 pp.

GÉRARD, A.E., 1924. Les richesses charbonnières du Zambèze. *Mém. et C.R. Trav. Soc. Ing. civ. France*, Paris, Année 1924: 244-261.

- Gewinnung flüssiger Treibstoffe aus Steinkohle Moatize. GASKOMBINAT SCHWARZPUMPE. Schwarzpumpe, DDR. 1982. (Não publicado).
- GODINHO, I., 1970. Panorama geológico-mineiro da Bacia do Zambeze (Moçambique). *Congr. Luso-Esp.*, 29º, Lisboa, 1970. Colóq. 1 - *Geologia Económica*. T.1. p. 9-18. Associação Portuguesa para o Progresso das Ciências. Lisboa.
- GODINHO, I., 1989. Caracterização geo-estrutural e económica da Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova (Moçambique). *Congr. Brasileiro de Carvão*, 2º, Porto Alegre. 1989. Vol. 1. p. 44-61.
- GODINHO, I. & SALAZKHINE, E., 1980. Nota preliminar sobre o teor de Ge nos carvões de Moçambique. Direcção Nacional de Carvão. Maputo. (Relatório inédito).
- GONZE, J., 1973. Etude des possibilités de lavage des charbons de Moatize. Essais executés aux Charbonnages de Monceau-Fontaine. (Anexo ao Relatório final de 1973 da C.C.M., não publicado).
- GOST 25543-88. Ugli birie, kamennie i antratziti. Klassifikatzia po genetitcheskim i technologitcheskim parametram (Lignites, carvões betuminosos e antracites. Classificação segundo parâmetros genéticos e tecnológicos). 19 pp. Comité Estatal da URSS para a Estandardização. Moscovo. 1988.
- GOTHAN, W., 1912. Bemerkungen zur fossilen Flora des Tetebeckens (Sambesi). *Paläobot. Zeit.*, Berlin, 1, 1: 36-39.
- GOTHAN, W., 1914. Die fossile Flora des Tete-Beckens am Sambesi. In: *Wilhelm Branca zum Siebsigsten Geburtstag 9. September 1914, Eine Festschrift seiner Schüler*. p. 11-15. Gebrüder Bornträger. Leipzig.
- GOUVEIA, J.A.C. & ARAÚJO, J.R., 1963. Relatório da 2ª Brigada Geológica do II Plano de Fomento. Actividade em 1962. (Relatório inédito).
- Governo de Moçambique nacionalizou os carvões de Moatize. *O Primeiro de Janeiro*. Porto. (13.05.1978).
- GPZ (1974) (vide Ocorrências de carvão no vale ... 1974).
- Grande Atlante Geografico de Agostini. 474 pp. Instituto Geografico de Agostini. Novara. 1989.
- GUYOT, M.P., 1882. Sur la houille du Muaraze en Zambezie. *C.R. hebdomadaire des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, 95, 7: 355-357.
- HAGELSKAMP, H.H.B. & SNYMAN, C.P., 1988. On the origin of low-reflecting inertinites in coals from the Highveld Coalfield, South Africa. *Fuel*, 67, 3: 307-313.
- HALL, T.C.F., 1948. A geologia e os recursos minerais das Províncias da Zambézia e do Niassa. In: T.C.F. HALL & P. VASCONCELOS, A Geologia de Moçambique. A Geologia e os recursos minerais das províncias da Zambézia e do Niassa. Ocorrências minerais na Zambézia Ocidental. Relatórios 1943/44. p. 9-53. Agência Geral das Colónias. Lisboa.
- HART, G.F., 1965. The systematics and distribution of the Permian miospores. 252 pp. Witwatersrand University Press. Johannesburg.
- HARVEY, R.D. & DILLON, J.W., 1985. Maceral distributions in Illinois coals and their palaeoenvironmental implications. In: T.L. PHILLIPS & C.B. CECIL (Eds), Paleoclimatic controls on coal resources of the Pennsylvanian System of North America. *Internat. J. Coal Geol.*, 5, 1/4: 141-165.
- HØEG, O.A. & BOSE, M.N., 1960. The Glossopteris flora of the Belgian Congo with a note on some fossil plants from the Zambesi Basin (Mozambique). *Ann. Mus. Roy. Congo Belge, Tervuren, Sciences géologiques*, 32: 1-107; Plates.
- Industrieller Tagebau in der Sektion 2A des Largerstätte Moatize. GASKOMBINAT SCHWARZPUMPE. Schwarzpumpe, DDR. 1983. (Não publicado).
- ING, 1984. (vide Esquema de distribuição ... 1984).
- Interim Report on the Possibilities on Mining and Preparing the Coking-coals of the Moatize Deposit. Mozambique. MONTAN-CONSULTING GmbH/RHEINBRAUN-CONSULTING GmbH. 1977. (Submitted to: C.C.M. by Montan-Consulting GmbH/Rheinbraun-Consulting GmbH, não publicado).

International Classification of Hard Coals by Type. Prepared by the secretariat of the Economic Commission for Europe. Geneva. 1956.

International Codification System for medium and high rank coals. 26 pp. Economic Commission for Europe (Geneva), United Nations (New York). 1988.

International Handbook of Coal Petrography. International Committee for Coal Petrology. 2nd Ed. International Committee for Coal Petrology (ICCP). Centre National de la Recherche Scientifique, Academy of Sciences of the U.S.S.R. Paris, Moscow, 1963.

International Handbook of Coal Petrography. International Committee for Coal Petrography. 2nd Supplement to the 2nd Ed. International Committee for Coal Petrology (ICCP). Centre National de la Recherche Scientifique, Academy of Sciences of the U.S.S.R. Paris, Moscow, 1976.

International Handbook of Coal Petrography. International Committee for Coal Petrology. Supplement to the 2nd Ed. International Committee for Coal Petrology (ICCP). Centre National de la Recherche Scientifique, Academy of Sciences of the U.S.S.R. Paris, Moscow, 1971.

Investigações sobre carvão na Província de Tete, República Popular de Moçambique. Programa Minjova, Fase II - Estudo de Identificação de Recursos. LKAB International AB. Swede Coal Development SCD AB. Stockholm. 1982. (Não publicado).

Investigation and Evaluation of Coal Samples (Section 3). GASKOMBINAT SCHWARZPUMPE. Schwarzpumpe, DDR. 1983. (Não publicado).

Investigations of coal samples taken under the Moatize (II) exploration Programme to evaluate their material composition, raw material and coking properties for characterization of the examined deposit areas. Brennstoffinstitut Freiberg (BIF). Freiberg, GDR. 1983. (Texto e anexos, não publicados).

ISO 331:1983. Charbons - Détermination de l'humidité de l'échantillon pour analyse. Méthode gravimétrique directe. 3 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1983.

ISO 333:1983. Coal - Determination of nitrogen - Semi-micro Kjeldahl method. 4 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1983.

ISO 351:1984. Solid mineral fuels - Determination of total sulphur - High temperature combustion method. 7 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1984.

ISO 562:1981. Hard Coal and Coke - Determination of volatile matter content. 5 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1981.

ISO 609:1975. Coal and coke - Determination of carbon and hydrogen - High temperature combustion method. Second Edition - 1984-10-15, 4 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1984.

ISO 1928:1976. Solid mineral fuels - Determination of gross calorific value by the calorimetric bomb method, and calculation of net calorific value. 14 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1976.

ISO 1953:1972. Hard Coal. Size analysis. 16 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1972.

ISO 1994:1976. Hard Coal. Determination of Oxygen Content. 12 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1976.

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

ISO 7404-4:1988. Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and anthracite - Part 4: Method of determining microlithotype, carbominerite and minerite composition. 6 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1988.

ISO 7936:1992. Hard coal - Determination and presentation of float and sink characteristics - General directions for apparatus and procedures. 19 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1992.

KALKREUTH, W. & LECKIE, D.A., 1989. Sedimentological and petrological characteristics of Cretaceous strandplain coals: a model for coal accumulation from the North American Western Interior Seaway. In: P.C. LYONS & B. ALPERN (Eds), Peat and Coal: Origin, Facies, and Depositional Models. *Internat. J. Coal Geol.*, 12, 1/4: 381-424.

KALKREUTH, W.; MARCHIONI, D.L.; CALDER, J.H.; LAMBERSON, M.N.; NAYLOR, R.D. & PAUL, J., 1991. The relationship between coal petrography and depositional environments from selected coal basins in Canada. In: W. KALKREUTH; R.M. BUSTIN & A.R. CAMERON (Eds), Recent Advances in Organic Petrology and Geochemistry: a Symposium Honoring Dr. P. Hacquebard. *Internat. J. Coal Geol.*, 19, 1/4: 21-76.

KOCH, J.H., 1961. Coluna estratigráfica da bacia carbonífera de Moatize interpretada segundo elementos das sondagens 1 a 103. Moatize.

van KREVELLEN, D.W., 1993. Coal. Typology-Physics-Chemistry-Constitution. 3rd Ed. 979 pp. Elsevier. Amsterdam.

KÜNSTNER, E.; NEUBERT, K.-H. & SIPPEL, V., 1985. Beitrag zur petrographischen Charakteristik moçambiquanischer Steinkohlen. *Z. angew. Geol.*, Berlin, 31, 6: 141-148.

KUSS, M.H., 1884. Note sur la constitution géologique d'une partie de la Zambèze. *Bull. Soc. Géol. France*, Paris, 3e Sér., 12: 303-317.

LAPIERRE, M.E., 1883. Note sur le bassin houiller de Tete (Région du Zambèze). *Ann. Mines*, Paris, 4, 6: 585-593.

Léxico 1 (vide International Handbook of Coal Petrography, 1963).

Léxico 2 (vide International Handbook of Coal Petrography, 1971).

Léxico 3 (vide International Handbook of Coal Petrography, 1976).

LIU, X.B., 1990. La qualité des charbons dans le Bassin Houiller de Lorraine. 258 pp. Centre des Sciences de la Terre, Université de Bourgogne. Dijon. (Thèse de Doctorat).

Localization of the Zambezi Valley coal basins. Existing concessions. 53 pp.; 1 Map. (Anónimo).

LOPATIN, N.V., 1971. Temperature and geological time as factors in coalification. *Izvestija, Akademii Nauk SSSR. Ser. Geologicheskaja*, 3: 95-106.

LUNA, I.R. & FREITAS, F., 1952. Geology and Metallogeny of the Uranium Deposits of the Mavudzi Valley, Tete (Portuguese East Africa). *C.R. Congr. géol. Internat., 19e, Alger, 1952. Association des Services Géologiques Africains, 1e Partie, Général, Précambrien et Primaire Ancien. Fasc. 20. p. 293-307. Alger.*

LUNA, I.R. & FREITAS, F., 1956. Ouro da Macanga (Distrito de Tete). Geologia e Metalogenia da mancha metamórfica do Missale. Jazigo do Chifumbázi e Jazigo do Muendi. *Bol. Serv. Ind. Geol.*, Lourenço Marques. Sér. *Geologia e Minas - Memórias e Comunicações*, 16, 26 pp.

MACKOWSKY, M.-Th., 1982a. The application of coal petrography in technological processes. In: E. STACH; M.-TH. MACKOWSKY; M. TEICHMÜLLER; G.H. TAYLOR; D. CHANDRA & R. TEICHMÜLLER, *Stach's Textbook of Coal Petrology*, 3rd Ed. pp. 413-476. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.

MACKOWSKY, M.-Th., 1982b. Determination of hardness and strength. In: E. STACH; M.-TH. MACKOWSKY; M. TEICHMÜLLER; G.H. TAYLOR; D. CHANDRA & R. TEICHMÜLLER, *Stach's Textbook of Coal Petrology*, 3rd Ed. pp. 341-348. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.

- MACKOWSKY, M.-Th., 1982c. Etching of polished coal surfaces. In: E. STACH; M.-TH. MACKOWSKY; M. TEICHMÜLLER; G.H. TAYLOR; D. CHANDRA & R. TEICHMÜLLER, *Stach's Textbook of Coal Petrology*, 3rd Ed. pp. 337-341. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.
- MAGNEE, I. & THONNARD, R., 1969. Etude géologique et minière de l'aire couverte par la licence d'exclusivité de recherche accordée à la Companhia Carbonifera de Moçambique. Bruxelles, 1969, 3. Vol. (Text et Annexes I et II). (Anexo ao Relatório Final de 1973, da C.C.M., não publicado).
- MARCHIONI, D.L., 1980. Petrography and depositional environment of the Liddell Seam, Upper Hunter Valley, New South Wales. *Internat. J. Coal Geol.*, 1, 1: 35-61.
- MARCHIONI, D.L. & KALKREUTH, 1991. Coal facies interpretations based on lithotype and maceral variations in Lower Cretaceous (Gates Formation) coals of Western Canada. *Internat. J. Coal Geol.*, 18, 1/2: 125-162.
- MARTINS, J.R., 1940. Relatório do reconhecimento dos jazigos de ferro; verificação da mancha carbonífera de Moatize. Repartição Técnica, Indústria e Geologia. Lourenço Marques. (Relatório inédito).
- Material Safety Data Sheet. Epofix Hardener. Quick Identifier. STRUERS, No. 146, 2 pp, S.d.a.
- Material Safety Data Sheet. Epofix Resin. Quick Identifier. STRUERS, No. 147, 2 pp, S.d.b.
- Mineral Inventory Project - Tete Area. Subject: Geophysical Interpretation of the Karroo and Related Areas. 38 pp. Hunting Geology and Geophysics Limited. London. 1983. (Report to the Government of the People's Republic of Mozambique, Direção Nacional de Geologia, Project No. 210 1450).
- Mineral Inventory Project in Tete Province and parts of Manica, Sofala and Zambezia Provinces. Report on Ground Geophysical Investigations for the 1982 and 1983 Field Seasons. Part I (Text, 48 pp.); Part II (Annexes, Figures). Hunting Geology and Geophysics Limited. London. 1984. (Project No. 230 1422).
- Moatize coal development program. CPRM/GEIPOT/COBRAPI. 1983. (Não publicado).
- Moatize Phase 1 Drilling Programme. Report on Drilling Results. (Compiled by H.V. Bantz). Vol. I (Text, Figures, Schedules); Addendum to Moatize Coal. Trans-Natal Coal Corporation Limited. 1991. (Integrated Project Pre-Viability Study, não publicado).
- Moatize Phase 1 Drilling Programme. Report on Drilling Results. (Compiled by H.V. Bantz). Vol. II (Annexures); Addendum to Moatize Coal. Trans-Natal Coal Corporation Limited. 1991. (Integrated Project Pre-Viability Study, não publicado).
- Moatize Phase 1 Drilling Programme. Status Report. (Compiled by H.V. Bantz). Trans-Natal Coal Corporation Limited. 1991. (Não publicado).
- Moatize Summary Report. Geology Draft. Trans-Natal Coal Corporation Limited. 1990. (Não publicado).
- Moçambique. Indústria Mineira. *Bol. ger. Colón.*, Lisboa, 333: 77, 1953.
- Moçambique. Panorama económico da exploração mineira. *Bol. ger. Colón.*, Lisboa, 358: 294-301, 1955.
- MONEY, N.J. & DRYSDALE, A.R., 1975. The geology, classification, palaeogeography and origin of the Mid-Zambezi Coal Deposits of Zambia. In: K.S.W. CAMPBELL (Ed.), *Gondwana Geology Symposium*, 3rd, Canberra, Australia, 1973. p. 249-270. Australian National University Press. Canberra.
- MONTAN-RHEINBRAUN (vide Interim Report on the Possibilities 1977).
- MUKHERJEE, A.K.; ALAM, M.M. & GHOSE, 1988. Gondwana coals of Bhutan Himalaya - Occurrence, properties and petrographic characteristics. *Internat. J. Coal Geol.*, 9, 3: 287-304.
- MUKHERJEE, B. & DATTA, J., 1959. Study of the coal occurrences from Bachra area, Ranchi District, North Karanpura Coalfields, with special reference to their chemical and petrological characters and their correlation. *Proc. Nat. Instit. Sci. India*, 25A, 5: 273-277; 2 Pls.
- MUKHOPADHYAY, K.P., 1985. Dispersed Organic Matter/Matière Organique Dispersée - Geological Applications. Letter-Proposal presented to members of ICCP Commission 2, at 5 September 1985, 2 pp.

- NAVALE, G.K.B., 1965. Petrographic analysis of some coals from Talcher coalfield. *Metals & Minerals Rev.*, September, p. 5-12.
- NAVALE, G.K.B., 1981. Petrographic evaluation of Indian coals. *Proc. Internat. Conf. Coal Sci., Düsseldorf, 1981.* p. 45-50. Glückauf. Essen.
- NAVALE, G.K.B. & MISRA, B.K., 1983. Status of Indian coals in Universal Classification of solid fossil fuels. *Geophytol.*, 13, 2: 214-218.
- NAVALE, G.K.B. & MISRA, B.K., 1984. Significance of vitrinite/inertinite ratio in Lower Gondwana coals of Peninsular India. In: M.J. LEMOS DE SOUSA (Ed.), Symposium on Gondwana Coals, Lisbon, 1983. Proc. and Papers. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, 70, 2: 257-263.
- NAVALE, G.K.B.; MISRA, B.K. & ANAND-PRAKASH, 1983. The microconstituens of Godavari coals, South India. *Internat. J. Coal Geol.*, 3, 1: 31-61.
- NAVALE, G.K.B. & SAXENA, R., 1989. An appraisal of coal petrographic facies in Lower Gondwana (permian) coal seams of India. In: P.C. LYONS & B. ALPERN (Eds), Peat and Coal: Origin, Facies, and Depositional Models. *Internat. J. Coal Geol.*, 12, 1/4: 553-588.
- NETO, J.N., 1976. Memorandum of the Delegation of the People's Republic of Mozambique on the coal deposits of that country. In: W.L.G. MUIR (Ed.), Coal Exploration. p. 642-647. Miller Freeman Publications. San Francisco (Cal.). (Proc. Internat. Coal Exploration Symposium, 1st, London, 1976).
- NF M 10-001:1972. Combustibles solides. Classification des houilles d'après leur nature. 8 pp. Association Française de Normalisation. Paris. 1972.
- NF M 10-001:1990. Combustibles solides. Système international de codification des charbons de rang moyen et de rang supérieur. 23 pp. Association Française de Normalisation. Paris. 1990.
- NF M 10-003:1988. Combustibles minéraux solides. Classification des charbons destinés à la cokéfaction. 5 pp. Association Française de Normalisation. Paris. 1988.
- NP 1011, 1989. Combustíveis Sólidos. Carvões. Determinação da humidade da amostra para análise. Método gravimétrico directo. Método ISO. 8 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1989.
- NP 1012, em publicação. Combustíveis Sólidos. Carvões. Determinação do teor em azoto. Método de Kjeldahl. 2ª Ed. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- NP 1016, em publicação. Combustíveis sólidos. Carvões e coques. Determinação do teor em enxofre total. Método de combustão a alta temperatura. 2ª Ed. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- NP 1017, 1989. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior. Determinação do índice de intumescimento no cadinho. 10 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 1019, 1989. Combustíveis Sólidos. Carvões e Coques. Determinação do teor em cinzas. Método ISO. 6 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 1020, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões e Coques. Determinação da fusibilidade das cinzas. Método do tubo a alta temperatura. 7 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3420, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior. Codificação Internacional CEE-Nações Unidas. 19 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3423, 1987. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior e coques. Determinação do teor em matérias voláteis. Método ISO. 13 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1987.
- NP 3539, 1987. Combustíveis Sólidos. Carvões e Coques. Cálculos para as análises relativamente a diferentes bases. 11 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1987.
- NP 3603, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões. Classificação ASTM. 13 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3604, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior. Classificação e codificação National Coal Board (British Coal). 8 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.

- NP 3605, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior e coques. Análise petrográfica. Determinação da composição em grupos de macerais. 10 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3606, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior. Análise petrográfica. Determinação ao microscópio do poder reflector da vitrinite. 20 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3607, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior. Classificação do Centre de Pyrolyse de Marienau. 5 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3608, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior. Análise Petrográfica. Preparação de amostras. 15 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3736, 1988. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior. Propriedades dilatométricas. Ensaio no dilatómetro Audibert-Arnu. 19 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1988.
- NP 3863, em publicação. Combustíveis Sólidos. Carvões e coques. Determinação dos teores em carbono e em hidrogénio. Método de combustão a alta temperatura. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- NP 3866, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior. Determinação do índice Hardgrove. 12 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3870, em publicação. Combustíveis sólidos. Carvões de grau médio e superior. Determinação do teor em oxigénio. Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- NP 4218, 1992. Combustíveis sólidos. Carvões de grau médio e superior. Análise petrográfica. Determinação da composição em microlitótipos, carbominerites e minerite. 15 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 4222, 1992. Combustíveis Sólidos. Carvões. Classificação e codificação para os carvões australianos. 16 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 4230. 1993. Combustíveis Sólidos. Carvões de grau médio e superior. Classificação e codificação francesas dos carvões destinados à coqueificação. 7 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1993.
- O Primeiro de Janeiro, 1978. (vide Governo de Moçambique 1978).
- OBERHOLZER, W.F., 1968. Carta Geológica de Moçambique na escala 1:2.000.000. Serviços de Geologia e Minas. Lourenço Marques.
- Ocorrências de carvão no vale do Zambeze. Gabinete do Plano do Zambeze (GPZ). Ministério do Ultramar. Lisboa. 1974.
- Operative Vorratsberechnungen der Sektion 3/1 des Projektes "Steinkohle Moatize", Provinz Tete, VR Moçambique. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1980. (Não publicado).
- OSBORNE, D.G., 1988. Coal preparation technology. Volume 1. 600 pp. Graham & Trotman Limited. London.
- PAREEK, H.S., 1987. Petrographic, chemical and trace-elemental composition of the coal of Sohagpur Coalfield, Madhya Pradesh, India. *Internat. J. Coal Geol.*, 9, 2: 187-207.
- PAREEK, H.S. & PANDE, B.C., 1970. On the microscopic nature of coals from Majri area, Wardha Valley Coalfield, Maharashtra. *The Palaeobotanist*, 19, 1: 76-82.
- PINNA, P.; MARTEAU, P.; BECQ-GIRAUDON, J.-F. & MANIGAULT, B., 1987. Notícia explicativa da carta geológica de Moçambique na escala 1:1.000.000. Instituto Nacional de Geologia. Maputo. (Versão provisória, não publicada).
- PN-82/G-97002. Wegiel kamienny. Typy (Tipos de carvões betuminosos). 2 pp. Polski Komitet Normalizacji, Mińsk i Jakosci. 1982.
- PORTUGAL - Document de travail à l'usage du Comité des Territoires d'Outre-Mer. Mozambique. 121 pp. Comissão Técnica de Cooperação Económica Europeia. 1950.

- Programa do Carvão de Moatize, Análise global, Grupo Português. EDP-CIMPOR, Teixeira Duarte, PARTEX. 1987. (Não publicado).
- Programa do Carvão de Moatize. Vol. I. Síntese de apresentação. 19 pp. EDP-CIMPOR, Teixeira Duarte, PARTEX. 1986. (Não publicado).
- Programa do Carvão de Moatize. Vol. II. Análise por sectores - parte técnica. 28 pp. EDP-CIMPOR, Teixeira Duarte, PARTEX. 1987. (Não publicado).
- Programa do Carvão de Moatize. Vol. III. Análise económica. EDP-CIMPOR, Teixeira Duarte, PARTEX. 1987. (Não publicado).
- Programa do Carvão de Moatize. Vol IV. Mercado de carvão. (Anexos). EDP-CIMPOR, Teixeira Duarte, PARTEX. 1987. (Não publicado).
- Projecto do Carvão de Moatize necessita de 40 milhões de dólares. *Tempo*, Maputo, N° 1098 (03.11.91): p. 49-50.
- Projecto Integrado do Carvão de Moatize. Estudo de Pré-viabilidade. Parte 1. Relatório Setorial de Geologia. Volume I. 202 pp. Ministério dos Recursos Minerais, Gabinete do Plano do Carvão-Moçambique, Companhia Vale do Rio Doce-Brasil, Trans-Natal Coal Corporation-África do Sul. 1991. (Não publicado).
- PUTZER, H., 1970. Mineralische Rohstoffe in Mozambique. *Erzmetall*, Stuttgart, 22: 327-336.
- QUINN, G.W. & CALLCOTT, T.G., 1994. A guide to coal utilization. 2 pp. Australian Coal Association. Brisbane, Queensland, Australia.
- REAL, F., 1963a. Jazigos de carvão (hulha) da Bacia do Zambeze (Capítulo IV). Missão do Fomento e Povoamento do Zambeze. (Não publicado).
- REAL, F., 1963b. Relatório sobre a natureza, reservas e possibilidade de lavagem dos carvões da actual concessão da CCM. (Não publicado).
- REAL, F., 1966. Geologia da Bacia do Rio Zambeze (Moçambique). Características geológico-mineiras da Bacia do rio Zambeze em território moçambicano. 183 pp.; 57 Estampas; 2 Mapas. Junta de Investigações do Ultramar. Lisboa.
- REAL, F., 1980. Relatório preliminar sobre a Bacia Carbonífera do Rio Zambeze. Maputo.
- Relatório final, Moatize I. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1981. (Não publicado).
- Relatório final nos termos da Portaria Ministerial n° 18.353 de 23.03.61. Companhia Carbonífera de Moçambique (CCM). 1973. (Não publicado).
- Relatório parcial - Pesquisas geológicas na Bacia Carbonífera de Moatize, Secção I, na República Popular de Moçambique. 41 pp. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1980. (Não publicado).
- Relatório parcial - Resultados de pesquisa na secção 3/bloco 1. 30 pp. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1980. (Não publicado).
- Relatório parcial - Secção 5, Parte Norte. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1983. (Não publicado).
- Relatório preliminar - Secção 2A. 114 pp. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1981. (Não publicado).
- Relatório preliminar - Secção 4, Parte Média. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1981. (Não publicado).
- Relatório preliminar - Secção 4, Parte Ocidental. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1981. (Não publicado).

- Relatório preliminar - Secção 4, Parte Oriental. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1982. (Não publicado).
- Relatório preliminar das pesquisas geológicas na bacia carbonífera de Moatize, Moçambique: Avaliação das reservas geológicas da Camada Chipanga na secção 2A/bloco 1. 15 pp.; 8 Anexos. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1980. (Não publicado).
- Relatório sobre a pesquisa adicional da Secção 1 do Jazigo de Moatize sob exploração a céu aberto. ZARUBEZHGEOLOGIA. Tete. 1989. (Não publicado).
- Report on phase I coal exploration program in areas east of Moatize, Province of Tete, People's Republic of Mozambique. LKAB International AB, Swede Coal Development SCD AB. Stockholm. 1981. (Relatório inédito).
- Report on washability investigations, small and large coking tests conducted with pi-coal from the P.R.M. 154 pp. GASKOMBINAT SCHWARZPUMPE. Schwarzpumpe, DDR. S.d. (Não publicado).
- Report to the Government of Portugal on the Tete Area, Mozambique. E.J. LONGYEAR CO. 1955. (Relatório inédito, Serviço de Indústria e Geologia e Minas de Moçambique, Lourenço Marques).
- RIBEIRO, F.J.S., 1953. Carvões de Moçambique. Repartição Técnica de Indústria e Geologia. Lourenço Marques. (Relatório inédito).
- RIBEIRO, F.J.S., 1969. Carvões de Moçambique. 47 pp.; Anexos (Tabelas e Mapas). Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas, Repartição de Fomento Mineiro, Lourenço Marques. (Relatório inédito, não publicado).
- ROBERT, P., 1985. Histoire géothermique et diagenèse organique. *Bull. Centre Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Mem. Pau*, 8: 1-345.
- ROBERT, P., 1988. Organic Metamorphism and Geothermal History. Microscopic Study of Organic Matter and Thermal Evolution of Sedimentary Basins. 311 pp. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht.
- ROCHA-CAMPOS, A.C.R. & OLIVEIRA, M.E.C., 1972. Lower Gondwana rocks in Angola and Mozambique. *Bol. Inst. Invest. Cientif. Angola*, 9, 1: 51-74.
- Ruhrkohlen Handbuch. 6. Auflag. Glückauf. Essen. 1984.
- SALASZHINE, E., 1980. Relatório sobre o teor de Germânio em Carvão de Moçambique. Direcção Nacional de Geologia. Maputo. (Relatório inédito C1012).
- SHIBAOKA, M. & SMYTH, M., 1975. Coal Petrology and the Formation of Coal Seams in Some Australian Sedimentary Basins. *Econ. Geol.*, 70, 8: 1463-1473.
- SNYMAN, C.P., 1961. A comparison between the petrography of South African and some other Palaeozoic coals. *Publ. Univ. Pretoria, N.R.*, 15: 59 pp.
- SNYMAN, C.P., 1989. The role of coal petrography in understanding the properties of South African coal. In: W. PICKHARDT (Ed.), Erich Stach Memorial Issue. *Internat. J. Coal Geol.*, 14, 1/2: 83-101.
- SNYMAN, C.P.; van VUUREN, M.C.J. & BARNARD, J.M., 1983. Chemical and physical characteristics of South African coal and a suggested classification system. Council for Scientific and Industrial Research, National Institute for Coal Research. Pretoria.
- SOUSA, M.J.L., 1972. Proposta de um plano de investigação sobre a Bacia Carbonífera de Moatize (Moçambique). 3 pp.; 2 Anexos. (Não publicado).
- SOUSA, M.J.L., 1977. Estudo de duas colheitas de carvão efectuadas na camada Chipanga das minas de Moatize - Moçambique. 5 pp.; Anexos. (Não publicado).
- SOUSA, M.J.L., 1978. Contribution à l' Etude du Bassin Houiller du Douro (NW du Portugal). Atlas de Micropétrographie des Peranthracites. 92 pp. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. (Memória, N.S., nº 26).

SOUSA, M.J.L., 1984. Nova contribuição para o conhecimento dos carvões da Bacia de Moatize-Minjova (Zambézia-República Popular de Moçambique). In: *Volume d'hommage au géologue G. Zbyszewski*. p.213-219. Ed. Recherche sur les Civilisations. Paris.

SOUSA, M.J.L., 1985. Bases da Classificação dos Carvões Fósseis. *Bol. Min.*, Lisboa, 22, 3: 1-52.

SOUSA, M.J.L. (com a colaboração de D. Flores, H. Pinheiro e L. Vasconcelos), 1991. Classificação e Codificação dos Carvões. Estado da Arte e sua importância prática. Parte I. *Tecnometal*, Porto, 77: 5-11.

SOUSA, M.J.L. (com a colaboração de D. Flores, H. Pinheiro e L. Vasconcelos), 1992. Classificação e Codificação dos Carvões. Estado da Arte e sua importância prática. Parte II. *Tecnometal*, Porto, 78: 5-14.

SOUSA, M.J.L.; FLORES, D.; PINHEIRO, H. & VASCONCELOS, L., 1992. Coal Classification and Codification. Up-date on the State of the Art and a Critical Review. *Publ. Mus. Labor. Miner. Geol. Fac. Ciênc. Porto*, N.S., 2: 1-61.

SOUSA, M.J.L. & MERIAUX, E., 1970. Etude pétrographique préliminaire des houilles du bassin du Moatize, Tete, Mozambique. *Ann. Soc. Géol. Nord.*, Lille, 90, 3: 137-149.

SOUSA, M.J.L. & MERIAUX, E., 1971. Estudo petrográfico preliminar das hulhas da bacia de Moatize (Tete, Moçambique). *Garcia de Orta*, Lisboa, 19, 1/4: 263-278.

Specification for Anthracitic and Bituminous Coals. 5 pp. Central Standardization Committee, South African Bureau of Standards. Pretoria. 1982.

STACH, E., 1982a. The macerals of coal. In: E. STACH; M.-TH. MACKOWSKY; M. TEICHMÜLLER; G.H. TAYLOR; D. CHANDRA & R. TEICHMÜLLER, *Stach's Textbook of Coal Petrology*. 3rd Ed. p. 87-140. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.

STACH, E., 1982b. The microlithotypes of coal and their strenght. In: E. STACH; M.-TH. MACKOWSKY; M. TEICHMÜLLER; G.H. TAYLOR; D. CHANDRA & R. TEICHMÜLLER, *Stach's Textbook of Coal Petrology*. 3rd Ed. p. 140-153. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.

STREEL, M., 1985. Techniques d'échantillonnage et de traitement palynologique. 5 pp. Université de Liège. (Policopiado, não publicado).

STREICHER, S.F., 1971. Report on the results obtained from crushing and washing tests carried out on two bulk samples of Moatize coal. 26 pp. Fuel Research Institute of South Africa. (Technical Memorandum No. 43). (Anexo ao Relatório Final de 1973, da C.C.M., não publicado).

Struers, S.d.a. (vide Manual Safety Data S.d.a.).

Struers, S.d.b. (vide Manual Safety Data S.d.b.).

Studie (2. Fassung) zum Aufschluß eines Tagebaues in der Steinkohlenlagerstätte Moatize, Flöz Chipanga, Sektion 2A und 1, VR Moçambique. SCHACHTBAU WELZOW. 1979. (Não publicado).

Study of opening up an open cast mine in the coal deposit Moatize, Chipanga Seam, section 2A and 1 (2nd edition). GASKOMBINAT SCHWARZPUMPE. Schwarzpumpe, DDR. S.d. (Não publicado).

TAYLOR G.H.; LIU, S.Y. & DIESEL, C.F.K., 1989. The cold-climate origin of inertinite-rich Gondwana coals. *Internat. J. Coal Geol.*, 11, 1: 1-22.

Technological concept for development of new underground mines at Moatize/Moçambique. Volumes I to IV, submitted to Empresa Nacional de Carvão de Moçambique CARBOMOC E.E., Moatize, República Popular de Moçambique by AUSTROMINERAL G.m.b.H. Vienna. 1985.

TEICHMÜLLER, M., 1974a. Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls. *Fortschr. Geol. Rhein.-Westf.*, Krefeld, 24: 65-112. (Inkohlung und Erdöl. Beiträge der Kohlenpetrologie zur Prospektion auf Erdöl und Erdgas).

TEICHMÜLLER, M., 1974b. Über neue Macerale der Liptinit-Gruppe und die Entstehung von Micrinit. *Fortschr. Geol. Rhein.-Westf.*, Krefeld, 24: 37-64. (Inkohlung und Erdöl. Beiträge der Kohlenpetrologie zur Prospektion auf Erdöl und Erdgas).

- TEICHMÜLLER, M., 1982. Fluoreszenzmikroskopische Änderungen von Liptiniten und Vitriniten mit zunehmendem Inkohlungsgrad und ihre Beziehungen zu Bitumensbildung und Verkokungsverhalten. 119 pp. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen. Krefeld.
- TEICHMÜLLER, M., 1985. Minutes of the Meeting of ICCP Commission 2. Dubrovnik, Yugoslavia, September 25 and 26, 1985.
- TEICHMÜLLER, M. & OTTENJANN, K., 1977. Art und Diagenese von Liptiniten und lipoiden Stoffen in einem Erdölmuttergestein auf Grund fluoreszenzmikroskopischer Untersuchungen. *Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochem. verein. Brennst.-Chem.*, Essen, 30, 9: 387-398.
- TEICHMÜLLER, M. & WOLF, M., 1977. Application of fluorescence microscopy in coal petrology and oil exploration. In: B. RALPH, P.; ECHLIN & E.R. WEIBEL (Eds), *Microscopy of Organic Sediments, coals and Cokes. Methods and Applications*, Oxford, 1976. *J. Microscopy*, Oxford, 109, P.1: 49-73.
- Teilbericht geologische Erkundungsarbeiten im Kohlenbecken von Moatize, Sektion 1, in der VR Moçambique. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1980. (Não publicado).
- Teilbericht Sektion 5, Südteil. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1984. (Não publicado).
- TEIXEIRA, C., 1943a. Notas para o estudo do "Karoo" da região de Tete, na África Oriental Portuguesa. *Bol. Soc. geol. Portg.*, Porto, 2, 1: 41-46.
- TEIXEIRA, C., 1943b. Sur l' *Estheria Borgesi*, nouvelle espèce du Karroo du Mozambique portugais. *Bull. Soc. Géol. France*, Paris, 5e Sér., 13, 1/2/3: 71-72.
- TEIXEIRA, C., 1946. Sur la flore fossile du Karroo de Zambésie (Mozambique). *C. R. Somm. et Bull. Soc. Géol. France*, Paris, 5e Sér., 16, 13: 252-254.
- TEIXEIRA, C., 1947. Contribuição para o conhecimento geológico do Karroo da África Portuguesa. I - Sobre a flora fóssil do Karroo da região de Tete (Moçambique). *An. Junta Missões Geogr. Invest. Colon.*, Lisboa, 2, 2: 9-28.
- TEIXEIRA, C., 1948. Estado actual dos conhecimentos paleontológicos relativos ao Karroo da África Portuguesa. *An. Assoc. Esp. Progr. Cienc.*, 4ª Secc. *Ciencias Naturales*, 13, 2: 331-334.
- TEIXEIRA, C., 1951. Present state of our knowledge concerning the palaeontology of the Karroo of Portuguese Africa. *Rep. Internat. Geol. Congr., 18th, Great Britain, (London), 1948. Part 14. Proc. Association des Services Géologiques Africains.* p. 214-217. London.
- TEIXEIRA, C., 1952. La flore fossile du Karroo de la Zambesie et la notion de Continent du Gondwana. *C.R. Congr. avanc. Et. Statigr. Géol. Carbonif.*, 3e, Heerlen, 1951. T. 2. p. 627-630. Ernst van Aelst. Maastricht.
- The Coal Classification System used by the National Coal Board (Revision of 1964). 9 pp. National Coal Board, Scientific Control. 1964.
- The OPEC fund for international development. Organização dos Países Exportadores de Carvão. 1984. Moatize Development Program, People's Republic of Mozambique. (Não publicado).
- THONNARD, R., 1970. Calcul des réserves de charbon dans les zones d'exploitation à ciel ouvert. (Não publicado).
- THONNARD, R., 1971/72. Le graben de Moatize au Mozambique. *Bull. Séanc. Acad. Roy. Sci. Outre-Mer*, Bruxelles, 2.
- THONNARD, R., 1973. Rapport sur les exploitations de Moatize, Chapitre III: Géologie. (Não publicado).
- THORNTON, R., 1859. On the coal found by Dr. Livingston at Tete, on the Zambesi, South Africa. *Quart. J. Geol. Soc. London*, 15, Part 1, 556 pp.
- TNCC (1991) (vide Moatize Phase I Drilling ... , Volume II, 1991).
- TRAVERSE, A., 1988. Paleopalynology. 600 pp. Unwin. London.

UNSWORTH, J.F., 1991. Coal characterization. 2. Coal quality and analysis. In: J.F. UNSWORTH, D.J. BARRETT & P.T. ROBERTS, *Coal Quality and Combustion Performance. An International Perspective*. p. 17-92. Elsevier. Amsterdam. (Coal Science and Technology 19).

Untersuchung und Bewertung von Kohlenproben Moatize II. GASKOMBINAT SCHWARZPUMPE. Schwarzpumpe. DDR. 1983. (Não publicado).

VASCONCELOS, L., 1982. Notas sobre a Bacia Carbonífera de Chicôa-Mecúcoè. Síntese de informações dispersas em vários trabalhos. Gabinete do Secretário de Estado do Carvão e Hidrocarbonetos. Maputo. (Não publicado).

VASCONCELOS, L., 1988. Composição micropetrográfica do carvão de Moatize. In: *IV Jornadas de Engenharias e Ciências de Moçambique, Maputo, 1988*. T. 3. p. 26/1-26/12.

VASCONCELOS, L., 1989. Relatório da deslocação a Moatize/Tete de 6 a 18 de Dezembro de 1989. 4 pp. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo. (Não publicado).

VASCONCELOS, L., S.d.a. Fenómenos de fluorescência dos carvões betuminosos da Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete, República de Moçambique. (Em preparação).

VASCONCELOS, L., S.d.b. The Petrographic Composition of World Coals - Statistical Results Obtained from a Literature Survey with Reference to Coal Type (Maceral Composition). (Em preparação).

VASCONCELOS, L. & SANTOS, N., 1988. Caracterização micropetrográfica dos carvões de Moatize, Camada Chipanga, Mina Chipanga IV, Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete, República Popular de Moçambique. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo. (Relatório final do Projecto 24 SAREC 10/85).

VASCONCELOS, L. & SANTOS, N., 1989. Development in research of Moatize coals. In: J. YUGAN & L. CHUN (Eds), *C.R. Congr. Internat. Stratigr. Géol. Carbonif., 11e, Beijing 1987*. Vol. 5. p. 71-86. Nanjing University Press. Nanjing.

VASCONCELOS, P., 1948. Ocorrências minerais na Zambézia Ocidental. In: T.C.F. HALL & P. VASCONCELOS, *A Geologia de Moçambique. A Geologia e os recursos minerais das províncias da Zambézia e do Niassa. Ocorrências minerais na Zambézia Ocidental. Relatórios 1943/44*. p. 55-108. Agência Geral das Colónias. Lisboa.

VOLAND, B., 1981. Geologie und Lagerstätten Moçambiques - ein Überblick. *Z. angew. Geol.*, Berlin, 27, 6: 253-262.

WALTON, J., 1956. Rhexoxylon and Dadoxylon from the Lower Shire region of Nyasaland and Portuguese East Africa. Compared with previously described genera from Africa and other parts of the world. *Colon. Geol. Miner. Resourc.*, London, 6, 2: 159-168.

ZEILLER, R., 1883. Note sur la flore du Bassin houiller de Tete. *Ann. Min.*, Paris, 8e Sér., 4: 594-598.

ZIMMERMAN, R.E., 1979. Evaluating and testing the coking properties of coal. 144 pp. Miller Freeman Publications, Inc. San Francisco (Cal.).

Zwischenbericht zur Sektion 2A. GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG (GFE). 1981. (Não publicado).