FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MESTRADO EM GEOLOGIA PARA O ENSINO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

A ABORDAGEM AOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NOS MANUAIS ESCOLARES DE 11.º ANO DE ESCOLARIDADE

PORTO

SANDRA CRISTINA LOUREIRO BOGALHO

MAIO DE 2005

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MESTRADO EM GEOLOGIA PARA O ENSINO

A ABORDAGEM AOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NOS MANUAIS ESCOLARES DE 11.º ANO DE ESCOLARIDADE

Reg. 2021
Cota 620.91
BOGS1A

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE DO PORTO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENSINO DA GEOLOGIA

ORIENTADORA: PROF. MANUELA MARQUES

PORTO

SANDRA CRISTINA LOUREIRO BOGALHO

MAIO DE 2005

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DO PORTO
BIBLIOTECA

22/11/06

Teses de mestrado

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial à Prof. Manuela Marques pela orientação que prestou durante a elaboração da presente dissertação. Por todo o apoio, pela disponibilidade constante e sempre presente, por todo o interesse, pelas suas sugestões e comentários, pela confiança transmitida, bem como pelos materiais disponibilizados e pela leitura cuidadosa e crítica de todo o texto produzido, o meu muito obrigado.

À Prof. Deolinda Flores e ao Prof. Luís Marques quero agradecer terem validado a grelha de análise dos manuais escolares.

Aos professores entrevistados agradeço toda a disponibilidade demonstrada.

À Marta Heleno pelo auxílio fundamental na tradução do resumo, o meu obrigado.

Ao longo de todo o tempo que me envolvi na realização deste trabalho de dissertação, muitas foram as vezes em que as dificuldades, o desânimo, o desalento e a inércia perante o trabalho a desenvolver tomaram conta do dia-a-dia. Nestes momentos, houve pessoas que fizeram a diferença, permitindo-me ultrapassá-los com a força e a energia necessárias para nunca desistir, continuar em frente e concluir o trabalho iniciado. A todas elas que sempre me apoiaram com as suas atitudes, com os seus gestos, as suas palavras e com os seus sorrisos, aquele agradecimento muito especial.

Em particular, à minha família por tudo e, principalmente, por toda a dedicação e compreensão agradeço o apoio insubstituível e espero agora conseguir compensar todos aqueles momentos em que estive ausente quer fisicamente quer emocionalmente.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, directa ou indirectamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Nas modernas economias industrializadas, a produção e o uso energético são fundamentais, suportando todas as actividades económicas e influenciando todas as actividades que caracterizam o dia-a-dia. Como consequência do crescimento mundial da população e do estabelecimento de padrões de vida cada vez mais exigentes ao nível das condições de conforto e qualidade de vida, as necessidades energéticas mundiais estão em constante crescimento.

A dinâmica das economias mundiais é suportada principalmente pela energia produzida a partir da utilização dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural). A produção e o uso da energia a partir destes combustíveis são os principais responsáveis pela emissão de gases com efeito estufa, pela poluição do ar e das águas, pela produção de resíduos e pela degradação dos ecossistemas naturais.

Neste contexto, e atendendo ao facto de os novos programas do Ensino Secundário considerarem fundamental que os processos geológicos sejam compreendidos numa perspectiva que permita estabelecer relações entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente, considerou-se importante analisar o modo como a temática "Os Combustíveis Fósseis" é apresentada nos manuais escolares, uma vez que estes são o principal instrumento utilizado pelos professores na preparação das suas aulas e pelos alunos para a consolidação das suas aprendizagens.

Todo o trabalho prático realizado foi antecedido por um longo período de recolha e organização de informações que permitiram a construção de um enquadramento teórico, de cariz monográfico, sobre a génese, a composição, a classificação e a utilização dos combustíveis fósseis, o qual é parte integrante desta dissertação.

Assim, após esta extensa pesquisa bibliográfica sobre a temática, foi construída uma grelha que permitiu realizar a análise de conteúdo dos manuais escolares de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano (utilizados até ao ano lectivo 2003/2004) e de Biologia e Geologia – 11.º ano (elaborados tendo por base os novos programas do Ensino Secundário e adoptados para o ano lectivo 2004/2005) existentes no mercado livreiro português.

Os resultados obtidos pela análise dos manuais escolares permitem verificar que existem diferenças, quer quanto à qualidade, quer quanto à quantidade de informação

apresentada, e que os manuais produzidos no âmbito do novo programa não desenvolvem os aspectos relacionados com a génese dos combustíveis fósseis mas enfatizam um pouco mais as consequências ambientais resultantes da sua utilização. Considera-se, contudo, que o conhecimento da génese e classificação dos combustíveis fósseis é fundamental para a compreensão dos seus processos de utilização e das consequências inerentes a essa mesma utilização. Foi possível verificar que os manuais analisados possuem algumas incorrecções ao nível dos conteúdos científicos que apresentam sobre esta temática.

Com esta análise também foi possível constatar que a temática "Os Combustíveis Fósseis" surge sem qualquer problematização, quando poderia constituir uma excelente situação-problema para abordar muitos conteúdos geológicos.

Um outro elemento determinante para a construção do conhecimento dos alunos são as estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores na leccionação de uma dada temática. Assim, considerou-se fundamental entrevistar professores orientadores de estágio pedagógico no sentido de obter alguns elementos sobre o modo como trabalham esta temática nas suas aulas, sobre a análise que fazem dos manuais que utilizam e sobre a formação inicial e contínua que lhes foi facultada neste âmbito.

Pela análise das entrevistas, verifica-se que estes professores não tiveram formação inicial ou contínua especificamente sobre esta temática, alguns sentem necessidade de formação nesta e noutras áreas da Geologia. Uma vez que a formação contínua não se encontra disponível, os professores procuram fazer a sua auto-formação. Os professores entrevistados reconhecem que os manuais expõem os assuntos relativos a esta temática de forma pouco clara e apresentando algumas incorrecções e consideram que a temática deverá ser apresentada partindo de dados relacionados com a importância dos combustíveis fósseis no funcionamento das actuais sociedades para aspectos mais específicos, relacionados com a génese e classificação dos mesmos.

Espera-se que este trabalho constitua uma importante fonte de informação teórica sobre combustíveis fósseis, para todos aqueles que sentirem a necessidade de aprofundar os seus conhecimentos sobre este assunto, e que contribua para esclarecer o modo como esta temática é apresentada nos manuais escolares analisados.

ABSTRACT

In the modern and industrialized economies, the production and use of energy are fundamental issues, as they support all economic activities and influence our day-to-day life. As a consequence of the worldwide population growth and the establishment of increasingly demanding patterns as regards comfort and quality of life, the world's energy requirements are constantly growing.

The dynamics of world economics is supported mainly by the energy produced from fossil fuels (coal, oil and natural gas). The production and use of energy from these fuels are mainly responsible for the emission of greenhouse gases, for the pollution of air and water, for the production of residues and for the degradation of natural ecosystems.

In this context, and taking into account that the new official guidelines for Secondary Education say that it is fundamental to understand geological processes in a perspective that establishes relationships between Science, Technology, Society and Environment, we felt that it was important to analyze the way in which the "Fossil Fuels" theme is presented in schoolbooks, since these are the main instrument used by teachers for preparing their classes and by students to consolidate their learning processes.

All the practical work was preceded by a long period of gathering and organization of information for the creation of a theoretical framework, in a monographic analysis, regarding the origin, composition, classification and use of fossil fuels. This framework is now included in this dissertation.

Thus, after extensive bibliographic research on this theme, we built a table that allowed us to analyze the contents of schoolbooks in the subjects of Ciências da Terra e da Vida (Earth and Life Sciences) – 11th grade (used until the 2003/2004 school year) and Biology and Geology – 11th grade (these books were based on the new Secondary Education guidelines and were adopted for the 2004/2005 school year) available in the Portuguese book market.

The results obtained from the analysis of the school books allowed us to verify that there are differences both in terms of quality and quantity of the information presented and that the schoolbooks that were written according to the new guidelines do not develop aspects related to the origin of the fossil fuels, but further emphasize the environmental

consequences arising from their use. We believe, however, that the knowledge of the origin and classification of fossil fuels is fundamental for the understanding of their application and the consequences inherent to that same application. We found out that these schoolbooks have some incorrect data as regards the scientific contents that they present on this theme.

With this analysis, it was also possible to find that the "Fossil Fuels" theme is not discussed in depth, despite this being an excellent opportunity to approach and discuss many geological contents.

Another decisive element for the acquisition of knowledge by the students has to do with the strategies and information used by teachers when teaching a given subject. Therefore, we considered it was essential to interview teachers who were orienting other teachers in their probations period in order to obtain some elements on how they work this theme in classes, on what their views are as regards the schoolbooks and on the initial and continuous training they had as regards this theme.

The analyses of these interviews allowed us to realize that these teachers did not have initial or continuous formation specifically on this theme, and some of them feel the need to get training in this and other areas of Geology. Since continuous formation is not available, the teachers try to learn by themselves. The teachers we interviewed acknowledge that the topics related to this theme are not very clear and sometimes even imprecise in the schoolbooks, and they also believe that this theme should be presented starting with data related to the importance of fossil fuels in nowadays societies, and ending with more specific aspects related to their origin and classification.

We hope this work will constitute an important source of theoretical information on fossil fuels for all those who feel the need to deepen their knowledge on this matter and to enlighten the way this theme is presented in the schoolbooks we analysed.

RESUME

Dans les économies industrialisées modernes, la production et l'usage énergétiques sont fondamentaux, étant le support de toutes les activités économiques et influençant toutes les activités quotidiennes. En conséquence de l'augmentation de la population mondiale et de l'établissement de normes de vie de plus en plus exigeantes, au niveau des conditions de confort et de la nommée "qualité de vie", les nécessités énergétiques mondiales ne cessent de croître.

La dynamique des économies mondiales est essentiellement supportée par l'énergie produite à partir de l'utilisation des combustibles fossiles (le charbon, le pétrole et le gaz naturel). La production et l'utilisation de l'énergie à partir de ces combustibles provoque l'émission des gaz, aggravant l'effet de serre, et contribue fortement à la pollution de l'air et des eaux, à la production de déchets et à la dégradation des écosystèmes naturels.

Dans ce contexte, et étant donné que les nouveaux programmes de l'Enseignement Secondaire considèrent comme fondamental de présenter les processus géologiques en relation avec la Science, la Technologie, la Société et l'Environnement, on a considéré important d'analyser comment le thème "Les Combustibles Fossiles" est présenté dans les manuels scolaires, le principal instrument, soit des professeurs, pour préparer leur cours, soit des apprenants, pour consolider leurs apprentissages.

Le travail pratique présenté suit à une longue période de collecte et d'organisation d'informations, permettant de construire un encadrement théorique, de teneur monographique, sur la genèse, la composition, le classement et l'utilisation des combustibles fossiles, qu'on présente dans cette dissertation.

C'est, donc, à partir de cette ample recherche bibliographique sur le thème en question qu'a été développée une grille, permettant d'analyser le contenu des manuels scolaires de "Sciences de la Terre et de la Vie" - 11ème année (en vigueur jusqu'à l'année scolaire 2003/2004) et de "Biologie et Géologie" - 11ème année (élaborés d'après les nouveaux programmes de l'Enseignement Secondaire et choisis pour l'année 2004/2005) existants dans le marché libraire portugais.

Les résultats obtenus par l'analyse des manuels scolaires permettent de vérifier qu'il y a des différences tant au niveau de la qualité comme de la quantité d'information présentée

et que les manuels actuellement en vigueur soulignent davantage les conséquences environnementales de l'utilisation des combustibles fossiles que les aspects liés à leur genèse. Néanmoins, on considère que la connaissance de la genèse et du classement des combustibles fossiles est fondamentale pour comprendre leur utilisation et les conséquences de cette même utilisation. On a pu constater que les manuels analysés présentent, sur ce thème, sont parfois imprécis au niveau scientifique.

Cette analyse a aussi permis de constater que le thème des combustibles fossiles n'est aucunement problématisé, même s'il pouvait constituer une excellente situation-problème pour introduire beaucoup de contenus géologiques.

Également essentielles pour la construction des connaissances des apprenants sont les stratégies et les connaissances mobilisées par les enseignants sur le thème en question. Ainsi, on a considéré fondamental d'interviewer des enseignants orienteurs de stage pédagogique, pour obtenir quelques donnés sur la manière dont ils proposent ce thème en cours, sur l'analyse qu'ils font des manuels qu'ils utilisent et sur la formation initiale et continue à laquelle ils ont pu/peuvent accéder.

De l'analyse des interviewes, on constate que ces enseignants n'ont pratiquement pas eu de formation initiale ou continue spécifique sur ce thème, comme sur bien d'autres liés à la Géologie. Étant donné que la formation continue n'est pas disponible, les enseignants essayent de s'autoformer. Ils admettent que, concernant le thème des combustibles fossiles, les manuels ne sont pas toujours clairs et présentent même des incorrections; ils considèrent aussi que le thème devrait être présenté à partir d'une réflexion initiale sur l'importance des combustibles fossiles dans les sociétés modernes, pour se fixer, après, sur des aspects plus spécifiques, concernant leur genèse et leur classement.

Bref, on s'attend à ce que ce travail constitue, d'une part, une importante source d'information théorique sur les combustibles fossiles, pour tous ceux qui ont besoin d'approfondir leurs connaissances sur ce thème; et, d'autre part, qu'il rende plus claire la manière dont le thème est présenté dans les manuels scolaires analysés.

ÍNDICE GERAL

	Página
AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	IV
RESUME	VI
ÍNDICE GERAL DE ASSUNTOS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABELAS	XV

INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO DIDÁCTICA

1. A importância do manual escolar em Portugal 4
2. O papel do professor na selecção do manual escolar 8
3. O papel do manual escolar no desenvolvimento das estratégias de ensino-aprendizagem 11

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

1. CARVÃO 16
   - 1.1. O carvão como rocha sedimentar 16
   - 1.2. Origem da matéria orgânica dos carvões 16
   - 1.3. Preservação da matéria orgânica como turfa 17
     - 1.3.1. Factores condicionantes da acumulação de turfas 18
       - 1.3.1.1. Condicionalismos tectónicos, paleogeográficos e climáticos 18
       - 1.3.1.2. Condicionalismos deposicionais 22
     - 1.3.2. Transformações que ocorrem durante a turbificação 31
   - 1.4. Carvões sapropélicos 34
   - 1.5. Composição do carvão 35
     - 1.5.1. Componentes microscópicos do carvão – macerais 35

1.5.1.1. Grupo da huminite/vitrinite 41
1.5.1.2. Grupo da liptinite (exinite) 44
1.5.1.3. Grupo da inertinite 46
1.5.2. Matéria Mineral do carvão 48
1.6. Incarbonização 53
1.6.1. Causas geológicas da incarbonização 56
1.6.2. Modificações químicas e físicas durante a incarbonização 57
1.6.3. Modificações petrográficas durante a incarbonização 59
1.6.4. Parâmetros de grau 63
1.6.5. Alteração térmica, um caso particular de incarbonização 64
1.7. Classificação do carvão 65

2. PETRÓLEO 70
2.1. Matéria orgânica dispersa nos sedimentos (MOD) 70
2.1.1. Produtividade primária em ambiente aquático e terrestre 70
2.1.2. Preservação da matéria orgânica nos sedimentos 73
2.1.3. Composição e classificação do cerogénio 74
2.2. Génese do petróleo 78
2.2.1. Diagénese 78
2.2.1.1. Degradação bioquímica 81
2.2.1.2. Policondensação e insolubilização 82
2.2.2. Catagénese 84
2.2.3. Metagénese 85
2.3. Génese do gás natural 87
2.4. Migração e acumulação do petróleo e do gás 88
2.4.1. Migração primária 90
2.4.2. Migração secundária 94
2.4.3. Acumulação do petróleo e do gás 97
2.4.4. Rochas reservatório e armadilhas 98
2.5. Composição do petróleo bruto 101
2.6. Classificação do petróleo bruto 103
2.7. Alteração do petróleo bruto 106
2.8. Prospecção do petróleo 110

2.8.1. Identificação e caracterização da rocha-mãe 112
2.8.1.1. Determinação do tipo e da quantidade de matéria orgânica 112
2.8.1.2. Determinação da maturidade da rocha-mãe 113
2.8.2. Correlação entre a rocha-mãe e o petróleo 115
2.8.3. Identificação e caracterização das rotas preferenciais para a migração do petróleo 116
2.8.4. Identificação e caracterização de armadilhas 117
2.9. Comparação entre a formação do carvão e a formação do petróleo 119

3. UTILIZAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS 121
3.1. Importância da energia na actualidade 121
3.2. Necessidades energéticas 122
3.3. Fornecimento energético 124
3.4. Efeitos ambientais da produção e uso da energia 129
3.5. Controlo e mitigação das emissões de NOx, SOx e CO_2 134

CAPÍTULO III – METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

1. DESCRIÇÃO DA INVESTIGAÇÃO 140
2. TÉCNICA DE INVESTIGAÇÃO 143
3. INSTRUMENTOS DE INVESTIGAÇÃO 146
3.1. Grelha de análise dos manuais escolares 146
3.2. Guião de entrevista 150

CAPÍTULO IV- ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

1. ANÁLISE DE CONTEÚDO DOS MANUAIS ESCOLARES 153
1.1. Análise de conteúdo do manual 1 154
1.2. Análise de conteúdo do manual 2 161
1.3. Análise de conteúdo do manual 3 168
1.4. Conclusões da análise de conteúdo dos manuais escolares 174

2. ANÁLISE DE CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS 177
2.1. Grelha de análise de conteúdo das entrevistas 178

2.2. Conclusões da análise de conteúdo das entrevistas 181

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES 182

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 185

ANEXOS

Anexo 1- Transcrição das entrevistas 195

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

INTRODUÇÃO

Figura 1- A abordagem do manual escolar e as estratégias e conhecimentos mobilizados pelo professor como determinantes para a construção do conhecimento do aluno 2

CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO DIDÁCTICA

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

1. CARVÃO

Figura II.1.1- Tipos de pântanos (A- Pântano aberto com plantas aquáticas B- Pântano de floresta) 20

Figura II.1.2- Pântano ombrotrófico 26

Figura II.1.3- Pântano reotrófico 26

Figura II.1.4- Influência da precipitação e do nível freático no estabelecimento de ecossistemas palustres 27

Figura II.1.5- Vitrinite (V), Inertinite (I) e Liptinite (L) num carvão betuminoso com $R_{vitrinite}$=0,85% 38

Figura II.1.6- Vitrinite (V), Inertinite (I) e Liptinite (L) num carvão betuminoso com $R_{vitrinite}$=1,25% 39

Figura II.1.7- Vitrinite (V) em antracite com $R_{vitrinite}$=2,50% 39

Figura II.1.8- Vitrinite (Telinite - T) com os lúmens celulares preenchidos por liptinite (Resinas – R) num carvão com $R_{vitrinite}$=0,50% .. 43

Figura II.1.9- Liptinite (Cutinite – C) num carvão com $R_{vitrinite}$=0,63% 45

Figura II.1.10- Liptinite (Esporinite – E) num carvão com $R_{vitrinite}$=0,70% 45

Figura II.1.11- Liptinite (Alginite – *Botrycoccus* - B) vista em fluorescência (luz azul) num carvão com $R_{vitrinite}$=0,78% 45

Figura II.1.12- Esporo (liptinite) visto em fluorescência (luz azul) num carvão betuminoso[3] com $R_{vitrinite}$=0,90% 46

Figura II.1.13- Esporo (liptinite) numa antracite[3] com $R_{vitrinite=liptinite}$=3,00% .. 46

Figura II.1.14- Fusinite (inertinite) num carvão com $R_{vitrinite=liptinite}$=2,80%. ... 47

Figura II.1.15- Semifusinite (inertinite) mostra os lúmens celulares preenchidos por carbonatos num carvão com $R_{vitrinite=liptinite}$=2,80%. 47
Figura II.1.16- Argilas interestratificadas (A) com matéria orgânica (MO) ... 51
Figura II.1.17- Carbonatos, provavelmente siderite (C) a crescer sobre matéria orgânica (MO) 51
Figura II.1.18- Pirite (P) sobre matéria orgânica (MO) 52
Figura II.1.19- Classificação Internacional dos Carvões em Camada da CEE-NU 69

2. PETRÓLEO

Figura II.2.1- Composição da matéria orgânica disseminada nas rochas sedimentares 75
Figura II.2.2- Diagrama de van Krevelen 77
Figura II.2.3- Destino da matéria orgânica durante a sedimentação e a diagénese, resultando em duas principais fracções orgânicas: cerogénio e fósseis geoquímicos 80
Figura II.2.4- Esquema geral da formação dos hidrocarbonetos em função da profundidade de afundimento 85
Figura II.2.5- Fontes de hidrocarbonetos e sua relação com a evolução da matéria orgânica. Os fósseis geoquímicos representam a primeira fonte de hidrocarbonetos 86
Figura II.2.6- Esquema geral dos principais processos de alteração do petróleo bruto 109
Figura II.2.7- Principais procedimentos que conduzem à determinação das zonas mais favoráveis para a acumulação do petróleo numa bacia 118

3. UTILIZAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Figura II.3.1- Necessidades mundiais de energia primária 122
Figura II.3.2- Necessidades mundiais de energia primária no período de 1970 a 2030 123
Figura II.3.3- Contribuição das diferentes fontes de energia para a produção

de electricidade em 2002 125
Figura II.3.4- Importações de combustíveis fósseis em Portugal no ano de 2002 128
Figura II.3.5- Impactes da exploração do carvão nas paisagens naturais 131
Figura II.3.6- Acidentes em gasodutos e oleodutos e a produção de grandes quantidades de desperdícios associados à produção e uso dos combustíveis fósseis 131
Figura II.3.7- Emissões de dióxido de carbono associadas à produção e uso da energia no período de 1970 a 2030 132
Figura II.3.8- Esquema representativo do processo de utilização do dióxido de carbono na produção adicional de metano 138

CAPÍTULO III – METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

1. DESCRIÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

2. TÉCNICA DE INVESTIGAÇÃO

Figura III.2.1- Síntese integradora das principais etapas da técnica de análise de conteúdo 144

3. INSTRUMENTOS DE INVESTIGAÇÃO

CAPÍTULO IV – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES

ÍNDICE DE TABELAS

Página

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO DIDÁCTICA

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

1. CARVÃO

Tabela II.1.1- Transformações do material orgânico em relação com a disponibilidade de oxigénio 30

Tabela II.1.2- Distinção entre turfa e lignite 33

Tabela II.1.3- Classificação dos macerais de acordo com o Sistema Internacional de Stopes-Heerlen (SH), com indicação da morfologia e aspectos característicos 40

Tabela II.1.4- Minerais identificados no carvão 50

Tabela II.1.5 – Comparação entre os dois grandes grupos de classificação dos carvões 66

2. PETRÓLEO

Tabela II.2.1- Relação entre maturidade e reflectância da vitrinite 114

3. UTILIZAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Tabela II.3.1- Formações geológicas com capacidade para o armazenamento do dióxido de carbono 137

CAPÍTULO III – METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

1. DESCRIÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

2. TÉCNICA DE INVESTIGAÇÃO

3. INSTRUMENTOS DE INVESTIGAÇÃO

Tabela III.3.1- Grelha de análise dos manuais escolares, com indicação das

dimensões, categorias e sub-categorias de análise 148
Tabela III.3.2- Guião de entrevista 151
Tabela III.3.3- Caracterização dos entrevistados 152

CAPÍTULO IV – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Tabela IV.1.1- Grelha de análise do manual escolar 1..... 154
Tabela IV.1.2- Síntese dos resultados relativos à análise do manual escolar 1. 157
Tabela IV.1.3- Grelha de análise do manual escolar 2 161
Tabela IV.1.4- Síntese dos resultados relativos à análise do manual escolar 2. 164
Tabela IV.1.5- Grelha de análise do manual escolar 3..... 168
Tabela IV.1.6- Síntese dos resultados relativos à análise do manual escolar 3. 171
Tabela IV.2.1- Grelha de análise das entrevistas 178

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES

INTRODUÇÃO

Os novos programas do Ensino Secundário enfatizam a necessidade do ensino da Geologia desenvolver nos alunos capacidades de compreensão dos processos geológicos, nomeadamente daqueles que pela sua importância permitem estabelecer interacções Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) e de desenvolver atitudes de valorização do património geológico e dos recursos geológicos.

A temática **"Os Combustíveis Fósseis"** pelo papel determinante que estes desempenham no funcionamento e desenvolvimento das actuais sociedades é um tema que permite o desenvolvimento de estratégias que visem os objectivos anteriormente referidos. Contudo, verifica-se que a nível programático esta temática surge incluída no estudo das rochas sedimentares não sendo devidamente aprofundados conteúdos relacionados com a utilização, génese e classificação dos combustíveis fósseis.

O trabalho de Hower (2003) e a criação do *site* http://www.coaleducation.org (URL1) reflectem uma preocupação crescente da comunidade científica em facultar aos cidadãos e, particularmente, aos estudantes, conhecimento que lhes permita uma compreensão global da génese e utilização dos combustíveis fósseis, pois só desse modo será possível promover a sensibilização para o uso racional dos recursos energéticos.

O conhecimento do processo que conduz à génese dos combustíveis fósseis é fundamental para que a sociedade perceba que o fluxo de combustíveis fósseis é limitado não só na origem (reservas) mas também na capacidade que a atmosfera, hidrosfera e litosfera têm para armazenar os produtos da sua combustão.

O conhecimento da génese e classificação dos combustíveis fósseis é fundamental para a compreensão dos seus processos de utilização e das consequências inerentes a essa utilização. Neste sentido, Hower (2003: 6) refere:

"Without a balanced energy education in the school years, we cannot hope to produce adults capable of making intelligent energy choises, much less separating facts from opinion in the news media."

A formação de jovens com capacidade de leitura crítica constitui uma dimensão da educação geral que atravessa as várias disciplinas. O manual escolar deve assim, segundo

Castro (2000: 15), funcionar como *"... interface entre a vida quotidiana e o conhecimento científico e promover uma educação social e cultural..."*

Atendendo à importância do papel que o manual desempenha em contexto escolar, à escassez de dados relativos ao modo como diferentes conteúdos da área das Geociências são incluídos nos manuais escolares e à importância que os combustíveis fósseis desempenham na actual sociedade, é pertinente desenvolver um trabalho baseado essencialmente na análise de conteúdo de manuais escolares desta área do conhecimento.

O estudo a desenvolver incidirá sobre dois elementos fulcrais para a construção do conhecimento do aluno (figura 1): a abordagem do manual escolar e as estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores na leccionação da temática "Os Combustíveis Fósseis".



Figura 1- A abordagem do manual escolar e as estratégias e conhecimentos mobilizados pelo professor como determinantes para a construção do conhecimento do aluno.

O desenvolvimento da dissertação envolveu duas etapas claramente distintas. Numa primeira fase foi realizada uma fundamentação teórica de carácter científico sobre a temática escolhida e uma fundamentação didáctica sobre a importância do manual escolar no ensino das Ciências. Numa segunda fase mobilizou-se o conhecimento aí adquirido para a construção de instrumentos de investigação que permitissem atingir os objectivos definidos.

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos distintos. O Capítulo I – Fundamentação Didáctica, constitui uma revisão da literatura existente sobre o papel que os manuais escolares desempenham na organização do processo de ensino-aprendizagem. No Capítulo II – Fundamentação Científica, procura-se organizar de forma clara os conteúdos relativos à génese, composição, classificação e utilização dos combustíveis fósseis. Trata-se, portanto, de um suporte teórico que permitiu realizar a análise do conteúdo científico expresso nos manuais escolares. No Capítulo III – Metodologia da Investigação, apresenta-se os dois principais objectivos que orientaram a realização desta dissertação e faz-se referência aos principais aspectos ligados à metodologia utilizada para os conseguir atingir. Assim, apresenta-se todo o processo que envolveu a construção, validação e aplicação dos instrumentos de investigação (grelha de análise dos manuais escolares e guião de entrevista), explicita-se os critérios de selecção dos manuais a analisar e de escolha dos professores entrevistados e tecem-se algumas considerações relativas ao modo como os dados foram recolhidos, tratados e analisados. No Capítulo IV – Análise e Interpretação dos Dados, apresenta-se e analisa-se os dados obtidos em resultado da aplicação dos instrumentos de investigação. No último capítulo da dissertação, Capítulo V – Conclusões, Limitações e Sugestões para Futuras Investigações, apresenta-se as conclusões gerais do trabalho, algumas limitações do estudo realizado e sugestões para posteriores investigações.

CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO DIDÁCTICA

1. A IMPORTÂNCIA DO MANUAL ESCOLAR EM PORTUGAL

Desde a instituição do sistema escolar, o manual escolar tem sido o centro de todo o ensino uniformizado (Santos, 1998; Nunes, 2001), constituindo-se, muitas vezes erradamente, como o definidor do currículo.

A emergência, ao longo do século XX, do manual escolar como o recurso didáctico mais utilizado prende-se principalmente com questões políticas, sendo que actualmente, compete a cada escola efectuar, obrigatoriamente, a selecção de um manual escolar para cada disciplina e nível de ensino.

É impossível ao cidadão comum conceber a escola e o processo de ensino – aprendizagem que nela tem lugar sem manuais escolares. É neste sentido, que ironicamente ou não, Marques (1999: 317) afirma:

"Com o professor e o aluno, ele completa o triângulo funcional que faz funcionar o sistema."

De acordo com Gérard & Roegiers (1998: 19) um manual escolar pode ser definido como:

"...um instrumento impresso, intencionalmente estruturado para se inscrever num processo de aprendizagem, com o fim de lhe melhorar a eficácia."

A legislação portuguesa reserva para o manual escolar um papel de destaque entre os recursos didácticos a utilizar no processo de ensino – aprendizagem, uma vez que de acordo com o disposto no artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 369/90 de 26 de Novembro, o manual deve ser entendido como:

"... o instrumento de trabalho, impresso, estruturado e dirigido ao aluno, que visa contribuir para o desenvolvimento de capacidades, para a mudança de atitudes e para a ***aquisição*** *dos conhecimentos propostos nos programas em vigor, apresentando a informação básica correspondente às rubricas programáticas, podendo ainda conter elementos para o desenvolvimento de actividades de aplicação e avaliação da aprendizagem efectuada."*

Na Sociedade Industrial que antecedeu a actual Sociedade de Informação, o veículo essencial de transmissão do saber era o livro, nomeadamente o manual escolar. Assim, nessa sociedade o texto escrito e o suporte gráfico de natureza estática são os principais veículos de difusão de um saber que é encarado como um corpo de conhecimentos que deve ser adquirido por quem aprende. De acordo com Gérard & Roegiers (1998), tradicionalmente, o manual escolar servia principalmente para transmitir conhecimentos e constituir um reservatório de exercícios e, também, tinha uma função implícita na divulgação dos valores sociais e culturais.

Na actual Sociedade de Informação, diversificam-se os suportes do saber, que passam a incluir o computador e o acesso a redes de comunicação de cunho interactivo. O saber começa a ter, cada vez mais, um outro significado, passando a centrar-se no saber procurar, saber interpretar e saber integrar diversas fontes de dados com vista ao desenvolvimento de competências. É neste contexto que Cachapuz & Praia (1996) citados por Santos (1998: 200) afirmam que:

"...os manuais estão para ficar mas não com o estatuto e papéis que lhes têm sido tradicionais."

O objectivo fundamental da escola, enquanto agente educativo, deve ser ensinar os alunos a pensar criativamente, preparando-os para a vida activa e desenvolvendo neles a capacidade para uma intervenção construtiva na sociedade. De acordo com Delors (1996), num relatório da Comissão Internacional sobre a Educação para o Século XXI, a educação deve organizar-se à volta de quatro aprendizagens fundamentais que, ao longo de toda a vida, serão dalgum modo para cada indivíduo, os pilares do conhecimento: *aprender a conhecer*, isto é, adquirir os instrumentos de compreensão; *aprender a fazer*, para poder agir sobre o meio envolvente; *aprender a viver juntos*, a fim de participar e cooperar com os outros em todas as actividades humanas; *aprender a ser*, via essencial que integra as precedentes.

Assim, actualmente, os manuais escolares devem dar resposta a novas necessidades e assumir diferentes funções que variam de acordo com as disciplinas, os utilizadores e os contextos de utilização. Segundo Gérard & Roegiers (1998), o manual escolar deve constituir um suporte de informação, permitir o desenvolvimento de capacidades e de competências, permitir a consolidação e avaliação dos conhecimentos, apelar à pesquisa de informação em diferentes fontes e ao seu tratamento e constituir um veículo para a

educação social e cultural dos jovens. Os actuais manuais escolares devem ir de encontro à diversidade de alunos, mobilizar uma grande diversidade de recursos didácticos, promover o trabalho dos alunos, integrar diversas experiências educativas, permitir a realização de diferentes tipos de avaliação e promover o direito de autoria dos próprios professores (Alves, 2002). O manual escolar deve assim, segundo Castro (2000: 15), funcionar como *"... interface entre a vida quotidiana e o conhecimento científico e promover uma educação social e cultural..."*

Com bastante facilidade se encontra na literatura posições extremistas face ao papel que o manual desempenha ou deve desempenhar na educação. Por um lado, parte da comunidade educativa faz recair sobre ele grande parte dos problemas que afectam quer o ensino das Ciências quer a promoção de determinados valores e atitudes. Por outro lado, muitos professores e outros elementos da comunidade educativa consideram que tudo quanto é apresentado no manual escolar é adequado e correcto quer do ponto de vista didáctico, quer científico.

O manual deve ser considerado como um dos muitos recursos existentes, cabendo ao professor o papel de modificar, corrigir e contextualizar as suas propostas (Jiménez, 1997). O seu uso deve ser complementado com o uso de outros recursos.

Dados divulgados pela Associação Portuguesa de Editores Livreiros (APEL) revelam que os manuais escolares são os livros com maiores tiragens a nível nacional e que, contrariamente ao que tem acontecido com outro tipo de livros, o número de tiragens tem vindo a aumentar. Esses dados revelam ainda que os manuais escolares são do tipo de publicações com mais títulos editados (Silva, 1999).

Um inquérito realizado por Freitas (1997) sobre os hábitos de leitura dos portugueses revela que os manuais escolares são o tipo de livros possuído em maior quantidade pelas famílias portuguesas, seguidos pelos livros de romance e pelas enciclopédias/dicionários. Dados mais recentes de Março de 2004, obtidos pela QUANTUM – Estudos de mercado através de entrevistas realizadas a um universo de dois mil inquiridos, revelam que os manuais escolares juntamente com os livros de literatura geral e com as enciclopédias/dicionários são os tipos de livros com maior presença nos lares portugueses (URL2).

Os manuais escolares são o principal tipo de livro a que os alunos têm acesso quer nas suas casas quer nas bibliotecas escolares que, na sua maioria, se pautam pela falta de diversidade de publicações, pelo arcaísmo das existentes e pela ausência de revistas e outras comunicações periódicas que permitam um acesso a conhecimentos actualizados que revelam a complexidade da construção do conhecimento científico.

A falta de investigação e inovação associadas aos manuais escolares contrapõem-se ao papel que eles desempenham no actual panorama educativo português. Contudo, alguns trabalhos têm sido realizados a nível nacional e internacional sobre manuais escolares. Os estudos realizados recorrem a diferentes metodologias e têm diferentes objectivos como, por exemplo, a análise da adequação da estrutura semântica dos textos ao nível etário dos alunos, a forma como os manuais são utilizados por professores e alunos, a análise de representações de aspectos sociológicos, etc.

Os estudos realizados tendo como objecto de estudo os manuais escolares de Ciências podem, segundo Campos (1996), ser incluídos numa das seguintes categorias:

- estudos de análise semântica, que basicamente centram a sua atenção na adequação da estrutura semântica dos textos ao nível etário dos alunos;
- estudos de ordem educacional onde é analisado o modo como os manuais são utilizados por professores e alunos;
- estudos cujo objectivo é a construção de grelhas para a selecção de manuais escolares;
- estudos de índole sociológica, analisando o modo como os manuais representam a influência dos valores éticos e dos problemas sociais na determinação do desenvolvimento científico e tecnológico;
- estudos sobre as imagens de Ciência veiculadas pelo manuais escolares.

Recorrendo às bases de dados ERIC (URL3) e EMMANUEL (URL4) e a publicações editadas no âmbito do projecto EME (URL4), é possível encontrar referências a alguns trabalhos relacionados com a análise de manuais escolares. Contudo, dada relevância internacionalmente reconhecida do papel que os manuais desempenham no contexto escolar, numa pesquisa desenvolvida nalgumas das principais bibliotecas universitárias nacionais não se encontrou qualquer trabalho realizado tendo por base a análise de conteúdos relativos às Ciências da Terra. Este trabalho constitui, portanto, uma nova abordagem à análise de manuais.

2. O PAPEL DO PROFESSOR NA SELECÇÃO DO MANUAL ESCOLAR

A selecção de um manual escolar a adoptar revela-se uma tarefa complexa e controlada por inúmeros factores relacionados quer com questões consumistas e de ordem estética, até questões de índole pedagógica e didáctica. Esta escolha torna-se ainda mais complexa, uma vez que no mercado livreiro português existe uma grande diversidade de manuais escolares e as pressões promocionais das editoras sobre os professores são muito grandes. Assim, por vezes a adopção de um determinado manual escolar é fortemente determinada pelo *marketing* de determinada editora e não propriamente pelas características do próprio manual. É neste sentido que Tormenta (1999: 7) afirma:

"... quer as políticas do Estado, quer as políticas editoriais parecem convergir, cada vez mais, para o professor enquanto primeiro destinatário do manual."

Em muitas situações, aquele manual considerado o mais adequado para desenvolver uma determinada prática pedagógica mostra-se insuficiente e, por vezes, pouco adequado ao trabalho que se pretende desenvolver. Daí que com frequência alguns professores não utilizem o manual adoptado na escola onde leccionam e com frequência recorram à elaboração de sínteses, fichas de trabalho e de outros materiais auxiliares que lhes permitam desenvolver o seu trabalho.

A selecção de um determinado manual escolar é realizada muitas vezes sem que os professores tenham tido tempo para realizar uma análise profunda dos diferentes manuais existentes para uma dada disciplina. É efectuada no final de um ano lectivo, quando os professores se encontram assoberbados de outras tarefas e, muitas vezes, a selecção é realizada por professores que não são os que irão utilizar os manuais escolares.

Entre outros objectivos o Decreto-Lei n.º 369/90 de 26 de Novembro visa assegurar a qualidade científica e pedagógica dos manuais escolares a adoptar para cada nível de ensino e disciplina através de um sistema de apreciação e controlo que se baseia essencialmente na definição anual de critérios muito genéricos para a selecção dos manuais escolares. Esta preocupação do Ministério da Educação corresponde ao reconhecimento do papel que o manual escolar tem no actual sistema educativo português.

Dependendo da formação e das concepções que os professores têm sobre o próprio processo de ensino-aprendizagem e da natureza do conhecimento científico, os critérios

estabelecidos pelo ministério podem ser alvo de interpretações muito diversas, não se conhecendo o modo como os professores os utilizam e aplicam. É neste sentido que Duarte (1999: 244) considera que:

"... os professores mais esclarecidos estarão com certeza mais preparados não só para fazerem uma selecção mais criteriosa do manual escolar, mas também para exercerem melhor o papel de mediadores em relação à utilização do manual escolar na sala de aula por forma a facilitarem aos alunos uma aprendizagem mais significativa das ciências."

De acordo com um estudo realizado em 1989 por Cachapuz *et al.*, as características que se revelam mais importantes no momento da adopção de um manual escolar são para os professores inquiridos: a linguagem apropriada ao nível escolar do aluno (92,5%), não conter incorrecções científicas (92%) e estar articulado com os programas da disciplina (81,5%). As mesmas características são valorizadas pelos professores de Matemática inquiridos num estudo realizado por Cabrita (1999), a saber: apresenta os conceitos com um grau e complexidade adequado ao nível cognitivo do aluno (18,3%); revela rigor científico (17,6%); propõe uma grande variedade de tarefas (16,2%); apresenta um aspecto gráfico adequado ao público e ao tema e utiliza uma terminologia adequada ao tema (10,6%), seguindo-se a valorização de características relativas à adequação da metodologia aos objectivos (9,2%).

Actualmente, da grelha de análise dos manuais escolares de 9.º ano e de 11.º ano a adoptar para o ano lectivo 2004/2005 constam os seguintes elementos (URL6):

- Organização e método
  - Apresenta uma organização coerente e funcional estruturada na perspectiva do aluno.
  - Desenvolve uma metodologia facilitadora e enriquecedora das aprendizagens.
  - Estimula a autonomia e a criatividade.
  - Motiva para o saber e estimula o recurso a outras fontes de conhecimento e a outros materiais didácticos.
  - Permite percursos pedagógicos diversificados.

  - Contempla sugestões de experiências de aprendizagem diversificadas, nomeadamente de carácter prático/experimental.
  - Propõe actividades adequadas ao desenvolvimento de projectos interdisciplinares.
- Informação
  - Adequa-se ao desenvolvimento das competências definidas no Currículo do respectivo ano e/ou nível de escolaridade.
  - Responde aos objectivos e conteúdos do Programa /Orientações Curriculares
  - Fornece informação correcta, actualizada, relevante e adequada aos alunos a que se destina.
  - Explicita as aprendizagens essenciais.
  - Promove a educação para a cidadania.
  - Não apresenta discriminações relativas a sexos, etnias, religiões, deficiências...
- Comunicação
  - A concepção e a organização gráfica do manual facilitam a sua utilização e motivam o aluno para a aprendizagem.
  - Os textos são claros, rigorosos e adequados ao nível de ensino e a diversidade de alunos a que se destinam.
  - Os diferentes tipos de ilustrações são correctos, pertinentes e relacionam-se adequadamente com o texto.
- Características materiais
  - Apresenta robustez suficiente para resistir à normal utilização.
  - O formato, as dimensões e o peso do manual (ou de cada um dos seus volumes) são adequados ao nível etário do aluno.
  - Permite a reutilização.

A análise de um manual escolar tendo por base estes critérios contribuirá certamente para a selecção de um manual potenciador de novas aprendizagens. Aqui o professor desempenha um papel fundamental e crucial pois deve privilegiar aqueles materiais didácticos que fomentem um pensar criativo e critico e a construção de aprendizagem

significativas. Isto implica que o professor seja capaz de adaptar, modificar e ampliar as metodologias e técnicas gerais do processo de ensino e as propostas do manual escolar, às circunstâncias concretas da sala de aula, em conformidade com o grau de desenvolvimento dos alunos, a natureza e as condições da aprendizagem e com a sua própria personalidade de professor. É, portanto, imprescindível que o professor conheça claramente as especificidades da área disciplinar que lecciona, isto implica um conhecimento cientificamente, epistemologicamente e historicamente bem fundamentado.

3. O PAPEL DO MANUAL ESCOLAR NO DESENVOLVIMENTO DAS ESTRATÉGIAS DE ENSINO – APRENDIZAGEM

Num processo de ensino – aprendizagem há a considerar um professor que cria condições de aprendizagem e os alunos que se movem no contexto das condições criadas. Para estabelecer essas condições o professor pensa nos objectivos do seu ensino em termos do que vai ensinar e como vai avaliar; pensa, em seguida, nas estratégias de ensino – aprendizagem: como motivar os alunos, como mantê-los interessados, como explicar o assunto, como criar situações de prática, fixação, integração e transferência, como manter um clima conducente à aprendizagem (Tavares & Alarcão, 1992). A tarefa do educador não é dispensar conhecimento, mas oferecer aos estudantes oportunidades e incentivos para o construir. O ensino numa perspectiva construtivista não é entendido como o relato ou transmissão de verdades estabelecidas aos alunos, mas sim como proporcionando-lhes experiências relevantes e oportunidades de diálogo, de modo a que a construção de significados possa emergir. É esta a filosofia que deve estar subjacente quer à actuação do professor quer à elaboração de qualquer material educativo, nomeadamente do manual escolar. Na mesma linha de pensamento, a aprendizagem é um processo social mediante o qual os aprendizes constroem significados que são influenciados pela interacção entre o conhecimento previamente adquirido e as novas experiências da aprendizagem (Arends, 1995).

O professor desempenha um papel fundamental e imprescindível para que se concretize a aprendizagem. O professor ao pôr o programa proposto pelo Ministério da Educação em acção, deve fazê-lo de uma forma atenta, intencional e fundamentada, organizando estratégias e actividades que estimulem a problematização, a formulação e a síntese de ideias. Para isso deve incrementar estratégias de actividades conjuntas com os

alunos, estimulando-os a repensar e a reflectir, passo a passo nos seus próprios caminhos de aprendizagem e fontes de trabalho.

Muitas vezes, os objectivos educativos supracitados não são atingidos uma vez que os professores limitam a sua acção educativa à organização e propostas do manual escolar adoptado.

Como já foi referido, os manuais escolares foram e continuam a ser o material curricular mais utilizado no ensino das Ciências em todos os níveis educativos. Esta situação corresponde de tal modo à realidade que muitas vezes se identifica o conteúdo expresso no manual com o programa oficial (Carmen & Jiménez, 1997). Esta postura pode ser bastante limitadora da prática educativa pois como refere Campos (1996: 36):

"O manual escolar contempla de forma planeada e sistemática, embora com uma interpretação própria, as finalidades, os objectivos gerais, os valores e atitudes preconizados no currículo."

Segundo Jiménez (1997), o papel dos manuais escolares no processo de ensino-aprendizagem é uma das questões à qual a investigação e inovação educativa não têm prestado a devida atenção, apesar da importância que lhes é globalmente reconhecida em contexto escolar. Alguns estudos existentes (Cachapuz *et al.*, 1989; Brigas, 1997; Cabrita, 1999) revelam que o manual escolar é um dos recursos mais utilizados em Portugal pelos professores para a preparação das suas aulas, quer para a selecção e organização dos conteúdos a leccionar, quer como fonte de informação, quer para a selecção de exercícios. Os mesmos estudos revelam que os professores recomendam a utilização do manual pelos alunos essencialmente para a resolução de exercícios sobre a matéria dada e para aprofundamento dos temas leccionados.

Como afirma Cardoso (2002: 31):

"...o manual representa um meio fácil e acessível de colmatar as necessidades mais imediatas do professor no que respeita à sua prática pedagógica."

Esta afirmação permite explicar porque motivo muitos professores exigem que os seus alunos em todas as aulas se façam acompanhar do manual escolar, mesmo que muitas vezes se mantenha fechado em cima das mesas.

Estudos citados por Brigas (1997), revelam que os professores consideram que a Ciência pode ser aprendida baseando-se essencialmente em leituras dos manuais escolares, acompanhadas da elaboração de resumos e da resolução de exercícios no final do capítulo.

Segundo Cardoso (2002), os manuais escolares são muito importantes para os alunos uma vez que constituem, quase sempre, a única fonte de informação escrita considerada pelos mesmos fidedigna e como um ponto de referência quanto à matéria que devem conhecer.

São várias as críticas negativas que diferentes autores e profissionais da educação fazem aos manuais escolares. De acordo com Brito (1999) e Jiménez (1997), estas críticas relacionam-se com:

- a detecção de erros científicos e de linguagem;
- a detecção de imprecisões conceptuais;
- a utilização de vocabulário desadequado à idade e desenvolvimento cognitivo dos alunos;
- o desajustamento face aos objectivos definidos no programa;
- o aprofundamento excessivo de uns temas e de inclusão de outros não exigíveis;
- a apresentação de actividades laboratoriais de tipo ilustrativo e de carácter verificatório das teorias;
- a utilização de elementos que promovem a discriminação sexista e racista;
- a apresentação da Ciência descontextualizada da vida quotidiana e sem relação com as aplicações tecnológicas;
- a não contemplação das ideias prévias dos alunos;
- a não contemplação das orientações da didáctica da respectiva área disciplinar.

Neste contexto, Chiappeta *et al.* (1991) consideram que muitos manuais escolares apresentam a Ciência como um corpo completo de conhecimentos onde não há lugar para a dúvida, o questionamento e a incerteza, dando por isso muita importância ao vocabulário e à terminologia demasiado específica e muitas vezes desadequada ao desenvolvimento cognitivo dos alunos e conduzindo ao desenvolvimento da capacidade de memorização em detrimento da compreensão.

Apesar destas críticas, é de realçar que o manual escolar continua a ser o suporte de aprendizagem e o instrumento de ensino mais utilizado por alunos e professores sendo também o mais eficaz quando devidamente elaborado e utilizado nos contextos de aprendizagem (Choppin, 1992; Gérard & Roegiers, 1998; Duarte, 1999; Leite, 1999; Caldas & Saltiel, 2001; Nunes, 2001; Appel, 2002).

Apesar da actual difusão de suportes informatizados, audiovisuais e de outro tipo de recursos, o texto escrito que prefigura nos manuais escolares é, ainda, o mais eficaz e expandido (Apple, 2002), uma vez que, de um modo geral, se apresenta como um material sempre disponível contemplando informação estruturada e sequenciada, exercícios de aplicação, ilustrações e até exercícios de avaliação das aprendizagens efectuadas.

Para o domínio do manual escolar em contexto escolar também poderá ter contribuído a escassez de outros materiais didácticos e suportes de ensino-aprendizagem nas escolas.

É de consenso geral que o manual escolar não pode ser utilizado como único recurso ou como único guia da prática lectiva. A opinião de Leite (2003: 5) aponta neste sentido, dado considerar que:

"... os manuais escolares podem constituir um bom auxiliar quer do ensino, quer da construção das aprendizagens, desde que sejam usados precisamente como isso..."

Esta mesma posição é patenteada nos documentos oficiais do Ministério da Educação onde se apela à diversidade metodológica, indicando que os docentes podem e devem recorrer a outros recursos didácticos no sentido de atingir os objectivos programáticos e permitir o desenvolvimento de diferentes competências pelos alunos. Também os editores e autores de manuais escolares estão conscientes desta necessidade e diversificam os seus produtos produzindo livros de apoio ao manual escolar, incluindo nos manuais escolares actividades que promovem a pesquisa e o tratamento da informação com recurso a várias fontes, tendo a preocupação de produzir um livro do professor onde se multiplicam as propostas de possíveis actividades a realizar e as sugestões de carácter metodológico. Esta consciência está bem patente na afirmação do Director do Centro de Recursos de Informação e Apoio Pedagógico ASA (Alves, 2003: 1):

"No âmbito do processo de alargamento da Reorganização do Ensino Básico e da entrada em vigor de Novos Programas no Ensino Secundário cresce a responsabilidade dos editores de livros escolares no sentido de conceber, editar e disponibilizar materiais didácticos que para além de seguirem as orientações programáticas, se sustentem num triplo conhecimento: os conhecimentos das mais recentes investigações sobre os modos de melhor ensinar e aprender, o conhecimento da heterogeneidade dos alunos a que se destinam e o conhecimento das práticas pedagógicas, também heterogéneas, das escolas e dos professores."

A utilização excessiva do manual ou de qualquer outro recurso didáctico no processo de ensino e aprendizagem revela práticas pedagógicas pouco diversificadas, estanques, onde não há lugar para a inovação. Diversificar os recursos didácticos implica modificar rotinas e, portanto, mais trabalho por parte dos docentes.

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

1. CARVÃO

1.1. O CARVÃO COMO ROCHA SEDIMENTAR

A maioria dos cidadãos comuns considera que o carvão é, apenas, um combustível fóssil que desempenha um papel muito importante na economia mundial (Flores, 1996). Numa perspectiva geológica, o carvão é uma rocha sedimentar de origem orgânica, heterogénea ao nível macro e microscópico (Borrego, 2000).

De acordo com o *International Handbook of Coal Petrography* (ICCP, 1963) o carvão fóssil ou natural é uma *"rocha sedimentar, combustível, formada a partir de restos vegetais que se encontram em diferentes estados de conservação, tendo sofrido afundimento, seguido de compactação, em bacias originalmente pouco profundas"* (Sousa, 1985: 4).

A heterogeneidade do carvão pode ser vista no campo ou numa simples amostra de mão. A este nível macroscópico apenas é possível distinguir diferenças de brilho e a presença ou não de um bandado. Contudo, um grau muito maior de heterogeneidade é visível com o microscópio óptico e, ainda mais, com o microscópio electrónico. A heterogeneidade é devida a duas razões principais:

1. a matéria orgânica que constitui os carvões deriva duma grande variedade de diferentes estruturas vegetais de diferentes plantas;
2. os componentes da matéria orgânica são modificados a vários graus e de diferente modo durante e após a deposição.

Ao longo deste capítulo exploram-se detalhadamente estes dois aspectos, procurando, sempre que possível, estabelecer relações entre ambos.

1.2. ORIGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA DOS CARVÕES

A fotossíntese é a base da produção da matéria orgânica. Há cerca de 2 G.a., no Pré-Câmbrico, a fotossíntese surgiu como um processo de síntese de matéria orgânica amplamente disperso, permitindo o estabelecimento de pirâmides alimentares e a evolução

de formas de vida mais complexas evolutivamente. O enriquecimento da atmosfera em oxigénio molecular é uma consequência directa da fotossíntese e da produção em massa de matéria orgânica.

Em determinadas condições geológicas, a matéria orgânica pode ser incorporada nas rochas. Assim, muita da matéria orgânica que uma rocha possui corresponde a vestígios e a produtos de alteração de restos de seres vivos contemporâneos da deposição da rocha. Muitas rochas sedimentares contêm pequenas quantidades de matéria orgânica e poucas são as rochas que são quase exclusivamente formadas por matéria orgânica.

Dois requisitos principais são necessários para que se forme uma rocha que contenha matéria orgânica:

- é necessário que exista uma **fonte de matéria orgânica** disponível quando a rocha se começa a depositar;
- a matéria orgânica deverá ser **preservada** durante o processo de deposição, diagénese e metamorfismo. Muita da matéria orgânica inicialmente disponível é transformada em dióxido de carbono, água e noutros compostos simples, outra pode ser parcialmente preservada. A preservação parcial requer que o processo de decaimento e de oxidação não remova toda a matéria orgânica antes desta ser soterrada por depósitos posteriores. Para que isto aconteça é necessário que a taxa de formação da matéria orgânica exceda a taxa de destruição. Mesmo nas jazidas de carvão a matéria orgânica preservada representa apenas uma pequena fracção da matéria originalmente disponível.

1.3. PRESERVAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA COMO TURFA

Após a deposição da matéria orgânica nos sedimentos, um conjunto de condições geológicas e ecológicas do ambiente deposicional deve permitir que a matéria orgânica sofra transformações físicas, químicas e biológicas que permitam a sua preservação. Na maior parte dos casos, os carvões foram preservados como **turfa**, sendo esta constituída por restos da própria vegetação, ainda não consolidados que são o alvo da decomposição num ambiente saturado em água (Sousa, 1985).

O conjunto dos processos físicos, químicos e biológicos que permitem a preservação da matéria orgânica como turfa é designado de **turbificação** ou **humificação** (Sousa, 1985).

Ambientes deposicionais que reúnam as condições necessárias para que haja uma acumulação e preservação significativa da matéria orgânica por este processo, podem ser designados genericamente de **turfeiras**, e os carvões daí resultantes por **carvões húmicos**[1].

1.3.1. FACTORES CONDICIONANTES DA ACUMULAÇÃO DE TURFAS

A fácies do carvão representa o conjunto de todas as características primárias (litológicas e paleontológicas) exibidas por uma camada de carvão, a partir das quais é possível estabelecer as condições de deposição do material original. Como para qualquer rocha sedimentar, a fácies do carvão está dependente do ambiente em que o material original se forma e deposita.

Os seguintes factores são cruciais no processo de formação da turfa e na determinação das características primárias de uma jazida de carvão:

- condicionalismos tectónicos e paleogeográficos
- desenvolvimento evolutivo da flora
- clima

Estes três factores determinam, por sua vez, o ambiente deposicional e o tipo de ecossistema palustre associado, os quais estão intimamente relacionados com o modo como são fornecidos os nutrientes e, consequentemente, com o tipo de vegetação e características fisico-químicas do meio.

1.3.1.1. CONDICIONALISMOS TECTÓNICOS, PALEOGEOGRÁFICOS E CLIMÁTICOS

Para que se forme uma espessa acumulação de turfa é necessário que se conjuguem os seguintes requesitos fundamentais (Taylor *et al.*, 1998):

1. **subida lenta e gradual do nível freático**, no sentido de haver um equilíbrio entre o nível da água no pântano e a taxa de acumulação da matéria orgânica.
2. **protecção do ecossistema** contra a invasão prolongada de águas continentais ou marinhas.

[1] Também existem carvões sapropélicos originados por processos diferentes (ver secção 1.4.)

3. **condições de estabilidade** que permitam a manutenção do ecossistema durante um período suficientemente longo para que a turfa se possa acumular sem interrupções provocadas por sedimentação detrítica.

Como facilmente se compreende estes pré-requisitos são directamente controlados pelo enquadramento geotectónico da bacia de sedimentação e, mais especificamente, pela taxa de subsidência. Se a taxa de subsidência é demasiado lenta pode ocorrer a oxidação da matéria orgânica ou a sua erosão. Uma taxa de subsidência demasiado rápida não permite o desenvolvimento de extensas acumulações de matéria orgânica e pode provocar acumulação de depósitos detríticos. Contudo, episódios de deposição detrítica são fundamentais para que haja a cobertura e afundimento da matéria orgânica acumulada, possibilitando a sua evolução por incarbonização (Taylor *et al.*, 1998). Estas condições, normalmente, verificam-se em zonas costeiras ou nas margens dos grandes lagos interiores.

Por sua vez, a formação de extensas acumulações de turfa só foi possível com a emergência das plantas vasculares, as quais surgem no Ordovícico Médio e no Silúrico e que se tornam abundantes e amplamente distribuídas no Devónico. Assim, a formação de grandes acumulações de turfa que permitiram a constituição de verdadeiros jazigos de carvão só foi possível no Devónico Médio a Superior quando as plantas vasculares se distribuem ampla e rapidamente pelos continentes. Contudo, nenhum dos jazigos do Devónico parece ter grande valor económico.

Os depósitos de turfa que permitiram a formação de importantes jazidas de carvão formaram-se durante o Carbonífero, principalmente, durante o Carbonífero Superior, pois nessa altura a flora concentrava-se em pântanos de floresta com vegetação luxuriante, nos quais árvores do género *Lepidodendron* e *Sigillaria* atingiam alturas superiores a 30 metros. As plantas que mais contribuíram para a formação dos carvões do Carbonífero foram: *Pteridophyta*, *Equisitophyta* e *Lycophyta* (Taylor *et al.*, 1998).

Apesar da abundância de algumas plantas vasculares, a variedade das comunidades vegetais do Carbonífero não se compara com a que caracteriza a flora dos tempos geológicos mais recentes.

O amplo desenvolvimento das acumulações de turfas que se formaram durante o Pérmico no continente Gonduana esteve muito dependente da flora de *Glossopteris*.

Durante o Mesozóico, particularmente durante o Jurássico e o Cretácico Inferior, as Gimnospérmicas (*Ginkgophyta*, *Cycadophyta* e Coníferas) foram as principais plantas que contribuíram para a formação do carvão, principalmente daquele que é encontrado na Sibéria e na Ásia Central.

Os pântanos do Cretácico Superior e do Terciário da América do Norte, da Europa e da Austrália, em consequência do amplo desenvolvimento das Angiospérmicas, apresentam uma grande diversidade vegetal. Comparando a flora do Carbonífero com a do Mesozóico e, particularmente, com a do Terciário, verifica-se que a última é muito mais diversificada e especializada, permitindo o desenvolvimento de espessos depósitos de turfa.

Segundo Scott (1991) citado por Taylor *et al.* (1998), o estudo da vegetação actual existente em zonas favoráveis à acumulação de turfa, juntamente com estudos de paleobotânica e palinologia – o estudo de macro e microfósseis de plantas – têm fornecido evidências directas da vegetação da qual derivou a matéria orgânica existente no carvão. As *coal-balls* são fundamentais para o aprofundamento destes estudos uma vez que constituem concreções mineralizadas de turfa que apresentam, com detalhe notável, não só a textura original da turfa, mas também a anatomia de muitos restos de plantas.

Quatro tipos principais de pântanos actuais podem ser distinguidos com base na comunidade de plantas (Stach *et al.*, 1982; Taylor *et al.*, 1998):

1. pântanos abertos com plantas aquáticas (*open marshes*), (figura II.1.1, A);
2. pântanos abertos de canavial frequentemente com junco (*open reed marshes*);
3. pântanos de floresta (*forest swamps*), (figura II.1.1, B);
4. pântanos com musgo (*moss swamps*).



A B

Figura II.1.1- Tipos de pântanos (A- Pântano aberto com plantas aquáticas (segundo URL7) B- Pântano de floresta (segundo URL8)).

No geral, a produção de material biológico é maior nos pântanos de floresta, especialmente nos de regiões tropicais com um nível de água suficientemente elevado. As turfas formadas nestas condições possuem um elevado conteúdo em lenhina. Os pântanos de canavial com ervas, junco ou fenos geralmente requerem um nível de água superior ao dos pântanos de floresta. As turfas dos canaviais são pobres em lenhina e são frequentemente bastante decompostas do ponto de vista estrutural. Possuem igualmente alguma abundância de elementos subaquáticos e de minerais de lixiviação. O conteúdo em proteínas nas turfas formadas em pântanos de canavial é superior àquele apresentado pelas turfas dos pântanos de floresta.

Como acima se destaca, o clima é outro factor extremamente importante na acumulação de turfas. Com efeito, ao longo do tempo geológico tem havido muitas mudanças na distribuição global das zonas climáticas, havendo períodos favoráveis ao desenvolvimento da matéria vegetal, à acumulação de turfa e à formação do carvão e períodos desfavoráveis a estes mesmos processos. Contudo, esta é uma análise difícil de se efectuar tendo apenas por base as condições climáticas, uma vez que as turfeiras podem desenvolver-se em regiões climáticas bastante distintas, desde regiões de clima frio até regiões de clima tropical.

Em regiões de clima frio apenas 5 gramas de material vegetal são depositados por dia durante o Verão, mas a taxa de decomposição nestas regiões é também mínima quando comparada com a taxa de decomposição do material vegetal de turfeiras de regiões de clima temperado e tropical.

Uma vegetação luxuriante desenvolve-se em regiões de clima quente e húmido, como é o caso das regiões tropicais. A vegetação de um pântano tropical pode renovar-se num período de 7 a 9 anos e as árvores que o constituem podem neste intervalo de tempo atingir os 30 metros de altura. Pelo contrário, as árvores dos pântanos de regiões temperadas são de porte muito inferior e apenas podem atingir os 5 a 6 metros de altura no mesmo período de tempo (Taylor *et al.*, 1998). Com o aumento do aquecimento existe não só um aumento do crescimento da vegetação mas também um aumento da taxa de decomposição, consequentemente, seria de pensar que nestas regiões não se constituíssem grandes acumulações de turfa. Contudo, esta situação não corresponde ao que na realidade se passa uma vez que actualmente têm sido descobertas em grandes pântanos de regiões tropicais acumulações de turfa com mais de 30 metros de espessura. Reforçando esta ideia verifica-se que em tempos geológicos passados, especialmente durante o Carbonífero Superior,

depositaram-se em regiões climáticas quentes algumas das formações mais ricas em carvão. Estas mesmas condições climáticas parecem também estar na base da formação das importantes ocorrências de carvão do Cretácico Superior e do Terciário Inferior que se encontram na América do Norte. Por outro lado, no Hemisfério Sul e na Sibéria existem importantes depósitos de carvão que se acumularam em regiões de clima temperado húmido e em climas frios, como por exemplo, os carvões Gonduânicos inter e pós-glaciais (datados do Pérmico).

A velocidade com que se processa a acumulação das turfas é bastante variável, dependendo grandemente do tipo de vegetação e do clima em que se estabeleceu a turfeira. Em zonas temperadas a taxa média anual de crescimento das turfeiras está estimada em 0.5 a 1 milímetro, podendo no máximo atingir cerca de 2 milímetro. A taxa de crescimento de acumulações de turfas em regiões tropicais é consideravelmente mais elevada podendo atingir os 3 a 4 milímetros por ano. Nas regiões sub-árcticas e sub-antárticas a taxa de crescimento das acumulações de turfa é de cerca de 0,1 a 0,8 milímetros por ano (Taylor *et al.*, 1998). As turfas de floresta sofrem menos compressão do que as turfas de junco, as quais inicialmente contêm teores em água muito mais elevados.

Uma comparação macroscópica de amostras de carvões formados em regiões climáticas distintas revela que os carvões depositados em regiões de clima quentes e húmidos contêm muitos leitos brilhantes derivados dos espessos caules e raízes e que os carvões formados em regiões temperadas ou frias apresentam menos leitos brilhantes.

1.3.1.2. CONDICIONALISMOS DEPOSICIONAIS

Atendendo à forma como ocorre a deposição da matéria orgânica, é comum considerar a existência de três grupos fundamentais de carvões (Taylor *et al.*, 1998):

- **carvões autóctones** – desenvolvidos a partir de plantas que após a sua morte dão origem a turfas *in situ*.
-
- **carvões alóctones** – formados a partir de restos de plantas que foram transportados a distâncias consideráveis a partir dos seus locais originais.

- **carvões hipautóctones** – resultantes de depósitos de turfa predominantemente autóctones que sofreram repetidamente pequenos reajustes posicionais durante o afundimento.

Quase todos os jazigos de carvão exploráveis são autóctones. Turfas autóctones podem conter proporções variáveis de materiais transportados pelo vento, dependendo a sua quantidade, do clima e da topografia, bem como da dimensão dos materiais que constituem a turfa.

Os carvões hipautóctones caracterizam-se por apresentarem uma textura finamente detrítica, um conteúdo em matéria mineral superior àquele apresentado pelos carvões verdadeiramente autóctones, e uma pronunciada microestratificação.

Por sua vez, os carvões alóctones frequentemente contêm demasiada matéria mineral para terem valor económico. Nestes carvões, muitas vezes, a preservação da turfa só é conseguida graças a um rápido soterramento por areias ou argilas.

Uma grande quantidade de material orgânico alóctone é encontrada em rochas sedimentares, não constituindo jazidas de carvão. Como a maioria dos restos de plantas é facilmente decomposta em resultado do transporte pela água, ocorre uma concentração dos materiais orgânicos mais resistentes nos sedimentos clásticos.

Os aspectos acima referidos estão estreitamente relacionados com o tipo de ambiente de deposição e, em particular, com o ecossistema palustre onde se acumula a turfa, ficando as suas características registadas nas fácies do carvão, as quais podem ser descritas do seguinte modo (Diessel, 1992):

- **telmáticas** – quando resultam de turfas depositadas em ambientes condicionados pela variação do nível freático. As turfas de floresta, de canavial e de musgo pertencem a esta categoria.
- **límnicas** – quando resultam de materiais depositados em lagos ou represas continentais sem qualquer relação genética com o mar.
- **parálicas** – se são directa ou indirectamente controladas pela acção marinha.

As fácies de carvão telmático e límnico nem sempre podem ser claramente distinguidas porque nos pântanos de floresta e, particularmente, nos pântanos de canavial, também ocorre sedimentação subaquática.

A distinção entre estes dois tipos de depósitos é, muitas vezes, possível por análise da natureza das sequências sedimentares às quais os carvões se encontram associados. Assim, os carvões intercalados em séries sedimentares marinhas são considerados como parálicos e os restantes como límnicos. Segundo Taylor *et al.* (1998), é raro encontrar carvões que manifestem um carácter inteiramente parálico ou límnico sendo, no entanto, frequente a ocorrência de tipos transicionais.

O estabelecimento de pântanos com condições para a acumulação de turfa e a consequente formação de camadas de carvão pode ocorrer em vários ambientes de deposição dos quais se destacam como mais importantes os seguintes (Diessel, 1992):

1. **Ambientes costeiros** protegidos por barras de areia ou praias onde as águas do mar passam gradualmente a águas salobras e doces.
2. **Ambientes deltaicos**, onde se considerem como sistemas deposicionais distintos, as planícies inferior e superior do delta.
3. **Ambientes fluviais**, em particular os rios anastomosados e as planícies aluviais de rios meandriformes.

Carvões depositados em ambientes com influência marinha podem ser distinguidos por propriedades particulares, nomeadamente:

- uma extensa decomposição primária dos restos das plantas – as substâncias húmicas em carvões de influência marinha são fortemente decompostas como consequência dos elevados valores de pH e da considerável actividade bacteriana.
- um elevado conteúdo em enxofre – resulta do aumento da quantidade de iões sulfato na água do mar, resultante da actividade anaeróbia das bactérias.
- um elevado conteúdo em pirite – a ocorrência de concreções de pirite é frequente, uma vez que as bactérias *Desulfovibrio desulfuricans* reduzem o sulfato a sulfureto de hidrogénio (o qual é necessário para a formação da pirite) e que o ferro é, provavelmente, adsorvido pelas argilas. Por isso a pirite é frequentemente encontrada em zonas adjacentes a zonas ricas em argila.
- um elevado conteúdo em produtos de alteração betuminosos – uma vez que mais facilmente se estabelecem condições anóxicas.
- apresentam foraminíferos.

- células e fragmentos de células são menos comuns nas turfas salobras do que nas turfas de água doce, o mesmo acontecendo com pólenes e esporos, raros em turfas salobras.
- coprólitos são comuns em turfas autóctones salobras.

Todas estas observações estão de acordo com as propriedades típicas dos carvões de influência marinha os quais se podem caracterizar por, genericamente, apresentarem uma extensa decomposição dos restos das plantas e elevados conteúdos em enxofre. As condições para a formação de carvões desta natureza são frequentemente estabelecidas em pântanos de deltas que são inundados pelo mar. Os carvões de influência marinha podem constituir efectivas rochas-mãe do petróleo.

Os carvões depositados em pântanos ricos em cálcio têm propriedades similares aos de influência marinha. Bases calcárias ou o influxo de águas ricas em cálcio de áreas pantanosas envolventes, reduzem a acidez da turfa a um grau muito maior do que acontece com a água do mar, podendo atingir valores de pH superiores a 8.

Em condições mais ou menos neutras ou alcalinas a actividade bacteriana é acelerada, resultando num aumento da degradação dos restos das plantas, ocasionando uma precoce humificação e gelificação bioquímica[2]. Nestas condições, a decomposição é especialmente severa se o ambiente é aeróbio. Isto explica porque razão os carvões ricos em cálcio quase sempre apresentam características de génese subaquáticas. Conchas calcárias e elementos de esqueleto da fauna do pântano, que na maior parte das turfas são dissolvidos pelos ácidos húmicos, são preservados em turfas e carvões ricos em cálcio. Em pântanos ricos em cálcio a sílica também é rapidamente dissolvida. As soluções siliciosas podem reprecipitar em gel nos pântanos onde as condições sejam mais ácidas.

Muitos carvões ricos em cálcio têm um conteúdo consideravelmente alto em enxofre orgânico e em pirite singenética, provavelmente devido à intensa actividade bacteriana e ao abundante fornecimento de proteínas, algumas das quais derivam de substâncias animais (zooplâncton e moluscos). O conteúdo em azoto também aumenta. Estes carvões formam durante a sua evolução exsudados betuminosos.

[2] Veja-se secção 1.3.2.

A grande quantidade de pirite frequentemente encontrada em carvões ricos em cálcio pode ser explicada pelo facto das bactérias redutoras do sulfato crescerem melhor em meios com elevados valores de pH (6,5-8).

Em cada um dos ambientes de deposição atrás referidos estabelecem-se ecossistemas palustres cuja caracterização é efectuada atendendo ao seu regime hidrológico e ao modo como é efectuado o fornecimento de nutrientes ao sistema. De um modo geral considera-se a existência de dois tipos de ecossistemas (Taylor *et al.*, 1998):

- **Sistemas ombrotróficos** – quando o fornecimento de nutrientes depende, exclusivamente, da pluviosidade (figura II.1.2).
- **Sistemas reotróficos** – quando os nutrientes são fornecidos por fluxo, isto é, através das águas circulantes (figura II.1.3).



Figura II.1.2- Pântano ombrotrófico (segundo URL9).



Figura II.1.3- Pântano reotrófico (segundo URL8).

Quanto à disponibilidade de nutrientes, as zonas propícias à acumulação de matéria orgânica vegetal, podem ser classificadas em:

- **Sistemas eutróficos** – sistemas ricos em nutrientes.
- **Sistemas mesotróficos** – sistemas pobres em nutrientes.
- **Sistemas oligotróficos** - sistemas muito pobres em nutrientes.

A figura II.1.4 mostra a relação existente entre o nível freático, a precipitação e o estabelecimento dos sistemas ombrotróficos e reotróficos.

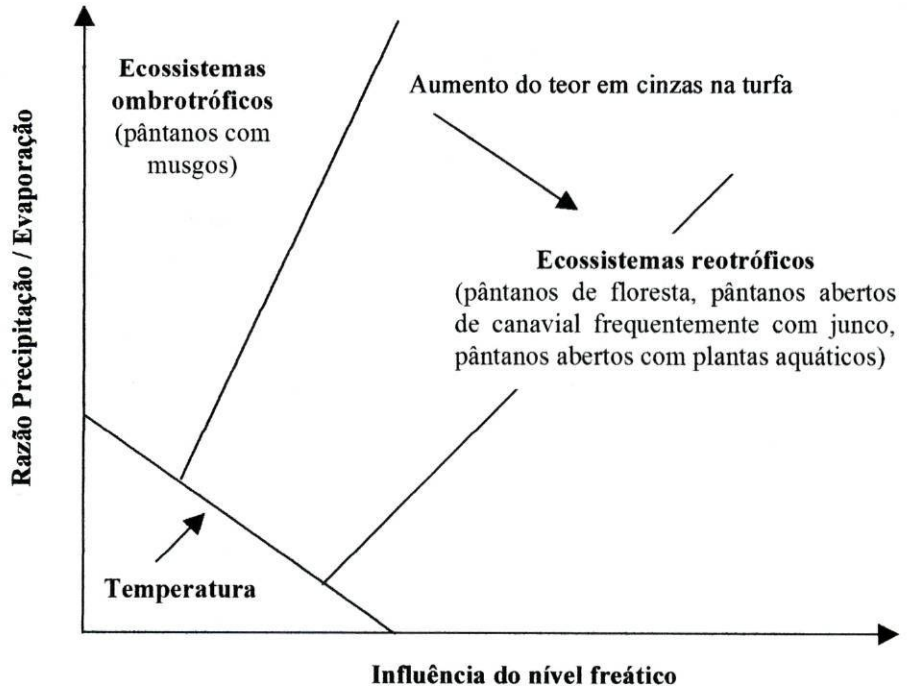


Figura II.1.4- Influência da precipitação e do nível freático no estabelecimento de ecossistemas palustres (segundo Moore, 1987: 9).

Comparando a flora dos pântanos eutróficos com a flora dos pântanos oligotróficos, verifica-se a existência de acentuadas diferenças, quer no número de elementos de cada espécie quer na diversidade de espécies. Em, condições hidrológicas uniformes, vegetação dos pântanos eutróficos é luxuriante e rica em espécies, enquanto que a dos pântanos oligotróficos é pobre em espécies, sendo predominantemente herbácea, principalmente em regiões de clima temperado. Sistemas reotróficos são em muitos casos mais ricos em nutrientes e possuem um conteúdo de matéria inorgânica superior ao dos sistemas ombrotróficos.

Como facilmente se compreende, a acidez é um parâmetro que em muito condiciona a disponibilidade de nutrientes, uma vez que influencia a actividade bacteriana. Em ambientes neutros ou alcalinos, a disponibilidade de elementos como o azoto ou o hidrogénio é maior.

Nutrientes como o cálcio, fósforo, potássio e azoto intensificam a vida bacteriana. Consequentemente, o material vegetal depositado em sistemas com grande quantidade de nutrientes na água é mais facilmente decomposto do que o material depositado em sistemas pobres em nutrientes fornecidos pelas águas das chuvas.

A acidez da turfa influencia a vida bacteriana e fúngica e, consequentemente, a decomposição estrutural e química dos restos de plantas. Os fungos que vivem nas camadas mais superficiais da turfa (profundidade não inferior a 40 cm) apenas toleram valores de pH iguais ou superiores a 4. À superfície dos depósitos de turfa para além dos fungos ocorrem bactérias aeróbias que utilizam o oxigénio presente na atmosfera. Estas bactérias decompõem facilmente os hidratos de carbono, como os açúcares e o amido, e, posteriormente, a celulose e a hemicelulose, promovendo assim, a concentração das lenhinas, taninos, gorduras, ceras, esteróis, pigmentos, cutina e suberina. O número de bactérias na turfa diminui consideravelmente com a profundidade e a sua distribuição é grandemente governada pelo potencial de oxidação-redução. As bactérias actuam melhor em meios neutros. Consequentemente, as turfas ácidas e oligotróficas (pH 3,3 - 4,6) não são tão fortemente degradadas como as turfas menos ácidas, neutras ou alcalinas, eutróficas (Taylor *et al.*, 1998).

Nos carvões de influência marinha e ricos em cálcio, o ambiente deposicional alcalino causa uma intensa decomposição com a consequente formação de geles húmicos e outros produtos da turbificação ricos em azoto e hidrogénio. Para além do tipo de rocha basal e dos influxos de água, o grau de acidez depende da comunidade de plantas, do fornecimento de oxigénio e do nível de concentração dos ácidos húmicos. Como já foi referido anteriormente, ambientes de água marinha ou salobra reduzem grandemente a acidez, promovendo a degradação das estruturas vegetais.

Comparativamente com os solos minerais, as turfas possuem uma flora bacteriana menos diversificada mas mais especializada.

O fornecimento de sais minerais e o conteúdo em azoto também condicionam grandemente a actividade bacteriana. Uma vez que as bactérias produzem muitas proteínas,

a concentração de azoto na turfa aumenta paralelamente à decomposição da celulose e da hemicelulose. Os produtos da decomposição das proteínas bacterianas são posteriormente incorporados em substâncias húmicas, as quais são mais estáveis e contêm mais azoto.

As bactérias sulfurosas têm um papel especial nas turfas e lamas orgânicas uma vez que reduzem os sulfatos a enxofre, tornando possível a formação de pirite e marcasite. Foi demonstrado que a pirite (FeS_2) nas turfas apenas se pode formar devido à actividade bacteriana, uma vez que nos sistemas naturais não existe energia suficiente para uma redução puramente química de sulfatos a sulfuretos. Um pré-requisito para que esta transformação ocorra é um amplo fornecimento de enxofre e ferro. O enxofre provém das proteínas das plantas e dos animais e, em grande quantidade, das proteínas bacterianas, ou pode ser proveniente de outras áreas sendo transportado como iões sulfato pelas correntes ou pelas águas do mar. O ferro está presente em qualquer lugar onde existam minerais silicatados com ferro ou águas transportando iões de ferro. Consequentemente, a pirite singenética aparece frequentemente associada às partes superiores e inferiores das camadas de carvão (Taylor *et al.*, 1998).

A temperatura à superfície da turfa condicionada fortemente a decomposição primária, pela relação directa que este factor desempenha no desenvolvimento da vida bacteriana. Assim, em regiões de clima quente e húmido a vida bacteriana é mais intensa do que nas zonas temperadas e os processos puramente químicos podem ocorrer mais rapidamente. A temperatura óptima para a actuação das bactérias destruidoras da celulose da turfa varia entre os 35°- 40°C (Taylor *et al.*, 1998).

Um outro factor de importância capital no controle da actividade bacteriana e no curso da turbificação, é o potencial de oxidação – redução, o qual depende da comunidade de plantas, do clima específico e das condições ecológicas. Tal como o pH, o Eh também afecta a disponibilidade de nutrientes para as plantas. O fornecimento de oxigénio determina em grande medida se a turbificação ocorre ou não, como é evidenciado na tabela II.1.1. De um modo geral, estes processos são caracterizados por um aumento gradual dos níveis de água no solo. A estagnação do nível da água é um pré-requisito para a preservação da matéria orgânica, pois o movimento contínuo da água fornece ao sistema oxigénio dissolvido, promovendo a degradação da matéria orgânica.

A máxima preservação da matéria orgânica é atingida quanto mais rapidamente o oxigénio dissolvido na água for consumido e se desenvolverem condições redutoras. Com

um acesso ilimitado ao oxigénio do ar ou ao dissolvido na água, a matéria orgânica é completamente degradada, conduzindo à formação de produtos gasosos ou líquidos os quais podem escapar, sendo removidos do sistema. Contudo, alguns resíduos sólidos mais resistentes podem permanecer no sistema.

As bactérias aeróbias e os fungos participam na humificação/turbificação, produzindo substâncias húmicas pobres em hidrogénio.

Tabela II.1.1- Transformações do material orgânico em relação com a disponibilidade de oxigénio (segundo Taylor *et al.*, 1998: 41).

Aerobiose → Anaerobiose (Diminuição do fornecimento de oxigénio)	**Processo**	**Produtos bioquímicos**	**Produtos geoquímicos**	Aumento do teor de hidrogénio e de azoto nos produtos de transformação
	Desintegração	Frequentemente resíduos não sólidos, possivelmente liptobiolitos		
	Humificação / Turbificação	Húmus / Turfa	Carvões húmicos	
	Putrefacção	Sapropel	Carvões sapropélicos → Sapropelitos → Petróleo	

A turbificação ocorre à superfície da turfa quando há um fornecimento restrito de oxigénio. Os ácidos húmicos são os produtos característicos que se podem formar a partir da lenhina apenas através da oxidação. O processo de humificação é intensificado sobre condições aeróbias. A actividade fúngica, que é importante para a humificação da lenhina, apenas é possível em condições aeróbias. A actividade bacteriana também é intensificada com o acesso ao oxigénio.

A putrefacção (sapropelização) apenas ocorre em condições redutoras, quando as bactérias anaeróbias obtêm o oxigénio a partir de substâncias orgânicas, transformando-as em produtos betuminosos ricos em hidrogénio. Por exemplo, durante a fermentação da celulose, em adição ao dióxido de carbono, forma-se hidrogénio, metano, ácido acético e ácido butírico.

1.3.2. TRANSFORMAÇÕES QUE OCORREM DURANTE A TURBIFICAÇÃO

Precedendo a incarbonização, a turbificação inclui processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem logo após a deposição da matéria orgânica em turfeiras. De acordo com Taylor *et al.* (1998), no processo de formação da turfa é possível distinguir quatro tipos de mudanças sofridas pelo material vegetal:

- Alteração
- Degradação
- Humificação
- Gelificação bioquímica

As alterações mais significativas ocorrem próximo da superfície da turfa a uma profundidade de aproximadamente 0,5 metros, numa camada que é conhecida por **camada turfogenética**. Nesta região, bactérias aeróbias e fungos estão activos e, como tal, as substâncias mais facilmente assimiláveis são completamente degradadas e alteradas quimicamente. Com o aumento da profundidade, estes seres são substituídos por bactérias anaeróbias e a actividade microbiana vai sendo cada vez mais reduzida até que se extingue, a uma profundidade inferior a 10 metros. Abaixo desta profundidade apenas ocorrem alterações químicas, primeiro **condensação**, seguida de **polimerização** e de **reacções de redução**. Concomitantemente, ocorre uma forte compactação, uma diminuição acentuada da humidade, da porosidade, do teor em oxigénio e um aumento do teor em carbono.

O processo mais importante que ocorre durante a turbificação é a formação de substâncias húmicas. A **humificação** é promovida pelo fornecimento de oxigénio, pelo aumento da temperatura e por ambientes alcalinos, podendo ser entendida como uma lenta e progressiva oxidação da matéria orgânica que conduz à formação de substâncias húmicas (Stach *et al.*, 1982). O grau da humificação depende principalmente das condições de deposição do material vegetal (da fácies) e não tanto da profundidade.

Na presença do oxigénio, a lenhina é primeiramente atacada por fungos destruidores da madeira e por bactérias aeróbias, começando, deste modo, a ser convertida em substâncias húmicas. Assim, a humificação é, particularmente severa, à superfície da turfa e, imediatamente abaixo da superfície, na designada camada turfogenética. Contudo, o processo de humificação também ocorre nas camadas de turfa mais profundas e mesmo nas lignites, até se estabelecerem condições anaeróbias.

Os **ácidos húmicos** são compostos escuros de composição complexa que contêm elementos de carbono, oxigénio, hidrogénio e azoto e possuem pesos moleculares e solubilidades em alcalis variáveis. Na presença dos catiões apropriados, os ácidos podem formar **humatos** de sódio, cálcio, magnésio, ferro e alumínio. À medida que a diagénese prossegue, os ácidos húmicos perdem o seu carácter ácido pela remoção dos grupos OH (hidroxilo) e COOH (carboxilo), transformando-se em **huminas** (insolúveis em álcalis).

No passado assumia-se que a lenhina era o único precursor das substâncias húmicas, hoje sabe-se que alguns compostos intermédios formados durante a decomposição microbiana, não só da lenhina mas também da celulose e das proteínas, participam na formação das substâncias húmicas.

A fase final do processo de humificação ocorre tendo por base processos intra-moleculares de oxidação-redução (Taylor *et al.*, 1998). Estudos experimentais revelam que alguma celulose que ainda esteja presente nas lignites[3], desaparece de modo relativamente rápido no limite entre a lignite e os carvões sub-betuminosos[3] (teor em carbono de aproximadamente de 70%).

A humificação pode ser seguida pela **gelificação bioquímica** – processo pelo qual as substâncias húmicas passam por um estado plástico e adquirem um aspecto de gel. É uma transformação pseudomórfica das paredes celulares em geles húmicos. As paredes celulares são gelificadas sem que haja destruição dos tecidos. As soluções coloidais húmicas circulam facilmente nas turfas, podendo precipitar nos lúmens das células e entre os diferentes fragmentos (Sousa, 1985). A gelificação bioquímica ocorre no estado de turfa e de lignite, sendo condicionada pelos materiais originais, pelo ambiente deposicional, pelo fornecimento de água e de iões, pelo grau de alcalinidade e pelas condições de oxidação/redução.

Na turfa, o conteúdo em carbono das camadas mais superficiais aumenta rapidamente com a profundidade, uma vez que as substâncias vegetais relativamente ricas em oxigénio, particularmente a celulose e a hemicelulose são decompostas pelos microorganismos, do que resulta um enriquecimento em lenhina rica em carbono e em ácidos húmicos recém-formados. Na camada turfogenética pode ocorrer um aumento da quantidade de carbono da ordem dos 45% a 60%. Nas turfas, o conteúdo em carbono raramente ultrapassa os 60%. A maior profundidade, o conteúdo de carbono altera-se significativamente.

[3] Ver classificação dos carvões, secção 1.7.

Devido à compressão dos materiais, o conteúdo em humidade diminui rapidamente com o aumento da profundidade, podendo haver diminuições de 1% da humidade em cada 10 metros (Taylor *et al.*, 1998). Este factor constitui um bom elemento para avaliar o grau de diagénese da turfa.

Como resultado da compressão existe uma considerável perda de volume da turfa ao longo do seu percurso evolutivo. A intensidade da compressão pode ser avaliada tendo por base inclusões que durante o processo de incarbonização sofrem poucas ou reduzidas alterações como, por exemplo, troncos erectos de árvores em lignites e concreções minerais singenéticas ou epigenéticas, em torno das quais o carvão se ajusta. A intensidade da compactação pode ser avaliada pela diferença de altura entre a inclusão e a espessura da camada de carvão. Segundo Taylor *et al.* (1998), a compactação de turfas para lignites e carvões betuminosos ocorre na proporção de 6:3:1, ou seja, 1 metro de turfa irá produzir menos de 20 centímetros de carvão betuminoso.

A ocorrência de celulose livre, isto é, não intimamente associada com a lenhina, é também um indicador útil do grau de diagénese da turfa.

Os parâmetros anteriormente referidos são apresentados na tabela II.1.2 juntamente com a facilidade de corte e podem ser utilizados para distinguir turfas de lignites.

Tabela II.1.2- Distinção entre turfa e lignite (segundo Stach *et al.*, 1982: 38)

	Turfa	**Lignite**
% de humidade	> 75	< 75
% de carbono	< 60	> 60
Celulose livre	Presente	Ausente
Pode ser cortada	Sim	Não

De acordo com vários autores, esta diferenciação não é totalmente satisfatória uma vez que a transição da turfa para o estado de lignite faz-se de um modo muito gradual, sendo difícil fixar um limite preciso. O limite entre turfa/lignites é frequentemente atingido a profundidades entre os 200 e os 400m. Suggate (1990) citado por Taylor *et al.* (1998) estabelece o limite a 75 % do teor em humidade e a 100 metros de profundidade.

Contrariamente, ao que acontece para os carvões, não existe nenhuma classificação internacional para as diferentes turfas e para os seus constituintes microscópicos. Segundo Cameron *et al.* (1989) citado por Taylor *et al.* (1998), a textura da turfa depende

principalmente do tipo de vegetação e do grau de decomposição, que por sua vez são condicionados por outros factores.

1.4. CARVÕES SAPROPÉLICOS

Enquanto que os carvões húmicos têm a sua origem predominantemente em matéria vegetal depositada que evoluiu para turfa em condições aeróbias, os carvões sapropélicos têm sempre a sua origem em materiais depositados sob a forma de lamas subaquáticas em condições anaeróbias e evoluem por putrefacção. Estas lamas são constituídas por plâncton, finos detritos de plantas subaquáticas, restos de esporos das plantas que se localizam nos bordos dos pântanos e por turfas retrabalhadas.

Um elevado conteúdo em constituintes betuminosos é típico nos carvões sapropélicos, os quais podem evoluir para xistos betuminosos ou para verdadeiros sapropelitos, dos quais diferem, entre outras características, pela sua ocorrência em camadas de carvão e pela sua cor escura, a qual é devida à presença de substâncias húmicas. Os diferentes macerais dos carvões sapropélicos têm dimensões bastante uniformes e são finamente granulares o que denuncia que restos de plantas e de turfas de dimensões consideráveis foram sujeitos a um processo de degradação física que permitiu a formação de finos detritos. Esta característica revela igualmente que os materiais antes de se acumularem foram sujeitos a uma calibragem em função do seu tamanho.

Em contraste com os verdadeiros sapropelitos, onde quase todas as estruturas orgânicas foram destruídas por putrefacção, nos carvões sapropélicos as estruturas das algas, esporos e de pequenos restos de material vegetal continuam bem preservadas.

Assume-se que os carvões sapropélicos *bogheads*, também designados por carvões de algas, se depositaram principalmente no centro de pequenos lagos associados aos pântanos, enquanto que os *cannels coals* ou carvões de esporos se depositaram junto das margens dos lagos.

1.5. COMPOSIÇÃO DO CARVÃO

1.5.1. COMPONENTES MICROSCÓPICOS DO CARVÃO – MACERAIS

As rochas inorgânicas são formadas por diversos minerais, por exemplo, um granito é formado por quartzo, feldspato e micas, do mesmo modo, um exame microscópico realizado ao carvão revela a existência de diferentes componentes com características diversas – **os macerais**. A estrutura heterogénea do carvão é perceptível a olho nu, mas apenas o microscópio revela em detalhe a sua constituição[4].

O termo maceral foi utilizado pela primeira vez por Stopes em 1935 para designar aqueles componentes do carvão que são isolados por maceração, contudo, actualmente o conceito é utilizado noutro sentido (Borrego, 2000). Segundo Taylor *et al.* (1998), os macerais são os constituintes individuais da matéria orgânica microscopicamente reconhecíveis, representando, em última análise, restos de plantas cuja forma e estrutura são preservados nos carvões e noutras rochas. Outros macerais são produtos de degradação, apresentando-se de tal modo alterados que a sua origem não pode ser determinada.

O termo maceral deve-se referir a constituintes livres de inclusões minerais. Contudo, eles podem conter componentes inorgânicos de tamanho sub-microscópico os quais já estavam presentes originalmente no material vegetal ou foram originados durante as primeiras etapas do processo de formação da turfa, ou durante a incarbonização, como compostos complexos de matéria orgânica e inorgânica (Stach *et al.*, 1982).

Os minerais microscopicamente visíveis não devem ser considerados como constituintes dos macerais (Taylor *et al.*, 1998). Estes constituintes devem ser agrupados sob a designação de **matéria mineral do carvão**.

A analogia anteriormente estabelecida entre maceral e mineral é bastante superficial e pode induzir a erros. Com efeito, os minerais são caracterizados por uma composição química específica e bem definida e, na sua maioria, são cristalinos, ao contrário de um maceral que, para além de não ser cristalino, pode apresentar composição química e propriedades físicas distintas de acordo com o grau de incarbonização. Estes constituintes podem ser distinguidos por observação microscópica.

[4] O estudo microscópico do carvão é realizado com recurso a um microscópico óptico de reflexão, sobre superfícies polidas e em imersão em óleo.

A matéria-prima vegetal depositada em cada paleoambiente de deposição conduz a uma fácies específica de carvão, a qual pode ser identificada a partir da constituição maceral, do conteúdo mineral e da textura.

Vários estudos de paleobotânica têm sido realizados com sucesso no sentido de estabelecer correlações entre as formas e estruturas dos macerais e certos tecidos vegetais.

Para diminuir a ambiguidade na definição dos diferentes macerais, o *International Commitee for Coal Petrology* (ICCP), tem vindo a estabelecer regras normativas para o estudo petrográfico dos carvões, a maior parte das quais constituem hoje normais internacionais e algumas nacionais.

As características que permitem classificar um maceral são determinadas por microscopia óptica e incluem parâmetros como a reflectância, cor, forma e dureza (expressa como relevo de polimento). Estes parâmetros são condicionados pelas propriedades físicas e químicas dos macerais.

Cada maceral sofre mudanças físicas e químicas progressivas ao longo do processo de incarbonização. O padrão de mudança varia significativamente de maceral para maceral, apesar de com o aumento do grau de incarbonização, todos os macerais se tornarem mais ricos em carbono e pobres em hidrogénio e oxigénio.

Por convenção, todos os macerais do carvão têm designações terminadas em *"inite"*. Alguns macerais apresentam uma série de características ópticas que permitem agrupá-los em grupos de macerais. O material vegetal original, a decomposição inicial antes e durante a formação da turfa, bem como o grau de incarbonização têm uma importância fundamental na génese dos diferentes macerais (Stach *et al.*, 1982).

Existem três grupos de macerais que diferem entre si pela composição química e pelas propriedades ópticas:

1. **Grupo da huminite/vitrinite** – constituído por macerais que são os produtos da incarbonização das substâncias húmicas, formadas essencialmente a partir da lenhina e da celulose das paredes celulares vegetais.
2. **Grupo da liptinite** (ou exinite) – constituído por macerais que não derivam de matérias humificáveis mas de restos de plantas ricos em hidrogénio, como os esporos, cutículas, resinas, ceras e gorduras.

3. **Grupo da inertinite** – constituído por macerais que são derivados de algumas substâncias das plantas como acontece com os macerais constituintes dos grupos da vitrinite e da liptinite, mas que experienciaram uma transformação primária diferente. Trata-se de materiais que foram submetidos em meio oxidante ao ataque de bactérias ou à carbonização. A oxidação a que foram inicialmente sujeitos retirou a estes materiais grande parte da sua capacidade evolutiva (Sousa, 1985).

Esta subdivisão convencional representa uma simplificação que é bastante útil na prática, uma vez que cada grupo de macerais inclui um dado número de macerais que quando visualizados por microscopia óptica apresentam características semelhantes (tabela II.1.3).

De acordo com Stach *et al.* (1982), cada maceral experimenta uma evolução particular durante a incarbonização, a qual pode variar grandemente. As vitrinites sofrem uma alteração relativamente uniforme, as liptinites seguem um percurso evolutivo muito irregular e muitas inertinites apresentam pouca alteração.

As características ópticas que permitem distinguir cada grupo maceral definem-se de forma relativa e em termos comparativos, uma vez que o carvão muda de composição e de características ópticas ao variar de grau de incarbonização (figura II.1.5). Com o aumento do grau, a composição química e física dos macerais, bem como as suas propriedades tecnológicas são alteradas (figura II.1.6). Daí que se tenha adoptado uma nomenclatura diferente para os macerais de carvões de grau inferior e para os macerais de carvões de grau médio a superior, pertencentes ao grupo da huminite/vitrinite (tabela II.1.3).

Ao comparar quimicamente grupos de macerais isometamórficos, ou seja, grupos do mesmo grau, verifica-se que os macerais do grupo da vitrinite contêm relativamente mais oxigénio, os do grupo da liptinite mais hidrogénio e os macerais do grupo da inertinite mais carbono. Em grupos de macerais isometamórficos nos quais a vitrinite contenha 84% de carbono, o conteúdo em hidrogénio deverá ser de 7% na liptinite, 5,5% na vitrinite e 3,9% na inertinite (Stach *et al.*, 1982). O conteúdo em matéria volátil também é maior na liptinite, sendo num dado carvão de 66,7%, contra os 35,2% na vitrinite e os 22,9% na inertinite.

Os petrólogos do carvão e os químicos do carvão estabeleceram a existência duma relação bastante definida entre a **reflectância de um maceral**, o seu **conteúdo em**

carbono e a **produção de matéria volátil**. Isto significa que o grau de um carvão pode ser determinado medindo a sua **reflectância** numa superfície polida. Com o aumento do grau, os macerais individuais tornam-se cada vez menos diferentes na sua reflectância, pelo que se torna cada vez mais difícil diferenciá-los ao microscópio. Assim, quando se examina uma superfície polida de antracite[3] são necessárias técnicas especiais para diferenciar os diferentes macerais (figura II.1.7).

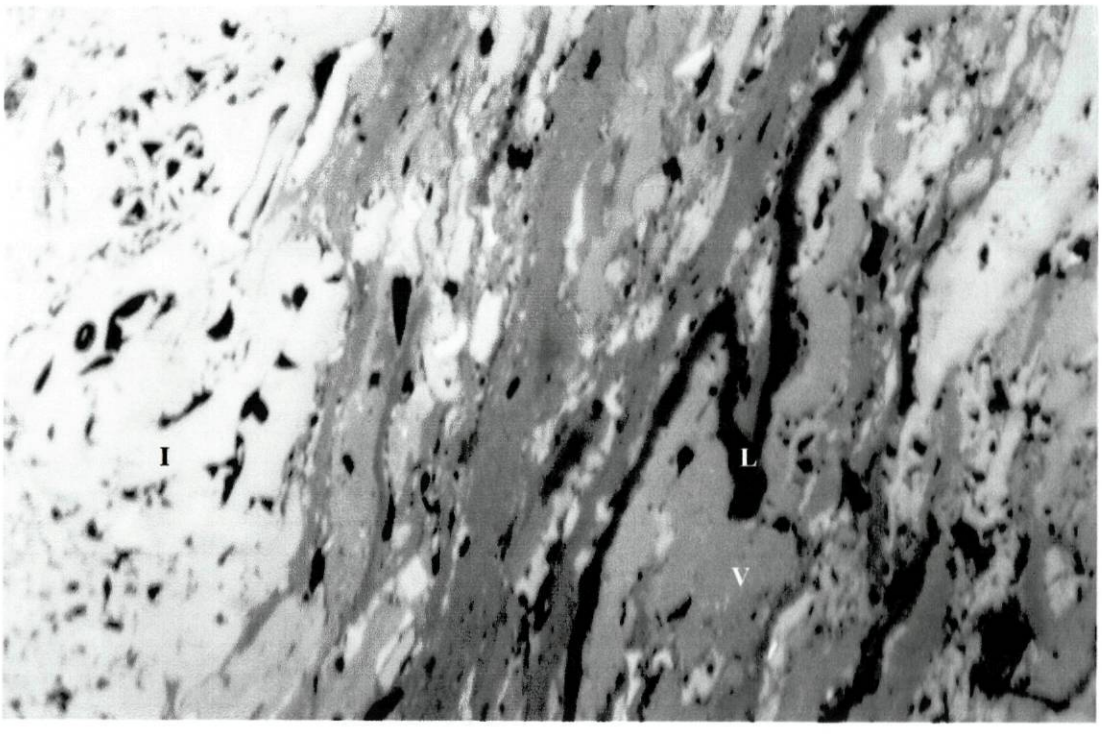


Figura II.1.5- Vitrinite (V), Inertinite (I) e Liptinite (L) num carvão betuminoso[3] com $R_{vitrinite}$=0,85%. Observação realizada com uma objectiva de 50x (segundo Papp & Hower, 1998).

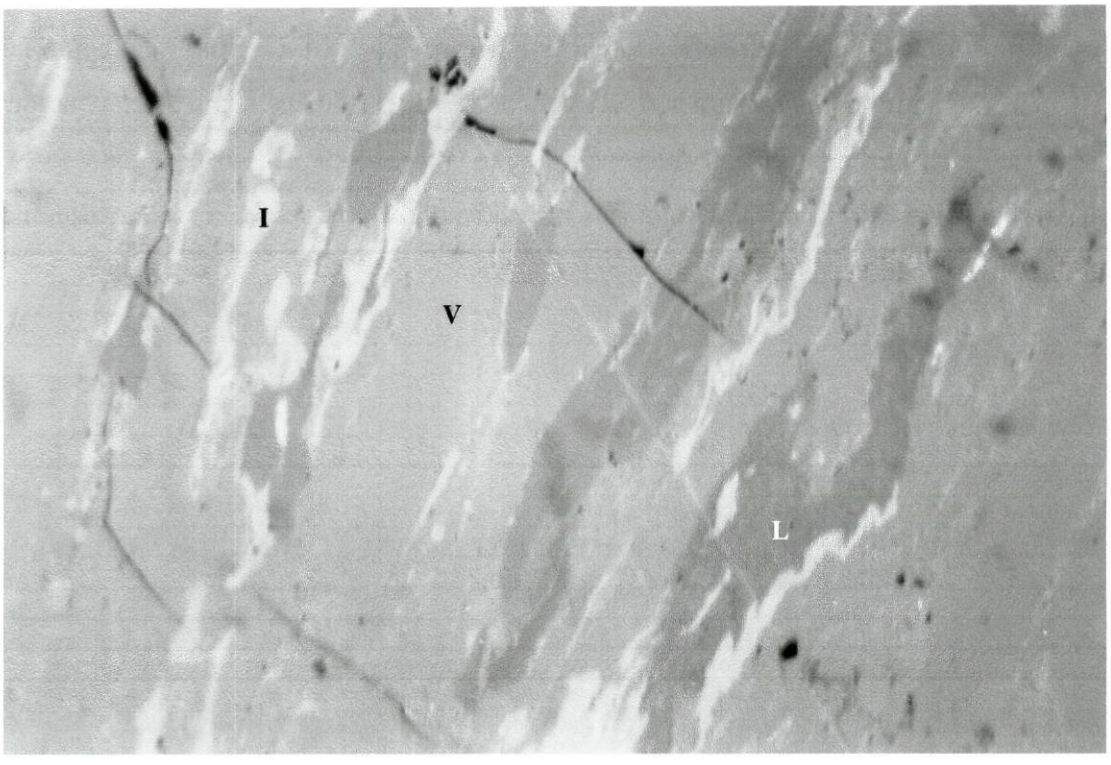


Figura II.1.6- Vitrinite (V), Inertinite (I) e Liptinite (L) num carvão betuminoso[3] com $R_{vitrinite}$=1,25%. Observação realizada com uma objectiva de 50x (segundo Papp & Hower, 1998).

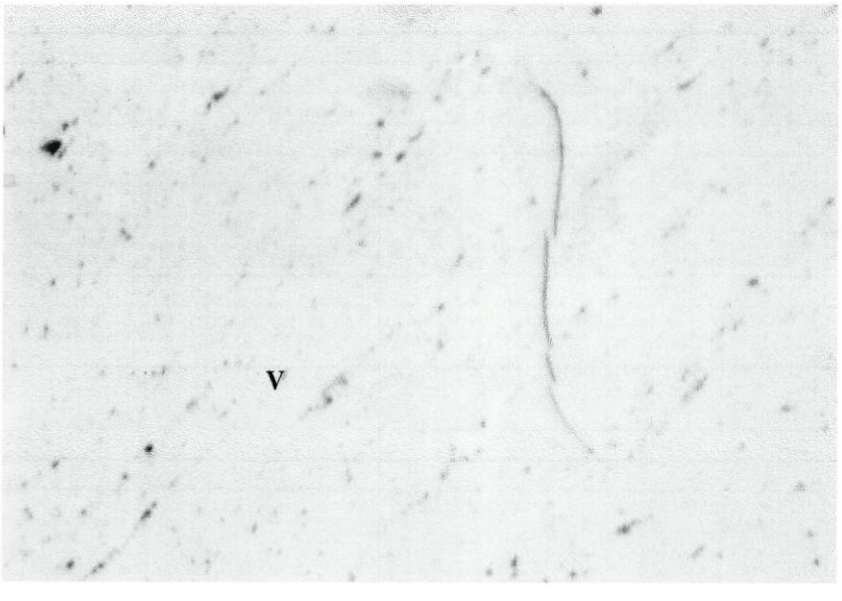


Figura II.1.7- Vitrinite (V) em antracite[3] com $R_{vitrinite}$=2,50%. Observação realizada com uma objectiva de 32x (cedida por M. Marques).

Tabela II.1.3- Classificação dos macerais de acordo com o Sistema Internacional de Stopes-Heerlen (SH), com indicação da morfologia e aspectos característicos (segundo Marques & Flores, 2003: 45).

Grupos	Subgrupos	Macerais	Morfologia	Características
Huminite*/ Vitrinite	Humotelinite*/ Telovitrinite	**Textinite*/ Telinite**	Estrutura celular visível	Paredes celulares mais ou menos gelificadas
		Ulminite*/ Colotelinite	Estrutura celular fracamente visível	Paredes celulares gelificadas
	Humocolinite*/ Gelovitrinite	**Gelinite**	Gel poroso ou mais ou menos compacto e fissurado	Gel amorfo
		Corpohuminite*/ Corpogelinite	Corpos mais ou menos arredondados	Geles que preenchem (ou não) vacúolos celulares
	Humodetrinite*/ Detrovitrinite	**Atrinite*/ Vitrodetrinite**	Detritos húmicos	Detritos
		Densinite*/ Colodetrinite	Idem, mais compactados e homogéneo	Detritos
Liptinite		**Esporinite**	Estrutura bem preservada	Esporos e pólens
		Cutinite	Estrutura bem preservada	Cutículas
		Resinite	Corpos mais ou menos arredondados a preencher ou não vacúolos celulares	Resinas e ceras
		Suberinite	Estrutura bem preservada	Tecidos suberinizados (raízes)
		Alginite	Colónias de algas ou algas unicelulares	Algas
		Fluorinite	Substâncias oleosas mais ou menos arredondadas	Óleos de plantas
		Exudatinite	Hidrocarbonetos produzidos durante a incarbonização	Preenchem fendas e cavidades
		Clorofilinite	Pequenas esférolas	Pigmentos clorofílicos presentes em plantas ou algas
		Liptodetrinite	Detritos	Detritos
Inertinite		**Fusinite**	Paredes celulares bem preservadas	Paredes celulares oxidadas
		Semifusinite	Estrutura celular incipiente	Paredes celulares parcialmente oxidadas
		Macrinite	Aspecto amorfo	Geles amorfos oxidados
		Funginite	Estrutura bem preservada	Paredes celulares de fungos
		Secretinite	Corpos mais os menos arredondados com fendas e/ou vacúolos de desvolatilização	Resinas oxidadas
		Inertodetrinite	Detritos oxidados	Detritos oxidados

* Nomenclatura dos macerais dos carvões de grau inferior

1.5.1.1. GRUPO DA HUMINITE/VITRINITE

Os macerais do grupo da vitrinite formam-se principalmente a partir da fracção ácido-húmica de substâncias húmicas as quais são compostos escuros de composição complexa que contêm elementos como carbono, oxigénio, hidrogénio e azoto. Estes compostos possuem vários pesos moleculares e solubilidades, têm um núcleo aromático e contêm hidroxilo (-OH) e carboxilo (-COOH) como grupos funcionais. Os compostos húmicos formam-se por humificação e turbificação, principalmente a partir da lenhina e da celulose das paredes das células vegetais. Para além dos materiais originais, a formação e as propriedades dos ácidos húmicos também dependem do potencial redox e do valor do pH do meio. Um ambiente aeróbio é um pré-requisito para a transformação da lenhina em ácidos húmicos. A lenhina é destruída parcialmente por fungos e bactérias que atacam tecidos lenhificados.

Durante muito tempo, a lenhina foi considerada como a única precursora dos macerais do grupo da huminite/vitrinite, contudo, actualmente sabe-se que a celulose também participa significativamente para a formação dos macerais de vitrinite. A celulose forma a estruturas das paredes celulares das células vegetais e, opticamente, é anisotrópica. Em paredes celulares lenhificadas, quantidades variáveis de lenhina estão finamente distribuídas entre as microfibrilas de celulose. A lenhina é mais resistente aos ataques microbianos do que a celulose, mas a sua resistência pode ser bastante variável. O conteúdo em lenhina da célula diminui da lamela mediana até ao lúmen. As coníferas são frequentemente mais ricas em lenhina do que as outras árvores.

Os taninos também são importantes precursores dos macerais de vitrinite. Eles consistem numa mistura de vários compostos aromáticos que variam em composição e que possuem propriedades fenólicas e elevados pesos moleculares. Têm uma elevada resistência à ruptura e impregnam as paredes das células vegetais.

As substâncias vegetais facilmente hidrolisáveis, como por exemplo, dissacarídeos, amido, celulose, hemicelulose, pectinas e proteínas são decompostas sem dificuldade por bactérias e fungos, dando origem a produtos gasosos e líquidos (dióxido de carbono, amónia, metano e água) os quais escapam, restando produtos formados essencialmente por materiais sólidos, principalmente substâncias húmicas que participam na formação do carvão. À medida que os processos de decomposição prosseguem, a lenhina, que é relativamente estável, torna-se mais concentrada na turfa e os tecidos vegetais com

revestimento de lenhina mantêm a sua estrutura melhor preservada do que os tecidos ricos em celulose das plantas herbáceas. Folhas e caules ricos em celulose e pobres em lenhina sofrem uma intensa decomposição formando detritos húmicos de restos de paredes vegetais. Em parte estas substâncias podem futuramente ser decompostas e convertidas em soluções coloidais húmicas que se infiltram na turfa e que, por secagem, podem precipitar como finas partículas de gel entre os detritos. Assim, os dois processos que estão na base da formação dos macerais de vitrinite existentes nos carvões são a humificação e a gelificação, que já foram caracterizados anteriormente.

A vitrinite dos carvões betuminosos consiste em grandes quantidades de huminas que são insolúveis em alcalis. Nas lignites, os tecidos húmicos gelificados podem ser distinguidos dos tecidos não gelificados por apresentarem células bastante cimentadas e homogeneizadas. A gelificação bioquímica pode distinguir-se da **gelificação geoquímica**[5] que ocorre durante o processo de incarbonização. Durante este processo, as huminites da turfa e das lignites são convertidas nas vitrinites dos carvões de grau médio e superior. Consequentemente, a gelificação geoquímica pode ser designada de **vitrinização**[5].

As propriedades químicas e ópticas da vitrinite são alteradas mais uniformemente durante a incarbonização do que os outros grupos de macerais, o que constitui a principal razão pela qual é usada para determinar o grau de incarbonização. Um aumento de grau é caracterizado quimicamente pela diminuição do oxigénio e das matérias voláteis e por um correspondente aumento do teor em carbono. Uma vez que as matérias voláteis representam essencialmente a fracção não aromática do carvão, uma relação bastante próxima existe entre a reflectividade e o teor em matérias voláteis. Uma fracção aromática relativamente grande bem como um elevado conteúdo em oxigénio são características dos macerais de vitrinite.

O aumento da anisotropia óptica da vitrinite (birreflectância) durante a incarbonização é causada por progressivos reajustes dos micélios húmicos predominantemente aromáticos (partículas coloidais) nos planos de estratificação devido ao aumento da pressão de carga. A anisotropia óptica e o conteúdo em humidade das vitrinites são, assim, predominantemente condicionadas por factores físicos.

[5] Veja-se incarbonização (secção 1.6.).

Em comparação com outros grupos de macerais, a reflectância da vitrinite é intermédia. Apresenta valores baixos em carvões com elevado teor em matérias voláteis e aumenta com o aumento do grau de incarbonização.

É de referir que a reflectância da vitrinite não depende exclusivamente do grau de incarbonização, mas os macerais e sub-macerais do grupo da vitrinite diferem ligeiramente na sua reflectância devido a diferenças primárias no material precursor e na fácies do carvão (figura II.1.8).

O conteúdo em oxigénio da vitrinite diminui progressivamente com o aumento do grau; o conteúdo em hidrogénio da vitrinite tende a manter-se constante nos carvões de baixo grau, mas nos carvões betuminosos de médio conteúdo em voláteis diminui de modo característico. De uma forma geral, o conteúdo em oxigénio sofre uma diminuição mais acentuada do que o conteúdo em hidrogénio. Também as razões atómicas H/C e O/C diminuem.

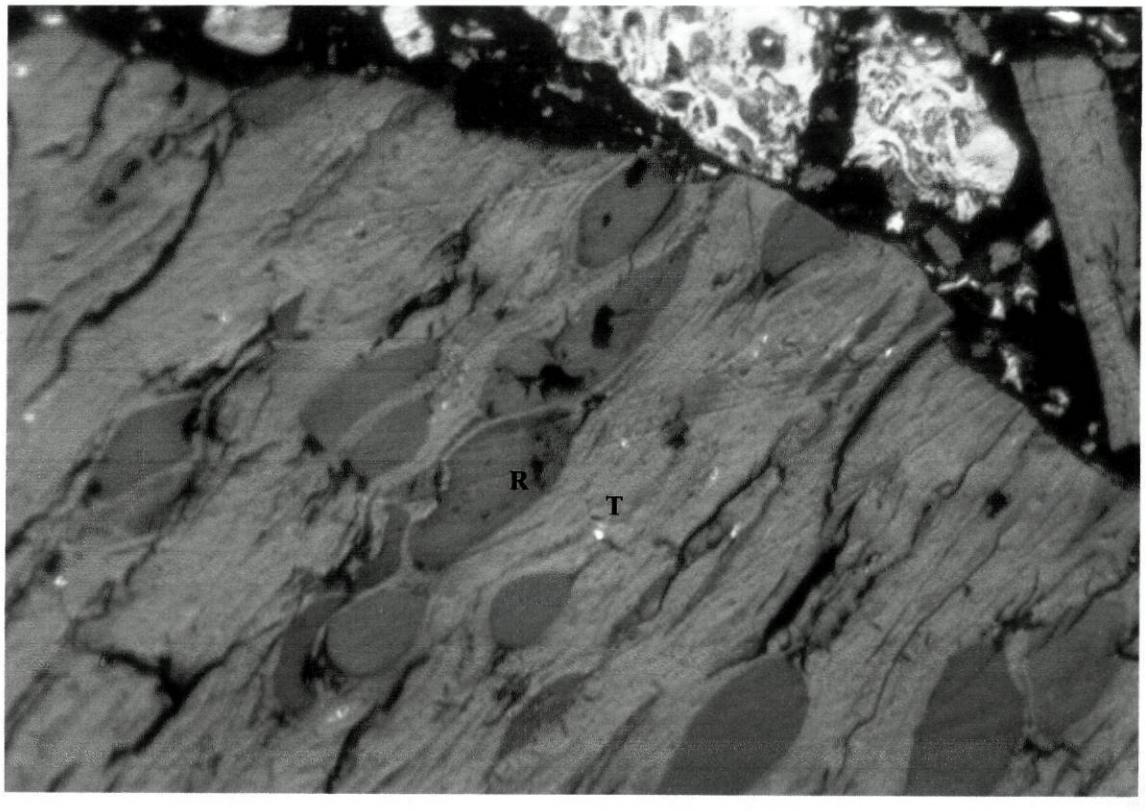


Figura II.1.8- Vitrinite (Telinite - T) com os lúmens celulares preenchidos por liptinite (Resinas – R) num carvão com $R_{vitrinite}$=0,50%. Observação realizada com uma objectiva de 50x (segundo Papp & Hower, 1998).

1.5.1.2. GRUPO DA LIPTINITE (EXINITE)

Os macerais do grupo da liptinite originam-se a partir de material vegetal relativamente rico em hidrogénio, nomeadamente, esporos, pólenes, cutina, suberina, resinas, ceras, bálsamos, látex, gorduras e óleos, bem como a partir de produtos da degradação bacteriana de proteínas, celulose e de outros hidratos de carbono (figuras II.1.9, II.1.10, II.1.11, II.1.12, II.1.13).

Em contraste com os materiais húmicos, os macerais do grupo da liptinite contêm quantidades relativamente grandes de constituintes alifáticos (n-alcanos). Uma grande fracção dos macerais de liptinite forma-se a partir dos lípidos das plantas, isto é, a partir de substâncias gordas que podem ser divididas com base no seu comportamento perante solventes orgânicos, num grupo de ceras e gorduras solúveis e num grupo insolúvel, altamente polimerizado, grupo da suberina-cutina. Os carvões formados durante o Terciário tendem a ser mais ricos em ceras do que aqueles formados em períodos anteriores, devido à contribuição das Angiospérmicas tropicais.

Em carvões de baixo grau, as liptinites distinguem-se das vitrinites por terem um conteúdo em hidrogénio superior. Durante as fases iniciais do processo de incarbonização, os precursores dos macerais de liptinite são, em contraste, com os da vitrinite, muito estáveis.

Em carvões de baixo grau, a liptinite mantém a sua composição mais ou menos estável mas, aproximadamente, no limite entre os carvões sub-betuminosos e os carvões betuminosos, inicia-se uma mudança significativa nas propriedades dos constituintes lipídicos, a qual tem sido descrita como o primeiro salto da incarbonização da liptinite. Esta mudança coincide com a formação de hidrocarbonetos líquidos nas rochas-mãe do petróleo.

Nos carvões, as substâncias que são típicas do petróleo, formam-se por processos de descarboxilação e de redução. Muitos destes produtos parecem ser absorvidos ou adsorvidos pelas substâncias húmicas, apenas em casos raros estas substâncias são preservadas na sua forma pura como exsudatinite.

Com o aumento do grau de incarbonização, as liptinites assumem as características ópticas e químicas da vitrinite, não sendo mais possível distingui-las nos carvões com graus correspondentes a 1,3%-1,4% de poder reflector aleatório da vitrinite (Ra).

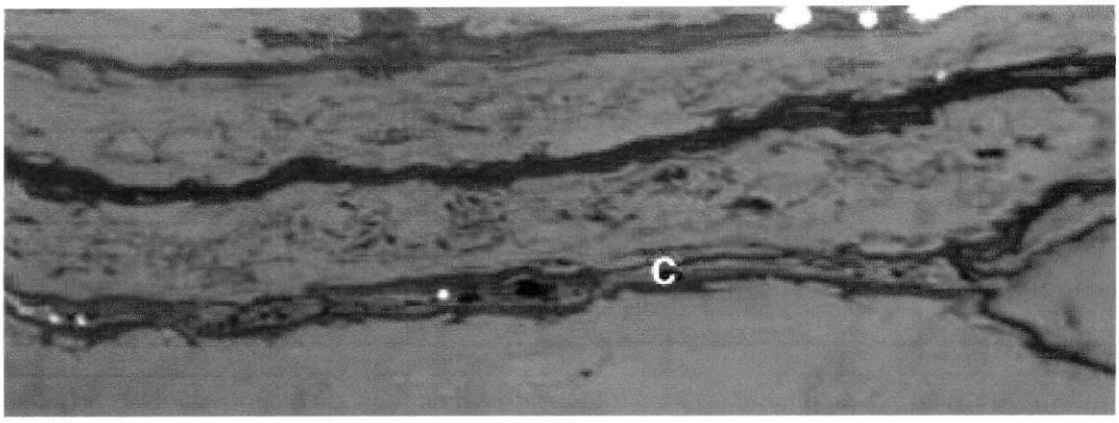


Figura II.1.9- Liptinite (Cutinite – C) num carvão com $R_{vitrinite}$=0,63%. Observação realizada com uma objectiva de 32x (segundo Papp & Hower, 1998).

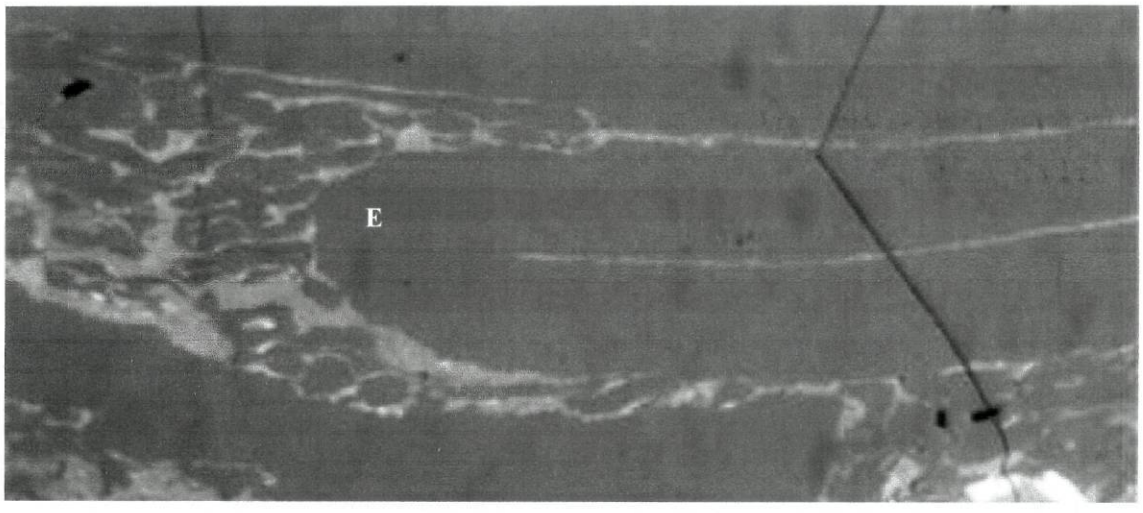


Figura II.1.10- Liptinite (Esporinite – E) num carvão com $R_{vitrinite}$=0,70%. Observação realizada com uma objectiva de 32x (segundo Papp & Hower, 1998).

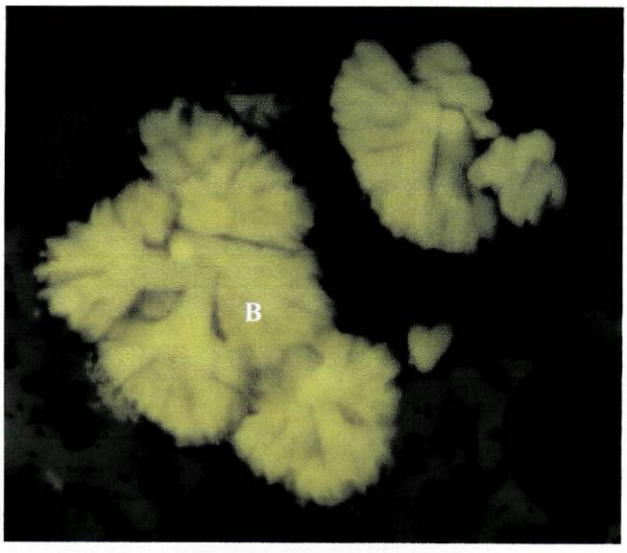


Figura II.1.11- Liptinite (Alginite – *Botrycoccus* - B) vista em fluorescência (luz azul) num carvão com $R_{vitrinite}$=0,78%. Observação realizada com uma objectiva de 32x (segundo Papp & Hower, 1998).

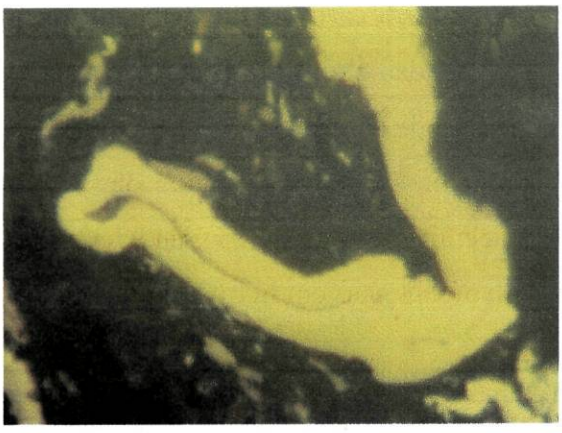


Figura II.1.12- Esporo (liptinite) visto em fluorescência (luz azul) num carvão betuminoso[3] com $R_{vitrinite}$=0,90%. Observação realizada com uma objectiva de 32x (segundo Papp & Hower, 1998).

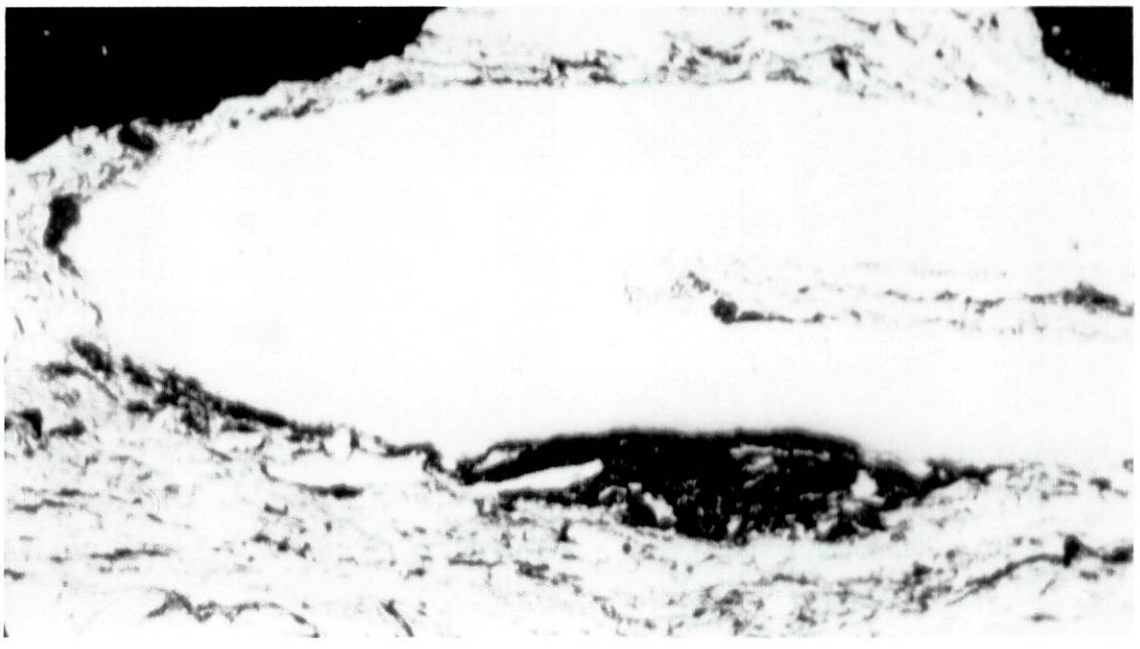


Figura II.1.13- Esporo (liptinite) numa antracite[3] com $R_{vitrinite=liptinite}$=3,00%. Observação realizada com uma objectiva de 50x (segundo Papp & Hower, 1998).

1.5.1.3. GRUPO DA INERTINITE

Os precursores químicos e botânicos dos macerais do grupo da inertinite são essencialmente os mesmos da vitrinite, nomeadamente a celulose e a lenhina das paredes celulares vegetais, contudo, estes constituintes experienciaram uma história bastante diferente, a qual é descrita como **fusinitização**.

A fusinitização produz substâncias com um teor em carbono relativamente elevado, baixo teor em hidrogénio, uma relação H/C também baixa e uma relação O/C superior à da vitrinite. Devido a um grande grau de aromatização e de condensação, a reflectividade dos macerais de inertinite é relativamente superior à reflectividade das vitrinites correspondentes (figuras II.1.14, II.1.15). Os macerais deste grupo são caracterizados por conteúdo em carbono relativamente elevado, baixo conteúdo em hidrogénio e um elevado nível de aromatização.

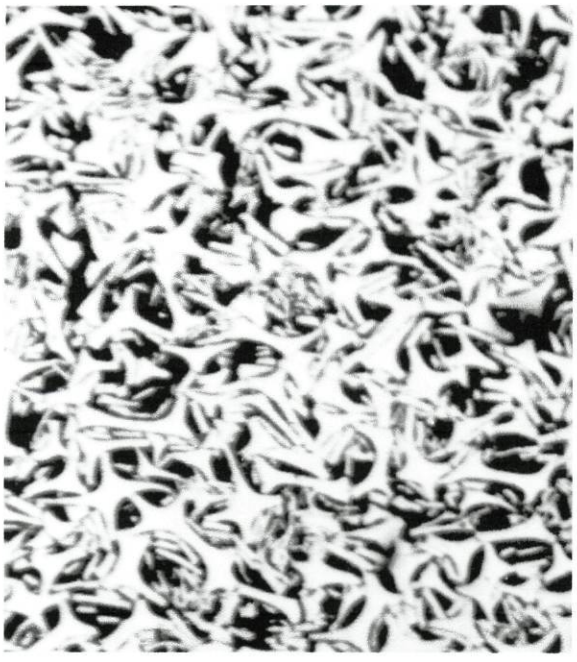


Figura II.1.14- Fusinite (inertinite) num carvão com $R_{vitrinite=liptinite}$=2,80%. Observação realizada com uma objectiva de 32x (segundo Papp & Hower, 1998).



Figura II.1.15- Semifusinite (inertinite) mostra os lúmens celulares preenchidos por carbonatos num carvão com $R_{vitrinite=liptinite}$=2,80%. Observação realizada com uma objectiva de 32x (cedida por M. Marques).

Oxidação, desmoronamento, ataque por fungos e carbonização à superfície da turfa antes ou após a deposição são algumas das causas da fusinitização. Os macerais de inertinite também se podem formar a partir dos macerais dos outros dois grupos durante o processo de incarbonização geoquímica. Por exemplo, as paredes celulares dos tecidos xilémicos podem ser transformadas em textinite/telinite (macerais do grupo da huminite/vitrinite) pelo processo de humificação e de gelificação, contudo, uma carbonização causada por fogos florestais pode conduzir à formação de fusinite (pirofusinite), maceral do grupo da inertinite.

A maior parte dos macerais de inertinite sofre reduzida alteração durante o processo de incarbonização, uma vez que já sofreu uma "pré-incarbonização". Assim, durante o decurso da incarbonização os macerais de inertinite perdem o resto do oxigénio e do hidrogénio, tornando-se mais ricos em carbono. Durante a incarbonização ocorre um correspondente mas pequeno aumento da reflectividade dos macerais de inertinite que já é inicialmente forte. Acima do estado de antracite, a sua reflectividade mantém-se mais elevada do que a da vitrinite associada, mas no estado de meta-antracite, por vezes, já se observou que a reflectividade da vitrinite excede a da inertinite (Sousa, 1985).

1.5.2. MATÉRIA MINERAL DO CARVÃO

Nos carvões, para além das substâncias de origem puramente orgânica, é possível encontrar componentes inorgânicos, os quais condicionam grandemente a sua utilização industrial, uma vez que a sua presença:

- diminui a capacidade energética do carvão.
- determina se as cinzas do carvão fundem ou não às temperaturas de combustão.
- tem efeitos catalíticos, afectando processos como a liquefacção.
- no coque afecta o processo de coquefacção.
- é responsável pela emissão de partículas muito poluentes, nomeadamente de enxofre e de cinzas volantes.

Todos os carvões possuem componentes inorgânicos que podem ser classificados em três grupos tendo por base a sua origem (Taylor *et al.*, 1998):

1. **matéria inorgânica singenética** do material vegetal original.
2. **complexos inorgânicos-orgânicos** e minerais singenéticos formados durante as fases iniciais do processo de formação da turfa ou que foram introduzidos pela água ou pelo vento nos depósitos de turfa à medida que esta se ia formando.
3. **minerais epigenéticos** depositados depois da consolidação do carvão, por cristalização em fissuras ou cavidades, de soluções ascendentes ou descendentes; ou minerais que resultaram da alteração sofrida pelos minerais inicialmente depositados.

De um modo geral, os minerais que se formaram juntamente com o carvão ou que foram introduzidos nos depósitos são muito úteis para efectuar correlações e identificações, pois são de granulometria muito fina e estão intimamente intercrescidos com o carvão. Pelo contrário, minerais que se formaram após a consolidação do carvão não permitem a realização dessas correlações, uma vez que não ocorrem em associação íntima com os constituintes orgânicos do carvão.

A quantidade de matéria mineral nos carvões é bastante variável, podendo ser inferior a 1%, ou atingir valores muito elevados.

Análises realizadas com o microscópio óptico permitem caracterizar os elementos minerais do carvão quanto à natureza, granulometria, forma e associação com macerais ou microlitótipos[6]. Contudo, análises mais detalhadas requerem o uso do microscópio electrónico e técnicas de difracção de raios-X. A análise das cinzas que se formam após a queima total da componente orgânica é um método bastante comum no estudo da matéria inorgânica presente no carvão. Contudo, esta prática fornece informação limitada uma vez que os minerais originais também sofrem alterações durante a combustão, podendo mesmo ocorrer a volatilização de alguns elementos. O teor em cinzas pode condicionar as aplicações industriais do carvão, nomeadamente o fabrico de coque siderúrgico, onde o teor máximo aceitável num fabrico tradicional é de 10%.

A abundância dos diferentes elementos minerais nos carvões é bastante variável em função do carvão considerado. Na tabela II.1.4 enumera-se alguns dos principais minerais presentes nos carvões e faz-se referência à sua abundância na generalidade dos carvões.

Os minerais de argila constituem cerca de 60% a 80% do total de matéria mineral associada ao carvão (figura II.1.16). Estes minerais podem surgir como inclusões finamente dispersas no carvão ou como concreções minerais (*tonsteins*).

Depois dos minerais de argila, os carbonatos são o grupo de minerais que mais frequentemente surge associado aos carvões (figura II.1.17). A siderite e a dolomite são os principais carbonatos singenéticos. A dolomite contém magnésio sendo típica de jazigos que foram influenciados por águas marinhas. Este mineral pode surgir quer na forma de cristais idiomórficos ou impregnando o material vegetal e, contribuindo, para a formação das denominadas *coal-balls*. Os carbonatos de ferro formam-se em ambientes anaeróbios. A calcite ocorre frequentemente associada a fracturas e fissuras.

[6] Associações naturais de macerais ou de macerais e minerais.

Tabela II.1.4- Minerais identificados no carvão (segundo Taylor *et al.*, 1998: 258)

Mineral	Ocorrência	Mineral	Ocorrência
Minerais de argila		**Fosfatos**	
Ilite-sericite	Comum – abundante	Apatite	Rara
Montmorilonite	Rara – comum	Fosforite	Rara
Caolinite	Comum – abundante	Goiazite	Rara
Haloisite	Rara	Gorceixite	Rara
Sulfuretos de ferro		**Sulfatos**	
Pirite	Rara – comum	Barite	Rara
Marcasite	Rara – comum	Gesso	Muito rara
Carbonatos		**Silicatos** (não as argilas)	
Siderite	Comum – muito	Zircão	Rara
Anquerite	Comum – muito	Biotite	Muito rara
Calcite	Comum – muito	Estaurolite	Muito rara
Dolomite	Rara – comum	Turmalina	Muito rara
Aragonite	Rara	Granada	Muito rara
Whiterite	Rara	Epídoto	Muito rara
Estroncianite	Rara	Sanidina	Rara
Óxidos		Ortoclase	Muito rara
Hematite	Rara	Augite	Muito rara
Quartzo	Rara – comum	Anfíbola	Muito rara
Magnetite	Muito rara	Cianite	Muito rara
Rutile	Muito rara	Clorite	Rara
Hidróxidos		**Sais**	
Limonite	Rara – comum	Gesso	Rara
Goetite	Rara	Bischofite	Muito rara – comum
Diaspore	Rara	Silvite	Muito rara – comum
Sulfuretos (não de ferro)		Halite	Muito rara – comum
Esfalerite	Rara	Kieserite	Muito rara – comum
Galena	Rara	Mirabilite	Muito rara – rara
Milerite	Muito – rara	Melanterite	Muito rara
Calcopirite	Muito – rara	Keramohalite	Muito rara
Pirotite	Muito – rara		

Nota: Minerais classificados como abundantes a comuns ocorrem em muitos carvões em proporções significativas, constituindo 5% a 30% do total da matéria mineral do carvão. Minerais classificados como raros ou muito raros frequentemente ocorrem em quantidades muito pequenas (tipicamente menos de 5% do total da matéria mineral), mas também incluem alguns minerais que ocorrem em apenas alguns carvões em quantidades consideráveis.

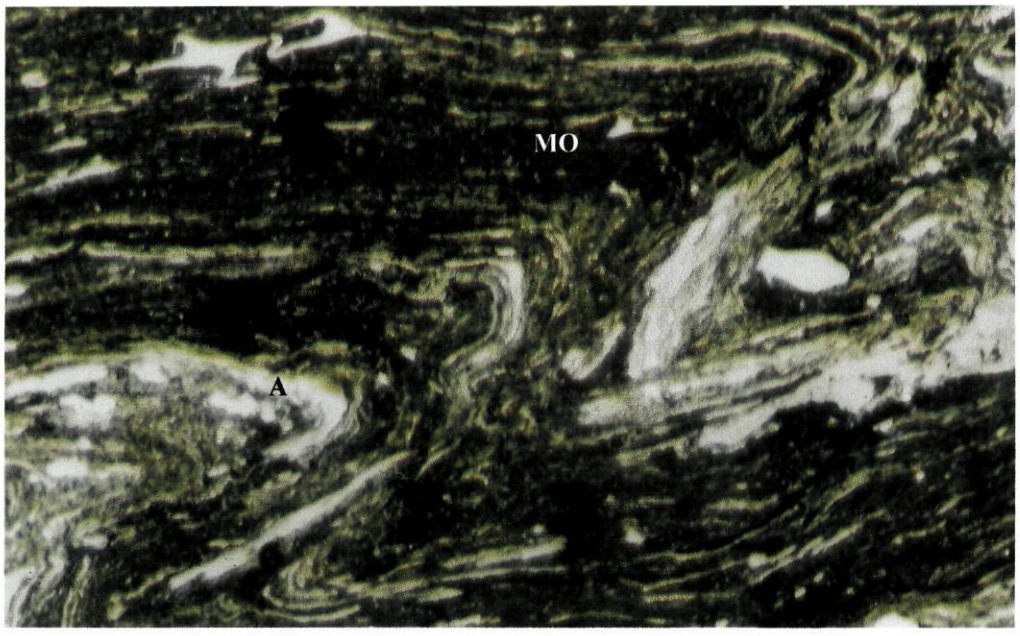


Figura II.1.16- Argilas interestratificadas (A) com matéria orgânica (MO) (cedida por M. Marques).

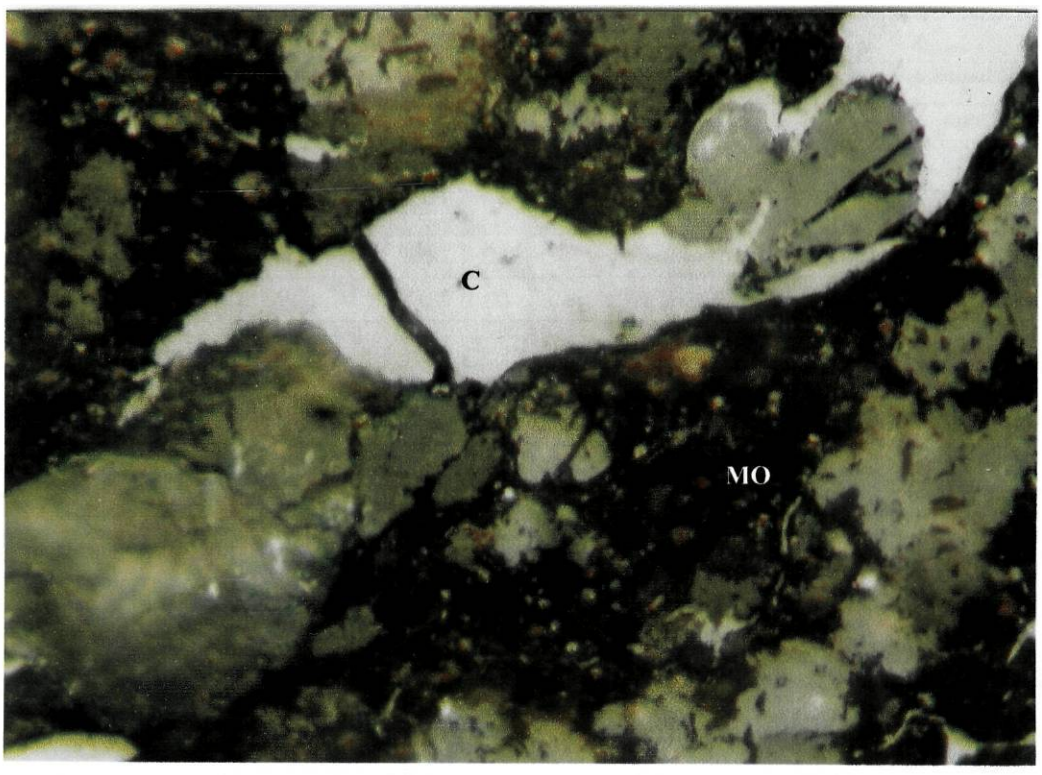


Figura II.1.17- Carbonatos, provavelmente siderite (C) a crescer sobre matéria orgânica (MO) (cedida por M. Marques).

Os sulfuretos que mais frequentemente ocorrem no carvão são a pirite (figura II.1.18) e a marcasite. Em jazigos localizados próximo de veios hidrotermais o carvão pode conter pequenas quantidades de galena e de calcopirite. Geralmente, os carvões formados em bacias parálicas são mais ricos em pirite do que aqueles que se formaram em bacias límnicas. Os carvões formados em bacias parálicas que foram influenciadas por transgressões marinhas são sempre caracterizados por conteúdos em pirite particularmente elevados e, às vezes, também pela presença de enxofre orgânico. A siderite primária pode ser transformada em pirite por soluções circulantes enriquecidas em sulfureto de hidrogénio. Por vezes, ainda que raramente, a textura das plantas fica preservada porque os materiais constituintes das paredes das células vegetais é substituído por pirite.

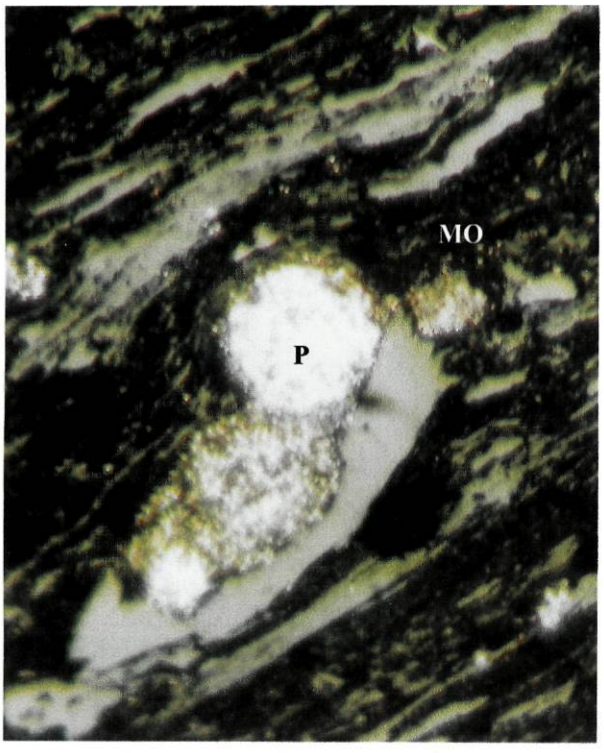


Figura II.1.18- Pirite (P) sobre matéria orgânica (MO) (cedida por M. Marques).

O quartzo é o óxido mais importante que pode ocorrer associado aos carvões. Este mineral pode ocorrer como quartzo clástico que foi transportado pela água ou pelo vento para a bacia sedimentar ou pode ter uma origem mais recente a partir de soluções ricas em sílica, apresentando, neste último caso, uma estrutura cristalina mais definida. A sílica dissolvida resulta muitas vezes da meteorização dos feldspatos e das micas, pelo que é

frequente que pequenos minerais de quartzo surjam associados a outros minerais dispersos. A identificação do quartzo existente no carvão é fundamental para a prevenção da silicose.

Os restantes óxidos e hidróxidos como a hematite, limonite, goetite micácea, entre outros, são muito raros no carvão.

A ocorrência de fosfato no carvão é interessante do ponto de vista genético porque indica a presença se constituintes proteináceos e albuminosos. O fosfato pode ocorrer no carvão quer como cinzas das plantas quer como fosforite ou apatite.

Minerais pesados como o zircão ocorrem com alguma frequência no carvão, em quantidades muito pequenas, normalmente apresentando halos radioactivos.

Os sais que mais frequentemente são encontrados no carvão são os cloretos, sulfatos e nitratos. Estes minerais constituem uma fonte de problemas relacionados quer com a preparação do carvão quer na corrosão das caldeiras.

Também é frequente encontrar no carvão elementos traço como o boro, os quais são muito úteis para as investigações geológicas, nomeadamente na definição de ambientes de deposição do material precursor do carvão. O boro, por exemplo, é um indicador da influência marinha nos ambientes de deposição (Taylor *et al.*, 1998). Contudo, estes elementos são uma fonte de problemas para a utilização tecnológica dos carvões.

1.6. INCARBONIZAÇÃO

A **incarbonização** pode ser entendida como um processo diagenético de evolução das turfas. Este processo inicia-se após a formação da turfa e compreende mudanças progressivas ao longo dos diferentes estados de **lignites**, **carvões sub-betuminosos**, **betuminosos**, **antracites** e **meta-antracites**. O processo de incarbonização afecta de modo distinto os diferentes macerais. A incarbonização é sempre precedida pela **turbificação** e pode ser seguida da **grafitização**.

O termo **betuminização** designa a formação de substâncias semelhantes a petróleo durante a incarbonização.

O termo **maturação** é usado para designar o desenvolvimento diagenético da matéria orgânica dispersa nos sedimentos e que conduz à formação do petróleo e do gás natural, a partir de xistos betuminosos, rochas-mãe do petróleo e de rochas sedimentares relacionadas.

A incarbonização e a maturação são processos durante os quais se libertam produtos móveis (líquidos e gasosos) e se formam produtos residuais sólidos que sofrem aromatização e condensação (carvão ou cerogénio[7] das rochas-mãe do petróleo). Estes processos causam uma reorganização molecular e uma eliminação progressiva dos componentes líquidos ou gasosos bem como um aumento do conteúdo em carbono. Esta transformação é influenciada principalmente pelo aumento da temperatura e pelo tempo disponível para que as reacções ocorram, bem como pela pressão exercida. De um modo geral, os constituintes do carvão reagem de um modo muito mais sensível à variação das condições físico-químicas do meio do que os minerais das rochas sedimentares.

De acordo com Tissot & Welte (1984), quer o carvão quer o cerogénio das rochas-mãe do petróleo são quimicamente caracterizados por possuírem um núcleo aromático que estabelece ligações com grupos funcionais. A grande diferença entre ambos reside no tipo de ligações que apresentam – o cerogénio frequentemente contém mais e mais longas cadeias alifáticas, enquanto os carvões apresentam uma aromaticidade maior. Daí que, de um modo geral, a incarbonização e a maturação se processem de modo semelhante, ou seja, pela perda dos grupos funcionais e do oxigénio e por um aumento do conteúdo em carbono.

As substâncias iniciais e o tipo de decomposição determinam se haverá formação de carvão ou de petróleo. Como já foi anteriormente referido, os precursores dos carvões são principalmente a lenhina e a celulose de plantas superiores, as quais sofrem predominantemente uma humificação bioquímica com um fornecimento restrito de oxigénio durante a formação da turfa. Contrariamente, as substâncias que dão origem aos petróleos são principalmente pequenos organismos (algas, zooplâncton, bactérias) que contêm quantidades relativamente grandes de celulose, proteínas e ceras que experimentam uma severa sapropelização, durante a qual se formam ácidos gordos juntamente com outras substâncias. Estes, tal como as ceras, pertencem ao grupo dos lípidos os quais são as substâncias químicas mais importante para a génese do petróleo bruto. Os lípidos são significativamente mais ricos em hidrogénio do que as substâncias húmicas, das quais também diferem pelo seu baixo conteúdo aromático e alto conteúdo alifático.

Os precursores do petróleo também são encontrados nos carvões, apesar de, como é evidente, ocorrerem em menores concentrações do que nas rochas-mãe do petróleo.

[7] Veja-se secção 2.1.3

Os processos de incarbonização e de maturação podem ser "avaliados" por um conjunto de mudanças físicas, químicas e petrográficas ou ópticas, que convém desde já enunciar.

As principais **mudanças químicas** são:

- a condensação, a polimerização e a aromatização;
- a perda de grupos funcionais contendo oxigénio, enxofre e azoto;
- o aumento do conteúdo em carbono (ainda que de modo não linear).

As principais **mudanças físicas** que ocorrem ao longo da incarbonização são:

- a perda de porosidade;
- o aumento da densidade e da dureza;
- o aumento do poder calorífico.

As principais **mudanças petrográficas** ou **ópticas** observadas no decorrer da incarbonização são:

- a diminuição da translucência dos macerais;
- o aumento da reflectância e da birreflectância (anisotropia) das vitrinites e das liptinites;
- alterações características nas propriedades de fluorescência dos macerais.

As mudanças mais evidentes correspondem aos **saltos da incarbonização** e à formação de macerais secundários a partir dos macerais primários.

De acordo com Sousa (1985), há a considerar quatro saltos da incarbonização:

- **1.º Salto de incarbonização** – ocorre quando o grau de um carvão corresponde a cerca de 80% de carbono, 43% de matérias voláteis e 0,6% de poder reflector aleatório da vitrinite. Coincide com a formação da micrinite.

- **2.º Salto de incarbonização** – ocorre quando o grau de um carvão corresponde a cerca de 87% de carbono, 29% de matérias voláteis e 1,3% de poder reflector aleatório da vitrinite. Afecta principalmente os macerais do grupo da liptinite, sendo caracterizado por uma acentuada diminuição do conteúdo em oxigénio, que é libertado principalmente na forma de dióxido de carbono e de água e pelo início da libertação de hidrogénio sob a forma de metano.

- **3.º Salto de incarbonização** – ocorre quando o grau de um carvão corresponde a cerca de 91% de carbono, 8% de matérias voláteis e 2,5% de poder reflector aleatório da vitrinite. Caracteriza-se pela perda de hidrogénio sob a forma de metano e por uma forte condensação e aromatização.

- **4.º Salto de incarbonização** – ocorre quando o grau de um carvão corresponde a cerca 93,5% de carbono, 4% de matérias voláteis e a 3,7% de poder reflector aleatório da vitrinite. Corresponde a um continuar das transformações referidas para o terceiro salto de incarbonização.

1.6.1. CAUSAS GEOLÓGICAS DA INCARBONIZAÇÃO

A incarbonização, bem como a maturação da matéria orgânica dos sedimentos, dependem principalmente da temperatura máxima que a rocha atingiu, do modo como essa temperatura variou ao longo do tempo geológico e da pressão à qual a rocha foi submetida.

O aumento do grau de incarbonização com a profundidade é causado pelo aumento da **temperatura** da rocha com a profundidade. Deste modo, o gradiente de incarbonização tem uma evolução mais ou menos paralela à do gradiente geotérmico. A taxa de aumento do grau está dependente do gradiente geotérmico mas também da condutividade do calor pelas rochas.

As provas da forte influência da temperatura no processo de incarbonização podem ser encontradas em regiões onde a incarbonização ocorreu à custa de uma fonte de calor adicional proveniente de grandes corpos ígneos intrusivos. Esta influência é, principalmente determinante para a formação das antracites, as quais se formam a temperaturas bastante elevadas que não se verificam em regiões de gradiente geotérmico normal (3-4°C/100m).

Frequentemente, os valores de temperatura aos quais ocorre a incarbonização natural são muito inferiores àqueles obtidos em estudos de incarbonização artificial, uma vez que é necessário considerar a influência de outros factores, principalmente o factor **tempo**. O período de tempo durante o qual um carvão permanece a uma determinada temperatura é determinante para a sua evolução, contudo, segundo Stach *et al.* (1982), o factor tempo apenas tem um efeito significativo no processo de incarbonização quando a temperatura é suficientemente alta para que ocorram reacções químicas.

Devido à influência do factor tempo e à variação das histórias geotérmicas das bacias sedimentares, é difícil relacionar um grau particular de incarbonização com uma temperatura precisa. As temperaturas de incarbonização típicas variam entre os 100°C e os 170°C para os carvões betuminosos e os 170°C a 250°C para as antracites.

Enquanto que o aumento da temperatura acelera as reacções químicas que têm lugar durante a incarbonização, o aumento da **pressão**, de um modo geral, retarda-as, promovendo as alterações físico-estruturais como a diminuição da porosidade e o alinhamento das unidades estruturais (Taylor *et al.*, 1998). Assim, a pressão tem um efeito preponderante principalmente durante a compactação da turfa e na sua evolução até ao estado de carvão betuminoso, promovendo a diminuição da porosidade e a redução do conteúdo em humidade com o aumento da profundidade.

Enquanto que elevadas pressões hidrostáticas e litostáticas certamente retardam as reacções químicas da incarbonização uma vez que dificultam a remoção dos produtos de reacção líquidos e gasosos, a pressão tectónica, em particular o cisalhamento, aparentemente conduz a alterações físico-estruturais promovendo a ordenação paralela das lamelas aromáticas e causando alterações nas propriedades ópticas da vitrinite (Stach *et al.*, 1982). Movimentos tectónicos rápidos podem ocasionalmente causar localmente um aumento do grau, provavelmente, devido a uma concentração do calor de fricção. O cisalhamento promove de modo significativo quer o aumento da reflectância máxima da vitrinite quer a sua anisotropia, principalmente durante o processo de antracitização (Taylor *et al.*, 1998). De acordo com o mesmo autor, elevadas pressões fazem diminuir as temperaturas necessárias para que ocorra a grafitização (para 1600°C em vez dos 3000°C necessários na ausência de pressão).

1.6.2. MODIFICAÇÕES QUÍMICAS E FÍSICAS DURANTE A INCARBONIZAÇÃO

O aumento do grau é, nos carvões pouco evoluídos, inicialmente caracterizado pela diminuição do **teor em humidade total**. Esta diminuição depende em grande parte da **diminuição da porosidade**, mas também da decomposição dos grupos funcionais hidrofílicos, especialmente grupos OH (hidroxilos). Também grupos carboxilos (COOH), metaxilos (OCH_3), carbonilos (C=O) e anéis de oxigénio são libertados, aumentando gradualmente o conteúdo em carbono. Ao longo da incarbonização como o teor em humidade diminui o **poder calorífico do carvão aumenta** no mesmo sentido.

Durante os estádios iniciais de incarbonização (lignite e carvões sub-betuminosos), os últimos restos de lenhina e celulose são transformados em materiais húmicos, ácidos húmicos e finalmente huminas, havendo libertação de **dióxido de carbono**, **água** e **algum metano** (proveniente dos grupos metaxilos da lenhina).

O progresso da incarbonização nos **carvões betuminosos** é, nas fases iniciais, semelhante ao que ocorre nas lignites, nomeadamente no que respeita à diminuição do teor em humidade e ao correspondente aumento do poder calorífico. Todavia, nos últimos estádios de carvão betuminoso, as matérias voláteis que resultam principalmente da fracção não aromática do carvão, diminuem rapidamente devido à remoção dos grupos alifáticos e ao aumento da aromatização dos complexos húmicos. De acordo com dados referidos por Taylor *et al.* (1998), dependendo do gradiente geotérmico é necessária uma subsidência de pelo menos 1500 metros para que ocorra a formação de carvão betuminoso (mais frequentemente são necessárias profundidades de 2500 a 4000 metros).

Esta fase da incarbonização inclui um estádio de betuminização, o qual começa ainda durante o estádio de carvão sub-betuminoso. O processo de betuminização é caracterizado pela produção de **hidrocarbonetos semelhantes aos do petróleo** a partir das cutículas das folhas, pólenes, esporos e outros componentes, por reacções químicas nas quais os grupos com oxigénio são removidos das longas cadeias de ácidos, dos álcoois e dos esteres. Esta produção de material extractável é máxima quando a vitrinite apresenta uma reflectância entre os 0,8 – 1,2% (Taylor *et al.*, 1998).

A formação de substâncias semelhantes ao petróleo a partir do carvão tem sido confirmada por vários estudos de microscopia de fluorescência. Estas e outras observações petrográficas suportam a ideia de que as substâncias semelhantes a petróleo se formam a partir de liptinites e vitrinites durante o 1.º salto da incarbonização. Como já foi referido, durante o 1.º salto da incarbonização, formam-se, no carvão, betumes relativamente móveis e produtos residuais fortemente reflectores (incluindo micrinite). Esta fase corresponde, também, à formação do petróleo nas rochas-mãe do petróleo.

Contrariamente, ao que acontece nas rochas-mãe do petróleo nas quais o betume migra de modo significativo para rochas reservatório, o betume formado no carvão não pode migrar porque os macerais do grupo da vitrinite formam um sistema de poros sub-microscópicos que constituem uma peneira e barreira molecular. As substâncias semelhantes ao petróleo formadas nos carvões são, na sua maioria, assimiladas adsortivamente e, provavelmente, quimicamente pela vitrinite. Apenas uma pequena

quantidade destas substâncias se deposita em cavidades vazias, como é o caso da exsudatinite.

Com a incarbonização subsequente, o betume formado origina por *cracking* hidrocarbonetos de pequeno tamanho molecular e produtos residuais policondensados e fortemente reflectores. Esta decomposição inicia-se durante o 2.º salto da incarbonização, simultaneamente com o aumento acentuado do poder reflector das liptinites e vitrinites e a perda da fluorescência da vitrinite.

O estado de **antracite** é caracterizado por uma **rápida diminuição do conteúdo em hidrogénio** e da razão atómica H/C e por **aumentos consideráveis da reflectância** e da anisotropia óptica. O **aumento da produção de metano** está associado à redução do hidrogénio, a qual se inicia no estado de carvão betuminoso, com um teor de carbono aproximadamente de 87%, e de matérias voláteis de 29% (Taylor *et al.*, 1998).

Durante o processo de incarbonização, para além dos gases supracitados, formam-se hidrocarbonetos de elevado peso molecular, monóxido de carbono e azoto. Estes hidrocarbonetos e o monóxido de carbono são produzidos principalmente durante as fases iniciais do processo de incarbonização, enquanto que o azoto é libertado quase em simultâneo com as grandes quantidades de metano e continua a ser libertado mesmo a temperaturas superiores àquelas em que ocorre libertação do metano.

Contrariamente ao que se poderia pensar a porosidade não diminui sempre à medida que prossegue o processo de incarbonização. Nas fases iniciais do processo de incarbonização, a porosidade diminui devido principalmente ao aumento da pressão de compactação. Durante a betuminização os poros que permanecem são preenchidos por betumes do petróleo conduzindo a uma porosidade mínima. Como com o aumento da temperatura, o betume de preenchimento dos poros é volatilizado, a porosidade aumenta novamente e atinge um último máximo no estado de meta-antracite.

Durante o processo de incarbonização a **reflectância aumenta** quase sempre na mesma medida em que o teor em **matérias voláteis diminui**, porque os dois parâmetros estão relacionados com o grau de aromatização das unidades estruturais da vitrinite.

1.6.3. MODIFICAÇÕES PETROGRÁFICAS DURANTE A INCARBONIZAÇÃO

A aparência macroscópica e microscópica altera-se consideravelmente durante a incarbonização. Macroscopicamente, é possível analisar propriedades como a visibilidade

de fragmentos de plantas, a cor, a densidade e o brilho. As lignites apresentam uma estratificação pouco desenvolvida, sendo possível visualizar, a olho nu, elementos do lenho, sementes, folhas e resinas.

As mudanças petrográficas mais significativas ocorrem na fronteira entre os estados de lignite e carvão sub-betuminoso. Estas mudanças resultam essencialmente do processo de **gelificação geoquímica (vitrinitização)** das substâncias húmicas que são típicas deste estado do processo de incarbonização. Durante a gelificação geoquímica ocorre a homogeneização dos fragmentos das plantas, a cor do carvão muda dum castanho-escuro para o preto, apresentando um brilho distinto e sendo visível uma estratificação pronunciada. Durante a gelificação o carvão torna-se preto e lustroso.

No estado de **carvão betuminoso** ocorrem mudanças de **dureza e friabilidade** que estão relacionadas com o aumento da betuminização e com a progressiva desvolatilização do betume formado. As **antracites** distinguem-se pela sua **extrema dureza**, pelo seu **lustro brilhante e metálico** de aparência amarelada nas meta-antracites.

Com recurso ao microscópio petrográfico de luz reflectida, estas mudanças visíveis macroscopicamente podem ser estudadas com outro pormenor e alcance, nomeadamente, é possível a análise das mudanças de comportamento sofridas pelos diferentes macerais.

Em finas secções com uma espessura média de 10-15 μm é evidente uma clara diminuição da translucência das vitrinites e das liptinites com o aumento do grau. Em carvões betuminosos de baixo grau, as vitrinites são vermelhas em luz transmitida, enquanto que as liptinites aparecem amarelas e as inertinites pretas (opacas). As liptinites atingem a cor vermelha a um grau mais elevado.

Nas análises de superfícies polidas, o parâmetro mais característico e definidor da incarbonização progressiva das huminites/vitrinites é o **aumento da reflectância**. A taxa de aumento é reduzida nos baixos graus e os valores da reflectância relativamente baixos devido às variações na composição do material húmico das plantas originais. Nos carvões betuminosos e especialmente durante a antracitização, a reflectância das vitrinites aumenta mais rapidamente, podendo ultrapassar a reflectância da fusinite nas meta-antracites (Taylor *et al.*, 1998).

A reflectância da vitrinite depende dos índices de refracção e de adsorção. O primeiro está relacionado com a estrutura ultrafina, a qual aumenta com o aumento do grau de aromatização. O índice de adsorção aumenta com o aumento do grau de condensação. É

por esta razão que existe uma relação próxima entre o aumento da reflectância da vitrinite e a diminuição do conteúdo em matérias voláteis durante os estádios de carvões betuminosos e antracites.

A birreflectância ou anisotropia de reflexão da vitrinite é, normalmente, causada por uma progressiva orientação dos núcleos aromáticos nos planos de estratificação, como consequência da pressão litostática. A birreflectância começa a ser mensurável em carvões betuminosos medianamente evoluídos, tornando-se evidente nos carvões betuminosos mais evoluídos e nas antracites. O grau de birreflectância permite estimar o grau de ordenação da estrutura molecular, especialmente do alinhamento das camadas aromáticas. Este alinhamento é favorecido pelo processo de betuminização, uma vez que a baixa viscosidade é um pré-requisito para que haja um bom ordenamento das lamelas aromáticas.

A crença generalizada de que a reflectância e a birreflectância aumentam continuamente mesmo nos carvões de graus muito elevados é incorrecta, uma vez que existem saltos e mesmo inversões dos parâmetros ópticos durante a meta-antracitização e a pré-grafitização, os quais devem ser tidos em conta nos estudos de incarbonização baseados na reflectância da vitrinite (Taylor *et al.*, 1998). Ensaios de incarbonização artificial também revelaram um desenvolvimento não uniforme das propriedades ópticas da vitrinite com o aumento da temperatura e do grau. A mudança mais significativa ocorre no índice de refracção o qual começa a diminuir mais do que aumentar, por volta dos 600 a 700°C, o que corresponde a uma reflectância máxima da vitrinite de 4%. No mesmo estádio, o índice de adsorção e a birreflectância começam a aumentar fortemente.

Uma outra propriedade dos macerais que muda durante a incarbonização é a fluorescência. Na passagem das lignites a carvões sub-betuminosos a fluorescência primária da huminite/vitrinite está praticamente extinta. Depois, desenvolve-se uma nova fluorescência (secundária) associada ao betume recentemente formado.

Quando medida em óleo e após incidência com luz ultravioleta, a fluorescência da vitrinite atinge o seu valor máximo em carvões betuminosos com 1,1% Ra, extinguindo-se, isto é, deixando se ser mensurável, a cerca de 1,3% Ra. É interessante verificar que a intensidade mínima da fluorescência primária e o início da fluorescência secundária coincidem com o início da betuminização e com a primeira ocorrência de fluorescência verde-amarela em exudatos nas fissuras e poros de certos carvões. Ainda não é claro se a fluorescência secundária da vitrinite é causada apenas pelo betume autóctone gerado a

partir da vitrinite ou se o betume formado a partir das liptinites também está envolvido (Taylor *et al.*, 1998).

As mudanças petrográficas afectam de modo distinto os diferentes macerais do grupo da liptinite. Em carvões de baixo grau e até ao estado de carvão sub-betuminoso muitas liptinites apresentam poucas ou nenhumas alterações nas suas propriedades ópticas, isto é, continuam a apresentar baixa reflectância e fluorescem fortemente. A partir deste estado, a reflectância dos macerais de liptinite começa a aumentar e a fluorescência a diminuir de intensidade. Estas mudanças não se realizam de forma contínua mas caracterizam-se pela existência de certos saltos na incarbonização, que podem variar para os diferentes macerais de liptinites. Por exemplo, na esporinite, um primeiro salto ocorre quando a reflectância da vitrinite é de 0,5%, correspondendo ao momento em que se começam a formar substâncias semelhantes ao petróleo. Um segundo salto, corresponde a um valor do poder reflector entre 0,8% e 0.9% e coincide com o máximo de produção de petróleo, sendo o terceiro salto coincidente com o fim da produção do petróleo (*death line* do petróleo) e equivalente a um poder reflector da vitrinite de cerca de 1,3 (Taylor *et al.*, 1998).

Apesar de todos os macerais de liptinite apresentarem, com o aumento da incarbonização, uma diminuição da intensidade da fluorescência e uma tendência para o vermelho na cor de fluorescência (*red shift*), os seus comportamentos de fluorescência variam. Por exemplo, suberinites e algumas resinites mudam a sua cor de fluorescência e a sua intensidade num momento bastante inicial do processo de incarbonização, ainda no estado de lignite.

As mudanças na fluorescência dos macerais de liptinite são controladas pelo processo de betuminização e as mudanças mais significativas estão inter-relacionadas com o inicio, o máximo e o término deste processo. Após esta fase, alguns macerais de liptinite como, por exemplo, a fluorinite deixam de existir, outros como a resinite e a bituminite dão origem a um resíduo sólido, a micrite, e a esporinite e a cutinite adquirem uma reflectância superior à da vitrinite (Taylor *et al.*, 1998).

Em contraste com as huminites/vitrinites e com as liptinites, as inertinites sofrem poucas alterações durante o processo de incarbonização, uma vez que os seus precursores são elementos já pré-incarbonizados. O maceral de inertinite, micrinite, é um maceral secundário, formado durante a incarbonização a partir de substâncias lipídicas das vitrinites

e especialmente das liptinites. Tem sido demonstrado que a micrinite começa a formar-se no estado de carvão sub-betuminoso e torna-se abundante no estado de carvão betuminoso.

1.6.4. PARÂMETROS DE GRAU

Uma vez que as alterações químicas variam durante as etapas individuais da incarbonização, certos indicadores de grau são mais apropriados do que outros. Um bom indicador ou parâmetro deve mudar rapidamente com o aumento da profundidade e da temperatura, isto é, deve variar significativamente durante o processo de incarbonização.

Existem parâmetros físicos, químicos e físico-químicos através dos quais é possível avaliar o grau de evolução da matéria orgânica.

Os principais parâmetros físicos são o poder reflector aleatório da huminite/vitrinite, o espectro de fluorescência da liptinite, a microdureza Vickers ou Knoop da vitrinite e a densidade do vitrino[8] ou, mesmo do carvão global. Alguns destes parâmetros só podem ser considerados como parâmetros de grau numa gama específica da incarbonização.

O **poder reflector aleatório da vitrinite**[9] é o parâmetro mais usado para caracterizar quer o grau de incarbonização dos carvões quer a maturidade da matéria orgânica dispersa nos sedimentos. De acordo com a classificação actualmente mais utilizada (Sousa *et al.*, 1992), os carvões podem ser classificados com base na reflectância da vitrinite, do seguinte modo:

1. Carvões de grau inferior (lignites e carvões sub-betuminosos)
   - Ra < 0,6%
2. Carvões de grau médio (carvões betuminosos)
   - Ra entre 0,6% e 2,0%
3. Carvões de grau superior (antracites)
   - Ra > 2,0%

Outro parâmetro físico também utilizado nos carvões de grau inferior e médio é o **poder calorífico superior**. Durante a incarbonização, o poder calorífico aumenta até um valor máximo de cerca de 36,85 MJ/kg no estado carvões betuminosos, diminuindo com a subsequente incarbonização.

[8] Constituintes macroscópicos brilhantes nos carvões bandados (húmicos).
[9] Reflectância medida em partículas de telovitrinite com distribuição aleatória numa amostra granulada polida.

A **difracção por raios-X** pode também ser usada para medir diferenças de grau em antracites de elevado grau, em meta-antracites e semi-grafites.

Os principais parâmetros químicos de grau são, os teores em humidade, em matérias voláteis, em carbono e em hidrogénio. Estes parâmetros são principalmente utilizados pela indústria do carvão e são baseados em análises que não têm em consideração a diferente composição petrográfica dos carvões. O **teor em matérias voláteis** é o mais antigo parâmetro químico de grau e um dos que ainda hoje é mais utilizado em algumas classificações. Os seus valores diminuem consideravelmente com o aumento do grau de incarbonização em consequência do aumento da aromaticidade. Todavia, em carvões de grau inferior, a produção de matérias voláteis está muito dependente da natureza dos materiais precursores para poder ser usada como um parâmetro de grau.

O **teor em carbono** (seco e sem cinzas) varia marcadamente das lignites para os carvões betuminosos (de 60 a 65% para cerca de 87%), contudo o seu aumento não é tão significativo dos carvões betuminosos para as antracites.

O **teor em hidrogénio** é reconhecido como o melhor parâmetro químico para os carvões de grau superior (antracites) porque diminui significativamente com o aumento do grau ao longo deste estado.

A **humidade da camada** é, ainda, um parâmetro químico importante na gama dos carvões de grau inferior. A diminuição da humidade com o aumento do grau é, essencialmente, expressa pela progressiva perda de porosidade nas lignites, carvões sub-betuminosos e alguns betuminosos.

1.6.5. ALTERAÇÃO TÉRMICA, UM CASO PARTICULAR DE INCARBONIZAÇÃO

O carvão termicamente alterado por processos naturais é conhecido por várias designações como, por exemplo, coque natural, coque geológico e carvão termicamente metamorfizado. Quando observado em amostra de mão, o carvão termicamente alterado é, frequentemente, pouco brilhante, compacto, duro e, por vezes, apresenta disjunções hexagonais perpendiculares à superfície de contacto com a intrusão ígnea responsável pelas alterações que o carvão sofre.

De facto, muitas bacias sedimentares e camadas de carvão foram intruídos por diques, soleiras e outros corpos magmáticos que no momento da sua injecção podem atingir

temperaturas superiores a 1000º C. Nestas condições, os fluidos magmáticos associados e as elevadas temperaturas modificam significativamente a matéria orgânica, podendo esta ser removida por reacção com o dióxido de carbono e outros elementos.

A auréola térmica (zona em torno da intrusão apresentando marcados efeitos de alteração térmica) varia grandemente em espessura, desde alguns centímetros a quilómetros. A extensão da zona termicamente afectada é condicionada pela natureza e forma da intrusão bem como pelas condições da rocha intruída, especialmente pelo seu grau de saturação em água.

Este tipo de alteração contrasta com a progressão normal do processo de incarbonização, o qual é um processo lento e regional em resposta ao normal aumento das temperaturas crustais.

As implicações económicas das alterações provocadas pelo calor podem ser bastante consideráveis, uma vez que pode conduzir a uma quebra considerável na formação do carvão, por remoção da matéria orgânica pelos fluidos de circulação e por combustão. Por outro lado, a própria exploração do carvão também é dificultada uma vez que as rochas ígneas possuem uma dureza elevada. Em alguns locais, apesar das suas qualidades e propriedades poderem variar consideravelmente, o coque natural pode ser explorado para ser usado localmente como combustível.

1.7. CLASSIFICAÇÃO DOS CARVÕES

A classificação dos carvões é uma área que tem despertado muito interesse e discussão, de tal modo que, a partir do momento em que esta rocha começou a ser utilizada industrialmente, têm sido propostas diferentes classificações baseadas em critérios muito variados. De um modo geral, as diversas classificações podem considerar-se como pertencentes a dois grandes grupos (Sousa, 1985): (i) classificações técnicas/comerciais, (ii) classificações científicas/genéticas. Estes dois grupos de classificações têm objectos de estudo, finalidades e meios bastante distintos (tabela II.1.5). Para fazer face às discrepâncias que têm surgido entre os diferentes sistemas de classificação têm sido estabelecidas regras e normas internacionais.

As classificações científicas/genéticas baseiam-se essencialmente no facto do carvão de se tratar de uma rocha sedimentar com características particulares. Contudo, para além de

considerarem as características genéticas, têm igualmente em atenção o facto do carvão ser um produto comerciável com numerosas aplicações tecnológicas.

Tabela II.1.5 – Comparação entre os dois grandes grupos de classificação dos carvões (segundo Alpern, 1981 *in* Sousa *et al.*, 1992: 5)

	Classificações técnicas/comerciais	**Classificações científicas/genéticas**
Objecto	Produtos beneficiados (moídos, lavados, distribuídos por classes) Camadas + Misturas	Rocha sedimentar orgânica (macerais + matéria mineral) Camadas *in situ*
Meios	Sistema artificial de classificação Código numérico Parâmetros de classificação em número limitado e não hierarquizados	Sistema natural de classificação Designações através de palavras Parâmetros de classificação em número limitado e hierarquizados
Finalidades	Comércio (Exportação/Importação) Caracterização pormenorizada Valorização *ex situ*	Científica, Geológica Cálculo de recursos e de reservas Valorização *in situ* Ensino Tentativa de correlação entre as várias classificações nacionais

A classificação actualmente mais difundida e utilizada nos países da União Europeia, designa-se por **Classificação Internacional do Carvão em Camada (ECE-UN Seam Coal Classification)**. Esta classificação representa a primeira tentativa de criar uma sistematização científico/genética com o objectivo de constituir um instrumento que permita principalmente calcular as reservas e os recursos de carvão existentes a nível internacional, tendo por base os mesmos critérios, e aplicá-lo a todos os carvões conhecidos no mundo.

A Classificação Internacional do Carvão em Camada, baseia-se em três características fundamentais a considerar conjuntamente que, de acordo com os conhecimentos actuais, permitem definir o carvão como uma rocha (Sousa *et al.*, 1992):

- **Grau de incarbonização** – relativo ao estado de evolução atingido no decurso do processo natural de incarbonização.

- **Tipo** – corresponde à composição petrográfica, estando obviamente ligada à natureza dos fragmentos vegetais e às condições de deposição.

– **Categoria** – relativa à quantidade de matéria mineral presente no carvão.

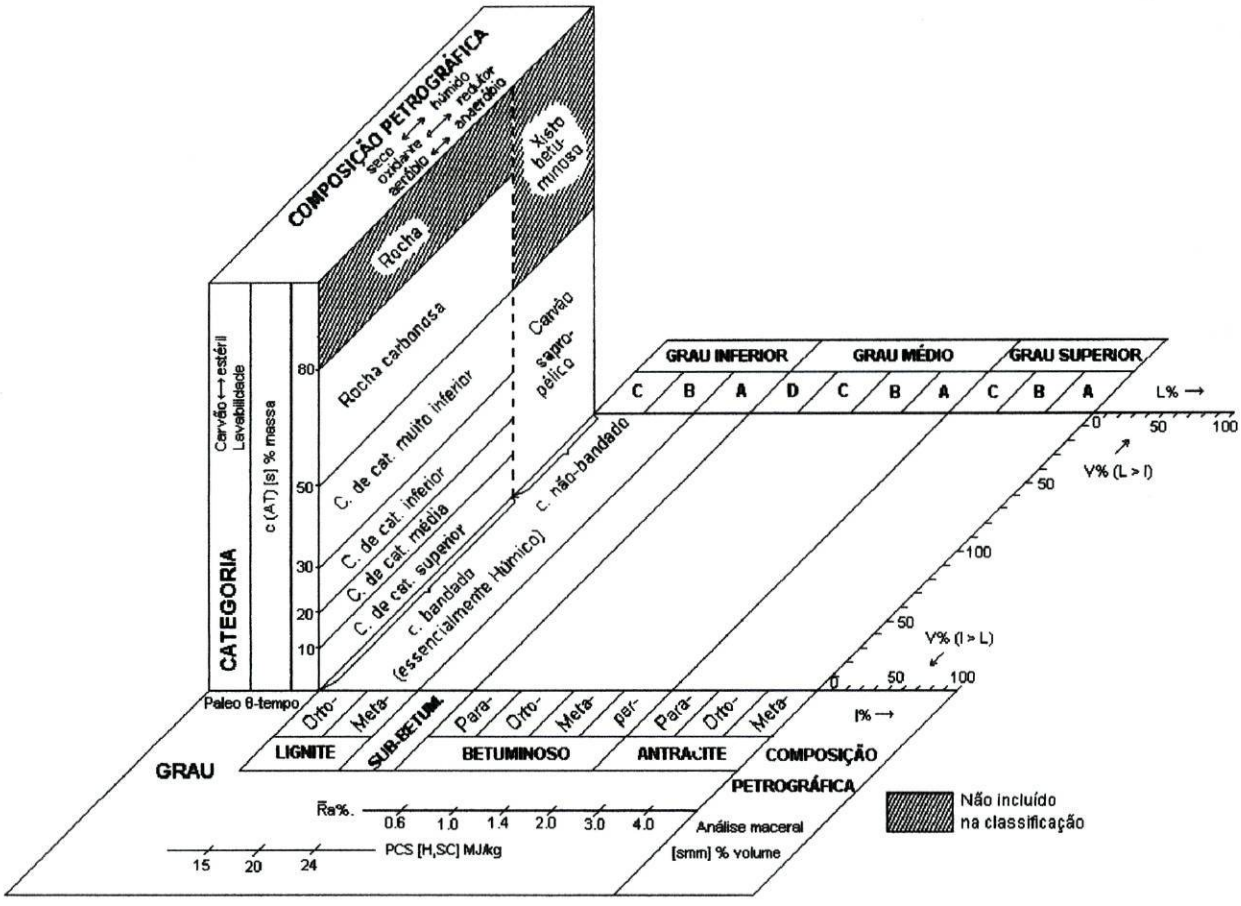
Um estudo com vista à classificação de um determinado carvão deve incidir sobre estas três características e os resultados obtidos projectados no diagrama representado na figura II.1.19. Os parâmetros químicos, físicos e petrográficos utilizados na classificação devem ser determinados com base no estabelecido em Normas Internacionais (ISO) ou em normas nacionais (NP) equivalentes.

De acordo com os autores supracitados, relativamente, ao **grau** consideram-se quatro principais grupos de carvões: **lignites**, **carvões sub-betuminosos**, **carvões betuminosos** e **antracites**, que correspondem respectivamente aos carvões de grau inferior, médio e superior. O grau de incarbonização não é uma característica directamente mensurável, assim, a sua determinação implica o recurso a parâmetros físicos, químicos e físico-químicos. Na ausência de um parâmetro suficientemente amplo para abranger todo o processo de incarbonização, os limites para as principais divisões e sub-divisões deste sistema de classificação são baseados no poder reflector aleatório da vitrinite em percentagem (Ra%) e no Poder Calorífico Superior expresso em MJ/kg. Se o poder reflector aleatório da vitrinite é $\geq 0{,}6\%$, o carvão deve ser classificado de acordo com este mesmo parâmetro, mas se Ra é $< 0{,}6\%$, o carvão deve ser classificado utilizando o Poder Calorífico Superior calculado na base húmido e sem cinzas (PCS, h, MJ/kg, sem cinzas).

A classificação de um carvão quanto ao **tipo** implica a realização de estudos sobre a sua **composição petrográfica** e, como tal, uma análise em termos de grupos de macerais, sendo necessário calcular a percentagem em volume, sem matéria mineral, de vitrinite, liptinite e inertinite. Esta análise deve ser complementada pela caracterização macroscroscópica. De acordo com esta classificação internacional dos carvões em camada, há a considerar três agrupamentos principais quanto à composição petrográfica: **vítrico, fúsico** e **líptico**. De acordo com Sousa *et al.* (1992), esta classificação permite diferenciar os carvões sapropélicos (lípticos) dos carvões húmicos (vítricos e fúsicos) e, dentro destes, distinguir entre os carvões ricos em vitrinite e os carvões ricos em inertinite.

A **categoria** de um carvão é definida a partir do cálculo do teor em cinzas expresso em percentagem de massa, o que permite separar os carvões propriamente ditos (teor em cinzas $\leq 50\%$), das rochas carbonosas, onde o teor em cinzas é muito elevado. Dentro dos carvões húmicos, é ainda, possível distinguir entre várias categorias de acordo com o teor em cinzas.

Um sistema de classificação baseado nestas três características apesar de ser claramente científico/genético, tem grande interesse prático, nomeadamente na qualificação das reservas energéticas da Terra, bem como dos carvões a serem utilizados *in situ* (Sousa, 1985).



Significado das abreviaturas dos parâmetros e Normas a utilizar para a sua determinação:

Ra% - Valor médio do poder reflector aleatório da vitrinite, em percentagem (NP 3606);

PCs[h,sc] MJ/kg - Poder calorífico superior calculado na base "húmido, sem cinzas", em unidade megajoule por quilograma (NP 3859).

c(AT) [s]% -Teor de cinzas (alta temperatura) em percentagem de massa, calculado na base "seco" (NP 1019).

V%, L%. I%, - Percentagens, em volume, calculadas sem "matéria mineral" dos macerais dos grupos da vitrinite (V), liptinite (L) e inertinite(I), respectivamente (NP 3605).

Normas complementares para:

Determinação da humidade da amostra para a análise: NP 1011 ou NP 1014;

Determinação da humidade em equilíbrio higroscópico com o ar considerado a 30ºC e com 96 a 97% de humidade relativa (Capacidade de retenção de humidade): NP 3845;

Determinação da humidade na camada (humidade total): NP 3844;

Cálculos relativos a diferentes bases: NP 3539.

Figura II.1.19- Classificação Internacional dos Carvões em Camada da CEE-NU (segundo Sousa & Pinheiro 1994: 63).

2. PETRÓLEO

2.1. MATÉRIA ORGÂNICA DISPERSA NOS SEDIMENTOS (MOD)

A produção, acumulação e preservação da matéria orgânica nos sedimentos são pré-requisitos fundamentais para a existência de rochas-mãe do petróleo. Inicialmente, a matéria orgânica tem que ser sintetizada pelos organismos vivos, depois deverá ser depositada e preservada nos sedimentos. Dependendo das condições geológicas, parte da matéria orgânica depositada pode ser transformada nos compostos constituintes do petróleo e do gás natural.

2.1.1. PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA EM AMBIENTE AQUÁTICO E TERRESTRE

O nível de evolução e o tipo de seres vivos que estão na origem do petróleo podem ter uma grande influência no tipo e quantidade de petróleo gerado por uma determinada rocha-mãe, razão pela qual se tem de se considerar a evolução da biosfera em conexão com a formação do petróleo.

Há dois mil milhões de anos, no Pré-Câmbrico, os principais produtores de carbono orgânico eram cianobactérias e bactérias fotossintéticas. Durante o Câmbrico, Ordovícico e Silúrico, uma variedade de organismos fitoplanctónicos, bactérias e cianobactérias foram as principais fontes de carbono orgânico. A partir do Devónico, o aumento da produtividade primária ficou a dever-se à ampla dispersão das plantas superiores terrestres. Actualmente, estima-se que o fitoplâncton marinho e as bactérias sejam responsáveis por 50 a 60% da produção mundial total de carbono orgânico.

Quantitativamente, os quatro principais contribuintes para a matéria orgânica nos sedimentos são: o fitoplâncton, o zooplâncton, as bactérias e as plantas superiores (Tissot & Welte, 1984).

Com base em numerosas análises vários autores estabeleceram estimativas da abundância do fitoplâncton ao longo do tempo geológico. A relação fundamental que existe na cadeia alimentar entre o fitoplâncton e o zooplâncton causa a existência de correlações directas na sua ocorrência e distribuição. A biomassa de zooplâncton apresenta uma tendência para ser elevada em áreas onde existe uma grande produtividade de

fitoplâncton. Esta relação existiu desde a emergência de organismos zooplanctónicos no Pré-Câmbrico, de que são exemplos os foraminíferos e radiolários unicelulares.

Seres vivos mais organizados, como os peixes contribuem tão pouco com matéria orgânica para os sedimentos que podem ser praticamente ignorados. Contudo, os estados larvais de muito invertebrados terão contribuído com quantidades significativas de matéria orgânica desde o Câmbrico.

A biomassa bacteriana tem um papel fundamental na contribuição para deposição de matéria orgânica nos sedimentos.

As associações naturais dos vários grupos de organismos em vários ambientes determinam a composição e o tipo de matéria orgânica que se deposita e é incorporada nos sedimentos.

Todos os organismos são basicamente constituídos pelos mesmos constituintes orgânicos: lípidos, proteínas e glícidos. Contudo, existem diferenças muito características no que diz respeito à abundância relativa dos diferentes constituintes e à sua estrutura química de pormenor.

Uma diferença fundamental existe entre a composição química dos organismos planctónicos e as plantas superiores terrestres. A matéria orgânica do plâncton marinho é principalmente constituída por proteínas (50% ou mais do peso seco), uma quantidade variável de lípidos (5 a 25%) e, em geral, não mais de 40% de glícidos. As plantas superiores terrestres têm na sua constituição grande quantidade de celulose (30 a 50%) e de lenhina (15 a 25%) (Tissot & Welte, 1984). Ambos os constituintes desempenham principalmente funções de suporte, as quais não são necessárias em ambiente aquático para os organismos planctónicos.

A matéria orgânica de origem terrestre, com um grande conteúdo em lenhina e glícidos é, predominantemente, de natureza aromática, possuindo uma relação H/C que varia entre 1 a 1,5. Pelo contrário, a matéria orgânica derivada principalmente do plâncton autóctone, de natureza alifática, apresenta uma relação H/C mais elevada entre 1,7 e 1,9 (Tissot & Welte, 1984).

Em termos geológicos, a distribuição da matéria orgânica marinha e continental pode ser sumariada do seguinte modo:

- o predomínio da **matéria orgânica marinha** ocorre onde a escorrência de águas continentais é limitada por razões geográficas, climáticas ou outras, nomeadamente, ao longo de margens activas, onde cordilheiras fechadas

impedem o fornecimento de matéria orgânica terrestre e em mares epicontinentais localizados em plataformas estáveis.

- a **matéria orgânica não marinha** predomina onde grandes sistemas de drenagem resultam num abundante fornecimento de material do continente, em margens passivas e também em grandes sistemas de rios que fornecem abundante material continental, bem como nas terras baixas intracontinentais e em lagos.

A produtividade dos ambientes aquáticos, especialmente dos ambientes marinhos, é de extrema importância para a formação das rochas-mãe do petróleo, daí que a compreensão da produção primária de matéria orgânica a partir de compostos inorgânicos no reino marinho actual possa ser a chave para compreender o passado geológico.

Devido à ampla distribuição das plantas terrestres a produtividade primária orgânica nos ambientes terrestres é semelhante à dos ambientes aquáticos, contudo, a preservação da matéria orgânica dispersa nos sedimentos é maior nos ambientes aquáticos. Esta situação pode ser explicada pelo livre acesso ao oxigénio livre do ar atmosférico que, juntamente, com a humidade do ar, permite o amplo crescimento de uma flora bacteriana que, pela sua actuação, provocam a destruição da estrutura dos compostos orgânicos. Nos ambientes aquáticos marinhos, a deposição de sedimentos muito finos impede o livre acesso ao oxigénio molecular dissolvido na água e grande parte da actividade bacteriana é interrompida quando se esgota o oxigénio disponível. A esta situação acresce que o ar contém cerca de 21% de oxigénio, enquanto que a água normalmente apenas contém poucos milímetros de oxigénio dissolvido por litro de água. Assim, na prática, a matéria orgânica dispersa nos sedimentos é mais facilmente preservada em ambientes sub-aquáticos.

A riqueza em matéria orgânica dispersa nos sedimentos não está inerente a qualquer litofácies em particular, mas tende a estar associada a sedimentos finos, provavelmente devido à sua maior capacidade de adsorção.

A produtividade primária nos ambientes marinhos é especialmente controlada pela luz, temperatura e pela composição química da água do mar. De um modo geral, o crescimento dos seres vivos apenas é limitado pelo fornecimento de luz em águas superficiais de regiões polares, em profundidade no mar aberto e nas águas turvas da região costeira. Fora destas regiões, a taxa de produção é controlada pelo fornecimento de nutrientes e este por

sua vez é influenciado pela reciclagem e circulação das águas. Nos oceanos, 90% ou mais da matéria produzida pelas plantas é consumida por outros organismos.

A zona eufótica pode ser definida como uma zona de grande produtividade fotossintética, situada acima dos 200 metros de profundidade. Nos oceanos, a maioria da produção da matéria orgânica está concentrada acima dos 60 a 80 metros na coluna de água (Odum, 1997).

2.1.2. PRESERVAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS

Durante a história da Terra e a uma escala global, a taxa média de preservação nos sedimentos da produção de matéria orgânica, expressa em carbono orgânico, está estimada em menos de 0,1% (Menzel & Ryther, 1970 *in* Tissot & Welte, 1984). Apenas esta reduzida fracção de matéria orgânica é preservada nos sedimentos, a restante é reciclada principalmente na zona eufótica da camada superficial dos oceanos. Contudo, existem excepções ao valor anteriormente mencionado, por exemplo, no Mar Negro estima-se que a taxa de preservação seja de 4%, uma vez que não existe oxigénio livre e que as águas são razoavelmente calmas sem vida bentónica varrendo o fundo (excepto bactérias anaeróbias). A sedimentação de certas rochas-mãe do petróleo terá ocorrido em condições muito semelhantes às existentes actualmente no Mar Negro.

A acumulação da matéria orgânica dispersa nos sedimentos é controlada por uma série de condições geológicas limite. Uma vez que as condições limite sejam satisfeitas, a acumulação de matéria orgânica nos sedimentos está dependente do dualismo entre os processos que conservam e concentram e aqueles que destroem e diluem a matéria orgânica.

O fornecimento da matéria orgânica pode ser efectuado na forma de partículas mortas ou vivas ou sob a forma de matéria orgânica dissolvida. A adsorção das partículas de matéria orgânica dissolvida na superfície de partículas minerais aumenta a sua estabilidade de dois modos: (i) aumenta a protecção contra a destruição biológica e (ii) permite um afundimento mais rápido ao longo da coluna de água.

As possibilidades de destruição da matéria orgânica são maiores em grandes colunas de água, especialmente se existe uma grande quantidade de oxigénio. Contudo, se a coluna de água for estratificada, com o oxigénio muito restrito à camada superficial e o sulfureto de

hidrogénio distribuído pela restante coluna de água, existe uma maior possibilidade de preservação da matéria orgânica.

De acordo com Tissot & Welte (1984), situações de mudanças paleogeográficas que resultam em transgressões e em regressões marinhas são especialmente favoráveis para a deposição e acumulação de matéria orgânica em sedimentos. Outro ambiente favorável à acumulação de matéria orgânica inclui zonas de talude continental, onde, devido à elevada taxa de deposição, a matéria orgânica pode acumular-se atingindo elevadas concentrações. No mar alto do talude continental, a concentração de matéria orgânica nos sedimentos diminui.

Finalmente, pode-se concluir que os sedimentos ricos em matéria orgânica podem ocorrer em qualquer lugar onde haja um fornecimento de matéria orgânica em quantidades suficientes, águas relativamente calmas e uma taxa intermédia de sedimentação de partículas minerais finas. No entanto, o destino da matéria orgânica incorporada nos sedimentos é definido essencialmente por processos tectónicos. A subsidência, o levantamento e a erosão determinam se a matéria orgânica é preservada nos sedimentos e sofre um processo de maturação que pode conduzir à formação de petróleo ou de gás, ou se é erodida e oxidada.

2.1.3. COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO CEROGÉNIO

As fases iniciais de evolução da matéria orgânica dos sedimentos conduzem à formação de geopolímeros a partir de biopolímeros sintetizados pelos seres vivos. Os geopolímeros são colectivamente conhecidos por **cerogénio**, o qual é o principal constituinte da matéria orgânica das rochas (figura II.2.1).

O termo **cerogénio** designa os constituintes orgânicos das rochas sedimentares que não são solúveis em solventes aquosos alcalinos nem em solventes orgânicos. Esta é a designação mais aceite para o termo cerogénio e é extensível a outro tipo de rochas como rochas carbonosas e xistos betuminosos (Tissot & Welte, 1984). Poucos são os autores que parecem usar o termo cerogénio para designar o total de matéria orgânica existente nas rochas sedimentares. A fracção de matéria orgânica extractável com solventes orgânicos é designada de **betume** (figura II.2.1).

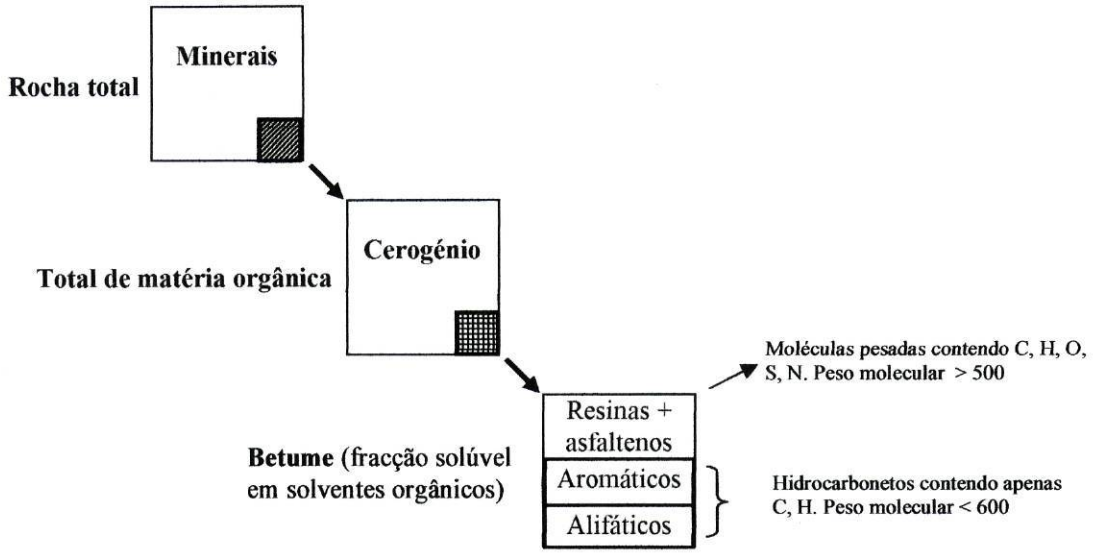


Figura II.2.1- Composição da matéria orgânica disseminada nas rochas sedimentares (segundo Tissot & Welte, 1984: 124).

A estrutura química do cerogénio imaturo depende da natureza da matéria orgânica incorporada nos sedimentos e das condições físicas, químicas e bioquímicas do ambiente de deposição. Diferentes tipos de cerogénio podem ser identificados por observação óptica e análises físico-químicas (Tissot & Welte, 1984):

- **Cerogénio tipo I** – possui uma **elevada proporção de lípidos**, a qual pode resultar duma acumulação selectiva de material algal ou de uma intensa biodegradação da matéria orgânica. A principal fonte inclui sedimentos, principalmente lacustres, ricos em algas. A segunda fonte inclui matéria orgânica disseminada a qual foi retrabalhada pelos microorganismos. Quimicamente, é rico em estruturas alifáticas e possui poucos núcleos aromáticos, consequentemente, a razão H/C é originalmente elevada.

- **Cerogénio tipo II** – é particularmente frequente em muitas rochas-mãe do petróleo e em xistos betuminosos. Está usualmente associado a sedimentos marinhos onde a **matéria orgânica autóctone é constituída por uma mistura de fitoplâncton, zooplâncton e bactérias**, depositados num ambiente redutor com um conteúdo em enxofre médio a alto. Comparativamente com o cerogénio tipo I, possui uma maior proporção de anéis aromáticos.

- **Cerogénio tipo III** – é derivado essencialmente de **plantas continentais** e contém muitos restos vegetais identificáveis. O material orgânico vegetal é incorporado nos sedimentos quer directamente ou através dos produtos resultantes da sua decomposição. Na bacia de sedimentação, a degradação microbiana é frequentemente limitada devido à importante sedimentação e à rápida subsidência do material, daí que este tipo de cerogénio seja mais frequente ao longo das margens continentais. Quimicamente é constituído por grupos condensados poliaromáticos, sendo a razão H/C reduzida e a razão O/C comparativamente superior àquela apresentada pelos outros dois tipos de cerogénio.

As características químicas do cerogénio podem ser descritas tendo por base o **diagrama de van Krevelen** no qual a razão atómica H/C é projectada contra a razão O/C (figura II.2.2).

Quando se compara a matéria orgânica do carvão usando o diagrama de van Krevelen, é possível verificar que os principais tipos de cerogénio (I, II e III) se localizam, aproximadamente, dentro da mesma área da alginite, liptinite e vitrinite, respectivamente.

O caminho de evolução do cerogénio tipo III também pode ser aplicado aos carvões. A perda de oxigénio é característica da incarbonização dos carvões de baixo grau com menos de 1% Ra, enquanto que a perda de hidrogénio torna-se mais importante para carvões de grau superior.

A composição do cerogénio, particularmente no que diz respeito ao conteúdo em hidrogénio (cadeias alifáticas) e em oxigénio (grupos funcionais), determina o **potencial genético** de um dado sedimento, isto é, determina a quantidade de hidrocarbonetos líquidos ou gasosos que o cerogénio é capaz de gerar, se for sujeito a uma temperatura adequada, durante um intervalo de tempo suficiente.

As rochas-mãe clássicas contêm matéria orgânica marinha depositada em ambiente redutor, que grosseiramente corresponde ao cerogénio **tipo II** e que contém um elevado potencial genético. Pelo contrário, a matéria orgânica continental depositada em ambientes onde a biodegradação é limitada pela rápida subsidência, corresponde ao cerogénio **tipo III** e, comparativamente, tem um potencial gerador de hidrocarbonetos líquidos

relativamente baixo. O potencial genético do cerogénio tipo II é cerca de três vezes superior ao potencial genético do cerogénio tipo III (Tissot & Welte, 1984).

O cerogénio **tipo I** é muito menos frequente e, como já foi referido, corresponde a matéria orgânica selectivamente biodegradada, enriquecida em lípidos, ou a rochas constituídas inteiramente por matéria orgânica como as alginites. O seu potencial para gerar petróleo e gás é elevado.

A ocorrência de províncias de petróleo *versus* províncias de gás depende da natureza da matéria orgânica e/ou da história térmica. O cerogénio tipo III apesar de gerar comparativamente menos petróleo que o cerogénio tipo I ou II pode, contudo, constituir uma boa rocha-mãe para os hidrocarbonetos gasosos a grandes profundidades.

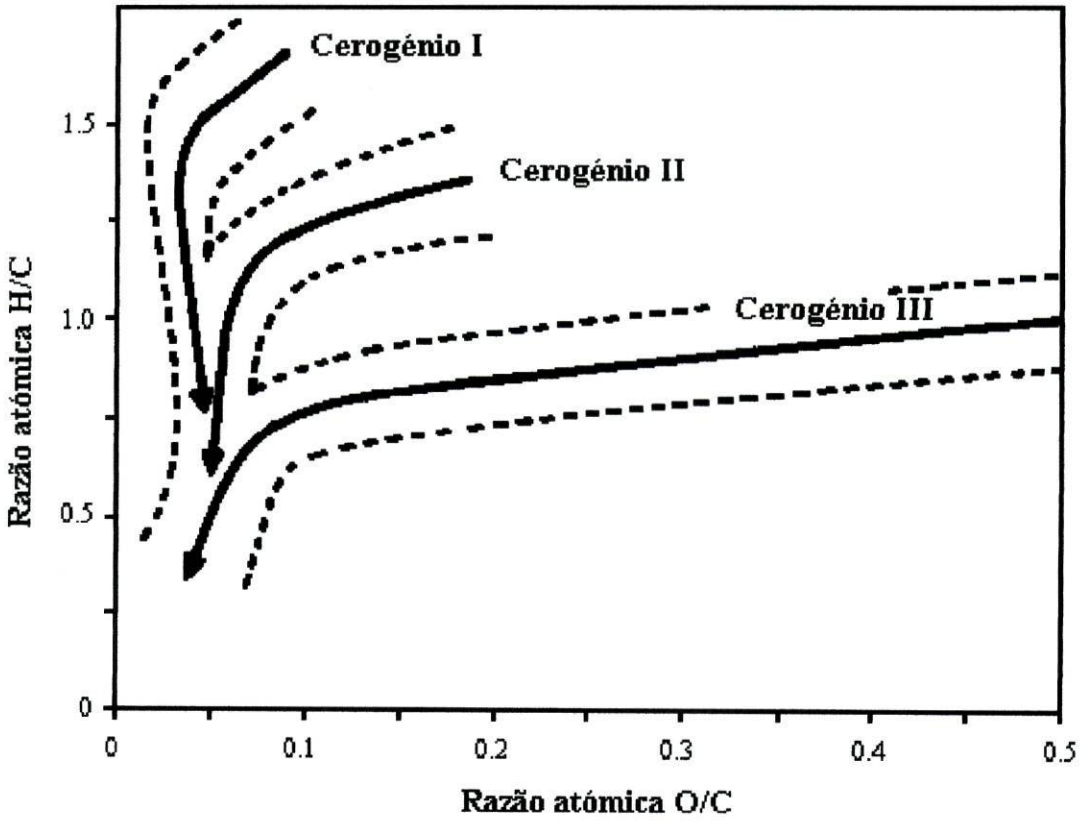


Figura II.2.2- Diagrama de van Krevelen (segundo VanKrevelen, 1961: 106)

2.2. GÉNESE DO PETRÓLEO

A transformação física, química e biológica da matéria orgânica dispersa nos sedimentos durante a história geológica não pode ser vista como um conjunto de processos isolados mas sim como um conjunto de complexos processos que interagem entre si. A transformação é controlada por factores como a temperatura, pressão e tempo e, na prática, é um processo através do qual é procurado o equilíbrio face às condições termodinâmicas existentes. Todo este processo tem a designação genérica de **maturação**.

À medida que a sedimentação e a subsidência progridem, a temperatura e a pressão aumentam, assim a estrutura da matéria orgânica torna-se instável. É assim necessário que ocorram reajustes na estrutura da matéria orgânica de modo a torná-la mais estável nas novas condições de pressão e de temperatura. Estes reajustes implicam a formação de hidrocarbonetos de baixo a médio peso molecular, de dióxido de carbono, de água e de sulfureto de hidrogénio e conduzem a um contínuo aumento do conteúdo em carbono nos produtos resultantes da evolução. Assim, a formação do petróleo parece ser uma consequência dos processos de reajuste às novas condições envolventes. Os diversos reajustes ocorrem durante as seguintes etapas sucessivas de maturação – **diagénese**, **catagénese** e **metagénese**.

2.2.1. DIAGÉNESE

Durante a diagénese, o aumento da temperatura e da pressão é moderado. Esta etapa da evolução da matéria orgânica ocorre num intervalo de profundidade que varia entre as poucas centenas de metros, contudo, em casos raros, pode atingir os 2000 metros (Tissot & Welte, 1984).

Os primeiros metros de sedimentos, logo abaixo da linha de contacto sedimentos – água, representam a interface ao longo da qual o carbono orgânico passa da biosfera para a geosfera. O tempo de permanência dos compostos orgânicos nesta zona da coluna de sedimentos é bastante longo quando comparado com o tempo de vida dos organismos, mas muito curto quando comparado com a duração dos ciclos geológicos.

Quando se compara a natureza do material orgânico disperso nos sedimentos jovens com a sua ocorrência nos organismos vivos dos quais derivaram, verifica-se a existência de diferenças muito significativas. A principal diferença reside no facto das macromoléculas

biológicas como as proteínas, os polissacarídeos, os lípidos e a lenhina, que constituem a quase totalidade do peso seco dos organismos, quase não existirem na matéria orgânica dispersa nos sedimentos. Assim, de acordo com Tissot & Welte (1984), a quantidade total dos mesmos constituintes que pode ser extraída dos sedimentos depositados é, usualmente, inferior a 20% do total de matéria orgânica. Esta situação resulta da degradação das macromoléculas pelas bactérias em unidades mais simples.

À medida que a sedimentação prossegue, os sedimentos são enterrados a várias dezenas de metros. Grande parte do material orgânico torna-se progressivamente insolúvel em resultado do aumento da policondensação associada à perda dos grupos funcionais.

A diagénese da matéria orgânica pode ser entendida como o conjunto de processos que conduz à transformação dos **biopolímeros** sintetizados pelos organismos vivos em **geopolímeros** (cerogénio) através do fraccionamento, da destruição parcial e da reestruturação dos elementos constituintes das macromoléculas biológicas (figura II.2.3). Há, assim que considerar a existência de 3 etapas fundamentais no decorrer da diagénese:

- Degradação bioquímica
- Policondensação
- Insolubilização

Durante a diagénese, a composição do cerogénio é controlada essencialmente pelo *input* inicial de matéria orgânica e pela natureza e extensão da actividade microbiana nas camadas mais superficiais de sedimentos. O **metano** é o único hidrocarboneto formado durante esta fase, podendo ser gerado em grandes quantidade a partir de matéria orgânica derivada de restos vegetais de origem terrestre.

Em termos de prospecção/exploração do petróleo, a diagénese corresponde a um **cerogénio imaturo** (maturação correspondente a $Ra_{Vitrinite} = 0,5\%$), o que significa que a formação de hidrocarbonetos a partir da rocha-mãe é reduzida.

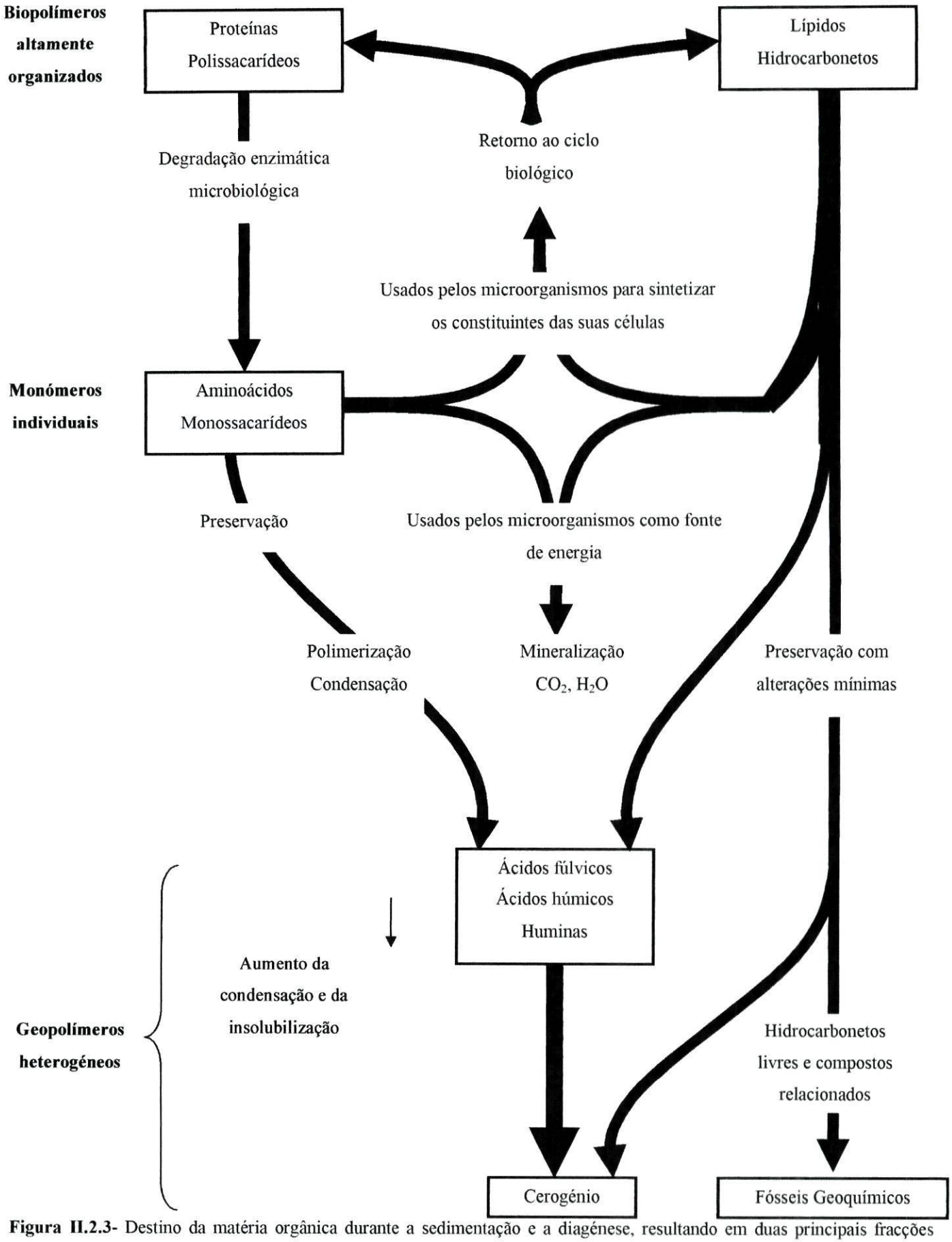


Figura II.2.3- Destino da matéria orgânica durante a sedimentação e a diagénese, resultando em duas principais fracções orgânicas: cerogénio e fósseis geoquímicos (segundo Tissot & Welte, 1984: 90).

2.2.1.1. DEGRADAÇÃO BIOQUÍMICA

As bactérias, fungos e algas são abundantes em solos terrestres, águas e em sedimentos depositados em águas de profundidade intermédia. Para assegurarem a sua sobrevivência estes organismos têm que degradar a matéria orgânica, deste modo as macromoléculas são hidrolisadas. Em sedimentos finos, como os xistos, siltitos e argilitos carbonatados, os espaços entre as partículas tornam-se rapidamente um ambiente fechado onde a água intersticial está separada da água superficial do mar ou lago. Nestas condições rapidamente se estabelecem condições anaeróbias uma vez que o oxigénio é utilizado na actividade das bactérias aeróbias.

É difícil estabelecer qual o factor limite que irá provocar a paragem da degradação da matéria orgânica pelas bactérias em condições anaeróbias. Contudo, apontam-se alguns factores que impedem a sobrevivência das bactérias, tais como a falta de nutrientes no material orgânico, o carácter tóxico dos produtos de metabolismo formados e a presença de temperaturas e pressões muito elevadas.

Como resultado da actividade microbiana na água e nos solos subaquáticos os polímeros biogénicos são degradados. Assim, uma parte da matéria orgânica é convertida, pelo metabolismo microbiano, em **dióxido de carbono** e **água**, sendo deste modo reintroduzida no ciclo biológico. Os resíduos não assimiláveis pelos microorganismos, após um conjunto de transformações, são incorporados em novos policondensados, os quais são insolúveis – o **cerogénio**.

Para além do cerogénio, a matéria orgânica pode, no final da diagénese, possuir uma quantidade mínima de hidrocarbonetos livres e compostos relacionados. Estes hidrocarbonetos foram sintetizados pelos organismos vivos e incorporados nos sedimentos. Estes hidrocarbonetos são herdados directamente ou com pequenas alterações dos organismos vivos durante o início da diagénese dos sedimentos depositados. Estas moléculas mantêm as características estruturais de origem biogénica, assim, eles podem ser considerados **fósseis geoquímicos** que testemunham o ambiente deposicional. Assim, eles podem ser usados para a caracterização, correlação e/ou reconstituição do ambiente deposicional, do mesmo modo que os macro e microfósseis são frequentemente utilizados pelos geólogos.

A comparação entre as moléculas originais biogénicas e as moléculas encontradas nas rochas-mãe ou no petróleo bruto pode fornecer informação valiosa da história

experienciada pelas moléculas: actividade microbiana, reajustes químicos no momento da deposição e subsequentes reacções químicas ocorridas durante a catagénese.

Os fósseis geoquímicos são utilizados frequentemente:

- como parâmetros de correlação (petróleo – petróleo, petróleo – rocha-mãe);
- para a reconstituição dos ambientes deposicionais;
- para o esclarecimento de transformações químicas ocorridas durante a diagénese e a catagénese;
- para a detecção de contaminações com material estranho em sedimentos recentes marinhos ou de água doce.

A qualidade da informação fornecida pelos fósseis geoquímicos em termos de ambiente deposicional depende de três factores:

- o estado de conservação – permitindo ou não associá-los às suas moléculas bioquímicas percursoras.
- a distribuição destes nas moléculas bioquímicas percursoras no actual mundo vivo.
- a assunção de que a sua distribuição actual é comparável à distribuição nos organismos antigos.

2.2.1.2. POLICONDENSAÇÃO E INSOLUBILIZAÇÃO

A maior parte dos materiais orgânicos dos sedimentos nem é hidrolisável nem extractável com solventes orgânicos. A maioria dos constituintes livres ou hidrolisáveis deixa de existir a reduzidas profundidades. Os resíduos da matéria orgânica que não são directamente usados pelos microorganismos são rapidamente incorporados em novas estruturas poliméricas e insolúveis uma vez que se recombinam por policondensação e polimerização para formar compostos castanhos comparáveis aos **ácidos húmicos e fúlvicos**.

Em solos subaéreos, os ácidos húmicos são insolúveis em ácidos e resultam da **policondensação** dos resíduos orgânicos do metabolismo microbiano. Em sedimentos subaquáticos e na coluna de água sobrejacente ocorre um processo semelhante de policondensação quer em condições anaeróbias quer aeróbias. Nestes sedimentos, os ácidos húmicos podem desenvolver-se por policondensação de material autóctone derivado

principalmente do plâncton (proteínas, glícidos e derivados lipídicos) e/ou de material alóctone de origem terrestre (principalmente lenhina e celulose).

A abundância e a natureza dos ácidos húmicos e fúlvicos nos sedimentos depositados podem variar de acordo com as condições do ambiente de deposição. Em locais onde a influência continental é considerável, o material vegetal alóctone das plantas superiores é frequentemente a principal fonte de material orgânico. Nestes casos, os ácidos húmicos e fúlvicos são abundantes e podem incluir ácidos húmicos formados nos solos continentais e que, posteriormente, foram transportados para a bacia de sedimentação. O material alóctone pode também incluir matéria orgânica retrabalhada após a erosão de antigos sedimentos e após o seu transporte pelos rios para a bacia de sedimentação. Noutros locais, o principal constituinte parece ser a matéria orgânica alóctone marinha.

Da decomposição e da policondensação de material orgânico resultam macromoléculas que representam mais de 90% do total de matéria orgânica existente nos sedimentos depositados.

Com o aumento da profundidade, os ácidos húmicos e fúlvicos começam a ser convertidos em **huminas insolúveis**. A **insolubilização** ocorre durante a diagénese dos sedimentos a uma profundidade e a uma escala temporal muito mais amplas do que as etapas anteriores.

O material orgânico torna-se mais condensado em resultado da crescente policondensação acompanhada pela eliminação de uma parte dos componentes hidrofílicos superficiais.

A insolubilização dos anteriores constituintes ocorre nas primeiras dezenas ou centenas de metros de profundidade. O aumento da policondensação e a perda dos grupos funcionais são responsáveis por uma progressiva insolubilização conduzindo à formação de ácidos húmicos e fúlvicos e finalmente à formação do cerogénio.

O cerogénio é a principal forma de carbono orgânico da Terra. Ele é mil vezes mais abundante do que o carvão juntamente com o petróleo existentes em reservas e cinquenta vezes mais abundante do que o betume e petróleo disperso em rochas não reservatório (Tissot & Welte, 1984).

Uma certa quantidade de matéria orgânica pode ser incorporada nos sedimentos por um processo que não envolve a formação de ácidos húmicos e fúlvicos. Por um lado, parte da fracção insolúvel pode ter uma origem detrítica, isto é, pode resultar de materiais orgânicos depositados que foram retrabalhados. Por outro lado, existem situações geológicas nas

quais os componentes húmicos constituem apenas uma pequena parte da matéria orgânica dos sedimentos depositados, o que sugere que alguma matéria orgânica marinha autóctone depositada em ambientes redutores nunca passa por um estado de ácido húmico ou fúlvico. O mesmo pode acontecer a material formado essencialmente por lípidos, como é o caso dos cerogénios essencialmente algais.

2.2.2. CATAGÉNESE

Durante a catagénese a temperatura pode variar desde os 50 a 150°C e a pressão devida à sobrecarga dos sedimentos pode variar entre os 300 a 1000 ou 15000 bars. A composição e textura das fases minerais são conservadas com pequenas mudanças. A mudança mais significativa está relacionada com a compactação da rocha, que implica a perda de água e a diminuição da permeabilidade e da porosidade. Todavia, a matéria orgânica sofre mudanças mais acentuadas.

Em resultado da progressão evolutiva, o cerogénio produz o primeiro petróleo líquido. Esta fase é marcada por uma importante diminuição do conteúdo em hidrogénio e da razão H/C devido à formação e libertação dos hidrocarbonetos. Em termos de prospecção/exploração do petróleo, a catagénese corresponde à **principal zona de formação do petróleo** (maturação correspondente a $Ra_{Vitrinite} = 2\%$) e também ao início da **zona de ruptura** (*cracking*) dos hidrocarbonetos líquidos, durante a qual são produzidas grandes quantidades de gás húmido, havendo um rápido aumento da produção de metano (figura II.2.4). O *cracking* corresponde à quebra das ligações de carbono, afecta quer os hidrocarbonetos já formados quer o restante cerogénio, é uma consequência natural do contínuo aumento da temperatura e conduz à formação de hidrocarbonetos de baixo peso molecular.

O cerogénio residual torna-se pobre em hidrogénio, sendo o fim da catagénese marcado pelo desaparecimento das cadeias de carbono alifático do cerogénio.

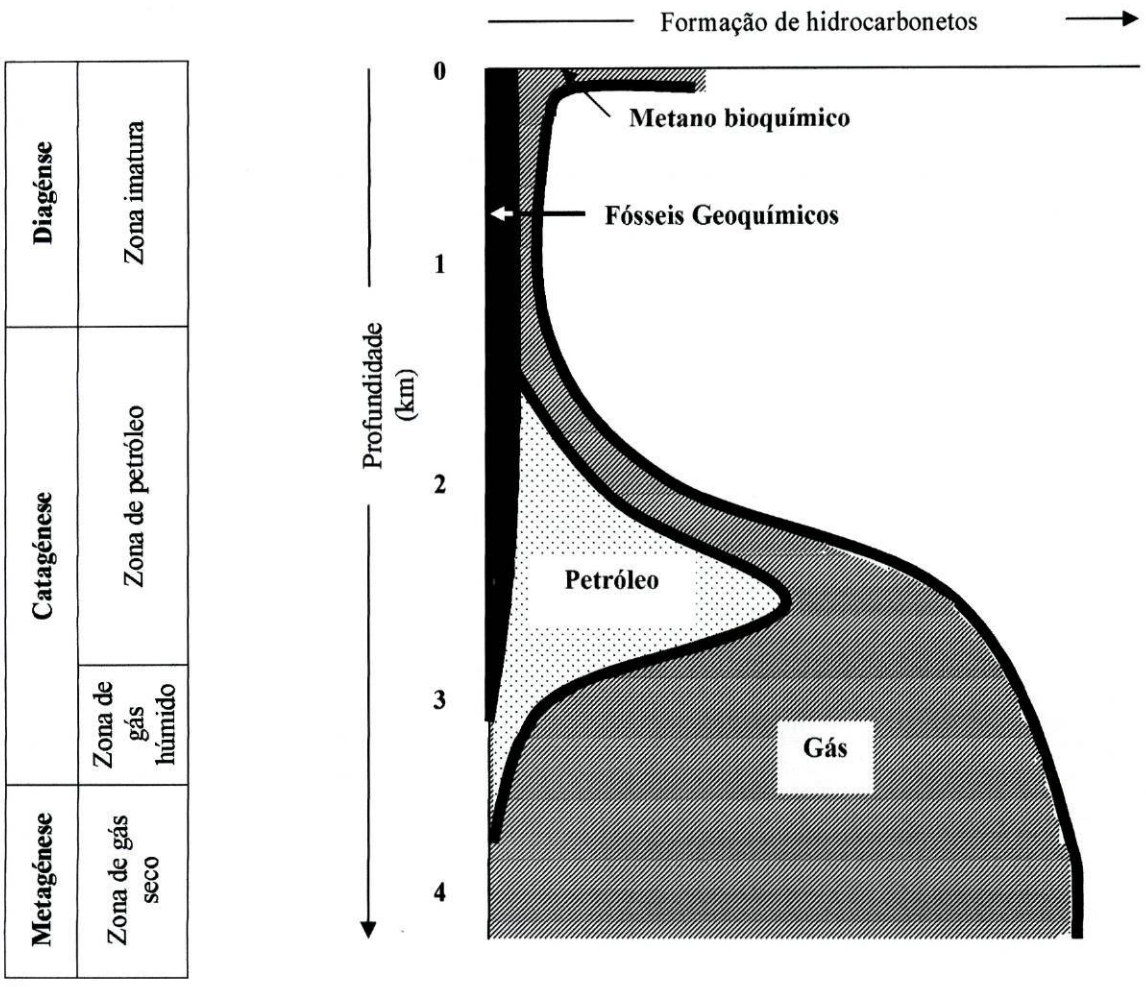


Figura II.2.4- Esquema geral da formação dos hidrocarbonetos em função da profundidade de afundimento (segundo Tissot & Welte, 1984: 94).

2.2.3. METAGÉNESE

A metagénese pode ser observada em amostras recolhidas a grandes profundidades ou em zonas com um elevado gradiente geotérmico. Durante esta etapa, ocorre uma eliminação lenta do hidrogénio e o cerogénio residual é constituído essencialmente por carbono, podendo este elemento constituir mais de 90% em peso. Os componentes alifáticos e as ligações dos grupos carbonilo (C=O) são quase totalmente eliminadas.

Todas as transformações, pelo **aumento da policondensação**, apontam no sentido de um grau de ordenação mais elevado. É uma etapa de **reajuste estrutural do cerogénio residual**.

Em termos da prospecção/exploração do petróleo, a metagénese, corresponde a uma **zona de produção de gás seco**, principalmente metano que se mantém estável mesmo a

elevadas temperaturas e que resulta do *cracking* dos hidrocarbonetos líquidos formados anteriormente (figura II.2.4).

Esta última etapa da evolução da matéria orgânica inicia-se mais cedo do que o metamorfismo dos sedimentos, correspondendo a um $Ra_{Vitrinite}$ de 4% e ao início da fácies dos xistos verdes.

A figura II.2.5 representa de forma sumária toda a evolução da matéria orgânica.

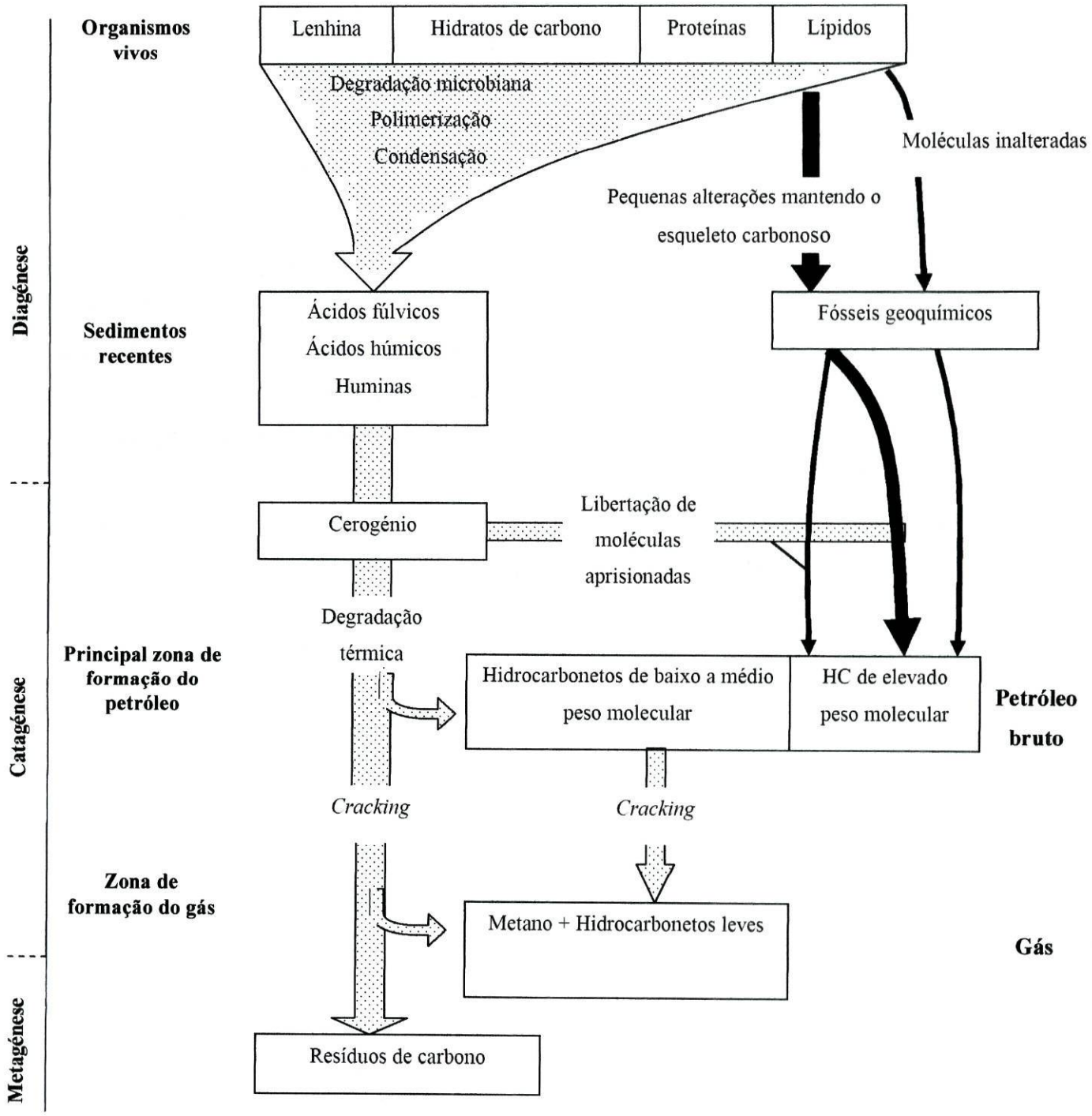


Figura II.2.5- Fontes de hidrocarbonetos e sua relação com a evolução da matéria orgânica. Os fósseis geoquímicos representam a primeira fonte de hidrocarbonetos (segundo Tissot & Welte, 1984: 93).

2.3. GÉNESE DO GÁS NATURAL

Por todo o mundo, são numerosas as ocorrências de gás natural, que normalmente surgem associadas a ocorrências de petróleo. O metano (CH_4) é sempre o principal constituinte do gás natural, podendo, em alguns casos, ocorrer numa concentração de cerca de 97% (Morrison & Boyd, 1996). Da composição do gás natural, para além do metano, fazem parte outros compostos, como por exemplo:

- hidrocarbonetos mais pesados do que o metano (principalmente etano (C_2H_6), propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10});
- dióxido de carbono (CO_2) e sulfureto de hidrogénio (H_2S);
- azoto, hidrogénio, árgon e hélio;
- condensados (hidrocarbonetos líquidos dissolvidos no gás – a separação ocorre quando o gás atinge a superfície ou posições próximas da superfície).

A origem dos constituintes do gás é múltipla podendo ser orgânica ou inorgânica (ar atmosférico, gases vulcânicos e geotérmicos, radioactividade).

Alguns constituintes do gás natural podem ser produzidos simplesmente por processos inorgânicos, isto é, sem a participação da matéria orgânica dos sedimentos.

O **ar atmosférico** dissolvido em águas superficiais pode ficar preso na água intersticial dos sedimentos. Nesta situação o oxigénio normalmente é consumido pela actividade microbiana e, em certos casos, elementos como o azoto e o árgon podem ser preservados nos sedimentos.

A **actividade vulcânica** e **geotérmica** pode ser uma fonte importante de CO_2, H_2S, CH_4, H_2 e N_2.

A **radioactividade** actua como fonte de hélio e principalmente de árgon. O hélio produzido pela desintegração de radioisótopos de urânio e de tório. O árgon resulta da desintegração do potássio. Como é evidente com o aumento da idade da rocha aumenta a quantidade de gases formados por decaimento radioactivo.

Os hidrocarbonetos gasosos, o dióxido de carbono e o sulfureto de hidrogénio são formados nos vários processos de evolução da matéria orgânica nos sedimentos. Assim, o metano, o dióxido de carbono e o sulfureto de hidrogénio podem formar-se em resultado

da **actividade bacteriana** nos sedimentos recentemente depositados nos fundos dos mares e/ou lagos. Este gás é frequentemente designado de **gás biogénico**.

Durante a diagénese há formação de dióxido de carbono como resultado do processo de eliminação do oxigénio existente no cerogénio. Também durante a diagénese, principalmente de matéria orgânica de origem continental, pode haver formação de algum metano diagenético. Durante a principal etapa de formação do petróleo formam-se hidrocarbonetos de baixo peso molecular, mas a grande produtividade de hidrocarbonetos gasosos, principalmente de metano, ocorre por processos de ***cracking* do cerogénio e de hidrocarbonetos já formados**.

Durante a catagénese e a metagénese, juntamente com o metano há a formação de sulfureto de hidrogénio o qual é produzido a partir do cerogénio ou dos componentes líquidos do petróleo bruto que contêm enxofre. O enxofre livre, se presente, também pode reagir com os hidrocarbonetos para produzir sulfureto de hidrogénio. Este composto é particularmente abundante se a matéria orgânica em si mesma é rica em enxofre, o que é frequente acontecer em sequências carbonatadas e evaporíticas.

O dióxido de carbono pode ser gerado numa etapa final da história de formação do petróleo, nomeadamente quando acumulações de petróleo bruto são degradadas, especialmente pela actividade bacteriana.

2.4. MIGRAÇÃO E ACUMULAÇÃO DO PETRÓLEO E DO GÁS

As acumulações de petróleo são geralmente encontradas em rochas permeáveis de porosidade elevada e que contêm pouca ou nenhuma matéria orgânica insolúvel. Consequentemente, é bastante improvável que as grandes quantidades de petróleo encontradas nestas rochas possam ter sido formadas *in situ* a partir de matéria orgânica da qual não há vestígios. Assim, pode-se concluir que o local de produção do petróleo e do gás normalmente não coincide com o local onde é encontrado em condições de ser explorável rentavelmente. Isto implica que os componentes fluidos tenham migrado do seu local de produção para os actuais reservatórios, conduzindo, em alguns casos, à subsequente formação de acumulações com valor comerciável.

Considera-se a existência de dois tipos de migração:

- **Migração primária** – consiste na libertação dos componentes fluidos do petróleo a partir de partículas orgânicas sólidas

(cerogénio) e no seu transporte por capilaridade através dos estreitos poros da rocha-mãe de granulometria fina.

- **Migração secundária** – consiste na migração dos componentes fluidos do petróleo após a sua expulsão da rocha-mãe para unidades rochosas mais permeáveis. A migração termina quando os componentes fluidos encontram uma barreira impermeável ou de baixa permeabilidade.

Os componentes do petróleo são geralmente formados a partir de matéria orgânica finamente disseminada na rocha-mãe, daí que as primeiras ocorrências de petróleo também se encontrem dispersas. Deste modo, os processos de migração primária e secundária conduzem à formação de acumulações de petróleo e de gás mas têm que ser acompanhados por mecanismos que concentrem os componentes dispersos do petróleo.

A densidade específica do gás e do petróleo varia entre os 0,7 e as 0,9g/cm^3, a qual é consideravelmente mais baixa do que a da água dos poros rochosos salinos, daí que as concentrações de gás e de petróleo sejam encontradas em locais altos do ponto de vista estrutural, onde as **rochas reservatório** bastante permeáveis são cobertas por uma camada densa de rochas impermeáveis, como por exemplo, evaporitos ou xistos. Estas rochas pelas suas características impedem o continuar da migração do petróleo e do gás, sendo conhecidas como **rochas de cobertura**.

As mudanças de **permeabilidade** e de **porosidade** determinam a localização das acumulações de gás e de petróleo. Existe pouca informação sobre o movimento e distribuição dos componentes do petróleo nos poros das rochas-mãe, pelo que os conhecimentos relativos aos processos de migração primária e secundária são pouco claros.

A maior parte das acumulações de petróleo e de gás são encontradas a profundidades bastante variáveis mas que dificilmente ultrapassam os 6000 a 7000m. A análise de dados provenientes de ocorrências de petróleo em todo o mundo revela que muitas das rochas-mãe do petróleo, ao longo da sua maturação, não foram expostas a temperaturas muito superiores a 100ºC (Tissot & Welte, 1984).

2.4.1. MIGRAÇÃO PRIMÁRIA

A compactação dos sedimentos resulta no aumento da densidade e na perda da porosidade com o aumento da profundidade, da temperatura e do tempo. A profundidades pequenas há uma perda muito rápida da porosidade, mas com o aumento da pressão a taxa de perda da porosidade diminui grandemente. Devido à compactação ocorrem nas rochas sedimentares movimentos de fluidos que condicionam grandemente a migração primária do petróleo.

Durante a compactação também existe uma clara diminuição do diâmetro dos poros. Em sedimentos detríticos, a grandes profundidades (superiores aos 3000m), os poros podem atingir dimensões que variam entre os 10 e os 25 angstrom (10^{-10}metros). Estas dimensões são mais ou menos semelhantes às de alguns componentes do petróleo, o que dificulta grandemente a sua migração. O tipo de constituintes do petróleo que são transportados durante a migração através dos poros estreitos e saturados em água da rocha-mãe é bastante variável. O peso molecular destes constituintes pode variar desde compostos com baixo peso molecular, como o metano (peso molecular = 16), até compostos de elevado peso molecular como os asfaltenos (peso molecular > 5000). Consequentemente, em determinadas condições de pressão e temperatura estes compostos podem ser gasosos, líquidos ou sólidos.

Outra dificuldade acrescida advém do facto de moléculas de água adsorverem às paredes dos poros, tornando-se não móveis e diminuindo ainda mais a dimensão dos poros.

De um ponto de vista meramente teórico, a migração primária pode ocorrer por diferentes processos:

- Fase contínua de petróleo ou de gás
- Glóbulos ou bolhas de hidrocarbonetos (líquidos ou gasosos)
- Soluções coloidais ou micelares
- Soluções moleculares
- Migração por fracturação da rocha

O transporte dos constituintes do petróleo, por qualquer um dos processos supracitados, requer algum tipo de força que os coloque em movimento. As duas forças mais comuns presentes nas rochas-mãe do petróleo são a **pressão** e a **temperatura**. Assim, o movimento em quantidade dos constituintes do petróleo é causado, directa ou indirectamente, pela

presença de **gradientes de pressão** e, ainda que em menor extensão, pela existência de **gradientes de temperatura**.

A facilidade de transporte do petróleo e do gás através do sistema de poros de uma rocha-mãe é condicionada por dois principais factores:

- o **número de fases** existente no sistema fluido (se o sistema é monofásico ou polifásico).
- a **afinidade das paredes dos poros para a água ou para o petróleo**.

Várias considerações de ordem físico-química, geoquímica e geológica têm permitido chegar à conclusão que a **formação de bolhas** e o estabelecimento de **soluções coloidais** e **micelares** não são processos significativos de transporte durante a migração primária (Tissot & Welte, 1984).

Segundo os mesmos autores, a formação de **soluções moleculares** em poros aquosos parece ser um mecanismo razoável para explicar, especialmente, a migração primária das fracções hidrocarbonatadas mais leves e solúveis. Contudo, nada indica que seja um importante mecanismo que assegure a migração primária.

Os dados existentes apontam para que a forma mais importante de migração primária do petróleo durante as principais fases de formação do petróleo e do gás seja o movimento como uma **fase hidrocarbonatada contínua por acção da pressão**. Para que a migração primária ocorra como uma fase contínua de petróleo é necessário que a rocha-mãe possua uma elevada concentração de betume, pouca água móvel e tenha atingido um elevado grau de compactação. A força motriz para que a migração primária ocorra deste modo deverá ser um gradiente de pressão, criado pela formação de centros de alta pressão no interior da rocha-mãe. Estes centros estão associados ao aumento da pressão molecular resultante da formação de hidrocarbonetos a partir do cerogénio. O movimento por acção da pressão pode provocar o movimento dos hidrocarbonetos em todos os tipos de rochas, independentemente da litologia. Um outro fenómeno, em conflito com a migração primária em soluções aquosas mas em perfeita sintonia com a migração da fase contínua hidrocarbonatada, é que a maior parte do petróleo bruto é enriquecido em hidrocarbonetos saturados e pobre em compostos polares quando comparado com a rocha-mãe betuminosa.

Em rochas relativamente impermeáveis, os aumentos locais de pressão podem induzir à **microfracturação**, à consequente libertação da pressão acumulada, à expansão de fluidos e finalmente ao seu transporte. Este é um processo descontínuo que terá de ser repetido

muitas vezes nas rochas-mãe no sentido de permitir um movimento significativo do gás e do petróleo.

Como é documentado pela maior parte das acumulações de petróleo do Cenozóico, do Mesozóico e do Paleozóico, a migração primária ocorre predominantemente durante a principal fase de formação dos hidrocarbonetos a profundidades compreendidas entre os 1500 e os 3500m. Os mecanismos de migração prevalecem durante esta etapa da maturação da rocha-mãe, desconhecendo-se como é que, concretamente, a migração ocorre noutras etapas da evolução da rocha-mãe.

Não existe um único mecanismo de migração primária que seja responsável pela formação de todas as acumulações de petróleo existentes. O mecanismo predominante de migração primária varia com as diferentes condições, principalmente com a profundidade.

A migração primária dos hidrocarbonetos do petróleo em **sedimentos não consolidados**, jovens e imaturos parece ser rara mas não pode ser completamente posta de parte. Esta migração, a existir, será realizada por intermédio das **águas de compactação**. A migração primária precoce por intermédio da água de compactação parece ser restrita a sedimentos detríticos, argiloso-siltíticos. Esta situação deve-se ao facto da litificação impedir a compactação nos sedimentos jovens carbonatados e, consequentemente, exclui a hipótese de migração primária precoce em sequências carbonatadas superficiais, mesmo que quantidades suficientes de matéria orgânica solúvel estejam presentes.

A escassez deste tipo de ocorrências pode dever-se à falta de armadilhas ou de rochas de cobertura e à insolubilidade geral dos componentes do petróleo nas águas de compactação a baixas temperaturas. A composição do petróleo que migra nesta fase reflecte a imaturidade térmica da rocha-mãe e a solubilidade dos compostos transportados, pelo que contém quantidades significativas de moléculas bioquímicas relativamente inalteradas, como moléculas solúveis em água, moléculas polares e compostos de elevado peso molecular contendo oxigénio, azoto e enxofre e hidrocarbonetos de baixo ponto de ebulição enriquecidos em aromáticos.

Em sedimentos superficiais, a profundidades entre os **1000** e os **1500m**, a **migração em solução** parece ser favorecida quando comparada com a migração duma fase contínua de petróleo. A migração em solução também pode ter um papel importante a temperaturas e a profundidades superiores mas apenas envolvendo hidrocarbonetos leves. Como já foi anteriormente referido, a migração em solução por si só não parece ser um mecanismo

capaz de produzir grandes depósitos de hidrocarbonetos, excepto em determinadas condições geológicas, como nos campos de gás superficiais de origem diagenética precoce.

A **profundidades superiores a 1500m** o modo predominante de migração primária em solução muda para uma fase de migração contínua de petróleo. Esta fase mais ou menos contínua de migração do petróleo é gradualmente substituída por uma fase de hidrocarbonetos gasosos a **profundidades superiores a 3500m**.

O início da migração primária como fase hidrocarbonatada separada, coincide com a principal fase de formação do petróleo e continua até que o potencial de formação de líquido se esgote e se formem hidrocarbonetos essencialmente gasosos. A esta profundidade a porosidade das rochas é inferior a 10%, um considerável volume dos poros é ocupado por água imóvel e as concentrações de betume são muito grandes para serem acomodadas nos fluidos dos poros aquosos, pelo que se torna inviável migração em solução. Forma-se então uma fase contínua hidrocarbonatada que percorre a rocha-mãe principalmente através dos microporos aquosos. A partir de determinado momento no processo de maturação da rocha-mãe, o diâmetro dos poros torna-se muito pequeno e os compostos do petróleo muito grandes para poderem atravessar os poros, deste modo criam-se na rocha-mãe zonas de grande pressão. A contínua formação de gás e de outros hidrocarbonetos de baixo peso molecular a partir do cerogénio faz com que a pressão aumente até que a resistência mecânica da rocha seja ultrapassada. Quando isto acontece abrem-se microfissuras e a fase de hidrocarbonetos expande-se aumentando consideravelmente a taxa de migração. A **microfracturação** da rocha é, assim, uma consequência de um aumento da pressão interna. Os produtos hidrocarbonatados líquidos podem ser libertados intermitentemente devido à expansão seguida de alívio da pressão. Abaixo dos 4000m de profundidade e a temperaturas superiores a 150ºC, a pressão é, provavelmente, apenas exercida pelo gás.

Vários factores controlam a formação de uma fase contínua de petróleo e o seu movimento através da rocha-mãe, nomeadamente: a quantidade total de poros, a relação entre a água dos poros móvel e fixa, a média do diâmetro dos poros, a quantidade e o tipo de cerogénio presente e a quantidade de betume formado. Relativamente a este último aspecto, considerando que a principal força motriz da migração primária é a pressão, a rocha-mãe deve conter uma quantidade mínima de matéria orgânica. Se existir pouca matéria orgânica a razão de poros com água livre comparativamente com o betume ou gás pode ser muito alta e, como tal, desfavorável para a migração da fase hidrocarbonatada

mesmo que a porosidade seja baixa. Contudo, este argumento não é aplicável em rochas constituídas apenas por matéria orgânica como o carvão.

Torna-se difícil estabelecer limites de profundidade, de temperatura e de porosidade que limitem a migração primária, uma vez que numerosos parâmetros se interrelacionam e que existe falta de informação detalhada sobre os mecanismos de migração. As distâncias cobertas pela migração primária são da ordem dos metros ou dezenas de metros.

As rochas-mãe têm sido analisadas no que diz respeito às suas propriedades físico-químicas, contudo, elas são produtos de processos sedimentológicos e compreendem parte da história sedimentar da bacia geológica onde se formaram. Assim, processos sedimentológicos e eventos tectónicos também são importantes condicionantes da migração do petróleo. As rochas-mãe muitas vezes são finamente laminadas apresentando uma alternância de camadas ricas em matéria orgânica com camadas pobres. Este arranjo geométrico pode criar pontos preferenciais de migração primária. A grande escala, algumas sequências, especialmente clásticas, podem apresentar alternância de areias e de silt, o que pode ser mais vantajoso para a drenagem do petróleo do que quando a rocha-mãe corresponde a espessas sequências uniformes de xistos. Processos tectónicos podem causar altas tensões anormais nas unidades sedimentares, especialmente por compressão horizontal. Em zonas tectonicamente muito activas repetidos sismos podem contribuir para a fracturação e para o movimento dos hidrocarbonetos.

2.4.2. MIGRAÇÃO SECUNDÁRIA

Quer a migração primária ocorra principalmente como uma fase hidrocarbonatada quer ocorra sob a forma de uma solução aquosa, ela é essencial para que se inicie a migração secundária.

A **migração secundária** é definida como o movimento dos componentes do petróleo através de rochas transportadoras e rochas reservatório mais permeáveis e mais porosas, face às rochas-mãe mais densas, menos permeáveis e menos porosas. As acumulações de petróleo formam-se quando o movimento ascendente dos hidrocarbonetos for travado por uma camada de rochas menos permeáveis.

Eventos tectónicos como dobras, falhas e movimentos de levantamento podem causar a redistribuição dos poços de petróleo ou de gás iniciando uma fase adicional de migração

secundária. Quando determinados eventos permitem a formação de uma nova acumulação, o movimento do petróleo e do gás é designado de **migração terciária** ou **remigração**.

Conhecem-se campos petrolíferos de grandes dimensões, com mais de 100 milhões de toneladas de petróleo armazenado. A acumulação destas enormes quantidades de petróleo e de gás pelo processo de migração secundária exige a existência duma grande zona de drenagem e um grande volume de sedimentos. Vários cálculos mostram que a migração secundária pode cobrir áreas com dezenas ou centenas de quilómetros de diâmetro. A migração secundária ao longo de distâncias verticais só é possível através de sistemas de falhas e fracturas e de outras estruturas como diques, planos de pressão e lamas vulcânicas.

Três parâmetros controlam a migração secundária e a subsequente formação de acumulações de gás e de petróleo:

- a **flutuabilidade** do petróleo e do gás em rochas porosas saturadas em água;
- a **pressão capilar** que determina o fluxo das diferentes multifases;
- o fluxo **fluido hidrodinâmico**.

As acumulações de petróleo e de gás geralmente são encontradas na parte mais elevada duma armadilha estrutural. Isto acontece porque, como já foi referido, o petróleo e o gás têm densidades mais baixas do que as soluções aquosas envolventes e elevam-se por **flutuabilidade** através dos poros saturados em água.

À medida que os hidrocarbonetos abandonam as rochas-mãe densas, de fina granulometria e de baixa porosidade como uma fase discreta de hidrocarbonetos e entram nos grandes poros da **rocha transportadora** ou **reservatório**, formam-se bolhas de petróleo e de gás, as quais se podem elevar por flutuabilidade. Contudo, quando os hidrocarbonetos abandonam a rocha-mãe no estado dissolvido não podem elevar-se por flutuabilidade, mas apenas flúem em fluxos de água através da rocha transportadora ou reservatório. Quando finalmente esses hidrocarbonetos são libertados da solução por diminuição da pressão, da temperatura ou devido ao aumento da salinidade da água dos poros, têm um destino similar ao dos hidrocarbonetos que abandonaram a rocha-mãe como uma fase discreta ou separada.

A força necessária para que as bolhas de hidrocarbonetos passem através dos poros é conhecida por **pressão capilar** ou **pressão de injecção**. Esta pressão nos poros das rochas é responsável pelo armadilhamento dos hidrocarbonetos, sendo maior em poros pequenos. A pressão capilar é um mecanismo de resistência à migração secundária.

Em **condições hidrostáticas**, a força de flutuabilidade pode tornar-se suficientemente grande para ultrapassar a pressão capilar. A **força de flutuabilidade** aumenta com o aumento da diferença de densidade entre a água dos poros e o petróleo e como aumento da coluna de petróleo. À medida que as moléculas de petróleo crescem em tamanho, tornam-se mais sujeitas à flutuabilidade. Com o aumento da sua capacidade de flutuabilidade assiste-se ao movimento das moléculas através dos estreitos poros abertos, segundo as direcções que ofereçam menor resistência, assim normalmente a migração faz-se descrevendo um percurso sinuoso, ascendente e mais ou menos perpendicular à estratificação. O movimento pode ser interrompido quando os poros se tornarem muito pequenos e já não for possível ultrapassar a pressão capilar. Consequentemente, pode iniciar-se um processo de acumulação que pode conduzir à formação de depósitos de hidrocarbonetos de dimensões económicas ou apenas a uma pequena concentração de hidrocarbonetos. Os hidrocarbonetos gasosos comportam-se de modo análogo mas devido às baixas densidades desenvolvem forças de flutuabilidade mais fortes.

O petróleo armazenado numa rocha reservatório em condições hidrostáticas representa um **estado de equilíbrio** entre as forças de flutuabilidade que procuram mover o petróleo e as pressões capilares na rocha de cobertura que impedem esse movimento. Assim, o término ou a continuação da migração secundária são determinados pela inter-relação entre a força motora que é responsável pela migração dos hidrocarbonetos e a pressão de capilaridade que resiste a esse movimento.

Os fluxos de água e a influência de **condições hidrodinâmicas** podem ter efeitos sobre a migração secundária. Qualquer fluxo de água num aquífero, dependendo da sua direcção, pode impedir ou facilitar a migração secundária dos hidrocarbonetos. O fluxo de água está relacionado com a existência de gradientes de água. Se o gradiente é estabelecido numa direcção ascendente é favorável às forças de flutuabilidade e ao movimento do petróleo. Pelo contrário, se o gradiente é estabelecido numa direcção descendente, as forças de flutuabilidade têm de ser maiores do que as requeridas em condições hidrostáticas de modo a oporem-se à pressão de fluxo.

O fluxo hidrodinâmico pode constituir uma força motriz da migração secundária, mas a sua influência é mais importante durante as etapas iniciais da migração secundária do que durante as etapas finais.

2.4.3. ACUMULAÇÃO DO PETRÓLEO E DO GÁS

Quando a pressão capilar é muito elevada ou os poros da rocha demasiado estreitos, a migração do petróleo e do gás é interrompida. O petróleo aprisionado numa **rocha reservatório** representa um estado de equilíbrio entre as forças motoras (flutuabilidade ou fluxo de água) que promovem o movimento do petróleo e a pressão capilar que resiste a esse movimento.

O fim da migração secundária e a etapa final da formação de poços de petróleo e de gás ocorrem com a concentração dos hidrocarbonetos na parte mais alta duma armadilha. Para tal, é necessário que o volume dos poros da zona da armadilha seja suficiente para acomodar quantidades de interesse comercial.

O petróleo e o gás podem ser armadilhados em qualquer rocha de porosidade adequada - a **rocha de cobertura**. Esta rocha em virtude de apresentar poros de dimensões reduzidas, tem que exercer uma pressão capilar que seja suficiente para impedir a passagem das partículas de petróleo e de gás. Qualquer que seja a rocha de cobertura ela deve permitir a passagem de certas partículas de determinadas dimensões, quer a força motriz para a migração secundária seja a flutuabilidade ou o fluxo hidrodinâmico.

O efeito barreira pode ser causado pela mudança de litologia, por uma cimentação mais intensa ou pela mudança de inclinação das camadas, por exemplo, uma grande estrutura em anticlinal, em condições hidrostáticas, armazena petróleo e gás que se elevam por flutuabilidade independentemente da sua fonte.

Em condições hidrostáticas, o petróleo e o gás podem simplesmente elevar-se de acordo com os princípios de flutuabilidade, para as partes superiores da armadilha sem que haja grande movimento da fase aquosa. Em condições hidrodinâmicas o movimento da água através da rocha de cobertura permite a filtração dos hidrocarbonetos. Alternativamente, a água pode escapar da rocha reservatório. Nesta situação, não é condição obrigatória o petróleo e o gás aparecerem sempre na crista ou cume de uma armadilha, uma vez que a força da água em movimento pode ter uma direcção e uma magnitude que permita suportar e armadilhar uma fase hidrocarbonatada noutras posições da rocha reservatório.

A distribuição do petróleo e do gás nas acumulações depende de muitos factores, nomeadamente:

- do fornecimento de petróleo ou de gás;

- da pressão e da temperatura no reservatório;
- do tipo de fase de petróleo (petróleos leves podem dissolver mais gás do que petróleos pesados);
- da permeabilidade relativa da rocha de cobertura.

O petróleo e o gás que se acumulam reflectem uma composição resultante da migração secundária ao longo da área de drenagem. A razão petróleo/gás depende principalmente da disponibilidade de hidrocarbonetos aquando da formação da acumulação. Se, na zona de drenagem, existe mais gás do que petróleo o resultado da acumulação é, provavelmente, a existência de uma cobertura de gás separada. Contudo, se existe mais petróleo do que gás não se forma qualquer cobertura de gás e o petróleo pode tornar-se insaturado com o gás nas condições de pressão e de temperatura existentes no reservatório.

Os poços podem simultaneamente receber e perder hidrocarbonetos. Um outro aspecto importante que caracteriza o dinamismo que ocorre quando se forma uma acumulação é um processo designado **separação-migração**. Este processo pode ser induzido por rupturas naturais na rocha de cobertura, por fracturação ou falhamento e causar a redistribuição do conteúdo hidrocarbonatado existente no reservatório. Por este processo podem formar-se hidrocarbonetos de composição muito diversa e com diferenças mais pronunciadas do que as causadas pela simples migração secundária.

2.4.4. ROCHAS RESERVATÓRIO E ARMADILHAS

A acumulação do petróleo ocorre após a migração secundária por rochas reservatório porosas e permeáveis e a sua retenção numa armadilha.

Os dois elementos essenciais numa **rocha reservatório** são: a **porosidade** e a **permeabilidade**. A rocha deve conter poros ou espaços em conexão para armazenar o petróleo e o gás. A rocha deve ser permeável a fluidos e a gases. A pedra-pomes, por exemplo, apesar de ter uma elevada porosidade não é uma boa rocha reservatório porque não há conexão entre os seus poros. O diâmetro dos poros também deve estar acima de um certo tamanho mínimo, uma vez que a razão do volume total dos poros face à área da superfície interna não deve ser muito baixa. Se o tamanho dos poros é muito pequeno, a atracção capilar dos grãos minerais irá manter os fluidos no interior dos poros da rocha. A maior parte das rochas reservatório têm grãos com diâmetro entre os 0,05 e os 0,25 mm,

donde resulta uma média de poros com dimensões compreendidas entre os 20 e os 200 μm de raio (Tissot & Welte, 1984). Uma certa relação pode ser observada entre a porosidade e a permeabilidade nas rochas clásticas. A um aumento na porosidade corresponde um aumento paralelo da permeabilidade.

A porosidade nas rochas reservatório varia entre os 5 e os 30%. A porosidade nas rochas carbonatadas é frequentemente inferior à dos arenitos mas a sua permeabilidade pode ser muito superior.

As rochas reservatório podem ser **detríticas** ou clásticas, geralmente de material silicioso, ou podem ser rochas resultantes da **precipitação química** ou **bioquímica**, frequentemente carbonatos. A maior parte das acumulações de petróleo são encontradas em rochas reservatório de natureza clástica ou arenítica, incluindo os arenitos e os siltitos (rochas altamente siliciosas e contendo principalmente quartzo), arcoses (derivadas de granitos, contendo principalmente quartzo, feldspato e micas) e grauvaques (arenitos com partículas negras de natureza ígnea de fina granulometria).

As rochas clásticas compreendem mais de 60% de todas as ocorrências de petróleo, 30% das ocorrências são encontradas em rochas carbonatadas. Os restantes 10% de ocorrências são encontradas em xistos fracturados, rochas ígneas e metamórficas, etc. Contudo, é de realçar que mais de 40% daquilo a que se chama grandes campos de petróleo e de gás se encontram em rochas carbonatadas. Ocasionalmente, rochas metamórficas e rochas ígneas podem constituir reservatórios de quantidades comerciais de petróleo, quando estão localizados favoravelmente próximo de sequências sedimentares geradoras de petróleo.

Qualquer rocha permeável e porosa pode constituir uma rocha reservatório para o petróleo e para o gás.

Uma **armadilha** é uma estrutura geológica que impede a migração do petróleo promovendo a sua acumulação e preservação durante um certo intervalo de tempo. As armadilhas podem ter formas muito diferentes e reterem diferentes quantidades de petróleo. As armadilhas raramente estão completamente cheias, isto é, a coluna de petróleo raramente se estende até ao ponto no qual pode ocorrer o derramamento para fora da armadilha. Do mesmo modo uma armadilha nunca está completamente cheia, no sentido de que todos os poros da rocha reservatório estão totalmente ocupados por petróleo, uma vez

que existe sempre uma certa quantidade de água residual que não é expulsa pelo petróleo em migração.

A característica fundamental duma armadilha é possuir uma forma convexa numa rocha porosa em combinação com uma **rocha de cobertura** superior mais densa e relativamente impermeável. A forma da convexidade pode ser angular, curva ou uma combinação de ambas. A característica geométrica mais importante é possuir uma grande extensão vertical e horizontal, de modo a evitar grandes perdas e a formar um contentor invertido.

As causas para a formação das armadilhas são numerosas. Muitas das armadilhas são difíceis de classificar, contudo é possível considerar dois tipos gerais de armadilhas:

- **armadilhas estratigráficas** – são causadas por estruturas deposicionais, como um corpo de areia implantado e selado por xistos em sequências transgressivas, ou uma rocha recifal porosa enterrada por densos calcários ou xistos.

- **armadilhas estruturais** – são formadas por processos tectónicos como dobras ou falhas.

A maioria dos campos de petróleo conhecidos formou-se como resultado da existência de armadilhas estruturais. É de referir que tendo por base as técnicas geológicas e geofísicas existentes este é o tipo de armadilhas mais fácil de identificar.

Por vezes existem causas tectónicas e estratigráficas que em conjunto determinam a existência de uma armadilha, neste caso a armadilha é denominada de **armadilha combinada**.

As estruturas em anticlinal são as armadilhas mais comuns. A maior armadilha em anticlinal está localizada no campo de Kirkuk no Iraque onde a área produtiva estende-se por mais de 30 milhas. Contudo, a maior parte destas estruturas em anticlinal têm poucas milhas de comprimento e, muitas vezes, estão associadas a falhas. A associação de acumulações de petróleo a domos salinos é outro exemplo de armadilha estrutural formada por eventos tectónicos. A formação de armadilhas estratigráficas está relacionada com a deposição ou a erosão dos sedimentos. Estas armadilhas podem estar relacionadas com a mudança de fácies, diagénese dos sedimentos e inconformidade na coluna de rochas sedimentares. Muitas bacias sedimentares têm os pré-requisitos necessários para a criação

de armadilhas estratigráficas. Exemplos típicos destas bacias são: barras de areia, canais de distribuição deltaica, recifes de arenitos e carbonatos de diferentes formas e tamanhos. Em barreiras, canais de areia e em carbonatos de estrutura recifal ocorre o estabelecimento de sequências sedimentares de fina granulometria que constituem armadilhas ideais para a migração do petróleo. Recifes orgânicos fósseis constituem armadilhas estratigráficas em muitas partes do mundo. As sequências evaporíticas constituem excelentes coberturas para o aprisionamento do petróleo.

2.5. COMPOSIÇÃO DO PETRÓLEO BRUTO

Três diferentes abordagens podem ser utilizadas para descrever a composição dos petróleos brutos:

a) isolamento e determinação individual dos hidrocarbonetos e dos heterocompostos;
b) destilação do petróleo obtendo fracções que são analisadas quanto à densidade, viscosidade, conteúdo em enxofre, etc.;
c) métodos baseados na separação quantitativa dos vários tipos estruturais e na determinação da distribuição molecular de cada tipo (análises essencialmente químicas).

Com base nos resultados conjugados destes três tipos de estudos é possível conhecer com bastante precisão a composição do petróleo. Assim, actualmente sabe-se que o petróleo bruto é constituído essencialmente por (Tissot & Welte, 1984):

- **hidrocarbonetos saturados**, compreendendo essencialmente alcanos normais e ramificados (parafinas) e cicloalcanos (naftaleno);

- **hidrocarbonetos aromáticos**, incluindo moléculas aromáticas puras, cicloalcanos aromáticos (naftalenoaromáticos) e, frequentemente, compostos cíclicos de enxofre;

- **resinas e asfaltenos**, que formam uma fracção policíclica de elevado peso molecular contendo átomos de azoto, enxofre e oxigénio. Os asfaltenos são insolúveis em pequenos alcanos e precipitam com n-hexanos. As resinas apesar de muito polares são mais solúveis.

Os hidrocarbonetos presentes no petróleo bruto são hidrocarbonetos saturados normais, ramificados ou ciclícos, hidrocarbonetos aromáticos e várias associações destes tipos básicos.

De um modo geral, os **hidrocarbonetos saturados** são os mais abundantes. As principais excepções ocorrem nos petróleos degradados, que perderam total ou parcialmente os seus alcanos e em alguns petróleos imaturos ricos em constituintes de elevado peso molecular e naftalenoaromáticos. A abundância relativa de parafinas e naftaleno é bastante comparável na maioria dos petróleos brutos, à excepção dos petróleos parafínicos e dos petróleos grandemente degradados.

A quantidade de n-alcanos é grandemente dependente das condições genéticas e, especialmente, da natureza da matéria orgânica original. O petróleo bruto que apresenta teores elevados de ceras derivadas de matéria orgânica terrestre frequentemente apresenta uma grande proporção de n-alcanos, enquanto que o material orgânico marinho conduz à formação de compostos cíclicos. Durante a catagénese da matéria orgânica da rocha-mãe existe uma tendência geral para o aumento da concentração de n-alcanos com o aumento da maturação. Por outro lado, a degradação microbiana do petróleo armazenado pode conduzir à remoção dos n-alcanos.

Os **hidrocarbonetos aromáticos** e naftalenoaromáticos são normalmente o segundo grupo de compostos mais frequentes na composição do petróleo.

Dependendo da maturação térmica e do tipo genético, a quantidade de **resinas e de asfaltenos** varia, nos petróleos brutos normais, entre os zero e os quarenta por cento. O petróleo superficial imaturo possui um conteúdo alto de resinas e de asfaltenos. O teor destes compostos diminui com o aumento da profundidade e com o consequente *cracking*. Em petróleos pesados e alcatrões resultantes da alteração pela actividade microbiana, pela circulação de águas e pela oxidação, o seu conteúdo varia entre os 25% e os 60%, devido a uma eliminação ou degradação dos hidrocarbonetos (Tissot & Welte, 1984).

Os petróleos brutos possuem um teor em **enxofre** que ronda os 0,65% do seu peso. O enxofre é o terceiro constituinte atómico mais importante do petróleo (depois do carbono e do hidrogénio). O teor em **azoto** no petróleo bruto é muito mais baixo do que o teor em enxofre. A maior parte do azoto é encontrada em moléculas de grande peso molecular e de ponto de fusão também elevado. Os asfaltos degradados são ricos em azoto uma vez que a proporção relativa de resinas e asfaltenos aumenta. O grupo mais importante que contém **oxigénio** é os ácidos, os quais parecem ser um constituinte comum nos petróleos brutos

jovens e imaturos. Outros compostos contendo oxigénio também foram identificados em menores quantidades: cetonas, fenóis, alcalis, etc.

O petróleo bruto contém **metais**, particularmente, níquel e vanádio, em quantidades bastante variáveis. Os metais, frequentemente, fazem parte da constituição das resinas e os asfaltenos, daí que estes elementos surjam em maiores quantidades em petróleos degradados. Outros metais como o ferro, zinco, cobre, chumbo, arsénico, molibdénio, cobalto, manganésio e crómio também são encontrados.

Quando se compara a composição dos petróleos brutos com a composição do cerogénio da rocha-mãe, verifica-se que os primeiros são mais ricos em hidrocarbonetos (principalmente os saturados) e que são empobrecidos em resinas e asfaltenos devido à sua forte adsorção na rocha-mãe e à sua baixa solubilidade.

2.6. CLASSIFICAÇÃO DO PETRÓLEO BRUTO

A classificação do petróleo bruto numa perspectiva geoquímica baseia-se principalmente na quantidade dos vários tipos estruturais de hidrocarbonetos que possui: alcanos, cicloalcanos (naftaleno), aromáticos e compostos contendo azoto, enxofre e oxigénio (Tissot & Welte, 1984). Assim, como primeiro parâmetro para a classificação considera-se a concentração de hidrocarbonetos saturados no petróleo bruto, a qual se correlaciona negativamente com as concentrações em hidrocarbonetos aromáticos, resinas, asfaltenos e com o conteúdo em enxofre.

De acordo com as considerações anteriores, os petróleos brutos são considerados **parafínicos ou naftalínicos** se possuem um conteúdo em hidrocarbonetos saturados **superior a 50%** e são considerados **aromáticos** se o total de hidrocarbonetos saturados é inferior a 50%, isto é, se o **conteúdo total em aromáticos, resinas e asfaltenos é superior a 50%** (Tissot & Welte, 1984). De acordo com os mesmos autores, existem seis classes principais de petróleo bruto:

1. **Classe parafínica** – formada por petróleos brutos leves, com viscosidade elevada devido ao elevado conteúdo em n-alcanos (>C20). A temperaturas elevadas a sua viscosidade diminui. O conteúdo em resinas e asfaltenos é inferior a 10%.

2. **Classe parafínica-naftalínica** – formada por petróleos brutos que possuem um conteúdo moderado em resinas e asfaltenos (frequentemente de 5 a 15%) e um baixo conteúdo em enxofre (0 a 1%). 25 a 40% dos hidrocarbonetos são aromáticos. A densidade e a viscosidade são mais elevadas do que na classe anterior, mas continuam moderadas.

3. **Classe naftalínica** – são poucos os petróleos brutos pertencentes a esta classe, uma vez que ela inclui alguns petróleos imaturos e petróleos degradados os quais normalmente contêm menos de 20% de n-isoalcanos. Os petróleos brutos pertencentes a esta classe formam-se através da alteração bioquímica dos petróleos das classes anteriores e, normalmente, apesar da degradação, têm um baixo conteúdo em enxofre.

4. **Classe aromática intermédia** – inclui petróleos brutos pesados, cujo conteúdo em resinas e asfaltenos ronda os 10 a 30%. Nestes petróleos o conteúdo em enxofre é superior a 1%. 40 a 70% dos hidrocarbonetos são aromáticos. O conteúdo em monoaromáticos é baixo. Os derivados do tiofeno são abundantes (25 a 30% dos aromáticos).

5. **e 6. Classe aromática-naftalínica e aromática-asfáltica** – são constituídas por petróleos brutos alterados. Durante a biodegradação, os alcanos são os primeiros a ser removidos do petróleo bruto. Posteriormente, um estado mais avançado da degradação pode envolver a remoção dos monocicloalcanos e a oxidação. Consequentemente, muitos dos petróleos incluídos nestas classes são pesados, têm elevada viscosidade e resultam da degradação dos petróleos das classes anteriores. O seu conteúdo em resinas e asfaltenos é frequentemente superior a 25%, podendo atingir os 60%. Estes teores, bem como a quantidade de enxofre, podem variar consideravelmente em função do tipo original de petróleo bruto.

As classes mais importantes no que diz respeito à quantidade são a aromática-asfáltica, seguida da aromática-naftalínica e da aromática intermédia. Comparativamente com estes os petróleos naftalínicos são raros.

A evolução e a alteração afectam a composição do petróleo bruto e, por isso, a sua classificação pode sofrer alterações. A evolução térmica é denotada pela diminuição dos constituintes aromáticos e de elevado peso molecular e por um aumento do conteúdo em parafinas. Por alteração, os petróleos normais parafínicos-naftalínicos podem ser transformados em petróleos aromático-naftalínicos, ou mesmo, em petróleos pesados aromático-asfálticos.

Apesar de terem sido estabelecidas seis classes distintas, os petróleos brutos normais, não degradados, apenas pertencem a três classes: petróleos pertencentes à **classe aromática intermédia** que contêm mais de 1% de enxofre e são frequentemente gerados em sedimentos marinhos depositados em ambientes redutores; **petróleos parafínicos-naftalínicos** e **parafínicos**, os quais normalmente contêm menos de 1% de enxofre e que se formam, frequentemente, em sedimentos deltáicos ou costais das margens das bacias continentais, ou em rochas-mãe não marinhas.

Os **petróleos de elevado conteúdo em ceras** representam um caso especial de petróleo bruto não marinho. Provavelmente derivam de matéria orgânica continental que foi fortemente retrabalhada pelos microorganismos. A celulose é facilmente degradada pelas bactérias, a lenhina é degradada apenas na presença do oxigénio por associações de fungos e de bactérias que actuam em sequência sobre a matéria orgânica. Esta situação pode ser encontrada em bacias lacustres ou parálicas superficiais onde os sedimentos são periodicamente expostos a condições subaéreas, seguidas de períodos de submersão. Uma vez que as gorduras são mais facilmente degradadas do que as ceras, os principais compostos do material orgânico de origem terrestre preservados são as longas cadeias de n-alcanos e de esteres que formam as ceras das plantas superiores e os ácidos húmicos do solo, que constituem uma parte relativamente inerte do cerogénio. A biomassa bacteriana também constitui uma parte significativa da matéria orgânica.

O cerogénio que se forma nestes ambientes, apesar da grande quantidade de material terrestre rico em celulose e lenhina, é formado essencialmente por ceras e ácidos húmicos do solo, podendo dar origem a petróleo bruto com um elevado conteúdo em ceras. Devido à grande proporção de material húmico, este cerogénio normalmente pode ser considerado como pertencendo ao tipo III, mas se possui longas cadeias alifáticas pertence ao tipo I. O elevado conteúdo parafínico que os caracteriza é responsável pelo elevado ponto de fusão e pelo carácter ceroso deste tipo de petróleo.

Estes petróleos têm sido encontrados em sequências xisto-arenosas e estão frequentemente associados a carvão ou a estratos altamente carbonáceos. São normalmente pobres em enxofre.

2.7. ALTERAÇÃO DO PETRÓLEO BRUTO

Muitas vezes as variações existentes na composição do petróleo são devidas a variações herdadas das rochas-mãe. Por exemplo, material original de origem essencialmente terrestre produz maior quantidade de compostos gasosos, enquanto que petróleos brutos apresentando um grande conteúdo em ceras estão frequentemente associados a material vegetal de plantas superiores terrestre contendo grandes proporções de lípidos pertencentes a organismos microbianos. Petróleos brutos com elevado conteúdo em enxofre estão frequentemente associados a rochas-mãe carbonatadas. Para além da influência da natureza da rocha-mãe, o estado de maturação do material original também é importante na determinação das características do petróleo. Contudo, as alterações sofridas pelo petróleo bruto armazenado pode afectar muito mais a sua composição do que as características do material original. Por outras palavras, a alteração do petróleo tende a mascarar as suas características iniciais e, consequentemente, afecta os estudos de correlação e influencia a qualidade e o valor económico do petróleo. A composição final do petróleo pode ser influenciada grandemente pelos processos de alteração subsequentes à acumulação.

As causas da alteração são numerosas e podem estar relacionadas com a instabilidade do petróleo e/ou com o facto das armadilhas serem por um lado sistemas abertos e por outro sofrerem mudanças no soterramento devido a posteriores episódios de subsidência ou de erosão. Tal como está representado na figura II.2.6, a composição do petróleo pode ser alterada por processos físicos e químicos. Exemplos de **alteração química** são a maturação térmica e a degradação microbiana do petróleo armazenado. As **alterações físicas** podem resultar da perda preferencial de compostos leves por difusão ou da adição de novos compostos ao material armazenado devido a posteriores migrações. A distinção entre processos físicos e químicos de alteração nem sempre é muito clara porque muitas vezes eles podem ocorrer simultaneamente e interrelacionando-se.

Os principais processos de alteração do petróleo bruto são: alteração térmica, desasfaltização, biodegradação e lixiviação.

- **Alteração térmica** – com o aumento da profundidade e com o aumento da temperatura há uma tendência para que o petróleo se torne **especificamente mais leve** havendo um aumento da quantidade de hidrocarbonetos de baixo peso molecular e a **libertação dos constituintes de elevado peso molecular**. Simultaneamente, aumenta exponencialmente a abundância relativa de gases, especialmente de metano. Para petróleos de peso molecular intermédio, os produtos finais da alteração térmica são compostos de baixo peso molecular, metano e resíduos insolúveis ricos em carbono. Durante a alteração térmica ocorrem numerosas descarboxilações, desidratações e dessulfurações produzindo dióxido de carbono, água e sulfureto de hidrogénio.

- **Desasfaltização** – este processo consiste na **precipitação dos asfaltenos** constituintes dos petróleos brutos médios ou pesados por dissolução em petróleo contendo grandes quantidades de gás e/ou de outros hidrocarbonetos leves. Este processo ocorre naturalmente em petróleos com grande quantidade de hidrocarbonetos de médio ou elevado peso molecular sempre que se formam quantidades consideráveis de hidrocarbonetos gasosos por alteração térmica do petróleo ou devido a injecções de gás proveniente de outros locais como resultado da migração secundária. Contudo, é necessário que este gás seja dissolvido no petróleo antes de poder precipitar os asfaltenos. Caso se acumule como uma cobertura gasosa separada o seu contributo para o decorrer deste processo é nulo. A desasfaltização gasosa é difícil de distinguir da maturação térmica porque ambos os processos ocorrem concomitantemente e o tipo de alterações que desencadeiam apontam no mesmo sentido, isto é, no sentido do **petróleo se tornar mais leve**. Este é um processo de alteração bastante localizado.

- **Biodegradação e lixiviação** – a alteração microbiana do petróleo bruto, isto é, a biodegradação, e a alteração devida à lixiviação, isto é, à remoção dos compostos solúveis na água, são frequentemente observados nos petróleos armazenados em áreas invadidas por águas de superfície e meteóricas. Estes dois processos de alteração estão frequentemente associados, sendo iniciados pela acção em movimento da água da sub-superfície. As águas meteóricas transportam oxigénio dissolvido e microorganismos para o reservatório. A **biodegradação** é a utilização

selectiva de certos tipos de hidrocarbonetos pelos microorganismos. A biodegradação por microorganismos aeróbios ou anaeróbios resulta na **remoção total ou parcial dos n-alcanos** e, possivelmente, dos cicloalcanos aromáticos. Bactérias introduzidas em reservatórios por águas meteóricas ricas em oxigénio, aparentemente, utilizam este elemento para metabolizar preferencialmente determinado tipo de hidrocarbonetos. Em condições anaeróbias, o fornecimento de oxigénio às bactérias é derivado provavelmente dos iões sulfato. Nestas condições, certos tipos de bactérias reduzem sulfatos para satisfazerem as suas necessidades em oxigénio. Dependendo do ambiente geoquímico, o enxofre reduzido resultante desta actividade pode ocorrer sob diferentes formas. Diferentes intensidades de biodegradação durante diferentes períodos de tempo condicionam a ocorrência de petróleos exibindo diferentes graus de alteração. No caso da **lixiviação**, a formação de águas insaturadas com hidrocarbonetos, movimentando-se ao longo da interface petróleo-água, aparentemente **extrai de modo selectivo hidrocarbonetos solúveis**, alterando a composição química do petróleo que aí permanece. No geral, os hidrocarbonetos de baixo peso molecular dissolvem-se com mais facilidade e são removidos selectivamente do petróleo armazenado. Deste modo, compostos aromáticos de baixo ponto de ebulição como o benzeno, tolueno e xileno, podem ser libertados. Quer o processo de biodegradação quer o processo de lixiviação contribuem para que o **petróleo se torne mais pesado**. A biodegradação e a lixiviação são processos que podem ocorrer sempre que os reservatórios se encontram próximo da superfície e possam ser afectados pelas águas de superfície.

Um petróleo bruto que originalmente apresenta uma baixa maturação responderá à maturação térmica ou à desasfaltização tornando-se mais leve. Ele pode ser totalmente destruído e convertido em gás e resíduos pesados insolúveis devido à intensa alteração térmica. Noutra situação, se um petróleo com as mesmas características sofre alterações associadas à lixiviação e à biodegradação, a sua densidade específica e a concentração de compostos de azoto, enxofre e oxigénio aumentam, reduzindo consideravelmente o valor económico deste petróleo.

Para além dos processos já referidos, outros processos podem afectar consideravelmente a composição do petróleo armazenado, nomeadamente **perdas selectivas de hidrocarbonetos por fugas**. As fugas podem ocorrer por estruturas

intraformacionais da rocha de cobertura ou podem ocorrer por rupturas naturais que surgem na rocha de cobertura devido a fenómenos tectónicos como falhas. Enquanto que as **perdas por difusão** são graduais e aumentam com a proximidade do reservatório à superfície, as mudanças devido a fugas induzidas por eventos tectónicos são mais bruscas e rápidas.

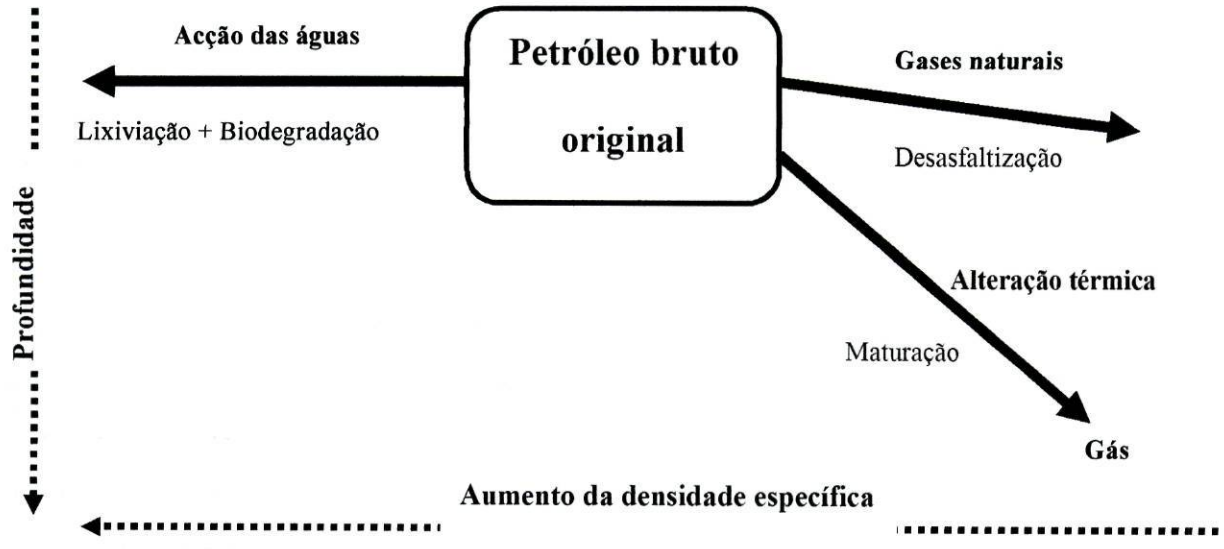


Figura II.2.6- Esquema geral dos principais processos de alteração do petróleo bruto (segundo Bailey *et al.*, 1974 *in* Tissot & Welte, 1984: 417).

Processos de **separação-migração** podem provocar profundas alterações na composição do petróleo, mas para que estes processos ocorram tem que primeiro ocorrer a formação de um sistema de duas fases. Por exemplo, devido à libertação da pressão associada a falhas, ocorre uma migração preferencial da fase gasosa mais móvel. À medida que o vapor migra para armadilhas mais superficiais, a redução da pressão e da temperatura podem provocar a condensação retrógrada do vapor. Se este processo se mantiver ao longo da sequência de rochas, à medida que a profundidade diminui podem ser encontradas armadilhas com hidrocarbonetos sucessivamente mais leves.

2.8. PROSPECÇÃO DO PETRÓLEO

Aquando da realização das primeiras explorações do petróleo, os poços de petróleo eram perfurados onde infiltrações indicavam a presença de petróleo. Posteriormente, com o aumento do conhecimento geológico e, especialmente, com os avanços na exploração geofísica, a decisão de efectuar perfurações para explorações apenas é tomada após o reconhecimento de estruturas geológicas favoráveis à acumulação do petróleo, como por exemplo, anticlinais, armadilhas com falhas, discordâncias e recifes.

Estudos sistemáticos, utilizando os novos conhecimentos sobre formação e migração do petróleo podem ajudar a diminuir a incerteza e a prever a existência duma estrutura contendo petróleo e a diminuir o risco financeiro inerente à realização de uma perfuração. Nestes estudos é necessário identificar as rochas-mãe e o seu potencial para formar hidrocarbonetos e relacionar essa informação com a evolução geológica da bacia. No final destes estudos pretende-se localizar as zonas no interior da bacia mais favoráveis para a acumulação do petróleo. Este estudo é feito relacionando a formação dos hidrocarbonetos de uma rocha-mãe num dado momento durante a evolução de uma bacia padrão, com a migração do petróleo e com a formação e idade de uma possível armadilha. Deste modo, é possível estabelecer um conjunto de alvos de exploração dentro da bacia. São construídos modelos gráficos e mapas que evidenciem as zonas mais favoráveis para a acumulação do petróleo.

No estado inicial de um programa de exploração, mesmo com informação limitada sobre potenciais rochas-mãe, é desenvolvido um primeiro modelo conceptual do desenvolvimento do petróleo na bacia. Neste modelo, a posição relativa das potenciais rochas-mãe, o seu pressuposto estado de maturidade e a sua extensão ao longo da bacia são representados em mapas e perfis.

O modelo inicialmente concebido pode fornecer informações bastante importantes para a selecção dos locais onde efectuar as primeiras perfurações de carácter exploratório. Com o recurso a eficazes técnicas geoquímicas aplicadas no local da perfuração consegue-se obter em tempo real perfis geoquímicos, os quais quando devidamente interpretados fornecem informação sobre o potencial gerador da rocha-mãe e o seu nível de maturação.

É necessário realizar um grande número de perfurações e uma ampla cobertura geofísica de toda a bacia para determinar as zonas mais favoráveis à acumulação do petróleo. Para cada rocha-mãe identificada é elaborado um mapa no qual se representa a

sua extensão, espessura, mudança de fácies no que diz respeito ao tipo e à quantidade de matéria orgânica. Assim, tendo por base os diagramas de subsidência construídos para cada rocha-mãe em pontos estratégicos da bacia e as interpretações de maturação obtidas a partir da reflectância da vitrinite (ou de outros constituintes orgânicos correlativos), produzem-se mapas de formação do petróleo e do gás para cada rocha-mãe. Nestes mapas estão demarcadas regiões de pequena e de grande capacidade para gerar petróleo ou gás, bem como áreas onde não é de prever a formação de qualquer tipo de hidrocarbonetos. Estes mapas de formação de hidrocarbonetos de cada rocha-mãe em determinados momentos da história geológica da bacia são, posteriormente, comparados com a ocorrência e a extensão de unidades rochosas porosas e permeáveis, indicando possíveis vias para a ocorrência da migração secundária do petróleo e do gás. Posteriormente, é necessário determinar o momento da formação do petróleo e do gás, bem como, o momento da sua acumulação. Isto pode ser feito estabelecendo relações espaciais e temporais entre a formação de armadilhas e os principais caminhos de migração. Por último, os mapas e secções contendo toda esta informação permitem estabelecer um conjunto de potenciais alvos no interior da bacia.

Para a determinação das zonas mais favoráveis à acumulação do petróleo tem que se encontrar respostas para uma série de questões, nomeadamente:

1. Que camadas têm um potencial para constituírem uma rocha-mãe? Qual é a sua extensão regional e a sua relação paleogeográfica?

2. Durante que intervalo de tempo geológico, a que profundidade e em que área da bacia as rochas-mãe estão suficientemente maduras para gerar petróleo?

3. Durante que intervalo de tempo geológico e ao longo de que rotas preferenciais a migração do petróleo é possível?

4. Que relação temporal existe entre a formação das armadilhas e o período de formação e migração do petróleo? Qual a localização das armadilhas relativamente às possíveis rotas de migração?

De seguida analisa-se mais em pormenor como são encontradas as respostas a estas questões.

2.8.1. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA-MÃE

A primeira questão é respondida com base num programa de identificação da rocha-mãe. As rochas que são, podem ser, ou que tenham sido capazes de gerar petróleo são frequentemente designadas de **rochas-mãe**. A presença de matéria orgânica insolúvel (cerogénio) é um requisito primário das rochas-mãe do petróleo. Assim, um teste crucial no reconhecimento duma rocha-mãe é a determinação do seu conteúdo em matéria orgânica, quer solúvel (betume) quer insolúvel (cerogénio). Um segundo passo importante na identificação da rocha-mãe é a determinação do tipo de cerogénio e da composição do solvente extractável hidrocarbonatado e não hidrocarbonatado. Finalmente, podem ser determinadas propriedades ópticas e/ou físico-químicas que permitam determinar o estado de evolução do cerogénio, permitindo deste modo determinar a maturidade da rocha-mãe.

O termo rocha-mãe é aplicado indiscriminadamente quer a matéria orgânica seja matura ou imatura. A qualidade de uma rocha-mãe é definida em termos da **quantidade de matéria orgânica, do tipo de cerogénio e de betume** e **do estado de maturação**.

Parâmetros como o tipo e a quantidade de matéria orgânica nas potenciais rochas-mãe têm que ser relacionados com a paleogeografia e com as fácies de distribuição. Em particular, a origem da matéria orgânica será determinada em termos de aporte terrestre *versus* aporte marinho. Estes dados devem ser revistos atendendo à proximidade da linha da costa, à profundidade, à circulação da água, às formas de relevo existentes e ao clima.

2.8.1.1. DETERMINAÇÃO DO TIPO E QUANTIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA

Como já foi referido várias vezes ao longo deste trabalho, diferentes tipos de matéria orgânica têm diferente potencial para gerar hidrocarbonetos. As diferenças decorrem de variações na estrutura química da matéria orgânica.

Restos de bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e plantas superiores têm sido identificados como os principais percursores do cerogénio dos sedimentos. As principais diferenças químicas existem entre os organismos que vivem em ambiente aquático e aqueles que vivem em ambiente terrestre. Esta distinção advém da generalização de que as plantas terrestres necessitam de tecidos de suporte formados por polímeros como a lenhina, os quais não existem nos organismos aquáticos.

Os ambientes de transporte e de deposição, bem como o modo de preservação também influenciam a composição química da matéria orgânica.

O tipo e a qualidade do cerogénio podem ser avaliados por diferentes métodos de microscopia óptica e por métodos físico-químicos. Os primeiros permitem a visualização do cerogénio, estudando-o detalhadamente e identificando diferentes fontes orgânicas. As várias técnicas frequentemente aplicadas têm vantagens e limitações específicas pelo que devem ser usadas de forma combinada. As técnicas ópticas são bastante indicadas para distinguir material orgânico autóctone de material retrabalhado, enquanto que as técnicas químicas consideram a matéria orgânica como um todo e permitem obter médias. Tendo por base os diferentes métodos químicos (pirólise, análise elementar) a matéria orgânica pode ser classificada como de tipo I, II e III. Divisões baseadas em exames ópticos não permitem distinguir os diferentes tipos de cerogénio que são identificados com base na composição química.

O conteúdo em cerogénio de um sedimento é, normalmente, determinado por **combustão** de uma amostra numa atmosfera rica em oxigénio (Tissot & Welte, 1984). Contudo, este procedimento apenas permite determinar o conteúdo em carbono orgânico e não o total de matéria orgânica. A percentagem média de carbono orgânico presente numa rocha-mãe do tipo xisto é de cerca de 2% enquanto que numa rocha-mãe do tipo carbonatada é de 0,6%. O limite inferior crítico do teor de carbono para que uma rocha detrítica possa ser considerada rocha-mãe é de 0,5% a 1%. Para rochas carbonatadas é apontado o limite inferior de 0,3% de carbono orgânico. Estes valores mínimos não devem ser usados como indicadores positivos, principalmente, em rochas que apresentem um elevado estado de maturidade.

2.8.1.2. DETERMINAÇÃO DA MATURIDADE DA ROCHA-MÃE

A resposta à segunda questão pode ser encontrada na avaliação do estado de maturidade do cerogénio nas rochas-mãe previamente identificadas. A maturidade da rocha-mãe é controlada principalmente pela temperatura prevalecente a uma dada profundidade e pelo tempo durante o qual a rocha está exposta a essa temperatura.

A escala de maturação mais amplamente aplicada é baseada em dados relativos ao **poder reflector aleatório da huminite-vitrinite**. Em termos de reflectância da vitrinite, o limite entre a diagénese e a catagénese corresponde aproximadamente a um Ra = 0,5% e o

limite entre a catagénese e a metagénese corresponde a um Ra = 2%. Ao metamorfismo (fácies dos xistos verdes) corresponde uma reflectância de cerca de 4% (Tissot & Welte, 1984).

Os limites exactos para a formação do petróleo diferem significativamente de acordo com o tipo de cerogénio. Não especificando o tipo de cerogénio, a formação do petróleo pode iniciar-se para um $Ra_{Vitrinite}$ entre 0,5 a 0,7% e pode atingir o seu máximo entre os 0,8% e os 1,3% (Taylor *et al.*, 1998). A relação entre a maturidade da rocha-mãe e a reflectância média da vitrinite encontra-se expressa na tabela II.2.1.

Tabela II.2.1- Relação entre maturidade e reflectância da vitrinite (segundo Taylor *et al.*, 1998: 127).

Estado de maturação	Maturidade	$Ra_{Vitrinite}$ (%)
Diagénese	Imaturo	< 0,5 – 0,7
Catagénese		
Principal zona de formação do petróleo (*janela petrolífera*)	Maduro	>0,5 – 0,7 a < 1,3
Formação de condensados e gases húmidos	Supermaduro	1,3 a 2,2
Metagénese		
Formação de gás seco	Supermaduro	> 2,2 – 2,3

Como já foi referido anteriormente, a formação do petróleo inicia-se mais cedo no cerogénio tipo II (cerca de 0,5% de $Ra_{Vitrinite}$) do que no cerogénio tipo III (cerca de 0,6% de $Ra_{Vitrinite}$). No cerogénio tipo I dada a grande uniformidade da matéria orgânica a formação do petróleo ocorre num intervalo de temperatura e de tempo mais restrito.

A qualidade e a maturação da matéria orgânica podem ser avaliadas separadamente, contudo, devido à forte relação existente entre as suas influências é preferível avaliar a qualidade e a maturação da matéria orgânica simultaneamente. A **pirólise** é uma técnica que permite determinar o tipo e a maturação da matéria orgânica em simultâneo. Também permite uma avaliação semi-quantitativa do potencial genético e da taxa de transformação. Trata-se duma técnica rápida e pouco dispendiosa que pode ser usada de forma rotineira. As técnicas ópticas são também de grande valor, particularmente para determinar o tipo de matéria orgânica, a reflectância da vitrinite e para caracterizar a maturação. Contudo, estas técnicas são mais dispendiosas do que a pirólise, requerem mais amostras e não são tão rápidas. Assim, são muitas vezes aplicadas a um número limitado de amostras

seleccionadas com base nos resultados da pirólise. Estas mesmas conclusões aplicam-se à análise elementar do cerogénio.

Com base nestes dados, se a sequência de sedimentos da bacia, incluindo possíveis lacunas estratigráficas e discordâncias, é suficientemente conhecida pode-se construir um diagrama da história da subsidência.

2.8.2. CORRELAÇÃO ENTRE A ROCHA-MÃE E O PETRÓLEO

Os principais objectivos na correlação petróleo e rocha-mãe são o reconhecimento de várias famílias de hidrocarbonetos armazenados num reservatório e a identificação da rocha-mãe de um dado petróleo. Estes conhecimentos ajudam a definir os alvos de exploração. A correlação geoquímica é baseada no reconhecimento de semelhanças composicionais entre os petróleos e as rochas-mãe.

O petróleo e o gás armazenado num reservatório foram gerados a partir do cerogénio disseminado ao longo da rocha-mãe. Durante a migração primária apenas uma certa proporção dos constituintes do petróleo gerados a partir do cerogénio pode ser libertada, uma parte maior é sempre retida na rocha-mãe. Tendo por base este princípio, três principais objectos de estudo são fundamentais para os estudos de correlação: **cerogénio insolúvel da rocha-mãe**, **betume extractável** e **hidrocarbonetos armazenados** (petróleos, condensados e gás), possivelmente derivados da rocha-mãe.

Devido aos fenómenos de migração os petróleos brutos armazenados são fortemente enriquecidos em hidrocarbonetos saturados, moderadamente enriquecidos em hidrocarbonetos aromáticos e pobres em compostos polares de azoto, enxofre e oxigénio, quando comparados com o betume da rocha-mãe. Nos estudos de correlação tem que ser demonstrado que o betume duma rocha-mãe é endógeno e que pode ser associado a um dado cerogénio a partir do qual se terá gerado. Para estabelecer a correlação entre betume e cerogénio usa-se frequentemente a **análise de isótopos de carbono**. O betume derivado de um certo cerogénio deverá ser isotopicamente mais leve do que o cerogénio.

As correlações são dificultadas por problemas como a forte maturação ou biodegradação dos petróleos armazenados.

2.8.3. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ROTAS PREFERENCIAIS PARA A MIGRAÇÃO DO PETRÓLEO

Quando as duas primeiras questões sobre a formação do petróleo estiverem resolvidas, pode-se elaborar um mapa mostrando para cada rocha-mãe a distribuição das fácies orgânicas e a sua maturação. A partir daí é possível abordar a questão respeitante às possíveis rotas para a migração do petróleo.

A forma dominante e mais efectiva de migração primária parece ser o fluxo sob pressão da fase hidrocarbonatada (*pressure-driven hydrocarbons-phase*). A intensa formação de hidrocarbonetos durante a principal fase de formação do petróleo favorece automaticamente a migração primária. Por outras palavras, durante a principal fase de formação do petróleo, os hidrocarbonetos são libertados das rochas-mãe para as rochas transportadoras vizinhas, tornando-se assim, imediatamente disponíveis para a migração secundária. Como já foi referido, as forças motoras durante a migração secundária do petróleo são a flutuabilidade e os fluxos de água sub-superficiais. A migração secundária ocorre ao longo de unidades rochosas permeáveis e porosas, como arenitos, calcários porosos, dolomitos e xistos fracturados. Outras estruturas geológicas como disconformidades e falhas também podem funcionar como caminhos de migração. Daqui facilmente se compreende que neste tipo de estudos as unidades rochosas que se localizem na proximidade da rocha-mãe devam receber especial atenção.

Uma questão inicial importante na determinação do modo como se efectuou a migração secundária está relacionada com o facto de prevalecerem condições hidrodinâmicas ou hidrostáticas nas rochas transportadoras durante a migração. Bacias jovens em compactação, com um elevado relevo topográfico e/ou com um influxo de águas meteóricas, podem exibir condições hidrodinâmicas, outras podem apresentar condições hidrostáticas. Nestas condições, os percursos preferenciais para a migração são mais facilmente determinados uma vez que nestes casos, o petróleo irá migrar na direcção ascendente movendo-se nas regiões mais elevadas dos estratos transportadores. Em condições hidrodinâmicas, a direcção do fluxo de água sub-superficial modifica o levantamento do petróleo por flutuabilidade e pode determinar a direcção geral da migração secundária. Consequentemente, o estabelecimento de gradientes paleo-hidrodinâmicos é importante.

2.8.4. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ARMADILHAS

A última questão a ser respondida para apurar quais as zonas mais favoráveis para se formarem as acumulações de petróleo é a formação de armadilhas. O reconhecimento de certas armadilhas, especialmente de armadilhas estratigráficas, é extremamente difícil e requer uma considerável experiência geológica nesta área. Uma vez mais é necessário considerar as relações temporais entre a formação do petróleo, a migração e a ocorrência de armadilhas. As armadilhas situadas ao longo das principais rotas de migração do petróleo são os locais mais prováveis para que ocorra a acumulação dos hidrocarbonetos. As armadilhas localizadas próximo das rochas-mãe, as quais têm ou tiveram capacidade para gerar grandes quantidades de hidrocarbonetos, em princípio, terão mais possibilidades de serem ocupadas do que as mais distantes.

Uma sistemática utilização dos novos conhecimentos sobre a génese, migração e acumulação do petróleo pode ajudar a diminuir a incerteza em localizar armadilhas para o petróleo. Para tal, é necessário identificar as rochas-mãe, avaliar o seu potencial de gerar hidrocarbonetos no tempo e no espaço e relacionar esta informação com a evolução geológica da bacia. Com base em toda esta informação constroem-se mapas e secções que fornecem um sumário pertinente da informação sobre a rocha-mãe e o seu potencial em gerar hidrocarbonetos, sobre rochas transportadoras, caminhos de migração e armadilhas. Tal como é demonstrado pela figura II.2.7, as relações espaciais e temporais presentes nos diferentes mapas e secções permitem uma análise mais sistemática dos potenciais alvos duma bacia.

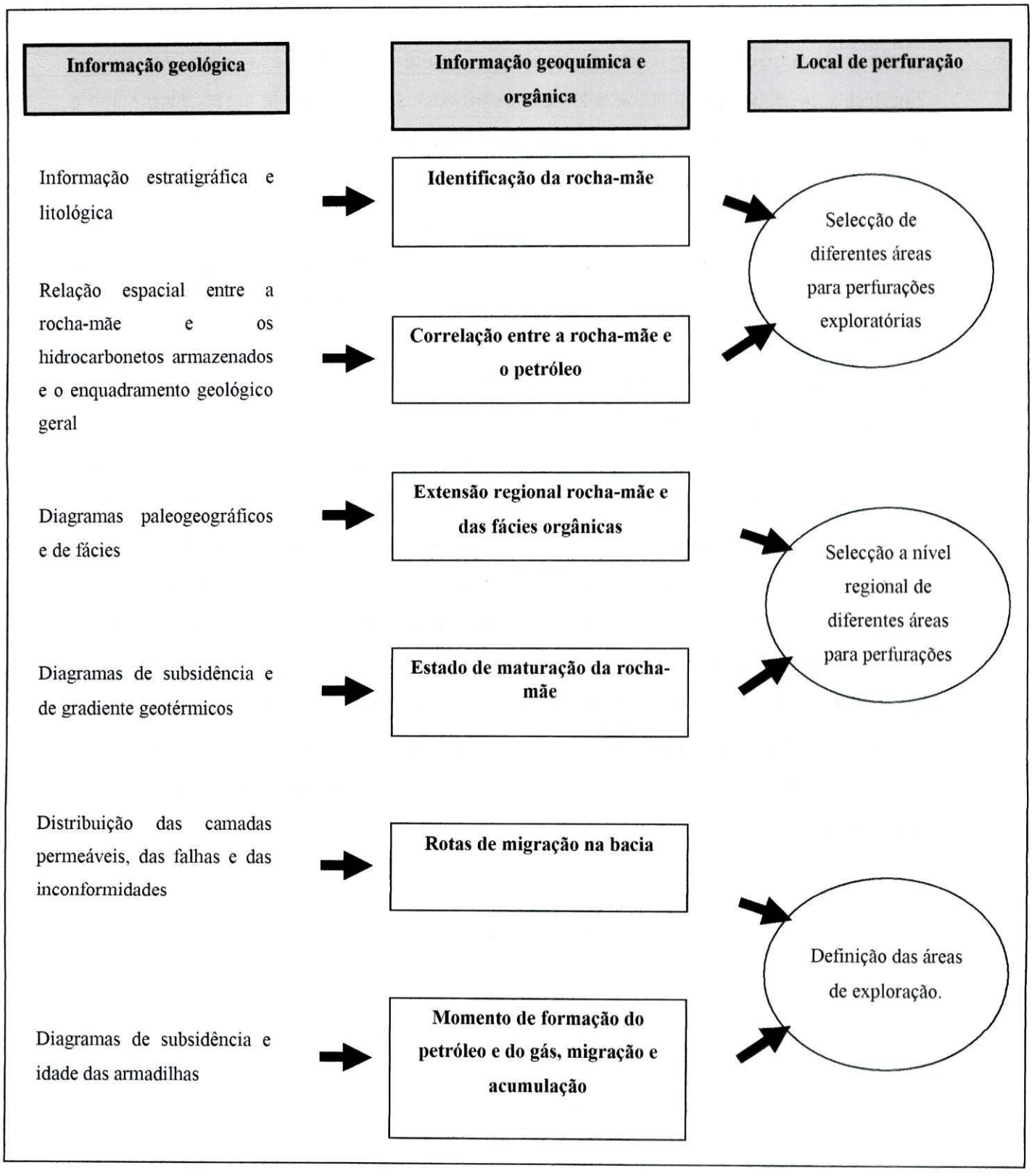


Figura II.2.7- Principais procedimentos que conduzem à determinação das zonas mais favoráveis para a acumulação do petróleo numa bacia (segundo Tissot & Welte, 1984: 497).

2.9. COMPARAÇÃO ENTRE A FORMAÇÃO DO CARVÃO E A FORMAÇÃO DO PETRÓLEO

Quer o petróleo quer o carvão formam-se predominantemente a partir de matéria orgânica e os dois estão sujeitos aos mesmos processos biológicos de acção microbiana e geológicos de subsidência, compactação e aquecimento. Contudo, existem algumas diferenças essenciais entre o modo de formação do carvão e o modo de formação do petróleo. Basicamente, as diferenças centram-se no facto do carvão se encontrar no local de deposição como uma substância sólida e relativamente pura de matéria orgânica, enquanto que o petróleo é líquido e migra do local da sua origem para os poros de uma rocha reservatório.

O cerogénio é o principal precursor dos constituintes do petróleo, encontra-se finamente disperso e intimamente misturado com a matriz mineral das rochas-mãe. A grande maioria dos carvões resulta de restos de plantas superiores terrestres, enquanto que o cerogénio das rochas-mãe do petróleo resulta de restos de plantas inferiores aquáticas, fito e zooplâncton e bactérias. Muitas rochas-mãe do petróleo formaram-se em ambientes marinhos e a maioria dos carvões formam-se em condições não marinhas ou parálicas.

É de conhecimento geral que os carvões são capazes de gerar e libertar gás suficiente para formar grandes acumulações comerciais de gás. Contudo, acumulações não comerciais de petróleo têm sido encontradas tendo certamente a sua origem no carvão. Existem evidências que pequenas quantidades de hidrocarbonetos líquidos são geradas durante a catagénese do carvão. O potencial gerador de hidrocarbonetos pelo carvão é limitado apesar de não estar inteiramente ausente. O potencial gerador do carvão é muito similar ao do cerogénio tipo III, o qual produz maiores quantidades de gás do que de petróleo. É provável que a falta de mecanismos de migração primária e secundária no carvão não permita que os hidrocarbonetos líquidos formados formem acumulações comerciais de petróleo. A limitada migração primária dos hidrocarbonetos pesados para fora do carvão deve-se provavelmente à grande capacidade de absorção do carvão, à existência de uma microporosidade e ao facto do carvão geralmente ocorrer como uma sólida e contínua fase orgânica.

A formação dos componentes voláteis durante a incarbonização excede grandemente a capacidade de armazenamento destes produtos, pelo que são progressivamente libertados. Um esquema geral para a formação dos hidrocarbonetos a partir do carvão é paralelo e semelhante àquele que se verifica para o cerogénio das rochas-mãe do petróleo. Tem sido

encontrada uma grande similaridade entre as propriedades físico-químicas do carvão e do cerogénio na sua evolução estrutural e química ao longo da catagénese. As mudanças que acontecem durante a catagénese do carvão e do cerogénio consistem essencialmente numa progressiva eliminação das ligações heteroatómicas, das cadeias alifáticas e dos compostos saturados cíclicos, no sentido de obter uma configuração molecular mais estável nas condições crescentes de temperatura e pressão. O resultado destes reajustes é a formação de dióxido de carbono, sulfureto de hidrogénio, água, resinas, asfaltenos e hidrocarbonetos.

Vários estudos comprovam que a formação de hidrocarbonetos e de não hidrocarbonetos no carvão ou nas rochas-mãe do petróleo é um processo normal que acompanha a diagénese e a catagénese da matéria orgânica.

3. UTILIZAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

3.1. IMPORTÂNCIA DA ENERGIA NA ACTUALIDADE

A produção e o uso energético são fundamentais nas modernas economias industrializadas e suportam todas as actividades económicas. A energia é usada para mover veículos, aquecer casas, produzir electricidade e está na base de todas as actividades que caracterizam o nosso dia-a-dia. No mundo em desenvolvimento, a dignidade humana exige o fornecimento de comida, habitação, infraestruturas e serviços básicos aos cidadãos do mundo que vivem abaixo do nível de subsistência. A maior parte da população mundial, cerca de 6 biliões, vive em países em desenvolvimento e, muitas destas pessoas não têm acesso à energia adequada que possibilite o desenvolvimento económico e social e, grande parte do seu actual sistema de energia é insustentável. Um componente essencial do crescimento económico é o uso da energia assim, de acordo com as projecções da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* – IEA), os países em desenvolvimento irão aumentar as necessidades de consumo energético para cerca de 40% em 2010 e para 45% em 2020 (OECD/IEA, 2002). De acordo com o relatório *World Energy Outlook* de 2002, a IEA estima que cerca de 1,6 biliões de pessoas não têm acesso à electricidade.

O uso da energia nos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (*Organisation for Economic Co-operation and Development* – OECD) cresceu 36% entre 1973 e 1998. Por todo o mundo, a necessidade de combustíveis fósseis provavelmente aumentará substancialmente reflectindo o grande crescimento económico, o contínuo crescimento da população e a sua migração para áreas urbanas e reflectindo o grande desenvolvimento do sector dos transportes (IEA/OECD, 1999). Em 2020 é esperado um crescimento do uso da energia superior a 35% nos países membros da OECD e um crescimento de 51% em todo o mundo. A energia para o uso comercial, doméstico e para os transportes apresenta o crescimento mais acentuado (OECD, 2001). No mesmo período de tempo são esperadas alterações nas contribuições relativas das diferentes fontes primárias de energia para o fornecimento total de energia. É de esperar que a contribuição do petróleo e do carvão se mantenha mais ou menos estável, à volta dos 38% e 26% respectivamente (figura II.3.1). Pelo contrário, as estimativas actuais apontam para uma ligeira diminuição do contributo da energia nuclear e para uma contribuição crescente do gás natural, energia hídrica e de outras formas de energia

renovável (figura II.3.1). A economia europeia assenta essencialmente nos combustíveis fósseis, que representam 4/5 do seu consumo total da energia (petróleo, carvão e gás natural), dos quais cerca de 2/3 são importados (OECD, 2001).

A produção e o uso da energia são os principais responsáveis pela emissão de gases com efeito estufa, pela poluição do ar, pela produção de resíduos nucleares, por ruídos, pela poluição das águas e pela degradação dos ecossistemas. Prevê-se que em 2020 haverá melhorias significativas na eficiência e no impacto ambiental da queima dos combustíveis fósseis, que se crie um novo mercado para as energias renováveis e que se desenvolvam novas tecnologias (OECD, 2001). Para assegurar uma diminuição efectiva das emissões são necessárias políticas mais agressivas que promovam o uso do gás natural, das energias renováveis e de tecnologias de baixa emissão.

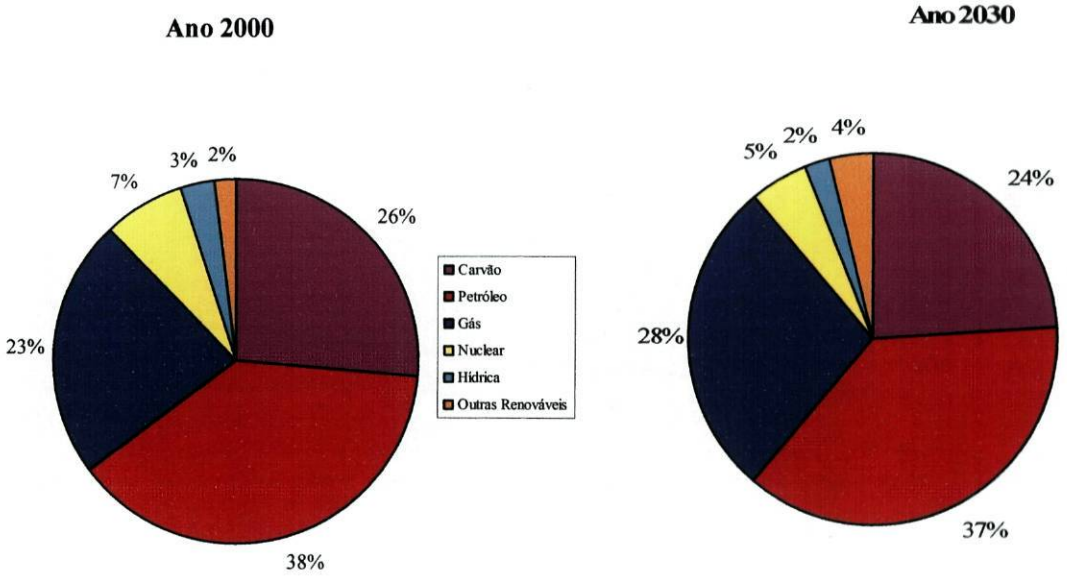


Figura II.3.1- Necessidades mundiais de energia primária (segundo, IEA/OECD, 2002).

3.2. NECESSIDADES ENERGÉTICAS

De acordo com o cenário de referência previsto pelo *World Energy Outlook*, as necessidades globais de energia primária aumentarão cerca de 1,7% por ano no período de 2000 a 2030 (figura II.3.2), atingindo 15,3 biliões de toneladas de petróleo ou equivalente (CIAB, 2003). O aumento será de 2/3 face às actuais necessidades. O crescimento projectado é, contudo, inferior ao verificado nas três décadas passadas, quando as necessidades cresceram 2,1% por ano (CIAB, 2003).

A nível mundial, assiste-se a muitas assimetrias nas necessidades energéticas, assim nas próximas duas décadas, a taxa de aumento das necessidades energéticas será lenta, particularmente na Europa Ocidental e no Japão, mas em regiões não pertencentes à OECD, como a China e países da Ásia Oriental as necessidades de energia irão continuar a aumentar rapidamente durante os próximos vinte anos, a uma taxa de 3% ano e 2% ano, respectivamente, devido ao grande crescimento económico e ao crescimento da população (OECD, 2001). Segundo dados da OECD, prevê-se que as necessidades energéticas voltem a crescer em países da Europa de Leste e nos países da ex-União Soviética.

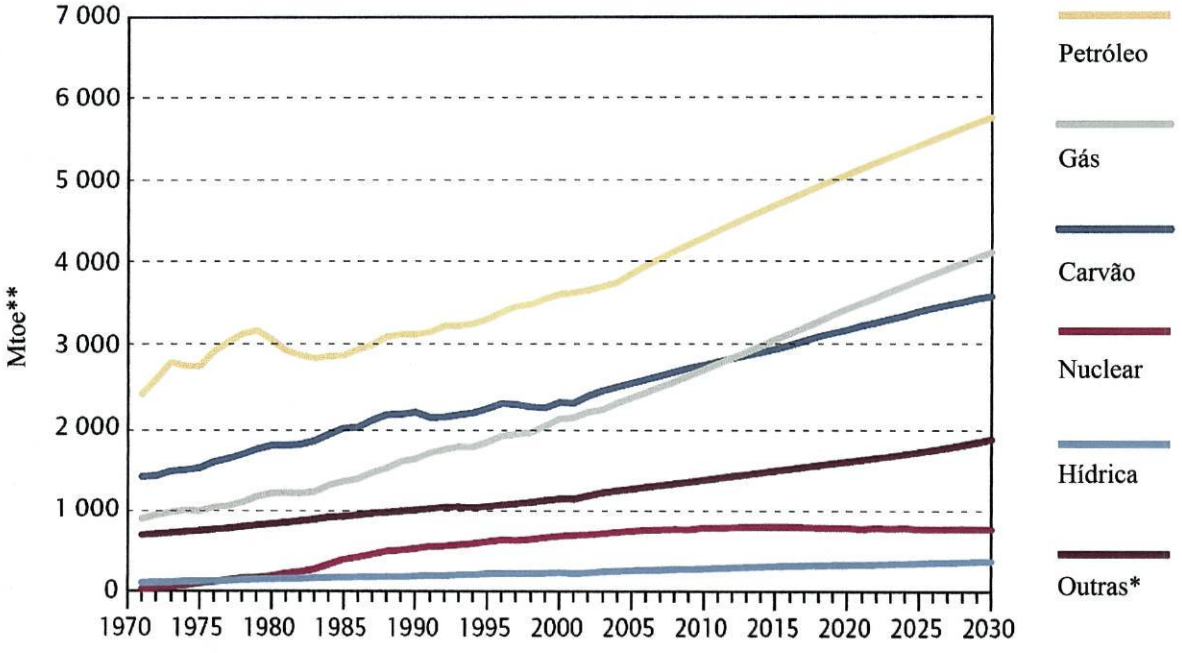


Figura II.3.2- Necessidades mundiais de energia primária no período de 1970 a 2030 (* inclui geotermia, Sol e vento; ** megatoneladas equivalente de petróleo) (segundo IEA/OECD, 2004).

Nos países da OECD, os transportes representam um terço do actual consumo da energia, mas, desde o início de 1970, já representaram cerca de dois terços do consumo global. De acordo com as projecções do relatório *World Energy Outlook* de 2002, em 2020, os transportes representarão mais de metade das necessidades de petróleo, 62% das necessidades primárias de petróleo nos países da OECD.

O consumo energético industrial constitui quase um terço do consumo global actual. No sector industrial, o consumo final de energia tem diminuído ligeiramente nos países da OECD, principalmente devido a mudanças na estrutura das actividades económicas.

Os sectores comerciais e residenciais irão continuar a aumentar o seu uso energético, principalmente devido a um uso maior e mais frequente de aparelhos eléctricos e ao

aumento dos níveis de conforto nas habitações. Devido a estas mudanças o uso energético nas habitações e no sector dos serviços irá continuar a aumentar nos países da OECD até 2020 (OECD, 2001).

As reservas energéticas mundiais são adequadas para fazer face ao crescimento projectado das necessidades energéticas. As reservas globais de petróleo serão suficientes pelo menos até 2030, apesar de reservas adicionais prováveis e possíveis puderem ser necessárias para fazer face às necessidades crescentes. As reservas de gás natural e de carvão são particularmente abundantes. Como é possível verificar por análise da figura II.3.1, as necessidades de carvão estão projectadas aumentarem 1,4% por ano, mas o papel do carvão no mundo irá diminuir ligeiramente de 26% em 2000 para 24% em 2030 (CIAB, 2003). Em conjunto, a China e a Índia contam com quase três quartos do aumento das necessidades do carvão nos países em desenvolvimento e cerca de 2/3 do aumento das necessidades mundiais. Muito do aumento no consumo do carvão, nas economias em transição e nos países em desenvolvimento, será na produção de energia eléctrica, necessária para os sectores industrial, residencial e comercial.

As necessidades totais de petróleo irão aumentar de 75 milhões de barris por dia no ano 2000 para mais de 100 milhões de barris em 2015. Nos próximos anos a utilização do gás natural irá aumentar mais rapidamente do que qualquer outra fonte de energia – para mais de 100% (na Ásia a sua utilização pode triplicar) (CIAB, 2000). De acordo com a mesma fonte, a Ásia irá aumentar, de tal modo, as suas necessidades energéticas que irá substituir a América do Norte como líder no consumo de energia.

3.3. FORNECIMENTO ENERGÉTICO

Nas últimas décadas têm ocorrido mudanças significativas nos tipos de combustível usados para produzir energia. Até 1960, o carvão foi a principal fonte primária de energia mas partir desta década a utilização do petróleo como fonte de energia passou a assumir uma importância crescente. O carvão não só permitiu a energia necessária para a Revolução Industrial do século XVIII, mas também lançou a energia eléctrica no século XX. De acordo com dados de 2002, cerca de 37% a 40% da electricidade mundial é produzida a partir do carvão, representando quase o dobro daquela que é produzida por qualquer outra fonte (URL10) (figura II.3.3). Estes dados tornam-se ainda mais significativos ao verificar-se que o consumo de energia eléctrica aumentou cerca de 136%

no período entre 1971 e 1995 e que poderá aumentar cerca de 110% até 2020 (IEA/OCDE, 1999). A indústria do ferro e do aço também está grandemente dependente do carvão que actua como o principal agente redutor, desempenhando um papel igualmente importante na indústria cimenteira de alguns países.

Produção Mundial de Electricidade (% por combustível)

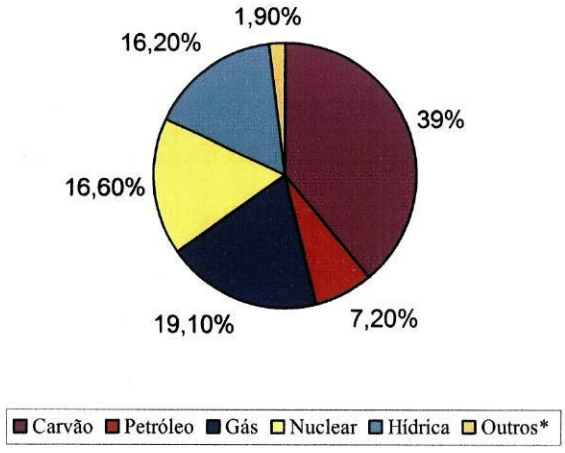


Figura II.3.3- Contribuição das diferentes fontes de energia para a produção de electricidade em 2002 (* inclui Sol, vento, combustíveis renováveis, geotermia) (segundo URL10).

Nos países da OECD, o fornecimento de combustíveis é dominado pelo petróleo, seguido dos combustíveis sólidos (principalmente o carvão) e do gás natural. O papel do carvão e, em menor extensão, do petróleo, no fornecimento energético total, diminuiu consideravelmente nos últimos anos nos países da OECD, reflectindo o aumento da electrificação e da substituição destes combustíveis por gás natural. Todavia, o consumo de carvão tem aumentado, em alguns países, nas duas aplicações onde é mais competitivo: a produção centralizada de energia eléctrica e a produção de ferro (OCDE/IEA, 1999). De acordo com a mesma entidade, a taxa de aumento da exploração e consumo do carvão na Ásia pode ser de cerca de 4%, até 2020. Tendo em conta os níveis de produção e utilização verificados na última década, as reservas de carvão parecem ter uma longevidade cerca de quatro vezes superior à das reservas de petróleo e de gás natural (WCI, 1997). De acordo com dados da Agência Internacional de Energia, as reservas energéticas de carvão (lignites, carvões betuminosos e antracites) são suficientes para um período aproximado de 200 anos (IEA/OECD, 1999). O carvão, apresenta-se ainda como um recurso seguro e

economicamente competitivo uma vez que se mantém estável durante o transporte e o uso e que as abundantes reservas permitem garantir e assegurar o fornecimento a preços competitivos (WCI, 1997). As actuais tecnologias permitem que a combustão do carvão seja efectuada com emissões de elementos poluentes controladas. Globalmente, o carvão é um combustível competitivo, principalmente para a produção de electricidade.

O gás natural tem aumentado a sua participação no fornecimento energético e espera-se que o seu papel se torne cada vez mais importante na produção da electricidade e noutras aplicações (OECD, 2001). O gás natural é frequentemente escasso em países em desenvolvimento e, mesmo que seja abundante, requer um grande investimento em infra-estruturas para o tornar acessível (OECD/IEA, 2002). Os consumos mundiais de gás natural e de carvão são aproximados, não atingindo os 30%, enquanto que o consumo do petróleo é mais elevado, ultrapassando os 40%. Em comparação, as fontes de energia renováveis (por exemplo energia hidráulica, eólica, energia das marés e energia solar), apenas são suficientes para satisfazer uma pequena fracção das necessidades mundiais actuais (3%), enquanto que a energia nuclear apenas permite satisfazer 7% das necessidades (IEA/OECD, 1999).

No futuro, os combustíveis fósseis, em particular, o petróleo, o gás e o carvão, continuarão a dominar o panorama energético mundial, assegurando cerca de 90% das necessidades energéticas até 2020 (IEA/OECD, 1999). Grande parte do aumento do uso da energia nos países da OECD até 2020 será assegurada pelo aumento do uso do petróleo e do gás natural. Dois terços das reservas mundiais de petróleo estão localizados no Médio Oriente, o gás natural também apresenta uma distribuição restrita, enquanto que a ocorrência geográfica do carvão é muito mais ampla, este recurso natural ocorre em quantidades significativas em pelo menos sessenta países. Atendendo a esta situação, a ampla distribuição das reservas de carvão oferece a muitos países uma fonte de energia certa e segura, pelo contrário, a crescente dependência energética do petróleo e do gás natural pode criar insegurança no fornecimento energético. A oferta de energia da União Europeia cobre apenas metade das suas necessidades actuais. Se, até 2030, nada se fizer, o peso dos combustíveis fósseis vai acentuar-se. Neste período, as importações de energia aumentarão e ascenderão a 70% das necessidades globais. 90% do petróleo terá de ser importado (OECD, 2001). De acordo com a mesma fonte, o gás natural proveniente da Rússia representa quase 20% do total de gás utilizado na Europa e o seu papel irá aumentar consideravelmente num futuro próximo. A dependência das importações e a parte

crescente que os combustíveis fósseis representam no quadro energético europeu podem suscitar inquietações, quer quanto aos riscos quer quanto às dificuldades de aprovisionamento.

A energia nuclear depara-se com problemas de capacidade técnica e com considerações de segurança internacional. Medidas políticas, económicas e técnicas conduziram a uma paragem ou redução na construção de centrais nucleares nos países da OECD, muitos destes países estão a fasear a interrupção da actividade das centrais existentes. Prevê-se que até 2020, trinta por cento das centrais suspendam a sua actividade (OECD, 2001). As projecções indicam que o uso total final da energia nuclear nos países da OECD pode diminuir até 2020 como resultado destas medidas.

Fontes renováveis como o vento, a energia solar deparam-se com a incapacidade de se prever a disponibilidade do vento ou do Sol e com o estado de desenvolvimento das tecnologias associadas à sua utilização que permanecem inadequadas para um fornecimento eficiente de energia eléctrica, a longo termo e a uma grande escala. As energias renováveis irão contribuir com 6% para as necessidades energéticas globais até 2020, mas esta meta irá depender grandemente dos incentivos financeiros dos governos à investigação tecnológica nesta área (OECD, 2001). As energias renováveis têm crescido rapidamente nas últimas décadas, mas partindo de uma base muito pequena (IEA/OECD, 1999).

Apesar do uso total da energia nos países da OECD ter subido, a intensidade energética da economia diminuiu cerca de 16% desde 1980. Esta diminuição basicamente reflecte o melhoramento na eficiência energética, os avanços nas tecnologias do sector produtor de energia, bem como as mudanças ao nível dos preços e nas políticas de mercado.

Em 2001, os países da OECD produziam aproximadamente 74% da energia que consomiam (OECD, 2001). O máximo de auto-suficiência energética foi conseguido nos anos 80 (78%) e tem vindo gradualmente a diminuir desde então. A auto-suficiência por combustível varia substancialmente. Enquanto que estes países são auto-suficientes no uso da energia nuclear e nas fontes de energia renováveis e importam apenas uma pequena proporção do carvão utilizado (3% em 1998), mais de 15% do gás natural e mais de 50% do petróleo são importados dos países que não são membros da OECD (OECD, 2001).

Prevê-se que a auto-suficiência energética irá diminuir significativamente até 2020, uma vez que o consumo total de energia irá aumentar mais de 20% e a produção nos países da OECD irá manter-se estável ou diminuir ligeiramente. Será de esperar um aumento no

fornecimento de petróleo proveniente dos países da OPEC do Médio Oriente (de 54% em 1997 para mais de 74% em 2020) (OECD, 2001).

Os países da OECD, principalmente os da Europa Ocidental irão expandir significativamente as suas importações de gás natural nos próximos vinte anos, enquanto que os países não membros irão aumentar as exportações. Como já foi referido, estas mudanças nas ligações comerciais e a dependência de países não membros da OECD podem ter implicações na segurança ao nível do fornecimento de gás natural.

Os mercados abertos da electricidade irão continuar a expandir-se e a estar dependentes das variações nas fontes primárias de energia nos mercados (energia hidráulica, combustíveis fósseis e energia nuclear), o que pode fazer aumentar ou diminuir local e globalmente as emissões de poluentes.

Tendo por base o balanço energético da Direcção Geral de Energia (DGE, 1998) verifica-se que Portugal em 1998 produziu apenas 10,6% da energia primária que necessitava, importando os restantes 89,4%. Da totalidade da energia importada, 99,9% referem-se a carvão, petróleo e gás natural, sendo apenas 1% importados sob a forma de energia eléctrica. De acordo com dados do INETI (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação) relativos ao ano de 2002, verifica-se que do total de energéticos importados por Portugal, 66,6% correspondem a importações de petróleo e de gás natural e os restantes 33,4% correspondem a importações de carvão (figura II.3.4) (URL11).

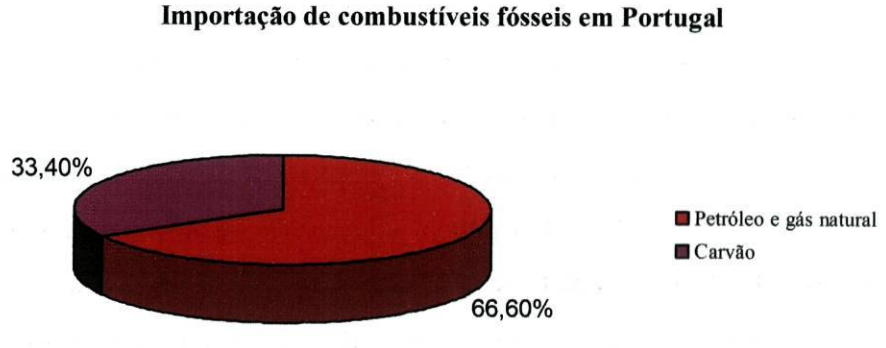


Figura II.3.4- Importações de combustíveis fósseis em Portugal no ano de 2002 (segundo, URL11).

3.4. EFEITOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO E USO DA ENERGIA

No contexto político, social e económico actual tem emergido um conceito que orienta muitas das medidas adoptadas pelos diferentes países do mundo, nas suas opções energéticas - o conceito de **desenvolvimento sustentável**. O desenvolvimento sustentável é aquele que responde às necessidades da presente geração sem comprometer a capacidade das futuras gerações poderem satisfazer as suas (OECD/IEA, 2002). Algumas posições extremistas e radicais defendem que os recursos finitos, nomeadamente, os combustíveis fósseis não têm lugar no desenvolvimento sustentável. Contudo, os níveis de desenvolvimento das sociedades actuais exigem constantemente grandes quantidades de energia e, como é de conhecimento geral, ainda não existem alternativas energéticas capazes de assegurarem esse fornecimento. Assim, o uso dos combustíveis fósseis é compatível com o desenvolvimento sustentável se enquanto permitir responder às necessidades actuais, produzir novo capital e opções para as futuras gerações – como infraestruturas, novas tecnologias e novo conhecimento (OECD/IEA, 2002). Um risco associado relaciona-se com o facto do uso destas fontes de energia poder degradar o capital natural e o ambiente, a uma escala inaceitável ou irreversível conduzindo a um desenvolvimento insustentável. Para evitar esta situação é necessário a adopção das seguintes medidas energéticas (OECD/IEA, 2002):

- diversificar as fontes de energia;
- acelerar o melhoramento dos actuais sistemas de energia;
- inovar ao nível das tecnologias de emissão zero ou próximas de zero;
- desenvolver politicas de gestão dos recursos;
- desenvolver e aplicar medidas ambientais que restrinjam as emissões produzidas pela combustão dos combustíveis fósseis;

A produção e o uso da energia podem afectar o ambiente de muitas maneiras, com impactes muito diferentes dependendo das fontes de energia. A poluição atmosférica e as mudanças climáticas induzidas pelo homem são os maiores problemas resultantes da produção e uso da energia (OCDE, 2001). Apesar da situação variar significativamente de país para país, a combustão é a principal fonte de poluição do ar com os consequentes impactes na saúde humana, no bem-estar e nos ecossistemas. A combustão de qualquer combustível fóssil liberta quantidades significativas de dióxido de carbono, óxidos de

enxofre e de azoto para a atmosfera. Além disso, ocorre a emissão de elementos metálicos e compostos orgânicos que com facilidade passam a circular nas águas dos rios e mares. Ainda durante a combustão são libertadas partículas minerais que não são combustíveis e que contribuem significativamente para a poluição ambiental (IEA/OECD, 1999). Nas centrais eléctricas modernas aproximadamente 80-95% da matéria mineral dos carvões dá origem a cinzas volantes com uma composição elementar idêntica à da composição da matéria mineral (Taylor *et al.*, 1998). A maioria das partículas das cinzas volantes é um produto da transformação térmica dos minerais existentes no carvão. As cinzas volantes contêm alguns elementos traço que são potencialmente perigosos em determinadas condições, infiltrando-se no subsolo e afectando plantas e animais. Alguns elementos traço como o mercúrio, o arsénio e o chumbo constituem elementos perigosos (IEA/OECD, 1999). Normalmente, durante a combustão, os elementos traço são libertados sob a forma de gases, podendo ser absorvidos na superfície das partículas de cinzas volantes. Elementos voláteis como, por exemplo, o mercúrio, o boro e o selénio são emitidos em quantidades significativas sob a forma de gases.

No que diz respeito às emissões gasosas, muitos dos dados provenientes da investigação são relativos aos óxidos de enxofre e de azoto (SO_x e NO_x), os quais são ácidos e, como tal, perigosos para o ambiente, enquanto que o dióxido de carbono pertence ao grupo dos chamados gases com efeito de estufa.

Os impactes regionais e globais nos ecossistemas incluem a chuva ácida resultante das emissões de óxidos de azoto e de enxofre, as quais contribuem para a destruição dos solos, florestas, construções e para a acidificação das águas. Incluem também mudanças climáticas devido ao aumento das concentrações atmosféricas de gases com efeito estufa, a destruição de paisagens naturais (figura II.3.5), elevados níveis de poluição sonora, perigos de acidentes em gasodutos e oleodutos e a produção de grandes quantidades de desperdícios (figura II.3.6). Em áreas mineiras antigas onde a exploração e os estragos paisagísticos são muito grandes têm que ser usadas modernas técnicas de requalificação, no sentido de permitir que os terrenos possam ser utilizados para a agricultura, construção ou para fins recreativos. A produção de energia nuclear comporta o risco dos custos de acidentes nucleares e a produção de resíduos radioactivos. Mesmo as fontes de energia renováveis têm alguns impactes ambientais negativos: a energia hídrica pode degradar os ecossistemas alterando o estado natural das bacias hidrográficas, com consequências ao

nível da flora e da fauna, e outros sistemas energéticos renováveis, como o vento, têm efeitos negativos ao nível visual e sonoro.



Figura II.3.5- Impactes da exploração do carvão nas paisagens naturais (segundo URL12).

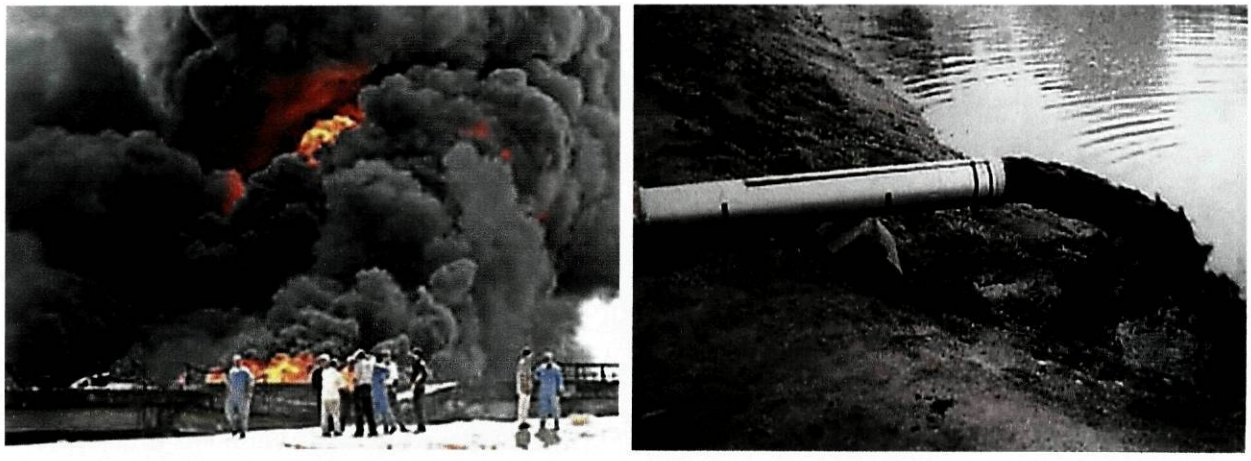


Figura II.3.6- Acidentes em gasodutos e oleodutos e a produção de grandes quantidades de desperdícios associados à produção e uso dos combustíveis fósseis (segundo URL13).

No geral, o impacte do uso da energia no ambiente é o resultado de diversos factores: a diversidade de combustíveis usados, da eficiência na conversão da energia primária em energia utilizável; das tecnologias de uso e do nível total de energia utilizado. O uso de combustíveis fósseis no fornecimento energético com as tecnologias actuais continua a poluir o ar e a emitir gases com efeito estufa.

Em 1998, o sector energético (a combustão em centrais eléctricas e no sector dos transportes) representou aproximadamente 80% do total de gases com efeitos estufa de emissão antropogénica, excluindo a utilização da terra para fins agrícolas e da floresta (OECD, 2001). A maioria das emissões resulta do uso de combustíveis fósseis, apesar da queima da biomassa também poder produzir emissões substanciais de metano, monóxido de carbono, partículas e fuligem. Como é possível verificar, por análise da figura II.3.7, o petróleo é o principal responsável pela emissão de dióxido de carbono. Em 1996, a utilização do petróleo era responsável por 46% do total das emissões de dióxido de carbono nos países da OCDE (OECD, 2001). Mais de metade é resultante do sector dos transportes, o qual também é a principal fonte de emissões de monóxido de carbono e de óxidos de azoto. Os transportes representam 32% do consumo de energia e 28% das emissões totais de dióxido de carbono (URL14).

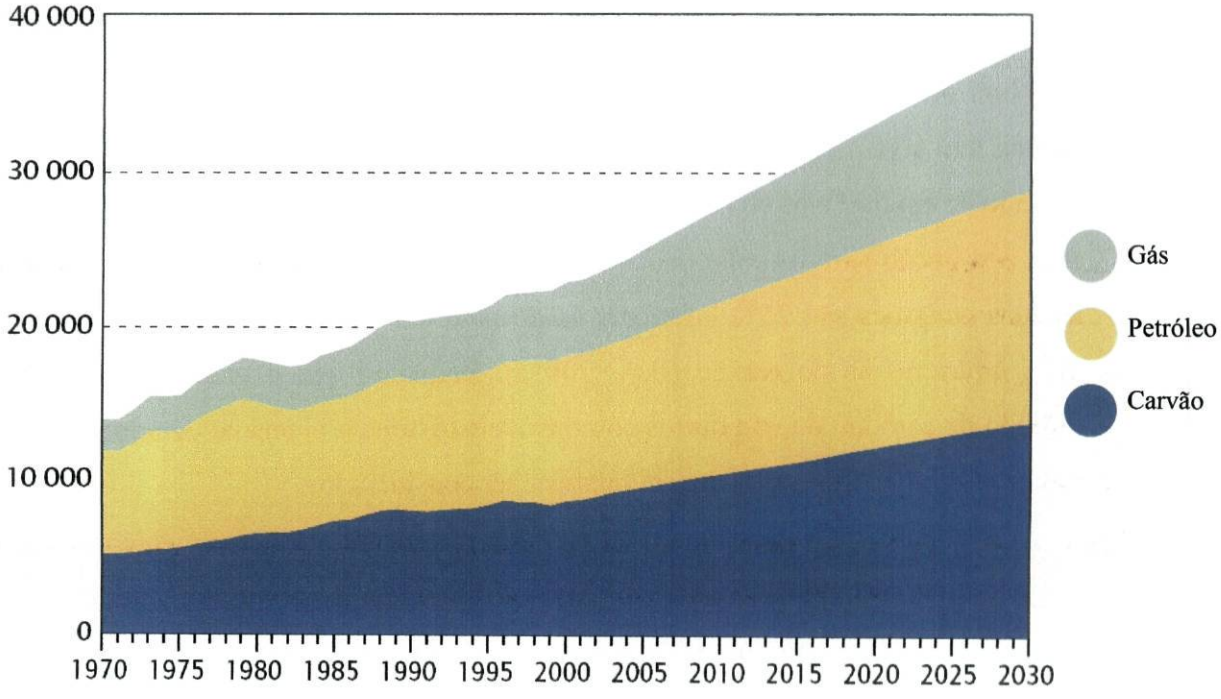


Figura II.3.7- Emissões de dióxido de carbono (valores apresentados em milhões de toneladas) associadas à produção e uso da energia no período de 1970 a 2030 (segundo IEA/OECD, 2004).

O sector eléctrico é o principal responsável pela emissão de óxidos de enxofre, seguida da energia usada no sector industrial, o qual também é um dos sectores onde o uso do carvão é mais elevado. As emissões de partículas sólidas a partir da combustão dos combustíveis fósseis é também significativa, mas diminuiu rapidamente devido a regulamentações restritivas e à introdução de tecnologias de controlo mais efectivas.

O cenário de referência da Agência Internacional de Energia indica que no total dos países da OECD as emissões de SOx relacionadas com a produção de energia irão aumentar cerca de 26% até 2020, um aumento significativamente mais baixo é esperado para os países não membros da OECD (OECD, 2001). Tendo em conta as políticas energéticas em desenvolvimento, perspectiva-se que as emissões de dióxido de carbono aumentem em todo mundo mas mais lentamente do que no passado com um total de aumento de cerca de 33% e 61% respectivamente de 1995 a 2020. Em certa medida as taxas de crescimento inferior das emissões de dióxido de carbono e de SOx nos países da OECD, de acordo com o cenário de referência irá ser o resultado de um aumento do fornecimento energético mais suportado pelo gás natural e pelo uso de tecnologias mais limpas, bem como de um papel crescente da utilização das energias renováveis. Isto permite a redução das taxas de crescimento das emissões e também reflecte melhoramentos nos controlos das emissões de SOx, NOx e de compostos orgânicos voláteis (*Volatile Organic Compounds* – VOC) e não apenas de dióxido de carbono.

Num mundo onde as preocupações ambientais têm cada vez mais ressonância, o gás natural tem a vantagem de libertar menos carbono e outros poluentes atmosféricos como o dióxido de enxofre e os NOx, do que os outros combustíveis fósseis. O gás natural pode ser uma boa opção para os países cujas necessidades energéticas irão aumentar, uma vez que as suas emissões são 25% inferiores às do petróleo por unidade de energia produzida e 40% inferiores às do carvão (IEA, 2003a). Enquanto que o gás natural liberta menos dióxido de carbono do que outros combustíveis fósseis, o potencial de aquecimento global dos gases com efeito estufa devem também ser considerados.

O metano é emitido ao longo do ciclo de gás natural, principalmente devido a fugas, enquanto que os óxidos de azoto são libertados durante a combustão. Quer o metano quer os óxidos de azoto têm um efeito de estufa superior ao dióxido de carbono (IEA, 2003a). Considerando o potencial do metano para o aquecimento global, estas emissões são responsáveis por cerca de 12% do total de emissões (Spath & Mann, 2000 *in* IEA, 2003a). Apesar das muitas incertezas, prevê-se um aumento de 60% do total de emissões de metano até 2025, principalmente resultante do aumento da produção de gás natural e do maior número de gasodutos e oleodutos a percorrer distâncias superiores. De acordo com a mesma fonte, considerando o rápido crescimento, as reservas de gás natural, actualmente estimadas em mais do dobro da produção mundial, devem ser mais do que suficientes para fazer face às necessidades. Apesar de significativamente mais limpo do que os outros

combustíveis fósseis, a produção e o consumo de gás natural resulta na emissão de gases com efeito estufa. Muitos países e companhias já desenvolveram projectos com vista a reduzir, neste sector, as emissões de gases com efeito de estufa, nomeadamente de dióxido de carbono e de metano.

O conhecimento das implicações ambientais da combustão dos combustíveis fósseis levou os governos a desenvolver políticas que ajudassem a reduzir o impacte ambiental decorrente da utilização dos combustíveis fósseis. Muitos países estabeleceram limites para as emissões de partículas, de óxidos de enxofre e de azoto e incentivaram o desenvolvimento de tecnologias de combustão mais eficazes. A velocidade a que uma nova tecnologia é adoptada reflecte diferentes perspectivas regionais e nacionais na abordagem a uma série de factores: legislação ambiental, disponibilidade e uso de combustíveis alternativos, nível e taxa de desenvolvimento económico e oportunidades de investimento.

O desafio para um desenvolvimento futuro sustentável é a transição para tecnologias limpas e para fontes de energia que melhorem o balanço entre a segurança, a disponibilidade dos fornecimentos, os custos de produção, o uso da energia e os impactes ambientais.

3.5. CONTROLO E MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE NO_X, SO_X, E CO_2

As mudanças climáticas são um problema de proporções globais. Um conjunto de gases antropogénicos são grandemente responsáveis pelo aumento deste problema, o gás que mais contribui para estas alterações é o dióxido de carbono produzido durante a queima dos combustíveis fósseis (OECD/IEA, 2003a). Os óxidos de azoto e de enxofre também contribuem significativamente para estas alterações. Como já foi anteriormente referido, os combustíveis fósseis asseguram uma grande proporção das necessidades energéticas mundiais (>85%) e esta situação irá assim continuar num futuro próximo. As emissões resultantes da utilização dos combustíveis fósseis nos países da OECD aumentaram 13% entre 1990 e 2001 (IEA, 2003b). De acordo com a mesma fonte, no período de 1973 a 1990, as emissões apenas cresceram 3,4%. Para assegurar que reduções substanciais nos níveis atmosféricos de dióxido de carbono, óxidos de azoto e de enxofre podem ser feitas durante o presente século tem sido necessário desenvolver e aplicar rapidamente novas soluções tecnológicas (OCDE/IEA, 2003a).

Apesar da proporção de azoto no carvão não atingir em média mais de 2% é necessário reduzir a sua emissão tanto quanto possível, uma vez que contribui para a formação de gases com características ácidas e para a formação do *smog* urbano. Nos países industrializados, os **NOx** resultantes da actividade das centrais eléctricas são capturados e eliminados em grande escala (OECD/IEA, 2003b). A produção NOx durante a combustão pode ser grandemente condicionada pelas condições de combustão. A combustão rápida a altas temperaturas com um excesso de oxigénio e um elevado grau de turbulência geralmente tem como resultado a ocorrência de níveis elevados de óxidos de azoto nos gases libertados. Baixando as temperaturas de combustão e restringindo a disponibilidade de oxigénio é possível reduzir a produção de óxidos de azoto, mas esses procedimentos também reduzem a eficiência da combustão e aumentam a quantidade de carbono não queimado nas cinzas (Paulson, 1993 *in* Taylor *et al.*, 1998). Vários processos têm sido desenvolvidos no sentido de reduzir as emissões de NOx associadas à combustão. Estes métodos podem ser agrupados principalmente em duas categorias: métodos de Redução Selectiva Catalítica e métodos de Redução Selectiva Não Catalítica. Os primeiros são bastante dispendiosos e envolvem a injecção de NH_3 na presença de um catalisador permitindo reduzir as emissões de NOx em 80% a 90%. Os métodos de Redução Selectiva Não Catalítica consistem na injecção de NH_3 directamente na fornalha, permitindo, em alguns casos, uma redução de 40% a 50% do total de emissões (IEA/OECD, 1999).

Os **SOx** resultantes da utilização dos combustíveis fósseis resultam do próprio enxofre que constitui esses combustíveis. A emissão para a atmosfera de dióxido de enxofre é a principal causa da formação das chuvas ácidas (OECD/IEA, 2003b). No caso do carvão a diminuição da quantidade de enxofre pode ocorrer antes, durante ou após a combustão. Antes da combustão, processos de tratamento permitem remover alguma da pirite constituinte do carvão (separação por diferenças de densidade, separação magnética de alta intensidade e extracção por lavagem química). Durante o processo de queima, a redução das emissões pode ser conseguida através da injecção de um absorvente, como calcários finamente pulverizados, directamente no queimador. A eficiência deste método é frequentemente inferior a 50% (Taylor *et al.*, 1998). Outra desvantagem deste método é aumentar a quantidade de cinzas volantes produzidas. Outros métodos de dessulfuração envolvem a mistura dos SOx com material quimicamente reactivo como absorventes de cálcio ou de sódio. Os métodos de redução do dióxido de enxofre, após a combustão,

recorrem à utilização de calcários e permitem uma eficiência superior a 95% e podem permitir ou não a regeneração do enxofre. O enxofre recuperado sob a forma de enxofre puro ou sob a forma de concentrados de dióxido de enxofre pode ser utilizado na indústria química, nomeadamente na produção de gesso (OECD/IEA, 2003b). Os métodos que não permitem a recuperação do enxofre dão origem a um resíduo de sulfito ou sulfato de cálcio, que depois de seco e de totalmente oxidado pode ser utilizado na construção civil (IEA/OECD, 1999).

A exploração e a utilização dos combustíveis fósseis são responsáveis por cerca de três quartos das emissões de **dióxido de carbono** provocadas pelo homem (OECD/IEA, 2003a). O carvão, como o combustível fóssil mais rico em carbono, contribui significativamente para a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera. A combustão do carvão liberta dióxido de carbono numa quantidade de aproximadamente 10 a 17% do seu volume. Consequentemente, a contribuição total da combustão do carvão para o aumento do aquecimento global está estimado em cerca de 20 a 26% (IEA/OECD, 1999). A captura do dióxido de carbono a partir de operações comerciais e industriais, seguida do seu armazenamento em formações geológicas, é vista como uma importante estratégia para conseguir reduções substanciais nos níveis de emissões. Existem numerosas técnicas para a captura do dióxido de carbono que já são utilizadas ou que ainda estão em desenvolvimento. Mas é necessário desenvolver bastante trabalho para optimizar essas técnicas para aplicações em maior escala. Uma vez capturado existem numerosas opções para armazenar o dióxido de carbono, uma das que se tornará mais importante a longo termo é o armazenamento em formações geológicas como reservatórios de petróleo e de gás, jazigos de carvão não exploráveis e aquíferos salinos.

A captura e armazenamento do dióxido de carbono são a melhor estratégia a utilizar nas centrais de produção de electricidade a partir dos combustíveis fósseis, as quais são responsáveis por cerca de 1/3 das emissões globais de dióxido de carbono (OECD/IEA, 2003a).

Potencialmente, grandes quantidades de dióxido de carbono podem ser armazenadas em diferentes tipos de formações. Na tabela II. 3.1 são apresentadas as mais importantes formações para o armazenamento do dióxido de carbono, bem como as suas capacidades potenciais de armazenamento.

Tabela II.3.1- Formações geológicas com capacidade para o armazenamento do dióxido de carbono (segundo OECD/IEA, 2003a: 6).

Opções de armazenamento	Capacidade Global
Reservatórios de petróleo e de gás	100s Gigatoneladas
Aquíferos salinos profundos	100s – 1000s Gigatoneladas
Jazigos de carvão	10 – 100 Gigatoneladas

Segundo dados da Agência Internacional de Energia, durante o período 2000-2010, a média de dióxido de carbono emitido deve ser de aproximadamente 27,5 Gigatoneladas (Gt) por ano (OECD/IEA, 2003a). Com base nas estimativas apresentadas pela mesma publicação, os reservatórios de petróleo e de gás podem acumular estes níveis por um período superior a 30 anos, os aquíferos salinos por 15 a 364 anos e os jazigos de carvão por 2 ou 7 anos.

Alguns tipos de tecnologias de captura do dióxido de carbono (baseadas quer na absorção química quer na física) estão bem estabelecidos e têm sido utilizados em numerosas aplicações industriais durante várias décadas. A seguir à fase de captura, o dióxido de carbono pode ser comprimido sob a forma de um fluído supercrítico ou denso, sendo depois transportado por oleodutos e gasodutos de altas pressões. O custo de transporte depende grandemente da distância entre o ponto de partida e o destino final, bem como da usuabilidade das infraestruturas existentes. Existem também numerosas actividades comerciais nas quais o dióxido de carbono começa a ser utilizado de diferentes modos, curiosamente no campo alimentar, na produção de produtos minerais e fertilizantes e para o aumento do crescimento artificial de algas e plantas. Assim, para além da grande vantagem de permitir a diminuição das emissões de dióxido de carbono, as técnicas de armazenamento têm outros aspectos benéficos.

O armazenamento do dióxido de carbono em camadas de carvão não exploráveis tem um valor acrescido, uma vez que permite a produção adicional de metano através da injecção do dióxido de carbono no jazigo (figura II.3.8). Este desloca o metano presente, o qual pode ser drenado e utilizado como um valioso combustível (OECD/IEA, 2003c).

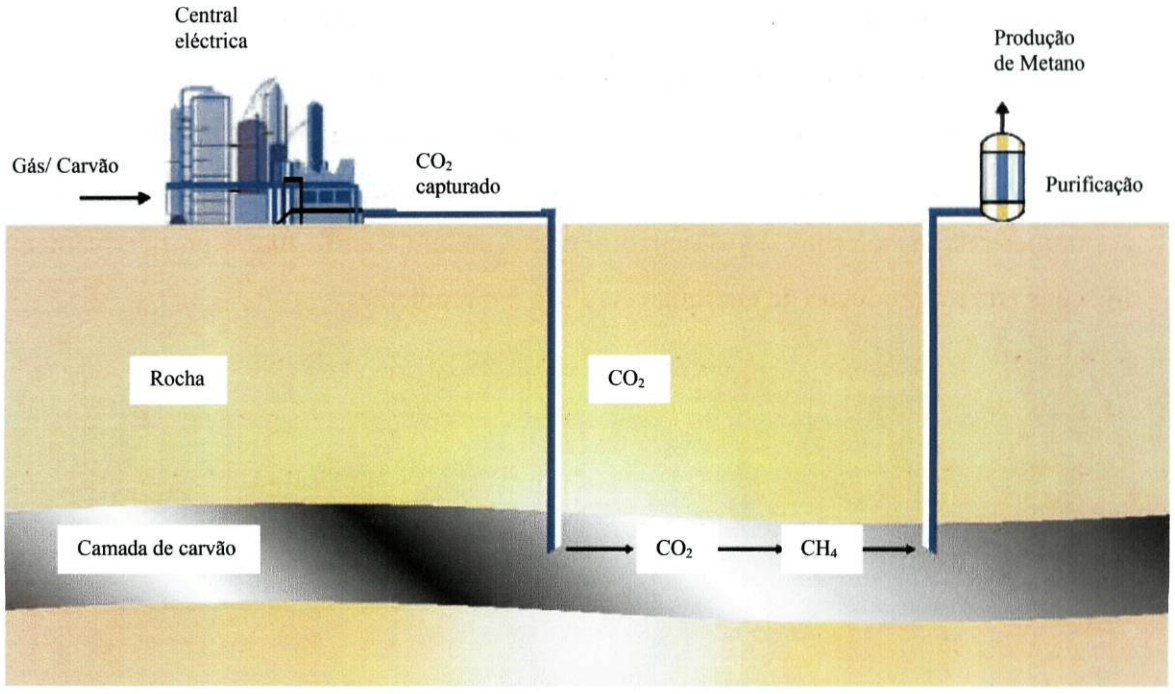


Figura II.3.8- Esquema representativo do processo de utilização do dióxido de carbono na produção adicional de metano (segundo OECD/IEA, 2003c: 12).

O dióxido de carbono também pode ser injectado em reservatórios de petróleo operacionais no sentido de aumentar a mobilidade do petróleo. Assim, à medida que permite manter ou aumentar a produção, grande parte do dióxido de carbono injectado permanece preso no reservatório (OECD/IEA, 2003c). De acordo com a anterior referência bibliográfica, com base nas estimativas actuais, tem sido sugerido que globalmente é possível armazenar desta maneira cerca de 130 Gt de dióxido de carbono. Os custos associados à injecção do dióxido de carbono podem ser assegurados pelo aumento da produção adicional de petróleo. Esta técnica, designada de *Enhaced Oil Recovery* (EOR) é uma forte candidata a constituir-se como a principal forma de armazenamento do dióxido de carbono, porque para além das vantagens económicas associadas à produção adicional de produtos petrolíferos, esses reservatórios são exemplos de armadilhas estratigráficas naturais com formações rochosas de cobertura estáveis que armazenaram petróleo por um período de tempo bastante longo. Em muitos casos, as estruturas geológicas e as propriedades físicas dos reservatórios têm sido bem caracterizadas e modeladas permitindo

prever o movimento do dióxido de carbono e o comportamento das estruturas de armadilhamento.

Se estas tecnologias forem totalmente aceites será então necessário desenvolver protocolos de armazenamento adequados e conseguir que eles possam ser claramente efectivos e seguros. É preciso avaliar os riscos associados ao armazenamento a longo prazo do dióxido de carbono nos diferentes tipos de formações e fazer estudos de monitorização. As numerosas tecnologias em desenvolvimento podem transformar significativamente as ligações entre a produção de energia, o seu uso e o ambiente.

CAPÍTULO III – METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

1. DESCRIÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

Todo o processo de investigação foi antecedido por um período de revisão bibliográfica que permitiu a construção de um quadro de referência teórico cientificamente fundamentado sobre a temática "Os Combustíveis Fósseis". Assim, construiu-se um referencial teórico bem estruturado e amplo sobre a génese, composição, classificação e utilização dos combustíveis fósseis que constituiu o suporte principal de todo o trabalho que foi desenvolvido posteriormente. A fundamentação teórica de teor científico apresentada no capítulo II foi elaborada recorrendo a algumas obras gerais de referência (Stach *et al.*, 1982; Tissot & Welte, 1984; Taylor *et al.*, 1998) e a artigos científicos criteriosamente seleccionados de acordo com os temas específicos a abordar.

Numa segunda fase foi necessário construir **instrumentos de investigação** que permitissem atingir os **objectivos** que desde o início regeram e orientaram o desenvolvimento deste trabalho de dissertação, a saber:

- analisar o tratamento da temática "Os Combustíveis Fósseis" em manuais escolares de 11.º ano;

- identificar as estratégias e os conhecimentos mobilizados pelos professores na leccionação da temática "Os Combustíveis Fósseis".

A técnica de investigação que melhor permite analisar o modo como um dado conteúdo de Geologia é abordado em diferentes manuais escolares é **análise de conteúdo**, a qual deve ser entendida como um conjunto de procedimentos que permitem realizar uma análise das mensagens contidas em documentos. Vala (1986: 104) considera que a finalidade da análise de conteúdo será:

"...efectuar inferências, com base numa lógica explicitada, sobre mensagens cujas características foram inventariadas e sistematizadas."

A análise de conteúdo de natureza qualitativa dos manuais escolares centrou-se, apenas, sobre o tratamento da temática "Os Combustíveis Fósseis". Esta análise foi

efectuada recorrendo a uma **grelha de análise** elaborada tendo por base dois elementos fundamentais:

- as principais orientações programáticas;
- os conhecimentos científicos que se consideram fundamentais para uma aprendizagem significativa, fundamentada e actualizada da temática "Os Combustíveis Fósseis".

Considerou-se à semelhança de diversos autores (Cabral, 2001; Carmen & Jiménez, 1997; Jiménez, 1997) que o manual escolar não pode ser estudado de forma isolada, pois o sucesso do processo de ensino-aprendizagem depende de uma pluralidade de outros factores, dos quais se destacam as estratégias desenvolvidas pelo professor. Ao professor compete a realização da adequada apropriação dos conteúdos propostos num programa educativo, para que eles se tornem claros para os alunos, deixando de ser simples informação e passando a constituir conhecimento. É no domínio da transposição didáctica que se manifesta muita da sabedoria do professor, assim o ensino para além duma formação científica esclarecida, requer improvisação, espontaneidade, flexibilidade de pensamento, de discurso e de ritmo.

É necessário e aconselhável que o professor assuma uma postura crítica para com os manuais escolares, no sentido de modificar, corrigir e contextualizar as suas propostas sempre que necessário (Jiménez, 1997). Como já foi referido ao longo da fundamentação didáctica, a importância do manual escolar no ensino das Ciências não se limita apenas à sua utilização pelos alunos. Vários estudos citados por Carmen & Jiménez (1997) e Cardoso (2002) revelam que o manual escolar condiciona em grande medida a actividade docente, delimitando os conteúdos a leccionar e as actividades a desenvolver, bem como constituindo a única fonte de informação à qual o professor recorre para preparar as suas aulas. Neste sentido, considerou-se fundamental identificar os conhecimentos que os professores possuem sobre a temática "Os Combustíveis Fósseis" e quais as estratégias que desenvolvem para o tratamento desta temática. Considerou-se, igualmente, importante apurar qual a análise que os professores fazem do tratamento da temática "Os Combustíveis Fósseis" no manual adoptado nas suas escolas. Como método de recolha de dados foi construído um **guião de entrevista** que incidiu sobre três vertentes de análise:

- formação inicial e formação contínua sobre a temática.
- análise do manual utilizado.

– conhecimentos científicos e estratégias mobilizadas pelos docentes.

As **hipóteses** orientadoras do estudo empírico desenvolvido e da construção dos instrumentos de investigação anteriormente referidos foram as seguintes:

- a abordagem da temática "Os Combustíveis Fósseis" nos manuais escolares carece de um maior aprofundamento científico;

- o tratamento da temática "Os Combustíveis Fósseis" em alguns aspectos não é congruente com os conhecimentos científicos actuais que se possuem sobre a temática;

- na abordagem da temática "Os Combustíveis Fósseis" não é valorizada a interdisciplinaridade;

- os manuais escolares no tratamento da temática "Os Combustíveis Fósseis" não incluem uma perspectiva de sensibilização para a necessidade de redução do consumo de energia;

- os professores suportam as estratégias que desenvolvem para a abordagem da temática "Os Combustíveis Fósseis" quase exclusivamente na informação disponibilizada nos manuais escolares adoptados.

Todas as investigações devem ser organizadas em torno de hipóteses de trabalho pois elas permitem desenvolver um trabalho com ordem e com rigor, sem eliminar o espírito de descoberta e de curiosidade que deve caracterizar qualquer investigação (Quivy & Campenhoudt, 1997). As hipóteses estabelecem-se alicerçadas numa reflexão tendo por base um quadro de referências teóricas.

2. TÉCNICA DE INVESTIGAÇÃO

Uma vez que a investigação desenvolvida no âmbito deste mestrado, teve como principal objectivo a análise do modo como um dado tema de Geologia é abordado em diferentes manuais escolares, a técnica de investigação que melhor se adaptou ao trabalho desenvolvido foi a **análise de conteúdo**. Esta técnica também foi utilizada para analisar os dados recolhidos com a realização das entrevistas.

A análise de conteúdo enquanto técnica ou conjunto de técnicas que permite recolher dados, analisá-los e fazer inferências sobre a origem e os efeitos das mensagens emitidas por diversas fontes apresenta-se aos que se iniciam nestas lides como um processo complexo, pouco linear e bastante sinuoso que comporta um grau de dificuldade bastante variável em função da problemática de partida, do objecto e dos objectivos do estudo.

Os objectivos da análise de conteúdo podem ser muito diversos, incidindo, por exemplo, em questões relacionadas com as condições em que foram produzidas ou sobre os efeitos que podem ter sobre os emissores. No caso da análise de conteúdo aplicada a manuais escolares os objectivos podem ser puramente teóricos ou objectivos aplicados. Assim, por exemplo, o estudo poderá ter por objectivo a análise da perspectiva de Ciência que é transmitida, a análise de como é utilizada a história da Ciência, a análise da adequação dos textos ao nível do desenvolvimento cognitivo dos alunos e a análise da abordagem de um dado conteúdo, entre outros.

A análise de conteúdo é um método empírico que, como já foi referido, está dependente do seu objecto de estudo e do tipo de interpretação que se pretende como objectivo, daí que de acordo com Bardin (1994: 49) não exista: "*...o pronto-a-vestir em análise de conteúdo, mas somente algumas regras base, por vezes dificilmente transponíveis. A técnica de análise de conteúdo adequada ao domínio e ao objectivo pretendidos, tem que ser reinventada a cada momento, excepto para usos simples e generalizados...*"

Segundo a mesma autora a análise de conteúdo deve organizar-se tendo como pilares três etapas básicas, independentemente dos objectivos e dos objectos de estudo (figura III.2.1):

1- a pré-análise;

2- a exploração do material;

3- o tratamento dos resultados obtidos e interpretação.

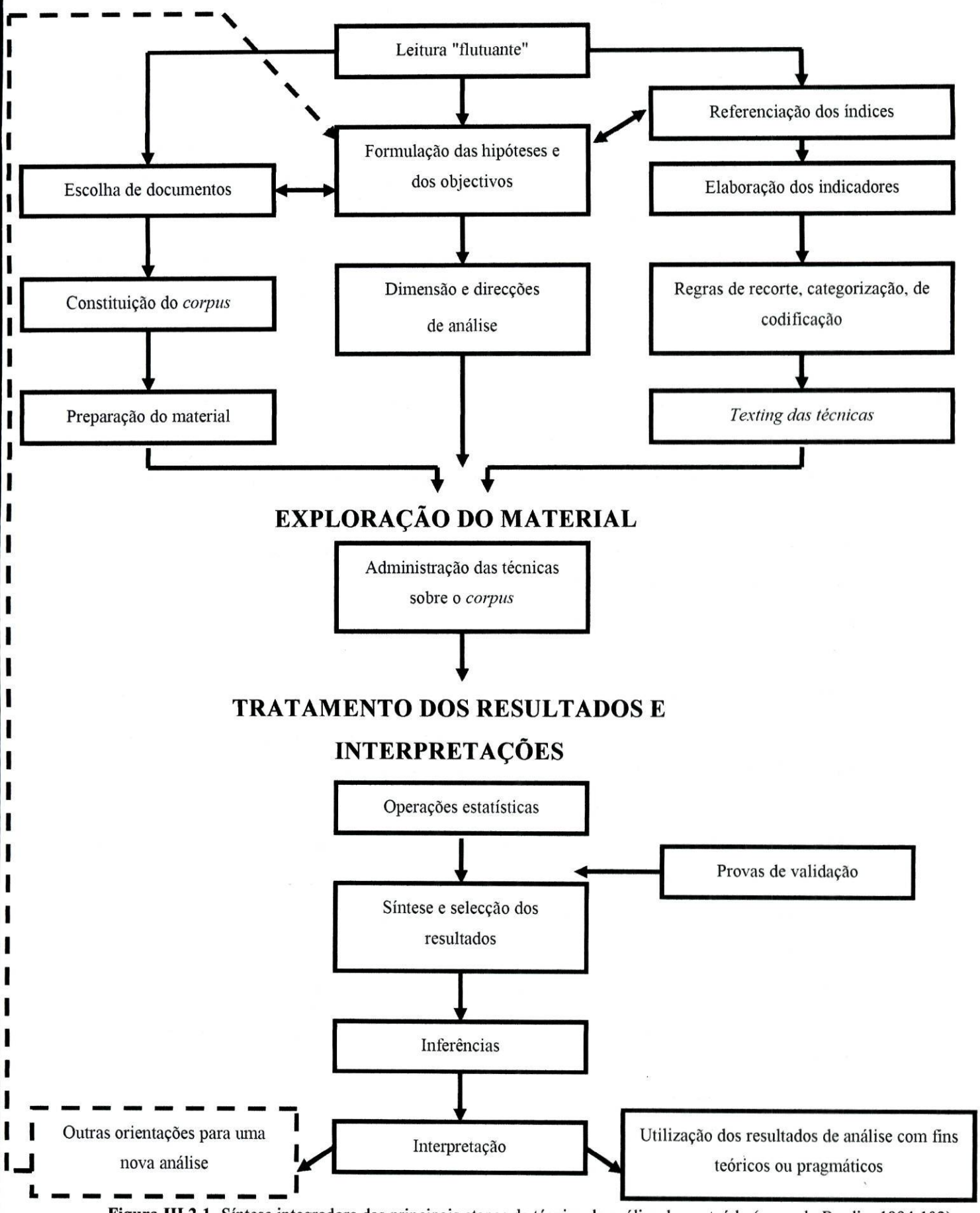


Figura III.2.1- Síntese integradora das principais etapas da técnica de análise de conteúdo (segundo Bardin, 1994:102).

A **pré-análise** é uma etapa de extrema importância para o sucesso de qualquer actividade investigativa, uma vez que é nesta fase inicial que se definem os objectos do estudo (a escolha de documentos), procedendo-se à delimitação/formulação dos objectivos e das hipóteses de trabalho, bem como à definição de um quadro de referência teórico orientador da pesquisa, que possibilite a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. Entre estes elementos não há uma relação cronológica e relacional estanque, estando estritamente ligados uns aos outros. Como é possível observar por análise da figura III.2.1, a pré-análise é uma etapa organizativa que engloba vários procedimentos que são de vital importância para as etapas que se seguem, nomeadamente: a constituição do *corpus*, a formulação das hipóteses e dos objectivos, a definição das dimensões, categorias e sub-categorias de análise, a elaboração de indicadores. Todos estes elementos são cruciais para a construção do instrumento de análise.

De acordo com Caldas & Saltiel (2001), após uma leitura inicial do material a analisar (leitura exploratória), ele deverá ser recortado de modo a colocar em evidência diferentes elementos de análise. Para cada um destes elementos são definidos aspectos específicos a observar, os quais, segundo os mesmos autores, geram as questões de análise que constituem a base para a construção das categorias e sub-categorias a incluir numa grelha de análise. Estes elementos são determinados pela diversidade das abordagens que os manuais podem apresentar relativamente ao elemento do conteúdo em análise. Esta mesma metodologia de análise de conteúdo é defendida por Bardin (1994), que enfatiza a necessidade de adaptar as regras gerais da análise de conteúdo às características dos documentos que constituem o *corpus* do estudo em desenvolvimento.

As categorias de análise de conteúdo devem ser sujeitas a **testes de validade interna**, devendo o investigador procurar garantir a sua **exclusividade** (uma mesma unidade de registo só pode ser incluída numa mesma categoria) e **exaustividade** (todas as unidades de registo possam ser colocadas numa categoria) (Vala, 1986).

Como qualquer conteúdo pode ser alvo de diversas interpretações é de prever que em determinadas situações dois investigadores ao categorizarem o mesmo material cheguem a resultados diferentes. Trata-se de um problema de **fidelidade inter-codificadores** (Vala, 1986). De acordo com o autor referido, um mesmo investigador do decorrer do seu trabalho de análise de conteúdo pode não aplicar de forma idêntica os critérios de categorização definidos, neste caso existe um problema de **fidelidade intra-codificador**.

Para superar estas dificuldades é necessário definir critérios muito específicos de inclusão de um elemento numa categoria e ir reestruturando o sistema categorial estabelecido.

É durante a etapa de **exploração do material** que se aplicam ao *corpus* os instrumentos de análise construídos durante a pré-análise, tendo por base todas as regras e critérios definidos. Esta exploração do material pode nalgumas situações ser realizada com recurso ao computador e a alguns programas informáticos que permitem a categorização e a análise do material de acordo com os critérios de categorização, mas mais frequentemente é realizada de um modo não informatizado, através do preenchimento das grelhas de análise, tendo por base todos os elementos e indicadores estabelecidos.

De acordo com Bardin (1994), durante o **tratamento dos resultados e interpretação**, os dados podem ser submetidos a diferentes operações estatísticas (percentagens, análise factorial) que permitam estabelecer quadros de resultados, diagramas, figuras e modelos que enfatizem as informações fornecidas pela análise efectuada. Estes resultados podem ser submetidos a provas estatísticas e testes de validação. Aliás, como refere Vala (1986), qualquer estudo de análise de conteúdo, nas suas diferentes etapas desde a constituição do *corpus*, deve contemplar a elaboração de um conjunto de procedimentos que permitam assegurar a sua validade. É necessário assegurar que o investigador analisou o que queria analisar. Contudo, o tratamento final dos resultados, bem como a sua interpretação estão muito dependentes das características do material que constitui o *corpus* da análise e dos objectivos que norteiam a aplicação da técnica e o desenvolvimento de todo o estudo.

3. INSTRUMENTOS DE INVESTIGAÇÃO

3.1. GRELHA DE ANÁLISE DOS MANUAIS ESCOLARES

Tendo por base, as orientações gerais da técnica de análise de conteúdo, descritas anteriormente, construiu-se uma grelha para analisar o tratamento da temática "Os Combustíveis Fósseis" em manuais escolares de 11.º ano.

As **dimensões**, **categorias** e **sub-categorias** de análise a incluir na grelha de análise construída foram definidas *à priori*, depois de efectuada uma ampla fundamentação teórica sobre a génese, composição, classificação e utilização dos combustíveis fósseis, de consultadas as principais orientações programáticas e de realizado um conjunto de leituras flutuantes ou exploratórias dos materiais que constituem o *corpus* da análise.

Na tabela III.3.1 são apresentadas as dimensões, categorias e sub-categorias definidoras e reguladoras da análise. Optou-se por não elaborar uma tabela com a definição de indicadores, uma vez que se considera que estes se encontram presentes na fundamentação científica sobre a temática em análise, a qual é apresentada no capítulo II.

De acordo com Vala (1986), a definição do sistema de categorias de análise *à priori* é o procedimento mais adequado quando a interacção entre o quadro teórico inicial do investigador, os problemas concretos e as hipóteses de investigação permitem a formulação de um sistema de categorias ainda que provisório e sujeito a reformulações decorrentes das necessidades do estudo. Daí que, na descrição do procedimento metodológico dos trabalhos de investigação, seja necessário pôr em relevo *"... o aspecto de 'vai-vem' da análise de conteúdo, entre a teoria e a técnica, hipóteses, interpretações e métodos de análise."* (Bardin, 1994: 80).

Convém referir que as dimensões, categorias e sub-categorias foram definidas tendo em conta não só o referencial teórico e as hipóteses em estudo (condição fundamental para a validade do instrumento de análise), mas também considerando as características concretas dos materiais em análise.

Na definição das dimensões de análise, categorias e sub-categorias procurou-se ter em consideração algumas características básicas que estas dimensões de análise devem possuir, nomeadamente aquelas indicadas por Terrasêca (1996):

- **exaustividade** - conter todo o conteúdo classificável;
- **exclusividade ou exclusão mútua** - permitir que um dado não possa ser incluído em mais do que uma categoria;
- **produtividade** - permitir a ocorrência de inferências, de produção de novas hipóteses e de resultados fiáveis;
- **pertinência** - estar directamente relacionadas com o material a classificar;
- **objectividade e fidelidade** - possuir critérios de diferenciação tão precisos que sejam acessíveis e compreendidos por qualquer investigador;
- **serem em número limitado** de modo a que não se perca a coerência;
- **serem definidas claramente** de modo a diminuir a ambiguidade e a possibilidade de interferência da subjectividade de quem analisa.

Tabela III.3.1- Grelha de análise dos manuais escolares, com indicação das dimensões, categorias e sub-categorias de análise.

Dimensões de análise	Categorias de análise	Sub-categorias de análise
A – Génese	**A1** – Origem da matéria orgânica	**A1a** – Ambiente deposicional
		A1b – Produtividade primária
	A2 – Evolução da matéria orgânica (incarbonização/maturação)	**A2a** – Factores condicionantes
		A2b – Principais transformações
		A2c – Produtos resultantes
B – Composição	**B1** – Composição do carvão	**B1a** – Noção de maceral
		B1b – Matéria mineral do carvão
	B2 – Composição do petróleo e do gás natural	**B2a** – Hidrocarbonetos líquidos, sólidos e gasosos
		B2b – Influência dos processos de migração
C – Classificação	**C1** – Classificação do carvão	**C1a** – Parâmetros utilizados
		C1b – Principais classes de carvão
	C2 – Classificação do petróleo e do gás natural*	* não se definem sub-categorias dado que a classificação se reveste dum pendor essencialmente químico
D – Utilização	**D1** – Situação actual	**D1a** – Necessidades energéticas actuais
		D1b – Reservas e recursos existentes
		D1c – Principais aplicações
	D2 – Perspectivas para o futuro	**D2a** – Contexto de apresentação da temática
		D2b – Desenvolvimento de novas tecnologias e impactes ambientais (CTSA)

A **validação** do instrumento de análise referido foi efectuada, submetendo as dimensões, categorias e sub-categorias de análise à apreciação de dois especialistas, um na área da didáctica e outro ao nível do domínio do conteúdo científico relacionado com a temática em estudo. Por várias vezes procedeu-se a modificações na organização, estruturação e formulação das categorias e sub-categorias de análise, obtendo-se como produto final as apresentadas na tabela III.3.1.

De acordo com Vala (1986), no caso da análise incidir sobre material não solicitado, o investigador deve seleccionar o tipo de documentos com base em critérios que devem ser explicitados e fundamentados. Estes critérios podem ser de ordem quantitativa e/ou

qualitativa (Vala, 1986). Segundo o mesmo autor, para além de critérios metodológicos e teóricos o investigador pode recorrer sempre que possível a critérios decorrentes das teorias da amostragem, aumentando a representatividade e a aleatoriedade.

Nesta investigação o ***corpus* da análise** é constituído pelos manuais escolares do 11.º ano de escolaridade de Ciências da Terra e da Vida existentes no mercado livreiro português e pelos manuais de Biologia/Geologia - 11.º ano que foram editados no ano de 2004 tendo por base as orientações dos Novos Programas do Ensino Secundário. De acordo com os dados obtidos junto das editoras verificou-se que no ano lectivo 2003/2004 apenas foi comercializado um manual escolar de Ciências da Terra e da Vida. Consultando a página da Internet do Departamento do Ensino Secundário (URL15) foi possível verificar que para o ano lectivo 2004/2005 apenas existem no mercado português dois manuais para a disciplina de Biologia e Geologia – 11.º ano. Foram assim analisados três manuais diferentes, dois de uma mesma editora (Manual 1 e Manual 2) e dos mesmos autores e outro de uma editora diferente (Manual 3).

O principal critério que orientou a constituição do *corpus* de análise está relacionado com o facto de ser no 11.º ano que todos os alunos da área Científico-Tecnológica abordam a temática em estudo com mais pormenor, sendo que o número de alunos que opta por Geologia no 12.º ano é muito reduzido. Ao efectuar a análise de manuais elaborados tendo por base os antigos e os novos programas do Ensino Secundário pretende-se verificar até que ponto os autores dos manuais escolares são sensíveis às orientações programáticas, aos progressos na construção do conhecimento científico e às preocupações crescentes da sociedade em mudança. Os critérios de constituição do *corpus* de análise anteriormente referidos são de natureza qualitativa, mas a representatividade quantitativa é conseguida uma vez que foram analisados todos os manuais existentes no mercado português.

Contrariamente, ao que acontece com muitos estudos baseados na análise de conteúdo, as categorias e sub-categorias de análise não puderam ser operacionalizadas de acordo com duas ou mais perspectivas o que de algum modo dificulta a exploração do material a analisar. No nosso estudo o material foi analisado verificando de que modo os conhecimentos e conceitos são apresentados.

3.2. GUIÃO DE ENTREVISTA

Para identificar as estratégias e os conhecimentos mobilizados pelos professores na leccionação da temática "Os Combustíveis Fósseis", foi elaborado um guião de entrevista (tabela III.3.3). As questões que integram o guião de entrevista incidem sobre três aspectos que se consideram fundamentais para os conhecimentos e estratégias que os professores mobilizam aquando da leccionação de um dado conteúdo: formação inicial e contínua, manual escolar utilizado e os conhecimentos que se possui.

As entrevistas foram realizadas a professores do 11.º Grupo B, orientadores pedagógicos de estágio no ano lectivo 2004/2005, em escolas associadas à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Os professores participantes na investigação leccionaram pelo menos uma vez nos últimos cinco anos a disciplina de Ciências da Terra e da Vida e, no presente ano lectivo, leccionam a disciplina de Biologia e Geologia do 11.º ano de escolaridade. A opção de entrevistar professores orientadores de estágio relaciona-se com o facto destes constituírem importantes vectores no processo de formação dos professores e com o facto da orientação de núcleos de estágio permitir frequentemente práticas lectivas mais reflexivas quer do ponto teórico quer prático. Foram entrevistados seis professores orientadores de estágio cuja caracterização se encontra na tabela III.3.4.

No primeiro contacto estabelecido pessoalmente com os professores participantes nas entrevistas foram definidos em linhas gerais os objectivos do estudo, bem como foram fornecidas algumas indicações sobre o conteúdo de cada uma das questões que integram o guião da entrevista. As entrevistas foram realizadas na escola onde cada professor leccionava, no final do mês de Fevereiro e no início do mês de Março de 2005, numa sala de aula disponível e em horário estabelecido por mútuo acordo. De cada entrevista foi realizado um registo áudio e, posteriormente, procedeu-se à transcrição desse mesmo registo (Anexo I).

Tabela III.3.2- Guião de entrevista.

	Objectivos	Questões
Formação inicial e formação contínua	⇒ Conhecer o papel da formação inicial para o esclarecimento dos conteúdos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis.	Q1. Durante a sua formação inicial teve alguma cadeira onde os conteúdos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis fossem tratados com pormenor?
	⇒ Autoavaliar os conhecimentos que se possui.	Q2. Como classifica os seus conhecimentos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?
	⇒ Conhecer as necessidades de formação contínua nesta área do conhecimento.	Q3. Durante a sua carreira recebeu formação contínua sobre os conteúdos relativos à temática dos combustíveis fósseis? Qual? Q4. Alguma vez sentiu necessidade de receber formação contínua sobre questões relacionadas com a génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?
Análise do manual utilizado	⇒ Conhecer a avaliação que o professor faz do manual utilizado.	Q5. Quantas vezes já leccionou a disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano? Q6. Qual (ais) o (s) manual (ais) escolar (es) utilizado (s) aquando da leccionação da disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?
	⇒ Verificar se o professor detecta incorrecções e/ou explicações pouco claras no manual.	Q7. Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis detectou incorrecções e/ou explicações pouco claras no manual adoptado? Q8. De um modo geral como classificaria a abordagem apresentada pelo manual escolar à temática dos combustíveis fósseis?
Estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores	⇒ Conhecer as fontes de informação utilizadas pelo professor na construção de materiais.	Q9. Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis sentiu necessidade de construir materiais pessoais para abordar esses conteúdos? Porquê? Quais? Em que fontes de informação se baseou?
	⇒ Conhecer os conhecimentos e estratégias mobilizados pelos professores na leccionação desta temática.	Q10. Ao iniciar a abordagem desta unidade temática o que começaria por dizer, fazer ou perguntar aos seus alunos? Q11. Quais os conteúdos que considera fundamentais ter em consideração na leccionação desta temática? Como os organizaria?

Tabela III.3.3- Caracterização dos entrevistados.

	Sexo	**Idade**	**Habilitação académica**	**Tempo de docência**	**Experiência de orientação de estágio**
1	Feminino	34	Licenciatura em Biologia – Educacional	12 anos	1 ano
2	Masculino	34	Licenciatura em Biologia – Educacional	11 anos	5 anos
3	Feminino	43	Licenciatura em Geologia –Educacional	19 anos	7 anos
4	Masculino	39	Licenciatura em Geologia – Educacional	15 anos	1 ano
5	Feminino	35	Licenciatura em Biologia – Educacional	12 anos	3 anos
6	Feminino	40	Licenciatura em Biologia – Educacional	17 anos	8 anos

CAPÍTULO IV – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

1. ANÁLISE DE CONTEÚDO DOS MANUAIS ESCOLARES

Numa fase inicial e após várias leituras dos conteúdos a analisar, seleccionou-se e transcreveu-se para a grelha de análise as diferentes unidades de análise enquadrando-as nas sub-categorias estabelecidas *à priori*. Esta análise é apresentada nas tabelas IV.1.1, IV.1.3 e IV.1.5.

Posteriormente, foi necessário fazer uma síntese dos elementos constantes em cada sub-categoria de análise, a qual é apresentada de forma descritiva nas tabelas IV.1.2, IV.1.4 e IV.1.6, fazendo realçar o modo como cada manual apresenta os conteúdos relativos a cada uma das sub-categorias estabelecidas.

Com base nas sínteses construídas foi elaborada uma conclusão geral relativa aos resultados da análise de conteúdo de cada manual escolar, apontando, fundamentalmente, as principais incorrecções, as explicações pouco claras e os aspectos que deveriam ser mais explorados, ou explorados de uma outra forma.

Finalmente, foi realizada uma conclusão final sobre os resultados da análise de conteúdo efectuada aos três manuais, procurando compará-los nos diferentes aspectos que integram as diversas sub-categorias de análise.

1.1. ANÁLISE DE CONTEÚDO DO MANUAL 1

Tabela IV.1.1- Grelha de análise do manual escolar 1.

<table>
<tr><th colspan="3">Análise da temática: "Os combustíveis fósseis"</th></tr>
<tr><td colspan="3">N.º de páginas: 9</td></tr>
<tr><td colspan="3">Enquadramento geral na estrutura do manual: Rochas sedimentares / Diversidade e Classificação das rochas sedimentares / Combustíveis fósseis / Carvões / Petróleos</td></tr>
<tr><td colspan="3">Títulos e subtítulos: Combustíveis fósseis
Carvões
Petróleos</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ilustrações: 3 fotografias / 9 esquemas</td></tr>
<tr><th colspan="3">Análise de conteúdo</th></tr>
<tr><th colspan="2">Sub-categorias</th><th>Resultados</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Génese</td><td>A1a – Ambiente deposicional</td><td>"Em meios sedimentares, alimentados por grandes quantidades de detritos orgânicos, quando esses detritos, devido a um aprofundamento acelerado, ficam rapidamente isolados do ambiente oxidante, transformam-se em combustíveis fósseis."
"...em bacias costeiras lagunares ou em bacias lacustres, os detritos vegetais são abundantes e aprofundam rapidamente, sendo recobertos por sedimentos terrígenos."
"A evolução dessa matéria orgânica só é possível em meios muito especiais. Estes meios caracterizam-se por condições anaeróbias e são ambientes lagunares costeiros ou meios lacustres. Nessas bacias, à medida que ocorre a sedimentação, devido a fenómenos tectónicos, o fundo experimenta movimentos de subsidência..."
"Em períodos de subsidência lenta, a vegetação é abundante e há grande quantidade de detritos orgânicos. Esses detritos recobertos por depósitos argilosos finos, evoluem para carvões. Quando a subsidência é rápida, diminui a vegetação e também a deposição de detritos orgânicos."
"Em ambientes continentais propícios, geralmente pantanosos ou zonas de difícil drenagem de água, a parte inferior dos musgos e de outras plantas herbáceas transforma-se ... chamado turfa... e não evolui geralmente para verdadeiros carvões."
"Os petróleos formam-se, pois, em ambientes que permitem o desenvolvimento de plâncton abundante."</td></tr>
<tr><td>A1b – Produtividade primária</td><td>"Os carvões e os petróleos representam energia solar captada, armazenada e preservada durante milhões de anos em tecidos vegetais e animais."
"Os petróleos e os carvões resultam da transformação de matéria orgânica proveniente, essencialmente, do plâncton, para os petróleos, e da flora continental para os carvões."
"Os lípidos são abundantes nas algas, em esporos e em grãos de pólen e especialmente no plâncton. Admite-se que o material que se transforma em petróleo é constituído, principalmente, por organismos de pequenas dimensões em que o plâncton predomina."</td></tr>
</table>

	A2a – Factores condicionantes	*"Num ambiente privado de oxigénio... os detritos orgânicos são transformados mas escapam a uma mineralização completa."* *"As transformações são devidas à acção de microorganismos anaeróbios e às novas condições de temperatura e de pressão que, como sabe, aumentam com a profundidade."* *" O aumento do teor de carbono depende da idade da rocha (geralmente quanto mais antigos são os carvões mais ricos são em carbono) e das condições de pressão e de temperatura."* *"Todo o processo de formação de petróleos é extremamente lento, podendo durar várias dezenas de milhão de anos."*
	A2b – Principais transformações	*"A evolução dos detritos vegetais para carvões é devida a transformações bioquímicas e a transformações geoquímicas."* *"Transformações bioquímicas – durante o aprofundamento, sob a acção de bactérias anaeróbias, os detritos vegetais experimentam uma gelificação. As paredes celulares de natureza celulósica transformam-se numa pasta, na qual ainda se reconhecem melhor ou pior, os restos vegetais, de acordo com o grau de gelificação. Forma-se assim uma substância intersticial que aglutina os detritos maiores. À medida que o aprofundamento prossegue, o aumento da pressão e da temperatura provoca a morte das bactérias."* *"Transformações geoquímicas – nas novas condições de pressão e de temperatura há perda de água e substâncias voláteis e um enriquecimento relativo em carbono. Consoante o grau de evolução, formam-se assim diferentes carvões tais como: lignites, em que a estrutura fibrosa dos vegetais ainda é visível, depois hulhas e por fim antracite."* *"A evolução da matéria orgânica com a profundidade traduz-se por uma perda progressiva de matérias voláteis e um enriquecimento relativo em carbono. Este processo denomina-se incarbonização."* *"O plâncton acumulado, ao aprofundar-se, misturado com sedimentos finos, geralmente argilosos ou carbonatados, fica ao abrigo do oxigénio, não se verificando a sua oxidação. Neste ambiente anaeróbio é possível que a matéria orgânica seja degradada por acção microbiana em ácidos orgânicos. Estas transformações ocorrem a temperaturas inferiores ou iguais a 30 ºC, libertando-se gases como o CO_2, H_2S e CH_4. A profundidades próximas dos 2000 a 3000 m, onde as temperaturas oscilam entre os 80 e os 120 ºC, podem formar-se hidrocarbonetos líquidos e alguns hidrocarbonetos gasosos. Esta zona propícia à formação de hidrocarbonetos líquidos chama-se 'janela do petróleo'. Quando a temperatura ultrapassa os 150 ºC, formam-se apenas produtos gasosos."*
	A2c – Produtos resultantes	*"A turfa é produto carbonoso rico em matérias voláteis, ..." "A turfa é o produto menos evoluído, com enorme quantidade de água e de substâncias voláteis e baixa percentagem de carbono."* *"A matéria orgânica acumulada, proveniente essencialmente de flora continental, é rica em celulose e lenhina e evolui pela diagénese para carvões denominados carvões húmicos."* *"Embora o petróleo não seja uma rocha no sentido comum do termo, ele encontra-se exclusivamente no interior de rochas sedimentares."* *"Os produtos petrolíferos naturais incluem materiais gasosos, líquidos e sólidos. Os produtos sólidos designam-se por asfaltos ou betumes, os líquidos por petróleo bruto ou nafta e os gasosos por gás natural."*
Composição	**B1a** – Noção de maceral	
	B1b – Matéria mineral do carvão	
	B2a – Hidrocarbonetos líquidos, sólidos e gasosos	*"A análise química do petróleo... mostra que é constituído, essencialmente, por misturas de hidrocarbonetos que derivam principalmente da parte lipídica da matéria orgânica."*

	B2b – Influência dos processos de migração	*"Sob a influência de pressões, os hidrocarbonetos fluidos como são pouco densos, migram da rocha-mãe, acumulando-se em rochas porosas e permeáveis (arenitos, conglomerados, rochas carbonatadas) que constituem a rocha-armazém ou rocha-reservatório. Sobre esta rocha existe uma camada impermeável (rochas argilosas) que impede a migração e dispersão do petróleo até à superfície. Esta barreira impermeável designa-se por rocha-cobertura."* *"A posição da água, do petróleo e dos gases no jazigo, corresponde à ordem das densidades respectivas: por baixo a água, depois o petróleo e finalmente o gás."*
Classificação	**C1a** – Parâmetros utilizados	*"Na caracterização dos carvões, além das propriedades químicas e físicas, como cor, brilho, densidade, dureza, é vulgar a determinação da relação entre a quantidade de substâncias voláteis e a de carbono total."*
	C1b – Principais classes de carvão	*"As lignites têm percentagens de matérias voláteis elevadas, enquanto que a riqueza em carbono em relação às hulhas e à antracite é mais baixa."* *"A antracite... tem elevada percentagem de carbono, atingindo, por vezes, mais de 90% do seu peso total, enquanto que a percentagem de voláteis não ultrapassa os 10%. Daí que por combustão não forme fumos e liberte maior quantidade de calor que os outros carvões. A antracite é considerada uma rocha metamórfica." "Antracite – cor negra, arde com dificuldade, sem chama nem fumo, grande poder calorífico, percentagem de carbono elevada podendo ser superior a 90%, pobre percentagem de compostos voláteis (1% a 10%), compacta com brilho submetálico a metálico, bom combustível."* *"Lignite – cor castanha ou negra, arde facilmente, chama fuliginosa, percentagem em carbono relativamente baixa, 45%, podendo atingir 60% a 70%, percentagem de compostos voláteis alta, superior a 45%, percentagem de água elevada, por vezes com aspecto de madeira, mau combustível."* *"Hulhas – cor negra, arde facilmente com pequena libertação de fumo, elevado poder calorífico, percentagem de carbono elevada podendo atingir 80 a 90%, a percentagem de compostos voláteis é abundante (20% a 60%) nas hulhas gordas ou betuminosas escassa (10% a 20%) nas hulhas magras. Leitos brilhantes, constituídos predominantemente por uma substância intersticial, alternados com leitos baços de detritos lenho-celulósicos. Bom combustível, por destilação liberta gases combustíveis e forma alcatrão e coque."*
Utilização	**D1a** – Necessidades energéticas actuais	*"Actualmente, os combustíveis fósseis consumidos em cada ano correspondem a um período de formação de um milhão de anos."*
	D1b – Reservas e recursos existentes	*"Calcula-se que as reservas mundiais de carvão correspondem a 950 milhares de milhão de toneladas. Ao ritmo de extracção actual, essas reservas devem dar para mais de 275 anos. As fontes de gás natural devem esgotar-se em 400 anos."*
	D1c – Principais aplicações	
	D2a – Contexto de apresentação da temática	*A temática surge enquadrada no capítulo: Rochas Sedimentares – Combustíveis Fósseis, sendo apresentada sem qualquer problematização.*
	D2b – Desenvolvimento de novas tecnologias e impactes ambientais (CTSA)	*"Na extracção de produtos petrolíferos, normalmente 80 a 85% do petróleo bruto permanece na rocha-reservatório, não fluindo nem sendo possível bombeá-lo. Um conjunto de métodos engenhosos, designados colectivamente por técnicas de recuperação assistida, foram inventados para recuperar esse petróleo (fluxo de água, injecção de gás, aquecimento)." "Métodos mais recentes, ainda em fase experimental, envolvem o uso de solventes químicos para dissolver e remover o petróleo da rocha-reservatório"* *"Isto equivale a dizer que estas fontes de energia não são renováveis, além de que são muito poluentes, pelo que seria útil para a Humanidade substituí-las, pelo menos parcialmente, por fontes de energia renováveis e menos poluentes."*

Tabela IV.1.2- Síntese dos resultados relativos à análise do manual escolar 1.

Sub-categorias	Síntese dos resultados
Ambiente deposicional	O ambiente deposicional caracteriza-se pela presença de condições anaeróbias. A formação dos carvões ocorre em bacias costeiras lagunares ou em bacias lacustres. A formação do carvão está associada a sedimentos argilosos finos. Em ambientes continentais pantanosos de difícil drenagem de água a turfa não evolui para verdadeiros carvões. O petróleo forma-se em ambientes que permitam o desenvolvimento de plâncton abundante.
Produtividade primária	Os carvões e os petróleos representam energia solar captada, armazenada e preservada durante milhões de anos em tecidos vegetais e animais. Os petróleos resultam da transformação de matéria orgânica proveniente, essencialmente, do plâncton, e os carvões da flora continental.
Factores condicionantes	As condições anaeróbias são fundamentais para a formação dos combustíveis fósseis, permitindo uma transformação da matéria orgânica sem que haja uma mineralização completa. A pressão e a temperatura que aumentam com a profundidade, o tempo e a actividade dos microorganismos anaeróbios são os factores condicionantes da evolução da matéria orgânica.
Principais transformações	As transformações bioquímicas recebem a designação de gelificação e são provocadas pela acção de bactérias anaeróbias. As transformações geoquímicas caracterizam-se pela perda de água e de substâncias voláteis e por um enriquecimento relativo em carbono. Permitem a formação dos diferentes tipos de carvão. As transformações geoquímicas são apresentadas como sinónimo de incarbonização. Na formação do petróleo, o plâncton num ambiente anaeróbio é degradado em ácidos orgânicos. A formação dos diferentes tipos de hidrocarbonetos é apresentada de acordo com a temperatura: inferiores ou iguais a 30ºC – ocorre formação de gases como o dióxido de carbono, sulfureto de hidrogénio e metano; entre os 80ºC e os 120ºC – formam-se hidrocarbonetos líquidos e alguns gasosos (janela petrolífera); superiores a 150ºC – formam-se produtos gasosos.
Produtos resultantes	A turfa é considerada o produto menos evoluído da evolução da matéria orgânica. O petróleo é apresentado como uma mistura de hidrocarbonetos. Os produtos petrolíferos sólidos são designados por asfaltos ou betumes, os líquidos por petróleo bruto ou nafta e os gasosos por gás natural. Os carvões húmicos formam-se em resultado da evolução da matéria orgânica rica em celulose e em lenhina proveniente da flora continental.
Noção de maceral	Não é mencionada.

Matéria Mineral do carvão	Não é mencionada.
Hidrocarbonetos líquidos, sólidos e gasosos	O petróleo é apresentado como uma mistura de hidrocarbonetos.
Influência dos processos de migração	A densidade dos hidrocarbonetos e a pressão são os principais factores que condicionam a migração. A acumulação dos hidrocarbonetos ocorre em rochas porosas e permeáveis – rocha armazém ou rocha reservatório. A migração e a dispersão do petróleo são limitadas pela existência de rochas impermeáveis – rocha cobertura.
Parâmetros utilizados	Para a caracterização dos carvões são consideradas as propriedades químicas e físicas, como cor, brilho, densidade, dureza, e a determinação da relação entre a quantidade de substâncias voláteis e a de carbono total.
Principais classes de carvão	Nos esquemas, como classes de carvão são apresentadas as lignites, as hulhas (hulha gorda, meio gorda e magra) e a antracite. A antracite é considerada como uma rocha metamórfica. Ao longo do texto a turfa é considerada como um carvão.
Necessidades energéticas actuais	Os combustíveis fósseis consumidos por ano actualmente correspondem a um período de formação de um milhão de anos.
Reservas e recursos existentes	As reservas mundiais de carvão correspondem a 950 milhares de milhão de toneladas. Essas reservas devem dar para mais de 275 anos. As fontes de gás natural devem esgotar-se em 400 anos.
Principais aplicações	Não são mencionadas.
Contexto de apresentação da temática	A temática surge no âmbito da classificação das rochas sedimentares sem qualquer problematização.
Desenvolvimento de novas tecnologias e impactes ambientais (CTSA)	Os combustíveis fósseis são fontes de energia não renováveis e muito poluentes deviam ser substituídos, pelo menos em parte, por fontes de energia renováveis e menos poluentes. Para aumentar a eficácia da exploração do petróleo existem técnicas de recuperação assistida (fluxo de água, injecção de gás, aquecimento e uso de solventes químicos).

PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA ANÁLISE DO MANUAL 1:

- Restringe a formação dos carvões a bacias costeiras lagunares ou a bacias lacustres.
- Associa a formação do carvão apenas a um determinado tipo de litologia (sedimentos argilosos finos).
- Transmite a ideia que o papel dos microorganismos anaeróbios é fundamental ao longo de todas as etapas do processo de incarbonização e de maturação.
- Não faz qualquer referência à importância das condições de aerobiose para a evolução da matéria orgânica, considerando que a matéria orgânica só evolui para carvões e para petróleos em condições anaeróbias.
- Nas transformações bioquímicas não é feita qualquer referência à humificação a qual pode ser seguida pela gelificação bioquímica.
- Considera que a gelificação é o resultado da actividade dos microorganismos anaeróbios.
- Nas transformações que ocorrem ao longo da incarbonização e da maturação apenas é mencionado um enriquecimento relativo em carbono e a perda de água e de outras substâncias voláteis, não sendo referidas outras mudanças químicas e não fazendo referência a qualquer mudança física e petrográfica ou óptica.
- Transmite a ideia que o plâncton é formado apenas por seres vivos pertencentes ao reino das plantas e dos animais.
- Não faz qualquer referência à composição do gás natural, o qual é simplesmente apresentado como um produto petrolífero gasoso, não sendo indicadas outras possíveis origens para este gás.
- Não refere a importância dos processos de migração para as alterações que podem ocorrer na composição do petróleo.
- Os betumes são apresentados como um produto petrolífero sólido, quando apenas deveriam ser indicados como uma fracção da matéria orgânica extractável com solventes orgânicos.
- Os produtos petrolíferos líquidos são designados por petróleo bruto ou nafta.
- Não é feita qualquer referência aos carvões sapropélicos.
- Não esclarece que os carvões húmicos resultam da evolução da turfa.

- Não esclarece se, actualmente, a turfa é ou não considerada uma classe de carvão; apresenta uma certa ambivalência quanto a este aspecto.
- Na classificação dos carvões apresenta as seguintes classes: lignites, hulhas (gorda, meio gorda, magra) e antracite.
- Não esclarece que na classificação dos carvões são considerados três aspectos: grau de incarbonização, tipo e categoria.
- A antracite é considerada uma rocha metamórfica.
- Não é feita qualquer referência aos macerais, bem como à existência de matéria mineral no carvão, o que condiciona consideravelmente a sua utilização industrial.
- Apresenta alguns dados relativos às reservas e recursos existentes, mas não apresenta dados relativos às necessidades energéticas actuais.
- A temática surge sem qualquer problematização.
- Não é feita qualquer referência à utilização dos combustíveis fósseis e às suas aplicações no dia-a-dia.
- Apresenta algumas técnicas de recuperação assistida do petróleo, no sentido de aumentar a optimização do processo de exploração.

1.2. ANÁLISE DE CONTEÚDO DO MANUAL 2

Tabela IV.1.3- Grelha de análise do manual escolar 2.

<table>
<tr><th colspan="3">Análise da temática: "Os combustíveis fósseis"</th></tr>
<tr><td colspan="3">N.º de páginas: 8</td></tr>
<tr><td colspan="3">Enquadramento geral na estrutura do manual: Rochas sedimentares / Classificação das rochas sedimentares / Rochas biogénicas / Carvões e Petróleos
+
Recursos geológicos – exploração sustentada / Fontes de energia / Combustíveis fósseis</td></tr>
<tr><td colspan="3">Títulos e subtítulos: Rochas biogénicas: Carvões e Petróleos</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ilustrações: 8 fotografias / 9 esquemas</td></tr>
<tr><th colspan="3">Análise de conteúdo</th></tr>
<tr><th colspan="2">Sub-categorias</th><th>Resultados</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Génese</td><td>A1a – Ambiente deposicional</td><td>"Em meios sedimentares alimentados por grandes quantidades de detritos orgânicos provenientes dos seres considerados (fotossintéticos) quando esses detritos, devido a um aprofundamento acelerado, ficam rapidamente isolados do ambiente oxidante, transformam-se, de acordo com as condições e com a natureza dos detritos, em carvões ou em petróleo."
"Estes meios caracterizam-se por condições anaeróbias e são ambientes lagunares costeiros ou meios lacustres."
"Em alguns ambientes continentais propícios, geralmente pantanosos, ou zonas de difícil drenagem de água, ... ocorre a formação de turfa... que não evolui, geralmente, para verdadeiros carvões."
"Em alguns ambientes continentais propícios geralmente pantanosos, ou em zonas de difícil drenagem de água, a parte inferior dos musgos e de outras plantas herbáceas transforma-se... em turfa."
"...em bacias costeiras lagunares ou em bacias lacustres, os detritos vegetais são abundantes e aprofundam rapidamente, sendo recobertos por sedimentos terrígenos..."
"A disposição em camadas sugere que os depósitos se repetem de maneira cíclica. Em períodos de subsidência lenta, a vegetação é abundante e há grande quantidade de detritos orgânicos. Esses detritos, recobertos por depósitos argilosos finos, evoluem para carvões. Quando a subsidência é rápida, diminui a vegetação e também a deposição de detritos orgânicos."
"Os petróleos formam-se, pois, em ambientes que permitem o desenvolvimento de plâncton abundante."</td></tr>
<tr><td>A1b – Produtividade primária</td><td>"... os carvões, o petróleo e o gás natural são designados por combustíveis fósseis, pois representam energia solar captada, armazenada e preservada durante milhões de anos."
"A matéria inicial foi, pois, matéria proveniente de seres vivos, principalmente seres fotossintéticos."
"...a matéria orgânica acumulada, proveniente essencialmente de flora continental, é rica em celulose e lenhina e evolui, por diagénese, para carvões denominados carvões húmicos."
"Os lípidos são abundantes nas algas, em esporos e em grãos de pólen e especialmente no plâncton."</td></tr>
</table>

	A2a – Factores condicionantes	*"As transformações são devidas à acção de microrganismos anaeróbios e às novas condições de temperatura e de pressão que, como sabe, aumentam com a profundidade." "Neste ambiente (privado de oxigénio), os detritos orgânicos são transformados, mas escapam a uma mineralização completa." "O aumento do teor de carbono depende da idade (geralmente quanto mais antigos são os carvões mais ricos são em carbono) e das condições de temperatura e de pressão a que estiveram sujeitos." "Todo o processo de formação de petróleos é extremamente lento, podendo durar várias dezenas de milhão de anos." "No processo de formação destes combustíveis fósseis intervêm factores importantes como o calor, a pressão, o tempo e a acção de bactérias anaeróbias."*
	A2b – Principais transformações	*"Durante o aprofundamento, sob acção de bactérias anaeróbias, os detritos vegetais são transformados, formando uma pasta, na qual ainda se reconhecem, melhor ou pior, restos vegetais, pasta essa que aglutina os detritos maiores." "A medida que o aprofundamento prossegue... ocorre a morte das bactérias... há perda de água e de substâncias voláteis e um enriquecimento relativo em carbono. Este processo denomina-se incarbonização." "A matéria orgânica acumulada à profundidade de 2000 a 3000 m, em ambiente anaeróbio e em determinadas condições de temperatura, é transformada em hidrocarbonetos líquidos que constituem o petróleo e em hidrocarbonetos gasosos e sólidos que ficam em solução."*
	A2c – Produtos resultantes	*"... num produto carbonoso, rico em matérias voláteis, chamado turfa." "A turfa é o produto menos evoluído, com enorme quantidade de água e de substâncias voláteis e baixa percentagem de carbono." "Consoante o grau de evolução, formam-se assim diferentes carvões tais como: lignitos, em que a estrutura fibrosa dos vegetais ainda é visível, depois hulhas e, por fim, antracito." "A matéria orgânica acumulada, proveniente essencialmente de flora continental, é rica em celulose e evolui, por diagénese, para carvões denominados carvões húmicos." "Embora o petróleo não seja uma rocha no sentido comum do termo, uma vez que é líquido, ele encontra-se exclusivamente no interior de rochas sedimentares e forma-se a partir de sedimentos biogénicos e, por isso, o seu estudo é feito, muitas vezes, juntamente com as rochas sedimentares." "Os produtos petrolíferos naturais incluem materiais gasosos, líquidos e sólidos nas condições normais de pressão e de temperatura. Os produtos sólidos designam-se por asfaltos ou betumes, os líquidos por petróleo bruto ou nafta e os gasosos por gás natural."*
Composição	**B1a** – Noção de maceral	
	B1b – Matéria mineral do carvão	
	B2a – Hidrocarbonetos líquidos, sólidos e gasosos	*"A análise química do petróleo (do latim petroleu= óleo de pedra) mostra que é constituído, essencialmente, por misturas de hidrocarbonetos que derivam, principalmente, da parte lipídica da matéria orgânica."*
	B2b – Influência dos processos de migração	*"Sob a influência de pressões, os hidrocarbonetos fluidos, como são pouco densos, migram da rocha-mãe, acumulando-se em rochas porosas e permeáveis (arenitos, conglomerados, rochas carbonatadas) que constituem a rocha-armazém ou rocha-reservatório. Sobre esta rocha existe uma camada impermeável (rochas argilosas) que impede a migração e dispersão do petróleo até à superfície. Esta barreira impermeável designa-se por rocha-cobertura." "A rocha-armazém, a rocha-cobertura e outras estruturas que impedem o movimento do petróleo até à superfície constituem, pois, a armadilha petrolífera." "A disposição da água, do petróleo e dos gases no jazigo corresponde à ordem das densidades respectivas: por baixo a água, depois o petróleo e finalmente o gás."*

Classificação	**C1a** – Parâmetros utilizados	*"Na caracterização dos carvões, além das propriedades químicas e físicas, como cor, brilho, densidade, dureza, é vulgar a determinação da relação entre a quantidade de substâncias voláteis e a de carbono total."*
	C1b – Principais classes de carvão	*"Os lignitos têm percentagens de matérias voláteis elevadas, enquanto que a riqueza em carbono em relação às hulhas e ao antracito é mais baixa."* *"O antracito, pelo contrário, tem elevada percentagem de carbono, atingindo, por vezes, mais de 90% do seu peso total, enquanto que a percentagem de voláteis não ultrapassa os 10%. Daí que, por combustão, não forme fumos e liberte maior quantidade de calor do que os outros carvões."*
Utilização	**D1a** – Necessidades energéticas actuais	*"Num mundo cada vez mais industrializado, os recursos energéticos tornaram-se vitais."* *"Cerca de 75% da energia consumida a nível mundial provém dos combustíveis fósseis."* *"A utilização destes recursos como fonte de energia tem vindo a aumentar a uma taxa de 2 a 3% por ano, não sendo previsível, a curto prazo, uma diminuição no seu consumo pelos países mais industrializados."* *"Devido à morosidade dos processos que envolvem a formação destes recursos energéticos, os combustíveis fósseis são considerados recursos não renováveis."*
	D1b – Reservas e recursos existentes	*Apresenta vários gráficos com indicação da distribuição mundial das reservas de combustíveis fósseis.* *Petróleo – "Reservas para mais de 100 anos."* *Carvão – "Vastas reservas (225-900)"*
	D1c – Principais aplicações	
	D2a – Contexto de apresentação da temática	*A temática surge num capítulo do manual: Recursos Geológicos – exploração sustentada: fontes de energia. Apresenta uma actividade relativa a uma crise energética na antiga Roma.*
	D2b – Desenvolvimento de novas tecnologias e impactes ambientais (CTSA)	*"... a utilização em larga escala deste tipo de recursos pode conduzir a graves problemas, quer sociais, quer ambientais."* *"Todos os combustíveis fósseis são constituídos por compostos de carbono, pelo que durante as reacções de combustão são emitidas enormes quantidades de dióxido de carbono. Este gás é um dos que mais contribui para o efeito de estufa, que origina enormes impactes ao nível climático. Também a contaminação dos solos e a poluição dos ecossistemas aquáticos (por exemplo, derrames de crude) são outros impactes não negligenciáveis que podem resultar da utilização deste tipo de fontes de energia."* *Apresenta um gráfico relativo às emissões de dióxido de carbono por unidade de energia produzida a partir de várias fontes de energia.*

Tabela IV.1.4- Síntese dos resultados relativos à análise do manual escolar 2.

Sub-categorias	Síntese dos resultados
Ambiente deposicional	O ambiente deposicional caracteriza-se pela presença de condições anaeróbias. A formação dos carvões ocorre em meios costeiros lagunares ou em meios lacustres. A formação do carvão está associada a sedimentos argilosos finos. Em ambientes continentais pantanosos de difícil drenagem de água a turfa não evolui para verdadeiros carvões. O petróleo forma-se em ambientes que permitam o desenvolvimento de plâncton abundante.
Produtividade primária	Os carvões e os petróleos representam energia solar captada, armazenada e preservada durante milhões de anos. A matéria orgânica que está na base da formação do carvão e do petróleo é proveniente de seres vivos, principalmente organismos fotossintéticos. Os petróleos resultam da transformação de matéria orgânica proveniente, essencialmente, do plâncton, e os carvões da flora continental.
Factores condicionantes	As condições anaeróbias são fundamentais para a formação dos combustíveis fósseis, permitindo uma transformação da matéria orgânica sem que haja uma mineralização completa. A pressão e a temperatura que aumentam com a profundidade, o tempo e a actividade dos microorganismos anaeróbios são os factores condicionantes da evolução da matéria orgânica.
Principais transformações	A transformação dos detritos vegetais ocorre sob a acção de bactérias anaeróbias, formando uma pasta. A incarbonização é apresentada como uma consequência do aprofundamento e do aumento da pressão e da temperatura e caracteriza-se pela perda de água e de substâncias voláteis e um enriquecimento relativo em carbono.
Produtos resultantes	A turfa é considerada o produto menos evoluído da evolução da matéria orgânica. Os carvões húmicos formam-se em resultado da evolução da matéria orgânica rica em celulose e em lenhina proveniente da flora continental. Ao longo da incarbonização, consoante o grau de evolução formam-se diferentes carvões: lignitos, hulhas e antracitos. O petróleo é apresentado como uma mistura de hidrocarbonetos. Os produtos petrolíferos sólidos são designados por asfaltos ou betumes, os líquidos por petróleo bruto ou nafta e os gasosos por gás natural.
Noção de maceral	Não é mencionada.
Matéria Mineral do carvão	Não é mencionada.
Hidrocarbonetos líquidos, sólidos e	O petróleo é apresentado como uma mistura de hidrocarbonetos resultante da parte lípidica da matéria orgânica.

gasosos	
Influência dos processos de migração	A densidade dos hidrocarbonetos e a pressão são os principais factores que condicionam a migração. A acumulação dos hidrocarbonetos ocorre em rochas porosas e permeáveis – rocha armazém ou rocha reservatório. A migração e a dispersão do petróleo são limitadas pela existência de rochas impermeáveis – rocha cobertura.
Parâmetros utilizados	Para a caracterização dos carvões são consideradas as propriedades químicas e físicas, como cor, brilho, densidade, dureza, e a determinação da relação entre a quantidade de substâncias voláteis e a de carbono total.
Principais classes de carvão	Nos esquemas, como classes de carvão são apresentados os lignitos, as hulhas e o antracito. Em algumas partes do texto a turfa é considerada como um carvão.
Necessidades energéticas actuais	A sociedade actual está dependente da utilização dos combustíveis fósseis, a qual está a aumentar a uma taxa de 2% a 3% por ano.
Reservas e recursos existentes	Em vários gráficos é apresentada a distribuição mundial das reservas de combustíveis fósseis.
Principais aplicações	Não são mencionadas.
Contexto de apresentação da temática	A temática surge num capítulo do manual: Recursos Geológicos – exploração sustentada: fontes de energia – pelo que é apresentado um documento relativo a uma crise energética na antiga Roma.
Desenvolvimento de novas tecnologias e impactes ambientais (CTSA)	A utilização dos combustíveis fósseis acarreta graves problemas quer sociais quer ambientais. Contribuem para a contaminação dos solos e dos ecossistemas aquáticos. Durante a combustão são libertadas para a atmosfera grandes quantidades de dióxido de carbono, que contribuem para o efeito de estufa.

PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA ANÁLISE DO MANUAL 2:

- Restringe a formação dos carvões a bacias costeiras lagunares ou a bacias lacustres.
- Associa a formação do carvão apenas a um determinado tipo de litologia (sedimentos argilosos finos).
- Transmite a ideia que o papel dos microorganismos anaeróbios é fundamental ao longo de todas as etapas do processo de incarbonização e de maturação.
- Não faz qualquer referência à importância das condições de aerobiose para a evolução da matéria orgânica, considerando que a matéria orgânica só evolui para carvões e para petróleos em condições anaeróbias.
- Nas transformações que ocorrem ao longo da incarbonização e da maturação apenas é mencionado um enriquecimento relativo em carbono e a perda de água e de outras substâncias voláteis, não sendo referidas outras mudanças químicas e não fazendo referência a qualquer mudança física e petrográfica ou óptica.
- Não faz qualquer referência à composição do gás natural, o qual é simplesmente apresentado como um produto petrolífero gasoso, não sendo indicadas outras possíveis origens para este gás.
- Não refere a importância dos processos de migração para as alterações que podem ocorrer na composição do petróleo.
- Os betumes são apresentados como um produto petrolífero sólido, quando apenas deveriam ser indicados como uma fracção da matéria orgânica extractável com solventes orgânicos.
- Os produtos petrolíferos líquidos são designados por petróleo bruto ou nafta.
- Não é feita qualquer referência aos carvões sapropélicos.
- Não esclarece que os carvões húmicos resultam da evolução da turfa.
- Não esclarece se actualmente a turfa é ou não considerada uma classe de carvão, apresenta uma certa ambivalência quanto a este aspecto.
- Na classificação dos carvões apresenta as seguintes classes: lignitos, hulhas e antracito.
- Não esclarece que na classificação dos carvões são considerados três aspectos: grau de incarbonização, tipo e categoria.

- Não é feita qualquer referência aos macerais, bem como à existência de matéria mineral no carvão, o que condiciona consideravelmente a sua utilização industrial.
- Apresenta alguns dados relativos às reservas e recursos existentes e apresenta dados relativos às necessidades energéticas actuais.
- A temática surge enquadrada numa problemática energética.
- Não é feita qualquer referência à utilização dos combustíveis fósseis e às suas aplicações no dia-a-dia.
- Não é feita qualquer referência ao desenvolvimento de novas tecnologias de exploração e utilização dos combustíveis fósseis.
- Refere que durante a utilização dos combustíveis fósseis ocorre apenas a emissão de dióxido de carbono.

1.3. ANÁLISE DE CONTEÚDO DO MANUAL 3

Tabela IV.1.5- Grelha de análise do manual escolar 3.

Análise da temática: "Os combustíveis fósseis"		
N.º de páginas: *6*		
Enquadramento geral na estrutura do manual: *As rochas sedimentares / Classificação das rochas sedimentares / Rochas sedimentares biogénicas + Recursos energéticos / Combustíveis fósseis – problemas gerados pelo seu consumo*		
Títulos e subtítulos: *Rochas sedimentares biogénicas*		
Ilustrações: *4 fotografias / 2 esquemas /4 gráficos*		
Análise de conteúdo		
Sub-categorias		**Resultados**
Génese	**A1a** – Ambiente deposicional	*Os carvões "...resultam da decomposição lenta de restos de plantas superiores, em ambientes aquáticos pouco profundos e pouco oxigenados – como por exemplo, pântanos – ao longo de milhões de anos."* *"... após a sua deposição em ambientes aquáticos pouco profundos, pouco agitados e pobres em oxigénio (lagos, mares...)."* *"A rápida deposição de finas camadas de sedimentos (por exemplo, de argilas ou de carbonatos) isola estes restos orgânicos da acção das bactérias decompositoras. Assim, o petróleo forma-se no seio de camadas sedimentares de natureza argilosa ou carbonatada que, por esta razão, são designadas rocha-mãe."*
	A1b – Produtividade primária	*O carvão resulta ... "de restos de plantas superiores, ..."* *O principal factor para a formação do petróleo é "...a preservação de minúsculos seres vivos (essencialmente, fitoplâncton e zooplâncton)... "*
	A2a – Factores condicionantes	*"...ambientes aquáticos pouco profundos e pouco oxigenados... "* *"... a compactação e o afundimento... "* *"Se este aquecimento continuar por um período de tempo mais longo, ou se a temperatura aumentar... "*
	A2b – Principais transformações	*"A sua diagénese (da turfa), origina, progressivamente, carvões mais ricos em carbono e, consequentemente, mais pobres em oxigénio e hidrogénio, o que faz deles importantes combustíveis fósseis."* *"... provocam alterações físico-químicas, de tal maneira que, se as camadas ricas em matéria orgânica a temperaturas da ordem dos 120 ºC, durante dezenas, ou mesmo, centenas de milhares de anos, toda aquela matéria orgânica se transformará num líquido negro e espesso que designamos petróleo."* *"...o petróleo vai ficando cada vez mais fluido e mais leve, acabando por se transformar totalmente em hidrocarbonetos gasosos – gás natural."*
	A2c – Produtos resultantes	*"Este sedimento biogénico, de origem vegetal, a partir do qual se irá formar o carvão, designa-se turfa."* *"Carvão – forma-se por decomposição anaeróbia de detritos de plantas superiores, constituindo um*

		importante combustível fóssil." *"O petróleo é, com frequência, classificado como uma rocha sedimentar de origem biogénica. Contudo, classificações actuais não o consideram uma rocha."* *"... o petróleo forma-se, a partir de material orgânico, nos poros de rochas sedimentares sendo, por isso, considerado um fluido de origem biogénica, com uma percentagem variável de gases."* *"Nas rochas sedimentares concentram-se importantes recursos como o petróleo e o gás natural."*
Composição	**B1a** – Noção de maceral	
	B1b – Matéria mineral do carvão	
	B2a – Hidrocarbonetos líquidos, sólidos e gasosos	*"...de acordo com a legislação petrolífera portuguesa, o termo petróleo designa 'toda a concentração ou mistura natural de hidrocarbonetos líquidos ou gasosos'. Correntemente, os hidrocarbonetos líquidos designam-se petróleo e os hidrocarbonetos gasosos gás natural."* *"Os hidrocarbonetos são compostos químicos constituídos por átomos de hidrogénio e de carbono, como, por exemplo, o propano (C_3H_8) e o butano (C_4H_{10})."*
	B2b – Influência dos processos de migração	*"O petróleo depois de formado tende a migrar para níveis superiores, dado ser menos denso que os restantes fluidos das rochas-mãe, ..."* *"Se o petróleo migrar livremente, sem obstáculos geológicos à sua passagem, o mais provável é que venha a perder-se na superfície terrestre ou na superfície da água."* *"...rochas de muito baixa permeabilidade – designadas rochas-cobertura, que impedem a ascensão do petróleo, funcionando como barreiras (é o caso das rochas argilosas e salinas);"* *"Contudo, para que ocorram acumulações consideráveis de petróleo é necessária a presença de estruturas geológicas favoráveis a essa acumulação – as armadilhas petrolíferas – de que são exemplos as falhas e as dobras,..."* *"...rochas porosas e permeáveis, designadas rochas-armazém (como, por exemplo, arenitos e calcários), nas quais o petróleo tende a armazenar-se."*
Classificação	**C1a** – Parâmetros utilizados	*"...teor em água...", "...poder combustível...", "...teor de carbono...", "valor energético...", "...de brilho...", "...rocha negra..."*
	C1b – Principais classes de carvão	*Lignite – "Apresenta elevado teor em água, pelo que o seu poder combustível é fraco." "Rocha castanha ou negra, com a aparência da madeira; arde facilmente, formando uma chama fuliginosa."* *Carvão betuminoso – "Apresenta um elevado teor de carbono (80 a 90%), o que faz dele o carvão de maior interesse económico, dado o seu elevado valor energético e a relativa facilidade de exploração."* *"Rocha negra de aspecto bandado (leitos brilhantes, de brilho gorduroso a submetálico, alternam com leitos mais baços); arde facilmente com libertação de fumo."* *Antracite – "Contém mais de 90% de carbono o que o torna um carvão de difícil combustão." "Rocha negra, de brilho submetálico a metálico, compacta e com fractura conchoidal; arde com dificuldade, praticamente sem chama e sem fumos."*
Utilização	**D1a** – Necessidades energéticas actuais	*(Num gráfico são apresentados os valores do consumo de energia ao longo dos tempos em consumo diário per capita (milhares de quilocalorias).)* *"A Natureza, ainda hoje, produz petróleo, mas o Homem consegue consumi-lo a uma velocidade muito superior àquela com que ele é produzido. Trata-se, pois de um recurso não-renovável."*
	D1b – Reservas e recursos existentes	*"Admite-se que o carvão, utilizado de forma intensiva desde finais do século XIX, possa durar, aproximadamente, mais alguns séculos (230 anos), a uma velocidade de consumo semelhante à actual ou inferior. Relativamente ao petróleo, a situação é bem mais preocupante. As reservas conhecidas deste combustível apenas darão para suprir as necessidades do Homem durante algumas décadas deste século (50 anos)." (Num gráfico é feita uma previsão da duração do gás natural para mais 85 anos).*
	D1c – Principais	*"O carvão é utilizado, principalmente, nas centrais termoeléctricas, onde é queimado para a produção*

	aplicações	*de energia."*
	D2a – Contexto de apresentação da temática	*A temática surge enquadrada no capítulo: Exploração Sustentada dos Recursos Geológicos, mas é apresentada sem qualquer problematização.*
	D2b – Desenvolvimento de novas tecnologias e impactes ambientais (CTSA)	*"...sabe-se, actualmente, que a utilização destes combustíveis acarreta graves problemas ambientais, como as chuvas ácidas, o aquecimento global ou a degradação da camada de ozono."* *"Um dos compostos mais frequentes no carvão é o enxofre (que ocorre, geralmente, sob a forma de pirite, cuja fórmula química é FeS_2) que durante a queima é libertado para a atmosfera, sob a forma de dióxido de enxofre. Este composto, reagindo com a água existente na atmosfera, origina ácido sulfúrico, que, quando precipita, origina chuva ácida.* *"A produção de dióxido de carbono (CO_2) é outra das graves consequências da utilização dos combustíveis fósseis ... A presença do CO_2 na atmosfera, juntamente com o vapor e outros gases, ajuda a manter a temperatura dentro de valores estáveis para o equilíbrio do nosso Planeta, funcionando como uma camada isolante, que ajuda a reter algum do calor que vem do Sol... Á medida que se vai acumulando na atmosfera, a Terra arrefece menos rapidamente, pois este gás retém o calor solar, tal como a cobertura envidraçada de uma estufa... O aumento deste efeito tem provocado o aquecimento global do Planeta."* *"O grande problema da queima dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural utilizados nas mais diversas aplicações) está na quantidade adicional de dióxido de carbono que este processo emite para a atmosfera."* *"Estima-se que, só no último século, os países industrializados (países da Europa, EUA, Canadá e Japão) sejam responsáveis por um aumento de 25% do teor de dióxido de carbono, na atmosfera."*

Tabela IV.1.6- Síntese dos resultados relativos à análise do manual escolar 3.

Sub-categorias	Síntese dos resultados
Ambiente deposicional	A formação dos carvões ocorre em ambientes aquáticos pouco profundos e pouco oxigenados. O petróleo forma-se em ambientes aquáticos pouco profundos, pouco agitados e pobres em oxigénio. A formação do petróleo está associada a sedimentos de natureza argilosa ou carbonatada.
Produtividade primária	Os carvões resultam da evolução de restos de plantas superiores. Os petróleos resultam da preservação de minúsculos seres vivos (essencialmente, fitoplâncton e zooplâncton).
Factores condicionantes	A profundidade e a quantidade de oxigénio são factores condicionantes da evolução da matéria orgânica. Para a génese do petróleo é fundamental a compactação, o afundimento e o aumento de temperatura. O tempo e o contínuo aquecimento são factores que permitem a formação do gás natural.
Principais transformações	Por diagénese da turfa formam-se carvões mais ricos em carbono e mais pobres em oxigénio e hidrogénio. Com o aumento da temperatura ou com o aumento do tempo de exposição a uma dada temperatura o petróleo torna-se cada vez mais fluido e mais leve transformando-se totalmente em hidrocarbonetos gasosos.
Produtos resultantes	A turfa é considerada o sedimento biogénico, de origem vegetal, a partir do qual se irá formar o carvão. O carvão forma-se por decomposição anaeróbia de detritos de plantas superiores. Ao longo da diagénese, formam-se diferentes tipos de carvão: lignites, carvão betuminoso e antracite. O petróleo e o gás concentram-se mas rochas sedimentares.
Noção de maceral	Não é mencionada.
Matéria Mineral do carvão	Não é mencionada.
Hidrocarbonetos líquidos, sólidos e gasosos	O petróleo é apresentado como uma concentração ou mistura natural de hidrocarbonetos líquidos ou gasosos, mas correntemente os hidrocarbonetos líquidos designam-se petróleo e os gasosos, gás natural. Os hidrocarbonetos são compostos químicos constituídos por átomos de hidrogénio e de carbono.
Influência dos processos de migração	O petróleo tende a migrar por ser menos denso que os restantes fluidos das rochas-mãe. O petróleo é armazenado em rochas porosas e permeáveis – rocha-armazém.

	A migração e a dispersão do petróleo são limitadas pela existência de rochas de muito baixa permeabilidade – rocha-cobertura.
Parâmetros utilizados	Para a caracterização das diferentes classes de carvões são considerados parâmetros como o teor em água, o poder calorífico, a cor, o teor em carbono, o brilho, a facilidade de combustão.
Principais classes de carvão	Num esquema, consideram-se as seguintes classes de carvão: lignite, carvão betuminoso e antracite.
Necessidades energéticas actuais	A velocidade do consumo do petróleo é muito superior àquela com que é produzido.
Reservas e recursos existentes	Num gráfico é apresentada uma previsão da duração dos combustíveis fósseis (carvão – 230 anos, gás natural – 85 anos, petróleo – 50 anos).
Principais aplicações	O carvão é utilizado, principalmente, nas centrais termoeléctricas, onde é queimado para a produção de energia.
Contexto de apresentação da temática	A temática surge enquadrada no capítulo: Exploração Sustentada dos Recursos Geológicos, mas é apresentada sem qualquer problematização.
Desenvolvimento de novas tecnologias e impactes ambientais (CTSA)	A utilização dos combustíveis fósseis acarreta graves problemas ambientais como as chuvas ácidas, o aquecimento global e a degradação da camada do ozono. Em consequência da queima do carvão liberta-se dióxido de enxofre que contribui para a formação de chuvas ácidas. O dióxido de carbono emitido pela utilização dos combustíveis fósseis aumenta a retenção do calor solar, provocando o aquecimento global.

PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA ANÁLISE DO MANUAL 3:

- Refere que a formação dos combustíveis fósseis ocorre em ambientes aquático, pouco oxigenados, pouco profundos e pouco agitados.
- Não faz qualquer referência ao papel dos microorganismos aeróbios e anaeróbios na transformação e evolução da matéria orgânica.
- Não aprofunda as condições de génese dos combustíveis fósseis, principalmente do carvão.
- Considera que o carvão forma-se por decomposição anaeróbia dos detritos de plantas superiores.
- Não surge o termo incarbonização.
- Não indica as principais transformações bioquímicas e geoquímicas que a matéria orgânica sofre durante a génese do carvão.
- Nas transformações que ocorrem ao longo da incarbonização e da maturação apenas é mencionado um enriquecimento relativo em carbono e o empobrecimento em oxigénio e em hidrogénio, não sendo referidas outras mudanças químicas e não fazendo referência a qualquer mudança física e petrográfica ou óptica.
- A quantidade de oxigénio, o aumento da temperatura, a profundidade, o tempo e a compactação são factores que condicionam a evolução da matéria orgânica.
- Não faz qualquer referência à composição do gás natural, o qual é simplesmente apresentado como um conjunto de hidrocarbonetos gasosos, não sendo indicadas outras possíveis origens para este gás.
- Não refere a importância dos processos de migração para as alterações que podem ocorrer na composição do petróleo.
- Considera que o petróleo é menos denso que os restantes fluidos da rocha-mãe, sem fazer referência à densidade do gás natural.
- Esclarece que a turfa é apenas um sedimento biogénico de origem vegetal, a partir do qual se irá formar o carvão.
- Na classificação dos carvões apresenta as seguintes classes: lignites, carvão betuminoso e antracite.
- Não esclarece que na classificação dos carvões são considerados três aspectos: grau de incarbonização, tipo e categoria.

- Não é feita qualquer referência aos macerais, bem como à existência de matéria mineral no carvão, o que condiciona consideravelmente a sua utilização industrial.
- Apresenta alguns dados relativos às reservas e recursos existentes, mas não apresenta dados relativos às necessidades energéticas actuais.
- A temática não surge enquadrada numa problemática energética.
- Apenas faz referência a uma das utilizações do carvão.
- Não faz qualquer referência ao desenvolvimento de novas tecnologias de exploração e utilização dos combustíveis fósseis.
- Refere que durante a utilização dos combustíveis fósseis ocorre a emissão de dióxido de carbono e de dióxido de enxofre que contribuem, respectivamente, para o aquecimento global e para a formação de chuvas ácidas.

1.4. CONCLUSÕES DA ANÁLISE DE CONTEÚDO DOS MANUAIS ESCOLARES

Os manuais escolares analisados apresentam diferenças significativas quer quanto à qualidade, quer à quantidade de informação apresentada relativamente à temática "Os Combustíveis Fósseis".

Fazendo uma análise global, verifica-se que nos manuais escolares 1 e 2 existe uma grande semelhança quanto à qualidade da informação apresentada, apesar de existirem diferenças consideráveis face ao modo como os diferentes assuntos são aprofundados. Esta situação poderá estar relacionada com o facto dos autores dos dois manuais serem basicamente os mesmos, mas terem sido elaborados tendo por base orientações programáticas distintas. O manual escolar 3, sendo de outros autores e de outra editora, tem uma organização consideravelmente diferente, apresentando uma menor quantidade de informação sobre a temática, possuindo maior rigor científico na forma como a explora, não apresentando tantos erros ou incongruências para com o conhecimento científico actualmente aceite e expondo os conteúdos de um modo mais claro e objectivo.

Considera-se que a compreensão dos processos de utilização dos combustíveis fósseis, só será verdadeiramente conseguida se os alunos perceberem toda a complexidade inerente à sua génese (Hower, 2003). Contudo, comparando os três manuais escolares verifica-se que existe uma diferença significativa no modo como os assuntos relativos à génese dos

combustíveis fósseis são aprofundados. Os manuais 2 e 3, produzidos no âmbito dos Novos Programas do Ensino Secundário e seguindo essas mesmas indicações programáticas não exploram os conteúdos relativos à génese destes combustíveis. Nas orientações programáticas é possível ler-se: evitar *"...descrições exaustivas da génese dos carvões e do petróleo, não ultrapassando, neste caso, noções breves de armadilha petrolífera, local de geração, migração e local de acumulação."* (URL16: 20). O manual escolar 1 apresenta mais em pormenor os conteúdos relativos a este assunto.

É nesta dimensão de análise e na classificação dos combustíveis fósseis que os manuais 1 e 2 apresentam mais aspectos nos quais a informação exposta não é congruente com os conhecimentos científicos actuais que se possuem sobre a temática, nomeadamente:

- Restringem a formação dos carvões a bacias costeiras lagunares ou a bacias lacustres.
- Associam a formação do carvão apenas a um determinado tipo de litologia (sedimentos argilosos finos).
- Transmitem a ideia que o papel dos microorganismos anaeróbios é fundamental ao longo de todas as etapas do processo de incarbonização e de maturação.
- Não fazem qualquer referência à importância das condições de aerobiose para a evolução da matéria orgânica, considerando que a matéria orgânica só evolui para carvões e para petróleos em condições anaeróbias.
- Transmitem a ideia que os carvões húmicos não resultam da evolução da turfa, formando-se em ambientes distintos.
- Apresentam uma certa ambivalência quanto ao facto da turfa ser ou não considerada uma classe de carvão.
- Na classificação dos carvões é utilizada terminologia que já caiu em desuso.
- No manual 1 antracite é considerada uma rocha metamórfica.
- Os betumes são apresentados como um produto petrolífero sólido, quando apenas deveriam ser indicados como uma fracção da matéria orgânica extractável com solventes orgânicos.
- Os produtos petrolíferos líquidos são designados por petróleo bruto ou nafta.

Relativamente a estes aspectos, o manual 3 apresenta uma menor quantidade de informação, por exemplo, não refere as principais transformações bioquímicas e geoquímicas que a matéria orgânica sofre durante a génese do carvão, nem apresenta a

noção de incarbonização. Mas a informação existente é mais rigorosa do ponto de vista científico.

Em todos os manuais, nas transformações que ocorrem ao longo da incarbonização e da maturação apenas é mencionado um enriquecimento relativo em carbono e a perda de água e de outras substâncias voláteis, não sendo referidas outras mudanças químicas e não fazendo referência a qualquer mudança física e petrográfica ou óptica. E é transmitida a ideia de que apenas esses parâmetros são considerados para a classificação dos carvões. Nenhum manual esclarece que na classificação dos carvões são considerados três aspectos: grau de incarbonização, tipo e categoria.

Nenhum manual apresenta o conceito de maceral e a sua relação com a matéria orgânica constituinte do carvão.

Nenhum manual refere a importância dos processos de migração para as alterações que podem ocorrer na composição do petróleo. Os manuais 1 e 2 indicam as diferenças de densidade entre a água, o petróleo e o gás natural, no sentido de explicar a migração, mas a este nível o manual 3 é pouco claro ao referir que o petróleo migra por ser menos denso que os restantes fluidos da rocha-mãe, não fazendo qualquer referência à densidade do gás natural.

Nenhum manual estabelece qualquer relação entre os conhecimentos relativos à composição química da matéria orgânica e a composição química dos diferentes combustíveis fósseis.

Todos os manuais apresentam o gás natural apenas como um produto petrolífero gasoso, não fazendo qualquer referência à sua composição, nem indicando outras origens possíveis para este gás.

Consultando as orientações do programa de Biologia/Geologia de 11.º ano verifica-se que um dos objectivos didácticos a atingir é: "*Identificar os recursos geológicos e respectiva aplicabilidade numa perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA)*" (URL16: 17). Contudo, em resultado da análise realizada aos manuais escolares é

possível verificar que este aspecto não é suficientemente explorado na temática dos Combustíveis Fósseis, apesar da sua importância no funcionamento da actual sociedade. Esta temática surge nos manuais sem qualquer problematização relevante e actualizada. Neste contexto, verifica-se que apenas o manual 3 faz uma pequena referência à utilização dos combustíveis fósseis, nomeadamente do carvão, este também é o manual que explora mais e de forma mais completa os assuntos relativos aos impactes ambientais associados à produção de energia a partir dos combustíveis fósseis. Nenhum manual faz qualquer referência à existência de matéria mineral no carvão, a qual condiciona consideravelmente a sua utilização industrial e os seus impactes ambientais. Apenas o manual 1 faz referência a tecnologias de exploração dos combustíveis fósseis. O manual 2 é aquele que expõe de forma mais clara, apresentando valores, a dependência da actual sociedade face aos combustíveis fósseis.

2. ANÁLISE DE CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS

Após a transcrição do registo áudio das entrevistas realizadas aos seis professores orientadores pedagógicos de estágio, já caracterizados no capítulo III, procurou-se aplicar as regras gerais que orientam a análise de conteúdo de entrevistas. Assim, inicialmente, salientou-se, sublinhando, do restante texto transcrito os elementos directamente relacionados com os objectivos de cada questão formulada (ver anexo I).

Posteriormente, mobilizou-se essas unidades de recorte para a construção de uma grelha de análise global das entrevistas realizadas (tabela IV.2.1).

Após a sistematização dos dados recolhidos e tendo por base os objectivos de cada questão formulada, elaborou-se uma pequena conclusão geral sobre os três aspectos que nortearam a realização da entrevista, nomeadamente, a formação inicial e contínua sobre a temática, a análise que efectuam ao manual escolar utilizado e as estratégias e conhecimentos que mobilizam aquando da leccionação desta temática.

2.1. GRELHA DE ANÁLISE DE CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS

Tabela IV.2.1- Grelha de análise das entrevistas.

Questões* \ Entrevista		1	2	3	4	5	6
Q1	Não	X	X			X	X
	Sim			X*1	X*1		
	Qual?			Petrologia sedimentar	Geologia de Portugal		
Q2	Insuficientes	X		*2	X	*2	
	Suficientes		X				X
	Bons						
Q3	Não	X	X		X	X	X
	Sim			X			
	Qual?			No âmbito de um mestrado, mas numa perspectiva ambiental.			
Q4	Não	X	X				X
	Sim			X	X	X	
	Porquê?	Devido à opção pelo ambiente magmático.	A auto-formação tem permitido colmatar as necessidades.	Dado ser um tema que não está pacificado.	Mas aposta na auto-formação.	Dado ser necessário aprofundar um pouco mais.	A auto-formação tem sido suficiente.
Q5	N.º de vezes	7	3	5	5	7	+ 7
Q6	Anterior	Porto Editora	Porto Editora	Porto Editora	Porto Editora	Porto Editora	Porto Editora
	Actual	Areal Editores	Areal Editores	Porto Editora	Porto Editora	Porto Editora	Porto Editora

Q7	**Não**	X	X				X
	Sim			X	X	X	
	Quais?			Uso de terminologia ultrapassada, como por exemplo, hulha. A turfa ser considerada linearmente um carvão.	A questão do petróleo ser ou não uma rocha. A utilização que é feita do termo petróleo. A confusão que é feita ao nível do tipo de microbiologia que actua.	A questão da turfa ser ou não um carvão. Não utilizar a designação de carvão betuminoso.	
Q8	**Insuficiente**	X		X	*3		X
	Suficiente		X			X	
	Boa		X				
	Observações	Não desenvolve os assuntos, é superficial.	Explicações pouco claras. Boa relativamente às origens e classificações. Suficiente na abordagem CTSA.	A ideia de que o conhecimento é definitivo e a sua construção é linear.	O manual deve ser rigoroso, sendo preferível pecar por omissão do que por erro.	Pode ser melhorada uma vez que não aborda a parte económica associada aos combustíveis e a sua distribuição a nível mundial. Não explora questões ligadas às diferenças de densidade e à exploração e utilização dos recursos.	Falta de criatividade, de interacção CTS e de uma abordagem prática.

Q9	**Não**						
	Sim	X	X	X	X	*4	X
	Quais?		Acetatos	Acetatos, fichas de trabalho	Materiais de apoio à realização de uma actividade experimental		Diferentes materiais pessoais, não especificando.
	Que fontes?	Manuais escolares Há pouca bibliografia em português.	Artigos de jornais e outras fontes, manuais escolares.	Bibliografia da especialidade (há pouca em português).	Bibliografia de origem americana.		Outros manuais Livros da faculdade e outra bibliografia.
Q10	**Aspectos CTSA**		X	X	X		X
	Aspectos genéticos e classificatórios	X				X	
Q11	**Do particular para o geral**	X				X	
	Do geral para o particular		X	X	X		X

* – Ver guião de entrevista, página 151.

*1 – Consideram que foi uma formação inicial insuficiente.

*2 – Não classificam os conhecimentos, afirmando que resultam pesquisas individuais.

*3 – Não classifica referindo que o manual deve ser construído na perspectiva do aluno e não do professor, adaptando-se às orientações.

*4 – Não responde a esta questão.

2.2. CONCLUSÕES DA ANÁLISE DE CONTEÚDO DAS ENTREVISTAS

Pela análise das entrevistas, verifica-se que os professores entrevistados tiveram pouca ou nenhuma formação inicial ou contínua especificamente sobre a temática "Os Combustíveis Fósseis", alguns sentem necessidade de formação nesta e noutras áreas da Geologia. Uma vez que a formação contínua não se encontra disponível, os professores procuram fazer a sua auto-formação, mas são confrontados com um problema – a falta de publicações específicas sobre diferentes temas de Geologia em português. Alguns referem que na construção de materiais pessoais para utilização em contexto sala de aula, recorrem à informação de manuais escolares. Nenhum dos professores entrevistados referiu qualquer livro de Geologia que trate especificamente esta temática e ao qual já tenha recorrido.

Alguns professores inquiridos consideram que os seus conhecimentos relativamente a esta temática são insuficientes, outros que são suficientes mas que não são muito profundos.

Os professores entrevistados reconhecem que os manuais expõem os assuntos relativos a esta temática de forma pouco clara e apresentando algumas incorrecções. Contudo, apenas três professores apontaram algumas dessas incorrecções ou as explicações pouco claras, nomeadamente referem que os manuais utilizam terminologia ultrapassada (hulha em vez de carvão betuminoso), não esclarecem se a turfa é ou não considerada um carvão e não esclarecem a questão do petróleo na classificação das rochas sedimentares, fazem confusão quanto tipo de microbiologia que actua na formação dos combustíveis fósseis. Todos os professores inquiridos consideram que os manuais escolares não dão a ênfase necessária a questões directamente relacionadas com a exploração e utilização dos recursos, nomeadamente, às questões ambientais.

Os professores entrevistados consideram que a temática deverá ser apresentada partindo de dados relacionados com a importância dos combustíveis fósseis no funcionamento das actuais sociedades para aspectos mais específicos relacionados com a génese e classificação dos mesmos.

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES

O desenvolvimento desta dissertação de mestrado foi orientado por algumas hipóteses que funcionaram como charneiras do movimento de vaivém entre a reflexão teórica e o trabalho empírico. Como refere Bardin (1994: 98), uma hipótese é *"...uma afirmação provisória que nos propomos verificar (confirmar ou infirmar), recorrendo aos procedimentos de análise"*. A análise realizada aos manuais escolares permitiu confirmar todas as hipóteses de partida, nomeadamente:

- a abordagem desta temática carece de um maior aprofundamento científico.
- o tratamento da temática "Os Combustíveis Fósseis" em alguns aspectos não é congruente com os conhecimentos científicos actuais.
- nos manuais não é valorizada a interdisciplinaridade.
- os manuais não incluem uma perspectiva de sensibilização para a necessidade de redução do consumo de energia.

É também importante referir que os Novos Programas do Ensino Secundário atribuem a esta temática uma reduzida importância, condicionando deste modo a forma como são tratados pelos autores dos manuais escolares.

Pela análise das entrevistas realizadas foi possível verificar que os professores inquiridos suportam as estratégias que desenvolvem para a abordagem da temática "Os Combustíveis Fósseis" em informação disponibilizada nos manuais escolares e noutras fontes bibliográficas que não identificam. De acordo com os professores entrevistados, o facto de recorrerem à informação dos manuais escolares na preparação das suas aulas, é justificado pela falta de outras fontes de informação facilmente acessíveis.

Neste contexto, é aconselhável e importante que os professores assumam uma postura mais crítica para com a informação que é apresentada nos manuais escolares, no sentido de modificar, corrigir e contextualizar as suas propostas sempre que necessário. Isto implica que os docentes questionem a informação que lhes é apresentada, sejam capazes de detectar erros, incorrecções, falhas e incongruências e possuam conhecimentos científicos

claros e esclarecidos que lhes permitam ultrapassar as deficiências apresentadas pelos manuais escolares.

Parece também importante referir que a formação inicial e contínua de professores se deve adequar mais àquelas que são as reais necessidades dos docentes em contexto sala de aula, quer numa perspectiva científica quer numa perspectiva pedagógico-didáctica. Assim, a formação de professores deve incluir a análise de manuais escolares de modo a sensibilizar e a preparar os docentes para efectuarem escolhas mais criteriosas dos manuais a adoptar. Professores cientificamente mais esclarecidos, à partida, estarão melhor preparados e mais capazes para minorar ou ultrapassar as falhas que um manual possa apresentar.

Durante a realização das entrevistas foi possível verificar que os professores inquiridos sentiram algumas dificuldades em abordar aspectos mais concretos relacionados com a temática "Os Combustíveis Fósseis" quer relativamente à forma como fazem a transposição didáctica destes assuntos, quer no que se refere à análise dos manuais utilizados em anos anteriores e no presente ano lectivo. Esta situação poderá ser explicada pelo desfasamento temporal existente entre o momento de leccionação destes conteúdos e o momento de realização das entrevistas. Este aspecto apresenta-se como uma limitação deste estudo, que em investigações posteriores poderá ser ultrapassada com a realização de algumas sessões de um *workshop* onde os professores possam analisar, previamente à entrevista, os manuais escolares.

Tendo por base as conclusões obtidas com a realização deste trabalho, considera-se importante deixar aqui algumas sugestões para futuras investigações/acções, nomeadamente:

- analisar os mesmos manuais quanto à abordagem que fazem de outros temas de Geologia;
- estender estudos deste tipo a manuais de outros anos de escolaridade;
- realizar estudos que permitam compreender a relação existente entre o conhecimento que o aluno possui sobre diferentes temáticas da Geologia, a informação contida nos manuais escolares e as estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores;

- desenvolver acções de formação dirigidas a professores onde seja possível aprofundar temas mais específicos da Geologia;
- produzir e disponibilizar ao público em geral e, especificamente, aos professores, materiais com informação actualizada e cientificamente correcta sobre temas específicos de Geologia.

Em suma, o ensino das Ciências, em geral, e da Geologia, em particular, tem que se revestir de grande rigor científico, de modo a que os alunos compreendam correctamente a aplicabilidade dos recursos geológicos, nomeadamente dos combustíveis fósseis, numa perspectiva global de interacção entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, J. A. (2002). Um bom manual já não é o que era. *Correio da Educação*, número extra: pp. 1-2.

Alves, J. A. (2003). Novos manuais para novas práticas – a importância de saber decidir. *Correio da Educação*, 40: pp.1-2.

Apple, M. (2002). *Manuais Escolares e Trabalho Docente - Uma Economia Política de Relações de Classe e de Género na Educação*. Lisboa: Didáctica Editora.

Arends, R. I. (1995). *Aprender a ensinar*. Lisboa: McGraw-Hill de Portugal L.^{da}.

Bardin, L. (1994). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70.

Borrego, A. G. (2000). Los macerales, componentes microscópicos del carbón. In *Introducción a la ciencia y tecnología del carbón* – Curso de especialización de postgrado - Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Oviedo: Instituto Nacional del Carbón.

Brigas, M. A. F. (1997). *Os manuais escolares de Química no Ensino Básico – Opiniões dos professores sobre a sua utilização*. Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro (não publicada).

Brito, A. P. (1999). A problemática da adopção dos manuais escolares- critérios e reflexões. In Castro, R. V., Rodrigues, A., Silva, J. L. & Sousa, M. L. D. (orgs). *Manuais Escolares - estatuto, funções, história - actas do 1.º Encontro Internacional sobre Manuais Escolares*. Braga: Centro de Estudos em Educação e Psicologia. pp. 139-148.

Cabral, M. (2001). *O manual escolar como vector de indução de diferentes práticas docentes - um estudo de caso sobre um manual escolar de Língua Inglesa.*

Dissertação de Mestrado. Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da Universidade de Lisboa (não publicada).

Cabrita, I. (1999). Utilização do manual escolar pelo professor de Matemática. In Castro, R. V., Rodrigues, A., Silva, J. L. & Sousa, M. L. D. (orgs). *Manuais Escolares - estatuto, funções, história - actas do 1.º Encontro Internacional sobre Manuais Escolares*. Braga: Centro de Estudos em Educação e Psicologia. pp. 149-160.

Cachapuz, A. F., Malaquias, I., Martins, I. Thomas, M. & Vasconcelos, N. (1989). *O ensino – aprendizagem da Física e Química: resultados globais de um questionário a professores*. Aveiro: Grupo INEA, Universidade de Aveiro.

Caldas, I. B. & Saltiel, E. (2001). Uma metodologia de análise de textos escolares: um exemplo com conteúdo de Física. *Revista Portuguesa da Educação*, 14 (1): pp. 215-237.

Campos, C. A. C. (1996). *Imagens da Ciência veiculadas por Manuais de Química do Ensino Secundário - Implicações na Formação de Professores de Física e Química*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro (não publicada).

Cardoso, M. L. (2002). *A História da Química em Manuais Escolares de Química dos 9º e 11º anos de escolaridade*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho (não publicada).

Carmen, L. & Jiménez, M. P. (1997). Los libros de texto: un recurso flexible. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 11: pp. 7-14.

Castro, M. C. (2000). *Os manuais escolares na formação inicial de professores de Ciências Naturais*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa da Universidade de Aveiro (não publicada).

Chiappeta, E. L., Fillman, D. A. & Sethna, G. H. (1991). A method to quantify major themes of scientific literacy in Science Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (8): pp. 713-725.

Choppin, A. (1992). *Les manuels scolairs. Histoire et actualité*. Paris: Hachette.

CIAB. (2000). *Global Trends 2015: A dialogue about the Future with nongovermment experts*.

CIAB. (2003). *World Coal Demand and Supply Prospects*.

Decreto Lei n.º 360/90 de 26 de Novembro

Delors, J. (Coord.). (1996). *Educação um tesouro a descobrir*. Porto: Edições Asa.

DGE. (1998). *Plano de Expansão do Sistema Eléctrico de Serviço Público*.

Diessel, C. F. K. (1992). *Coal-Bearing Depositional Systems*. Berlin: Springer-Verlag.

Duarte, M. C. (1999). Investigação em Ensino das Ciências: influência ao nível dos manuais escolares. *Revista Portuguesa da Educação*, 12 (2): pp. 227-248.

Flores, D. M. S. (1996). *Estudo petrológico e geoquímico dos carvões da bacia de Rio Maior*. Tese de Doutoramento em Geologia. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (não publicada).

Freitas, E. (1997). *Hábitos de leitura, um inquérito à população portuguesa*. Lisboa: Publicações Dom Quixote.

Gérard, F. M. & Roegiers, X. (1998). *Conceber e avaliar manuais escolares*. Porto: Porto Editora.

Hower, J. C. (2003). Coal Education. *Energeia*, 14 (2): pp. 5-6.

ICCP. (1963). *International Handbook of Coal Petrography*. 2nd Ed. International Committee for Coal Petrology (ICCP). Paris: Centre National de la Recherche Scientifique.

IEA. (2003a). *Emission reductions in the natural gas sector through project – based mechanisms.*

IEA. (2003b). *From oil crisis to climate challenge – understanding CO_2 emission trends in IEA countries.*

IEA/OECD. (1999). *Cleaner Coal Tecnologies – options.*

IEA/OECD. (2002). *World Energy Outlook – Energy & Poverty.*

IEA/OECD. (2004). *World Energy Outlook.*

Jiménez, M. P. (1997). Libros de texto: un material entre otros. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 11: 5-6.

Leite, L. (1999). O ensino laboratorial de "o Som e a Audição". Uma análise das propostas apresentadas por manuais escolares do 8.º ano de escolaridade. In Castro, R. V., Rodrigues, A., Silva, J. L. & Sousa, M. L. D. (orgs). *Manuais Escolares - estatuto, funções, história - actas do 1.º Encontro Internacional sobre Manuais Escolares*. Braga: Centro de Estudos em Educação e Psicologia. pp. 255-266.

Leite, C. (2003). Que lugar para os manuais escolares na escola de hoje?. *Correio da Educação*, 40: pp. 5-6.

Marques, B. S. (1999). Do livro único à diversidade dos manuais na disciplina de Geografia. In Castro, R. V., Rodrigues, A., Silva, J. L. & Sousa, M. L. D. (orgs). *Manuais Escolares - estatuto, funções, história - actas do 1.º Encontro*

Internacional sobre Manuais Escolares. Braga: Centro de Estudos em Educação e Psicologia. pp. 317-323.

Marques, M. & Flores, D. (2003). Petrologia dos combustíveis fósseis. In: *Seminário de Recursos geológicos energéticos. A visão da geologia económica. Resumos*. Évora: Departamento de Geociências da Universidade de Évora. pp. 40-47.

Moore, P. D. (1987). Ecological and hydrological aspects of peat formation. In Scott, A. C. *Coal and Coal-bearing Strata: Recent Advances*, Special Publication 32. London: Geological Society. pp. 7-15.

Morrison, R. & Boyd, R. (1996). *Química Orgânica*. Lisboa: Serviços de Educação da Fundação Calouste Gulbenkian

Nunes, S. C. (2001). *Portugal através dos Manuais Escolares de Geografia - Século XIX: as imagens intencionais*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa (não publicada).

Odum, E. P. (1997). *Fundamentos de Ecologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

OECD. (2001). *Environmental Outlook – energy*.

OECD/IEA. (2002). *Coal and Sustainable Development – achieving balance in priorities*.

OECD/IEA. (2003a). *CO_2 Capture and Storage in Geological Formations – Zero emissions technologies for fossil fuels*.

OECD/IEA. (2003b). *Control and minimisation of Coal-fired-power plant emissions – Zero emissions technologies for fossil fuels*.

OECD/IEA. (2003c). *The utilisation of CO_2 – Zero emissions technologies for fossil fuels.*

Papp, A. R. & Hower, J. C. (Eds) (1998). *Atlas of Coal Geology* – Vol.2. CD-ROM. TSOP. AAPG: Hower, J.C., Stanton, R.W., Gammidge, L.C. & Hutton, A.C. Coal Petrology.

Quivy, R. & Campenhoudt, L.V. (1997). *Manual de Investigação em Ciências Sociais.* Lisboa: Gradiva

Santos, M. E. (1998). *Respostas curriculares a mudanças no Ethos da Ciência - os manuais escolares como reflexo dessas mudanças.* Tese de Doutoramento em Educação. Departamento de Educação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (não publicada).

Silva, L. M. (1999). Manuais escolares e frequência de bibliotecas. In Castro, R. V., Rodrigues, A., Silva, J. L. & Sousa, M. L. D. (orgs). *Manuais Escolares - estatuto, funções, história - actas do 1.º Encontro Internacional sobre Manuais Escolares.* Braga: Centro de Estudos em Educação e Psicologia. pp. 475-483.

Sousa, M. J. L. (1985). Bases da classificação dos carvões fósseis. *Boletim de Minas*, 22 (3): pp. 1-52.

Sousa, M. J. L. & Pinheiro, H. J. (1994). Coal classification: Basic fundamental concepts and the state of the existing International Systems. *Journal of Coal Quality*, 13 (2): pp. 52- 66.

Sousa, M. J. L., Flores, D., Pinheiro, H. J. & Vasconcelos, L. (1992). *Coal Classification and Codification. Up-date on the state of the art and a critical review.* Porto: Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto.

Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmuller, M., Taylor, G., Chandra, D. & Teichmuller, R. (1982). *Stach's Textbook of Coal Petrology*. 3th Ed. Berlin: Gebrüder Borntraeger.

Tavares, J. & Alarcão, I. (1992). *Psicologia do desenvolvimento da aprendizagem*. Coimbra: Livraria Almedina

Taylor, G.H., Teichmuller, M., Davis, D., Diessel, C.F.K., Littke, R. & Robert, P. (1998) *Organic Petrology*. Berlin: Gebrüder Borntraeger.

Terrasêca, M. (1996). *Referenciais subjacentes à estruturação das práticas docentes: análise dos discursos dos/as professores/as*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto (não publicada).

Tissot, B.P. & Welte, D.H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*. 2nd Ed. Berlin: Springer-Verlag.

Tormenta, J. R. B. (1999). *Os professores e os manuais escolares – um estudo centrado no uso dos manuais de Língua Portuguesa*. Dissertação de Mestrado em Ciências da Educação. Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da Universidade do Porto (não publicada).

Vala, J. (1986). A Análise de Conteúdo. In Silva, A. S. & Pinto, J. M. (orgs.). *Metodologia das Ciências Sociais*. Porto: Edições Afrontamento. 102-128.

VanKrevelen, D. W. (1961). *Coal – typology, chemistry, physics, constitution*. Amsterdam: Elsevier Publishing Company.

WCI. (1997). *Coal – power for progress*. World Coal Institute.

Referências a páginas da Internet:

URL1 – http://www.coaleducation.org – Consultado em 24 de Janeiro de 2004

URL2 – http://www.apel.pt – Consultado em 20 de Janeiro de 2004

URL3 – http://www.eric.ed.gov/ – Consultado em 20 de Janeiro de 2004

URL4 – http://bdd.inrp.fr:8080/Emma/EmaWelcome.html – Consultado em 20 de Janeiro de 2004

URL5 – http://www.iep.uminho.pt/dionisio/inv_eme.htm – Consultado em 12 de Fevereiro de 2004

URL6 – http://www.deb.min-edu.pt/escolas/emanuais/ – Consultado em 10 de Julho de 2004

URL7 – http://www.epa.gov/gmpo/education/photo/scenic.html – Consultado em 15 de Fevereiro de 2005

URL8 – http://www.mde.state.md.us/Programs/WaterPrograms/Wetlands_Waterways/about_wetlands/ – Consultado em 15 de Fevereiro de 2005

URL9 – http://billjones33.tripod.com/near-easky-sligo.jpg – Consultado em 15 de Fevereiro de 2005

URL10 – http://www.wci-coal.com/web/list.php?menu_id=2.7.2.1 – Consultado em 15 de Fevereiro de 2005

URL11 – http://www.igm.ineti.pt/estatisticas/com_externo/substancias.aspx – Consultado em 20 de Fevereiro de 2005

URL12 – http://wci-coal.com – Consultado em 12 de Fevereiro de 2004

URL13 – http://lambournediving.com/pipelines.html – Consultado em 15 de Fevereiro de 2005

URL14 – http://eurpa.eu.int/comm/energy_transport/en/lpi_lv_ep1.html – Consultado em 12 de Fevereiro de 2004

URL15 – http://www.des.min-edu.pt/escolas/emanuais/ – Consultado em 10 de Julho de 2004

URL16 – http://www.des.min-edu.pt/programs/prog_hom/biologia_geologia_11_homol.pdf – Consultado em 10 de Julho de 2004

ANEXOS

ANEXO 1 – TRANSCRIÇÃO DAS ENTREVISTAS

Entrevista 1

Formação inicial e formação contínua

Q1- Durante a sua formação inicial teve alguma cadeira onde os conteúdos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis fossem tratados com pormenor?

R1- Eu não tive praticamente nada de Geologia porque sou de Biologia Ramo Educacional, eu entrei para a faculdade em 88, nessa altura havia uma cadeira que se chamava, salvo erro, introdução à Mineralogia e Cristalografia, que era uma cadeira semestral do primeiro ano, onde eu aprendi ainda muito menos do que aquilo que eu tinha aprendido no meu 12.º ano de Geologia. Nos primeiros anos em que dei aulas penso que o que me valeu um bocado foi a formação que eu tive até ao meu 12.º ano, porque também de facto tive uma professora que era, assim, qualquer coisa fora de série.

Eu acho que nós nem sequer falamos nos combustíveis fósseis, nós nem sequer falamos nos sistemas cristalográficos e era uma cadeira supostamente de mineralogia. Portanto, combustíveis fósseis não estudei minimamente. Depois mais tarde fiz uma cadeira de mestrado que era Recursos Naturais ou Gestão de recursos naturais, era assim qualquer coisa, mas também não abordamos os recursos fósseis, isso ai tenho a certeza absoluta, era mais aquela extracção de inertes, as grandes jazigas de ouro e de prata, de combustíveis fósseis nada.

Q2- Como classifica os seus conhecimentos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R2- Portanto respondendo à segunda pergunta, os meus conhecimentos relativamente aos combustíveis fósseis são mesmo uma miséria, eu até lhe posso falar do que se passou a semana passada com os meus estagiários, em que uma delas estava a falar da classificação das rochas sedimentares, fala-se dos carvões, e surgiu-se-lhes uma dúvida que a mim nunca se me tinha colocado e com a qual ainda estou. Já andei a tentar ver nuns livros mas contínuo na mesma – as rochas supostamente são agregados minerais, então nos carvões quais são os minerais, aquilo é tudo matéria orgânica, a matéria mineral existe numa percentagem mínima, mas a questão é esta. Nós estávamos naquela dúvida qual é a percentagem mineralógica necessária para estarmos no domínio da petrologia. Esta foi a dúvida que nos surgiu até agora, mas é claro que nós ainda não entramos no capítulo dos combustíveis fósseis.

Q3- Durante a sua carreira recebeu formação contínua sobre os conteúdos relativos à temática dos combustíveis fósseis? Qual?

R3- Na minha formação contínua nunca recebi nada, nunca fiz nada ligado aos combustíveis fósseis, até porque eu acho que nós professores de Biologia temos um grande defeito, nós à partida não simpatizamos muito com a Geologia e quando nos é permitido escolher as nossas áreas de formação contínua nós fugimos a sete pés da Geologia, preferimos sempre as áreas da Biologia, assim como eu acho que os meus colegas, eu própria não porque gosto da área das Ciências da Educação, mas vejo que a maior parte das pessoas foge mesmo à Ciências da Educação. Para agravar um bocadinho isto também acho que há muito menos oferta na área da Geologia. Nós que também damos aulas há muito tempo, estamos sempre a choramingar, aí a Geologia só tive uma cadeira na faculdade, mas quando surge a oportunidade de formação na área da Geologia fugimos a sete pés. Por exemplo, tem havido formações

muito engraçadas do Visionarium, com percursos à Serra da Freita, etc. Quem vai? Se calhar os que vão são da área da Geologia.

Q4- Alguma vez sentiu necessidade de receber formação contínua sobre questões relacionadas com a génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R4- Eu até à data se calhar nunca senti assim uma necessidade directa de formação, porque este conteúdo fazia parte do antigo programa de 11.º ano e nós optávamos sempre pelo ambiente magmático, porque temos aqui o maciço granítico.

Análise do manual utilizado

Q5- Quantas vezes já leccionou a disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R5- Pelo menos sete anos já leccionei. E em todas as vezes que leccionei cumpri sempre o programa. Os nossos alunos tinham todos TLG que compensava e nós deixávamos a Geologia para o terceiro período e dávamos aquilo a uma velocidade tremenda porque basicamente os miúdos é que davam as aulas.

Q6- Qual (ais) o (s) manual (ais) escolar (es) utilizado (s) aquando da leccionação da disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R6- Nos primeiros anos, salvo erro utilizamos o manual da Porto Editora, este ano estamos com o manual da Areal Editores, para dar continuidade ao de 10.º. Portanto, este ano não houve aquele cuidado de estar a analisar os dois manuais, porque foi mesmo uma questão de continuidade e uma vez que tínhamos gostado. Os autores são os mesmos e tem o professor Guerner que é uma pessoa conceituada na área de Geologia.

Q7- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis detectou incorrecções e/ou explicações pouco claras no manual adoptado?

R7- Relativamente, à leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis, lá está foi só na parte das rochas sedimentares que se levantou essa questão mineralogia e da componente orgânica que é muito superior nos carvões. E depois aos miúdos também lhes custa muito compreender porque é que o petróleo é uma rocha, dado o seu estado liquefeito. Nós também achamos que o manual faz uma abordagem tão superficial, tão superficial ... eu a parte dos combustíveis fósseis no final do livro, na altura fiz assim uma vista de olhos, não vi nenhuma incongruência, mas também lá está foi uma vista de olhos muito rápida a ver se existia alguma aberração. Ontem os estagiários também estavam a falar (de manuais de outros anos de escolaridade), se só se considera verdadeiramente o carvão a partir da lignite, também surgiu essa dúvida. Eles estavam também a discutir que no livro dizia que a antracite é um carvão de difícil combustão, mas que a nível da indústria é o mais utilizado, portanto a dúvida é: será que ele é de difícil combustão mas que depois de entrar em combustão tem um grande rendimento energético? Ficou esta dúvida que no manual também não é explicitada. Depois colocamos a questão ao estagiário que é de Geologia. Ele disse: Vocês sabem como é uma pessoa na faculdade fala, fala, mas depois dar resposta a estas questões ultrapassa-nos um bocado. Ele dizia: eu acho que deve ser a lignite, provavelmente, e não a antracite, até porque a antracite é um carvão mais evoluído.

Q8- De um modo geral como classificaria a abordagem apresentada pelo manual escolar à temática dos combustíveis fósseis?

R8- Eu acho que a abordagem do manual é relativamente fraca. Até a sensação que se tem, não só relativamente aos combustíveis fósseis mas também noutras abordagens, é que se dá ideia que vai fazer um grande desenvolvimento, mas depois zás, um grande precipício, acabou, não é?! E os miúdos levantam algumas questões que até são interessantes e a pessoa realmente ou vem bem informada, faz uma pesquisa mais aprofundada em casa, ou então depois os miúdos acabam por ficar decepcionados, porque depois nós não conseguimos dar resposta. Não dá sequer para dizer vai procurar em casa. E também aquilo que eu acho é que em Portugal não há muitos livros bons de apoio, ou uma pessoa perde um bocadinho mais de tempo e começa a ler umas coisinhas em inglês ou então está tramado. Tirando aquelas publicações caso ocasionais da Fundação Calouste Gulbenkian e da Universidade Aberta que são coisas muito básicas, também. Eu tenho sempre uma tendência muito grande, em termos de livros, a procurar coisas da Geologia e vejo-me sempre muito aflita, tanto que a minha biblioteca lá de casa em termos de Geologia acaba por ser uma miséria em termos de livros portugueses, só que depois eu até compro uns livros em inglês porque alguém me aconselhou, mas a verdade seja dita, dá-mos um bocado a preguiça porque eu para ler uma página em inglês, vejo-me um bocado aflita porque eu tive três anos de inglês. E às vezes aflita mesmo com aqueles termos mais vulgares, porque eu no meu dia a dia não uso o inglês, a verdade é essa e eu de facto domino muito mal o inglês. Eu tive inglês do 7.º ao 9.º e isto já foi no Paleolítico Inferior.

Estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores

Q9- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis sentiu necessidade de construir materiais pessoais para abordar esses conteúdos? Porquê? Quais? Em que fontes de informação se baseou?

R9- É difícil porque eu nunca dei os combustíveis fósseis, mesmo agora que estamos a dar quem está a fazer essa abordagem são os estagiários, agora eu acho que eles se vêem um bocadinho aflitos. Pelo aquilo que eu vejo do trabalho deles eles têm-se baseado unicamente em manuais escolares. Embora eu já lhes tenha falado de um ou outro manual, sobretudo esses da Universidade Aberta, mas eu acho que eles se apoiam muito em manuais, eles também têm passado uns filmes da Universidade Aberta e duma série de Geologia, mas em nenhuma delas fazia ainda referência aos combustíveis fósseis. Portanto só no final do terceiro período, ai sim se calhar já vou sentir necessidade porque vou ser eu a leccionar.

Q10- Ao iniciar a abordagem desta unidade temática o que começaria por dizer, fazer ou perguntar aos seus alunos?

R10- Provavelmente, começaria por lhes perguntar qual é a ideia que eles têm sobre os carvões, os petróleos, qual será a sua composição, o seu rendimento energético, mas assim, muito de repente não me estou a lembrar de mais nada; muito provavelmente só quando tivesse que preparar a aula é que pensaria nisto.

Q11- Quais os conteúdos que considera fundamentais ter em consideração na leccionação desta temática? Como os organizaria?

R11- Eu acho que os conteúdos fundamentais na leccionação desta temática, eu acho que a primeira coisa seria fazer um bom enquadramento dos combustíveis fósseis na classificação das rochas, porque nós falamos, falamos, falamos e eu dá-me ideia que vão ficar sempre dúvidas se aquilo é verdadeiramente uma rocha, eu acho que depois de ficar

acordado que aquilo é uma rocha, realmente não se pode fugir muito, tinha que ser nas rochas sedimentares, mas acho que era preciso esclarecer bem os critérios de classificação das rochas, porque nós começamos logo por dizer: uma rocha é um agregado de minerais, é claro que antes disso, já se deu a definição de mineral. Mas lá está mineral composto inorgânico, mas eles depois dizem-nos, mas isto é praticamente só de composição orgânica, não é. Eu acho que, portanto, essa é a questão fundamental, mas depois acho muito importante falar do processo de formação de qualquer um dos combustíveis fósseis e nas suas aplicações industriais e sobretudo falar nos riscos ambientais que cada um deles comporta. Acho que se calhar essa é que é a questão de fundo, uma vez que agora estamos tão envolvidos nisso da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. Se calhar é muito mais importante eu saber quais são os perigos da utilização dos combustíveis fósseis do que propriamente conhecer os processos da sua formação. Nós estamos a educar consumidores, não estamos propriamente a educar geólogos. Eu acho que hoje em dia a mensagem mais importante é mesmo educá-los para uma boa gestão mesmo em termos domésticos, porque hoje em dia fala-se muito em ecologia e ambiente mas depois só se vê aberrações.

Entrevista 2

Formação inicial e formação contínua

Q1- Durante a sua formação inicial teve alguma cadeira onde os conteúdos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis fossem tratados com pormenor?

R1- Não, como sabes os licenciados em Biologia só têm uma única cadeira de Geologia, o que não é na minha opinião suficiente para uma boa formação. Portanto, não me recordo sequer que na cadeira de Geologia esse assunto tenha sido tratado com profundidade, quanto muito poderá ter sido aflorado como muitos outros temas da Geologia. O enfoque era exactamente na cristalografia e na mineralogia uma vez que passávamos horas efectivamente mais preocupados com os cristais e os modelos cristalográficos do que propriamente com as questões de Geologia que interessariam depois enquanto professores para estarmos mais à vontade para leccionar os assuntos da Geologia.

Q2- Como classifica os seus conhecimentos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R2- Eu diria razoáveis, não me posso considerar de forma nenhuma com conhecimentos profundos sobre o assunto, suponho que razoáveis fruto obviamente do facto de já ter leccionado à temática e ter-me inteirado sobre o assunto, quer com base nos manuais, quer com base noutras fontes, mas o facto de não ter tido uma formação inicial nesta área não me permite dizer que estou muito à vontade ou que o domínio dos assuntos seja muito bom, não é, considero razoáveis suficientes para puder trabalhar com os meus alunos esta temática.

Q3- Durante a sua carreira recebeu formação contínua sobre os conteúdos relativos à temática dos combustíveis fósseis? Qual?

R3- Não nunca recebi, nem procurei, como sabes a formação contínua é uma coisa que eu acho que os professores devem procurar, terá de estar disponível, é obvio, não é, mas isso compete a várias entidades faze-lo, mas também nunca procurei tenho dado prioridade a outros aspectos da minha carreira que considero mais importantes e tenho procurado formação noutras áreas, o tempo não me permite fazer tudo.

Q4- Alguma vez sentiu necessidade de receber formação contínua sobre questões relacionadas com a génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R4- Especificamente nos combustíveis fósseis, com sinceridade não senti, em muitas temáticas de Geologia sim e em algumas poucas de Biologia. Obviamente sinto necessidade e sempre que possível tento colmatar essas necessidades, embora também importa dizer-te que relativamente à formação, eu julgo que a auto-formação pode ser uma forma de colmatar, muitas vezes não é suficiente mas pode ser uma boa forma de colmatar algumas lacunas que temos, é obvio que todos nós sabemos que não é a formação inicial que nos dá os conhecimentos e as competências necessárias para toda a carreira, é necessário ir utilizando esses conhecimentos, aprofundando, estudando e isso eu tento fazê-lo sempre que lecciono novos assuntos ou sempre que lecciono assuntos anteriores tentando ver da sua actualidade. Penso que é essa a razão pela qual nunca procurei formação específica nesta área, embora sinta necessidade, nesta e noutras áreas da Geologia, pelas razões que já disse.

Análise do manual utilizado

Q5- Quantas vezes já leccionou a disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R5- Eu suponho que leccionei duas no modelo anterior e este ano estou a leccionar pela primeira vez no âmbito da Revisão Curricular do Ensino Secundário.

Q6- Qual (ais) o (s) manual (ais) escolar (es) utilizado (s) aquando da leccionação da disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R6- Os manuais utilizados em Ciências da Terra e da Vida no anterior modelo foram sempre o mesmo - o da Porto Editora, da Amparo. Actualmente, a nossa escola adoptou o livro da Areal e é aquele com que iremos trabalhar.

Q7- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis detectou incorrecções e/ou explicações pouco claras no manual adoptado?

R7- Sinceramente, em anos anteriores, com toda a sinceridade não notei neste conteúdo nem incoerências, nem erros, embora muitas vezes o que acontece com os manuais é que muitas vezes os assuntos nem sempre são apresentados da forma mais clara. Mas isso compete ao professor, o manual é apenas um instrumento, e como todos sabemos, compete ao professor tentar munir-se de esquemas e de materiais que permitam colmatar alguma falta de clareza dos manuais. Quanto à falta de rigor não me recordo de ter detectado neste conteúdo, embora me parece que todos os manuais têm lacunas e erros científicos, mais ou menos graves.

Q8- De um modo geral como classificaria a abordagem apresentada pelo manual escolar à temática dos combustíveis fósseis?

R8- Eu julgo, na minha perspectiva um bom manual é aquele que consegue fazer a tal abordagem CTSA de que tanto falamos. Mais importante do que saber, ou melhor dizendo, do que conhecer em pormenor toda a origem, toda a classificação dos combustíveis fósseis eu julgo que é importante que os alunos consigam perceber porque é que estão a estudar este assunto, o que é que isto tem a ver com o seu dia a dia. E se o manual e o professor fizerem uma abordagem CTSA eu julgo que esta temática é de grande valor por tudo que tem a ver, realmente, com o nosso dia-

a-dia e com questões ambientais altamente prementes na actualidade e grande pertinência, não é? Nomeadamente, o protocolo de Kyoto de que tanto se fala e com as medidas que estão a ser implementadas, não se tratada apenas de uma questão ambiental numa perspectiva apenas ambientalista não, trata-se de uma questão de educação ambiental numa perspectiva cultural e social, porque as medidas que estão a ser implementadas têm custos económicos e estão relacionadas com a participação individual de cada um de nós. E, portanto, nesse sentido eu creio que nenhum dos manuais, dá a ênfase que seria desejável na minha perspectiva pessoal a isso. No que concerne às origens, às classificações parece-me estar bastante bem, um ou outro nomeadamente este na altura, pareceu-me minimamente adequado para a profundidade que me parecia exigível no 11.º ano, embora lá está, aqui ou acolá falta esta parte que me parece a mais importante. Há um esforço como sabemos dos manuais, nomeadamente neste de falar da ciência e da tecnologia mas suponho que esse esforço tem tendência para ser muito marginal e não o principal e é obvio que eu acho que deveria ser o principal. Daí que quando trato este assunto, embora como disse não tenha tido formação inicial nem contínua neste área, esforço-me, se possível e é possível para que a abordagem seja numa perspectiva CTSA e para que eles percebam que isto de que estamos a falar não vale só como cultura geral, mas vale ao fim e ao cabo como uma informação útil para os cidadãos e para a compreensão do mundo que nos rodeia.

Estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores

Q9- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis sentiu necessidade de construir materiais pessoais para abordar esses conteúdos? Porquê? Quais? Em que fontes de informação se baseou?

R9- Bom, com sinceridade não tenho presente, até porque a leccionação do 11.ºano, ocorreu, se bem me recordo, há quatro anos e há três, depois houve um interregno na leccionação desta disciplina e actualmente estou com a disciplina mas ainda não chegamos lá. Na altura os materiais que me lembro de ter produzido foram essencialmente acetatos, por razões óbvias, que dão algum jeito na explicação, nomeadamente na origem e classificação, onde eu suponho que a apresentação de esquemas e de imagens poderá ajudar. Tenho quase a certeza, embora não tenha presente, que terei recolhido e adaptado artigos de jornal relativos a assuntos da actualidade que com isto se relacionem e, volto a referir, entre outras coisas, a questão do protocolo de Kyoto, o aquecimento global, o efeito de estufa, etc. E normalmente são esses materiais que utilizo. Não tenho presente que tenha utilizado qualquer fonte bibliográfica mais específica, embora como disse, no caso da Geologia em particular, recorro muitas vezes a consultas bibliográficas para além dos manuais porque é uma área onde sinto algumas deficiências de formação e, portanto, tento inteirar-me dos assuntos junto de outras fontes mas não tenho presente, sequer, que outras fontes terei utilizado. Recordo-me que com toda a certeza a utilização dos artigos dos jornais e questões da actualidade foram de certeza utilizadas na leccionação desta unidade, pelas razões que disse, porque acho que deve ser essa a abordagem. Os acetatos, eventualmente os diapositivos, porque eu lembro-me que esta unidade, aliás como as rochas, e nós sabemos disso, carecem de imagem, não é. E também, estou agora a recordar-me há sempre um esforço nesse sentido, utilização de amostras de mão para melhor compreensão, refiro-me ao carvão e às rochas para melhor compreensão daquilo que estamos a tratar. Julgo que tenha ido por ai, mas como já passou algum tempo.

Q10- Ao iniciar a abordagem desta unidade temática o que começaria por dizer, fazer ou perguntar aos seus alunos?

R10- Começaria por tentar com eles perceber a importância que o estudo desta temática tem e eu julgo que isso traria enormes benefícios. Desde logo uma motivação intrínseca, é obvio, desde logo o aproveitamento e a melhor compreensão do que se está a passar neste dia a dia e aliás, como referi, o protocolo de Kyoto, é apenas um exemplo

de como esta temática pode relacionar-se com a actualidade. Tentaria e foi o que fiz, se bem me recordo no passado, começar por ai.

Q11- Quais os conteúdos que considera fundamentais ter em consideração na leccionação desta temática? Como os organizaria?

R11- É claro, que esta abordagem começando pela pertinência do tema para cada um de nós na actualidade, obviamente que os próprios alunos sentem necessidade de depois fazer aquilo que vem sempre nos manuais, que é ir à origem, ao como se terão originado, ir à classificação, ou seja, perante a panóplia de combustíveis fósseis como é que eles se podem classificar e, por último, que aliás está relacionado com o primeiro, na minha opinião, tem a ver com o facto de serem efectivamente bens escassos como sabemos não renováveis e julgo que isso deveria ter uma ênfase especial, talvez terminasse por aí ou começasse até por aí, porque aquilo que referi à pouco da abordagem CTSA, aliás uma questão relativamente interessante para os alunos seria exactamente, o que são os combustíveis fósseis, o que é que terão a ver com o nosso dia-a-dia e porque é que será pertinente falar sobre eles, não é!? Desde logo antecipando o facto de estarem continuamente a serem gastos e a não serem repostos. A classificação dos combustíveis fósseis é uma classificação um pouco polémica, principalmente relativamente ao petróleo, mas com sinceridade não tenho conhecimentos que me permitam dizer que a classificação apresentada no manual não seria a mais correcta. Aliás, como sabemos, as classificações são sempre artificiais, sejam classificações biologias os geologias, elas dependem sempre das características que nós pré-definimos para as fazer, porque definindo determinadas características a classificação é desta forma, mas se eu definisse outras características a classificação seria outra completamente diferente. Não me preocupa de sobremaneira a polémica que possa estar associada, e que sei que está nomeadamente ao petróleo, se é sedimentar ou não é, como é que se relaciona com as restantes rochas sedimentares, etc., embora tente discutir isso com os alunos, porque há essa curiosidade do petróleo. Penso que os manuais referem sempre essa excepção do petróleo.

Entrevista 3

Formação inicial e formação contínua

Q1- Durante a sua formação inicial teve alguma cadeira onde os conteúdos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis fossem tratados com pormenor?

R1- Relativamente à formação inicial e à formação contínua eu devo referir que durante a formação inicial tive uma disciplina – Petrologia Sedimentar, onde se abordava de alguma maneira o assunto da classificação das rochas sedimentares. Nesse âmbito, falamos um bocadinho de petróleo, mas muito pouco. Noutras disciplinas do curso, nomeadamente em Recursos, não falamos propriamente de carvão ou de petróleo.

Q2- Como classifica os seus conhecimentos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R2- Portanto, os conhecimentos que eu tenho relativamente a estes assuntos prendem-se mais com investigações particulares como pesquisas em livros para além dos manuais escolares, que vêm da necessidade de ter leccionado 10 ou 12 vezes a disciplina de Geologia de 12.º ano. No 11.º ano as questões que se abordam por norma, e se calhar porque eu sou licenciada em Geologia, eu cumpro sempre o programa e como tal, os desgraçados dos meus alunos

acabam sempre por abordar um dos ambientes, mas por vezes na escola não se aborda o ambiente sedimentar dada a região onde nos encontramos tanto tem interesse o ambiente sedimentar como o ambiente magmático, muitas das vezes as colegas insistem, porque nós no 12.º ano na escola só temos uma turma e, para além do mais faz parte do programa a desenvolver, o petróleo, o gás natural e o carvão, tudo isso tem de ser abordado. No 11.º ano temos várias turmas e, portanto, naturalmente se chega a uma consenso quanto ao ambiente a abordar. Quando eu tinha 11.º ano efectivamente, os meus alunos sofriam um bocadinho, não esticava tanto a hereditariedade, e falava um bocadinho disto, mas pouco. Por outro lado, tenho também procurado informar-me sobre este assuntos no âmbito da formação inicial de professores, porque habitualmente, estes assuntos são desenvolvidos e as aulas são leccionadas, não por mim mas pelas pessoas em formação e, naturalmente que este é sempre um tema onde há grandes dificuldades, daí nós recorrermos muitas vezes a professores da faculdade, nomeadamente à Doutora Deolinda Flores que é uma senhora que é especializada nesta área e já teve até a oportunidade de orientar estágio, na parte científica, aqui na escola. Por acaso, ainda este ano, a Áurea, a estagiária que está a dar as aulas neste momento, estamos exactamente a falar de petróleos, recorreu a ela porque ela tem uma vasta bibliografia e é muito conhecedora de aspectos, porque há aspectos que são muito discutíveis.

Q3- Durante a sua carreira recebeu formação contínua sobre os conteúdos relativos à temática dos combustíveis fósseis? Qual?

R3- Depois voltei a falar, de um ponto de vista formal, no âmbito de um curso de mestrado que fiz – Geologia para o Ensino – tivemos no âmbito de uma cadeira que à época se chamava Recursos Minerais e Energéticos, ou qualquer coisa assim, a primeira parte dessa cadeira era leccionada pelo Dr. Fernando Noronha e, portanto, abordávamos os jazigos minerais, mais na óptica dos minérios e depois o professor Lemos de Sousa abordou connosco a questão dos recursos energéticos mas mais na óptica do impacte ambiental propriamente do que da formação.

Q4- Alguma vez sentiu necessidade de receber formação contínua sobre questões relacionadas com a génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R4- Esta necessidade, claro que se sente muita necessidade, de todo, até porque é um tema... se falarmos de fossilização está pacificado, quer dizer, este tema não. Até devido às implicações sócio-culturais que tem na exploração dos combustíveis.

Análise do manual utilizado

Q5- Quantas vezes já leccionou a disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R4- A disciplina de Ciências da Terra e da Vida leccionei no antigo programa, o novo nunca dei até porque este é o primeiro ano que está, leccionei para aí umas cinco vezes.

Q6- Qual (ais) o (s) manual (ais) escolar (es) utilizado (s) aquando da leccionação da disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R6- Os manuais escolares adoptados aqui nesta escola, e eu já estou cá há 10 anos, essencialmente são aqueles manuais da Porto Editora e da equipa da Amparo. Não sei se lhe interessa saber, de qualquer maneira, se calhar as necessidades também que eu tive de pesquisa, e daí conhecer muitas coisas deve-se ao facto de eu ter elaborado

manuais de TLG, mas aí a abordagem é perfeitamente outra, não é tanto ao nível da formação do petróleo mas mais ao nível da análise e identificação dos carvões.

Q7- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis detectou incorrecções e/ou explicações pouco claras no manual adoptado?

R7- É verdade, durante a leccionação detectam-se muitos, muitos, de facto, algumas incorrecções, há até alguns manuais, por acaso nem tanto este. Nós no 12.º ano usamos também um que é da Porto Editora. Há um da Areal mas que é muito exaustivo na parte da deformação. Eu temo um bocado mudar de manual porque nós quando adoptamos um manual temos que ver um bocado quem é o público que vai usar o manual e, lamentavelmente, em Geologia a maior parte dos alunos que vêm para esta disciplina, fazem-no para fugir à Química, isso por si só pode não querer dizer muito, uma vez que se calhar até temos alunos que fogem à Química mas que se calhar até fazem bem e a Geologia faz-lhes falta, como é o caso de alguns que vão para algumas áreas da Engenharia e, portanto, em algumas temáticas da Engenharia é interessante ter conhecimentos sobre a mecânica das rochas, etc. Mas a maior parte dos alunos vão para Desporto e os alunos de desporto não são menos dotados do que os outros, naturalmente, mas têm um hábito de trabalho que é completamente distinto. Muitas vezes vão para desporto porque efectivamente acham que é o mais simples, nem sequer é porque apreciem particularmente desporto ou porque tenham grandes apetências, mas vão porque pensam que é o mais simples. Outros irão mesmo, enfim, por ter sido a sua opção e estes normalmente têm muitas actividades extracurriculares, até extenuantes do ponto de vista físico. O problema tem a ver com actividades que eles desenvolvem fora da escola, muitos deles são federados e pertencem a selecções. São, portanto, alunos que têm pouco tempo para estudar, portanto, o que é que acontece, se o manual é muito aprofundado, então depois as coisas tornam-se muito complicadas. Mas no 11.º ano há algumas incorrecções até sobretudo que vêm até da interpretação directa e linear que se possa fazer do programa. Por exemplo, no 12.º ano e isto ainda se nota no 11.º ano não tanto porque não é tanto escalpelizado, há uma terminologia que já está ultrapassada mas que continua a ser utilizada, é o caso da hulha e é o caso da turfa ser considerada linearmente como um carvão. Estas são as duas principais incongruências que aí há. No manual que nós utilizamos no 12.º ano, então aí são passadas imensas ideias, que não são nada claras, nomeadamente de que uma bacia intracontinental tem que ser sempre autóctone, não está dito assim mas leva a que se tire esta conclusão. A ideia de sistematização é uma ideia que eu acho que nós temos de combater tanto mais que hoje em dia as questões ligadas à Ciência, é perfeitamente claro que nunca estão nunca pacificadas. E independentemente de acharmos que epistemologicamente o conhecimento científico se constrói ou por rupturas ou por experiências cruciais ou por aproximações à verdade, essa ideia, eu penso que quando se educa os alunos com vista à literacia científica convém desfazer essa ideia de que tudo está arrumado. É uma necessidade humana, arrumar.

Q8- De um modo geral como classificaria a abordagem apresentada pelo manual escolar à temática dos combustíveis fósseis?

R8- Algo simplificada, não é, eu diria, porque acho que tende a passar exactamente essa ideia de que o conhecimento é definitivo e linear a construção do conhecimento.

Estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores

Q9- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis sentiu necessidade de construir materiais pessoais para abordar esses conteúdos? Porquê? Quais? Em que fontes de informação se baseou?

R9- A necessidade de produzir materiais, sim muitas vezes há necessidade de construir de construir algumas fichas de trabalho, há necessidade de produzir alguns acetatos, algumas fichas de trabalho, o que eu costumo fazer é exactamente, eu não lhe sei dizer de cor as fontes de informação mas o que normalmente faço é recorrer a esquemas que são retirados da bibliografia da especialidade. Ou que são simplificações que até podem nem estar muito correctas, as quais passam por aquilo que eu acho que é mais importante, mas eu não sou especialista na matéria, tenho o cuidado de normalmente se me afasto muito assim do que está, de falar sei lá com alguém que saiba um bocadinho desse assunto, como a doutora Deolinda ou outra pessoa que tenha estudado, mas essas simplificações podem ser sempre um erro ou podem conter erros ou imprecisões. Temos muito pouca bibliografia em português e, daí se calhar a necessidade de construir videoapresentações, conjuntos de diapositivos e muitas vezes nós confrontamo-nos com a necessidade de ter-mos de apresentar algumas imagens com legendas em inglês ou em francês porque a leitura tornar-se-ia difícil se tivéssemos de traduzir, e alguns nem têm tradução. Essa é outra das dificuldades com que nos temos debatido. Ainda o ano passado a estagiária que tratou isso informou-se muito bem sobre o assunto e fez um óptimo trabalho em termos de produção de materiais e alguns foi mesmo impossível traduzir.

Q10- Ao iniciar a abordagem desta unidade temática o que começaria por dizer, fazer ou perguntar aos seus alunos?

R10- Habitualmente, quando eu faço a abordagem desta temática começo por perguntar aos alunos, e então se for ao nível do 11.º ano onde não se faz uma abordagem tão exaustiva do assunto, é sensibiliza-los para a questão do carvão, do petróleo, e do gás natural, enquanto recursos, enquanto recursos esgotáveis e para a particularidade que estes recursos têm de na sua formação haver intervenção biológica e formarem-se a partir de matéria orgânica, o que os distingue dos recursos minerais, não é!?

Q11- Quais os conteúdos que considera fundamentais ter em consideração na leccionação desta temática? Como os organizaria?

R11- Evidentemente alguns dos processos de formação, nomeadamente entender bem as questões ligadas à incarbonização, à betuminização. A nível da organização começaria por questões mais genéricas e passaria depois às especificidades da formação.

Entrevista 4

Formação inicial e formação contínua

Q1- Durante a sua formação inicial teve alguma cadeira onde os conteúdos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis fossem tratados com pormenor?

R1- Não, com pormenor não, apenas foram abordados na altura alguns aspectos dos carvões, porque é assim combustíveis fósseis se eu os dividir de uma forma simplista vamos imaginar – carvão, petróleo e gás natural – apenas relativamente aos carvões tive algumas aulas da Geologia de Portugal, na altura, quem era o docente, era o Doutor Lemos de Sousa e sobre petróleo, digamos assim, esporadicamente, uma ou outra noção que nos foi dada. Portanto, eu diria assim, mais à base de carvões do que propriamente no que diz respeito à génese do petróleo, vamos chamar-lhe assim.

Q2- Como classifica os seus conhecimentos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R2- Ora bem, relativamente a este assunto, eu li, tenho lido algum tipo de informação, nomeadamente que algumas pessoas da faculdade tiveram a generosidade de me facultar, nomeadamente classificações dos carvões. Portanto se fosse quantificar de zero a cem por cento diria assim, 10%, e digo-lhe mais até relativamente à parte dos petróleos do propriamente dos carvões porque destes sempre há mais informações e mais bibliografia. Tenho comprado bastante bibliografia ao nível de livros estrangeiros, nomeadamente um que comprei só sobre recursos, que tem de facto, a um nível que eu considero, digamos assim, já superior. Portanto, bibliografia americana – Research of the Earth do Skinner & ... - é um livro que eu acho bastante interessante e que me tem dado bastante jeito, tem coisas interessantes e trata os assuntos relativos à parte dos combustíveis fósseis, mas lá está já vai um bocadinho acima relativamente àquilo que se exige e que se pede ao nível do ensino secundário, mas o professor também tem de ter a noção que tem de estar vários pontos acima para puder de facto, em tempo útil e oportuno, puder até desfazer algumas dúvidas que possam surgir relativamente a este tema. Acho um livro interessante porque nem é um livro tecnicista ou seja, só direccionado para carvões mas tem um apanhado geral sobre Recursos, é portanto, um livro interessante.

Q3- Durante a sua carreira recebeu formação contínua sobre os conteúdos relativos à temática dos combustíveis fósseis? Qual?

R3- Não, nunca tive qualquer formação sobre isto, adicional aquela pequena formação que tive inicialmente, portanto.

Q4- Alguma vez sentiu necessidade de receber formação contínua sobre questões relacionadas com a génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R4- Eu nunca procuro formação, vamos lá ver se a formação está disponível... A minha perspectiva relativamente à formação é esta: se eu vejo que existe uma determinada proposta de formação, qualquer prospecto que chega à escola, qualquer situação de formação contínua ao nível do Focus ou até outro tipo de situações que apareçam divulgadas na escola até ao nível da formação contínua, se achar que os assuntos têm interesse eu próprio vou. Quando não existe, não me preocupo muito porque eu próprio faço a minha própria formação, isto é, procuro documentar-me independentemente, fica...tudo na vida tem um preço e se eu fosse, eu dou-lhe um exemplo, eu noutro dia para uma abordagem que quis fazer relativamente a um assunto muito específico da Geologia, ficou, portanto,... tive de pagar um preço relativamente elevado só em bibliografia. Eu não estou à espera da formação externa acho que o professor também deve, e tem essa obrigação, se sente essas dificuldades tem que arranjar forma de se formar a ele próprio, senão está à espera, passa um ano, dois e três e as coisas vão ficando por fazer. Portanto, sentir necessidade para mim é um bocado difícil, porque a necessidade tenho-a, todos os dias tenho necessidade de formação eu se fosse dizer, todos os dias teria necessidade de fazer algo de novo. Se todos os dias eu necessito de aprofundar mais um assunto, eu todos os dias precisava de arranjar uma acção de formação nova. Portanto, o que é que eu faço, tento sempre arranjar forma de ter essa informação, e depois o que é que eu faço, quando existe uma multiplicidade de propostas de formação que eu ache que tem interesse, participo. Abrindo um parêntesis, vai decorrer em Setembro deste ano uma acção muito interessante, sobre o património geológico português que na altura descobrir a consultar o sítio da Universidade do Minho e inscrevi-me e vou com todo o gosto, agora se há vou e se achar que tem interesse vou, agora ir por ir não. Vou ali são três dias tenho dispensa de formação na escola, são dias que não estou a dar aulas, isso é perder tempo.

Análise do manual utilizado

Q5- Quantas vezes já leccionou a disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R5- Umas cinco vezes sensivelmente.

Q6- Qual (ais) o (s) manual (ais) escolar (es) utilizado (s) aquando da leccionação da disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R6- Foi o da Porto Editora, mas na altura ainda não era autor nem sequer conhecia qualquer dos autores do manual. Já foi, portanto, há uns cinco anos depois tive vários anos a dar a disciplina de 12.º de Biologia e de Geologia. Onde é abordada a parte dos combustíveis fósseis também ao nível dos recursos energéticos, era feita também a abordagem desta temática, mais sobre o ponto de vista do recurso do que propriamente, sob o ponto de vista da génese.

Q7- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis detectou incorrecções e/ou explicações pouco claras no manual adoptado?

R7- Há, vou já dar-lhe um exemplo, em primeiro lugar começa-se logo pelo seguinte, o petróleo é uma rocha ou não? É um sedimento? Começa logo por ai, eu, na altura, uma das primeiras falhas que achei e que a maior parte dos manuais apresenta, desde o básico... mas é assim também concordo que se calhar estar ao nível do básico a dizer, embora não concorde que não se deva assumir que o petróleo deve ser uma rocha, mas é recorrente, que muitos... mas isso é logo uma das primeiras situações que de facto muitos dos manuais e se calhar tem essa percepção melhor do que eu, começam logo por afirmar que o petróleo é uma rocha sedimentar. Depois vamos à questão do petróleo, o que é o petróleo? Estamos a falar do produto já com uma certa maturação ou que tipo. O que é que se entende por aquela palavra? Depois nós temos um problema na língua, eu pelo menos sinto isso, é um problema de sintaxe, digamos assim, para nós o petróleo é, pode ser várias coisas, enquanto que para os americanos, eles fazem, têm uma distinção muito específica entre aquilo que é o petróleo, o crude, e aquilo que é o petróleo como produto ou subproduto, já como resultado do processo transformativo, da refinação, etc. Logo por ai, nós também temos essa dificuldade de adaptar a nossa terminologia a um certo rigor, porque para nós e se fizesse essa questão, a professores, as pessoas diriam desde aquilo que é extraído do subsolo, até aquele que se compra como produto aí numa drogaria qualquer, portanto... há logo desde aí uma certa confusão relativamente a esse tipo de terminologia. Depois há o problema, das terminologias, do que está na origem do petróleo, que tipo de fase, portanto, quais são as fases concretas que o petróleo tem de passar, quais são os processos biológicos, que tipo de microbiologia actua. Há aí uma panóplia de confusão, muitas vezes misturam-se coisas. Mas isso sou eu falar se calhar um professor, pela minha experiência vejo o seguinte, o professor que está a dar as suas aulas o que quer é que as coisas sejam simplificadas ao máximo. Também lhe garanto uma coisa, a partir do momento em que houvesse um manual que entrasse por uma abordagem digamos assim, rigorosa, sobre a génese dos combustíveis fósseis, tínhamos aí um conjunto de pessoas a ficar com os cabelos em pé. Outro problema é que às vezes, e eu falo por experiência própria, às vezes é muito difícil conseguir, porque o manual não é só para o professor, é para o professor e para o aluno. Portanto, repare, o manual funciona em duas perspectivas: o professor se calhar às vezes até gostava de ter um bocadinho mais no manual... Há incorrecções, há sim senhor.

Q8- De um modo geral como classificaria a abordagem apresentada pelo manual escolar à temática dos combustíveis fósseis?

R8- Ora bem essa pergunta decorre daquilo que eu há bocadinho lhe referi, que é nós temos que nos adaptar às orientações, temos que ver que o manual tem de ser feito na perspectiva do aluno, não na perspectiva do professor, porque lá está, o professor também deve procurar outras fontes que não o manual e, portanto, não podemos fazer do manual uma tese ou uma dissertação ou um brilharete relativamente a determinado tema. Eu vou-lhe dar um exemplo, imaginemos que eu tinha acabado de fazer um trabalho de investigação sobre um determinado tipo de assunto, como tal eu estou super documentado, eu estou de facto com uma capacidade de abordagem daquela temática, então qual seria a tendência, era chegar ao manual vamos colocar ali uma série de conceitos e coisas. É evidente, se eu estou a fazer um trabalho é porque gosto de o fazer e supostamente é um tema que me apraz, então melhor do que ninguém vou pôr ali. Mas o outro a quem se destina a mensagem vai dizer assim, mas aonde é que estes fulanos foram buscar estas coisas. Portanto, eu acho que a abordagem que é feita no manual deve ser enquadrada nestes moldes: ser rigoroso, é preferível não falar do que dizer asneiras, é melhor pecar por omissão do que pecar por uma omissão mas pelo erro do que lá está e tentar dentro daquilo que nos é possível e permitido abordar faze-lo de uma forma que possa agradar aos dois lados, ao professor e também aos alunos. Mais uma vez eu repito, o manual destina-se primariamente aos alunos e se o manual não fosse feito nessa perspectiva nós então tínhamos que assumir vamos fazer um manual para o professor e o manual do aluno, só que para isso era necessário que as editoras quisessem alinhar em duplicar os gastos, portanto é complicado.

Estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores

Q9- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis sentiu necessidade de construir materiais pessoais para abordar esses conteúdos? Porquê? Quais? Em que fontes de informação se baseou?

R9- Sim, sim, mas isso também depende das turmas, há turmas onde por várias circunstâncias, nós vamos mais além, até porque os alunos são mais receptivos a um determinado tema e o professor também se sente motivado a ir mais além e a dar mais informação. Às vezes pode aparecer um determinado texto que aprofunde determinado tipo de tópico, pode aparecer uma determinada actividade experimental que não está prevista no manual, mas que de facto se pode fazer para aprofundar mais um bocadinho, vamos imaginar quando se fala em armadilha petrolífera, porque não simular na sala de aula esse tipo de contexto geológico favorável ao aparecimento dos combustíveis fósseis. Isso logicamente existe, e eu já o fiz mas digo-lhe uma coisa quando tenho de facto um grupo de alunos onde há esse clima favorável ao desenvolvimento do tema. O que eu assistia relativamente, principalmente à Geologia de 12.º ano, mas no 11.º ano também existia um problema relacionado com a selecção do tipo de ambiente geológico a leccionar. Portanto, o que é que as pessoas faziam, ainda por cima, nós estamos no norte, uma zona mais propícia ao ambiente magmático, mesmo aqueles que estão nas regiões centro e sul é o que está a seguir à Biologia e também é o mais pequenino e, porque de facto, o ambiente sedimentar é uma coisa imensa, nós nunca mais terminamos e depois as pessoas sentem-se mais à vontade na Biologia, desenvolvem, desenvolvem, os assuntos da Biologia e aquilo eterniza-se, até que quando se chega à parte da Geologia, o que é que acontecia, só temos aqui um mesito de aulas, ou quinze dias porque entretanto vinham as provas globais, portanto, estudamos uns mineraizinhos e umas coisas a seguir projectamos uma transparência relativa a um determinado tipo de contexto magmático e pronto, estava tudo dado. Relativamente, ao ambiente sedimentar, eu desconfio que nestes anos todos em que este programa que terminou o ano passado em que esteve em vigor, houver 10 escolas em 500 escolas que o tenham abordado será muito. Eu vou reportar-me ao 12.º ano que é aonde esse assunto foi explorado. E então, no 12.º ano o que é que nós temos, o universo de alunos que vão para Geologia, são os alunos que consideram que aquilo é fácil e os exames de 12.ºano também são, os professores também não vão exigir muito porque aquilo é tudo boa gente e, portanto, temos um conjunto de alunos que o que quer é que a vida corra, tudo pela rama e muito superficial e, portanto, os

professores, a maior parte, se for aprofundar muito os conceitos com estes alunos arrisco a que eles comecem a anular ou a ter uma plateia que ninguém me ouve. Quando o grupo turma permite um desenvolvimento destas temáticas, eu acho, e já o fiz, das vezes que dei houve uma turma em que fui um bocadinho mais além. É difícil uma pessoa estar a imaginar o que vai fazer. Eu diria que 99,9% dos materiais que eu tenho são de origem americana. Tenho um ou outro livro francófono mas não os considero muito bons. Os americanos tratam essas temáticas com outro tipo de profundidade, mas eu os livros com que tenho trabalhado, eu sinceramente gosto mais dos americanos. Geralmente vejo qual a bibliografia que me pode dar suporte, vejo se o manual responde cabalmente, ou suficientemente a determinado tipo de assunto e nesse caso não vou estar a ter trabalho suplementar, às vezes justificam-se umas leituras para um determinado tipo de assunto, por vezes é necessário utilizar um esquema que eu acho rico ao nível da visualização, por exemplo, eu lembro-me que houve um ano em que eu tive acesso a um material que me foi fornecido ou por uma petrolífera ou por uma associação norte americana (*American Oil Institute*) sobre combustíveis fósseis, mas aquilo estava em inglês. Portanto, quando posso e acho que merece a pena recorro a material suplementar, se considerar pela temática em causa ou pela abordagem que é feita no manual que não se justifica, não faço.

Q10- Ao iniciar a abordagem desta unidade temática o que começaria por dizer, fazer ou perguntar aos seus alunos?

R10- Em primeiro lugar começaria por perguntar o que faz mover as sociedades modernas, qual tem sido o motor de desenvolvimento das sociedades modernas, e quando digo, sociedades modernas, refiro-me após a Revolução Industrial. Qual foi o desenvolvimento tecnológico e a partir do momento em que há o bloom do desenvolvimento tecnológico e o que está na sua base, portanto, as fontes de energia que se diversificam e a partir daí, ir aliando o consumo exponencial do petróleo aos impactes ambientais desse consumo exagerado desse tipo de combustíveis. Contextualizar o desenvolvimento tecnológico e relacioná-lo com a exploração dos combustíveis fósseis. O petróleo de facto permitiu-nos toda a qualidade de vida, os materiais que nos rodeia, toda a tecnologia está assente no consumo de petróleo, bem como todo o nosso bem-estar, basta que os alunos sejam levados a pensar que basicamente todos os materiais que nós utilizamos no nosso quotidiano... é preciso cultivar a responsabilidade individual, para vermos que a sociedade está assente em princípios de consumo de combustíveis fósseis e não em princípios de sustentabilidade, digamos assim.

Q11- Quais os conteúdos que considera fundamentais ter em consideração na leccionação desta temática? Como os organizaria?

R11- Para mim é fazer a ponte entre o que está antes da Revolução Industrial, isto é as fontes energéticas utilizadas antes da Revolução Industrial, o bloom tecnológico ocorrido com a Revolução Industrial, quais são as energias que essa Revolução Industrial vai privilegiar, qual é o modelo de desenvolvimento das sociedades assentes no paradigma pós Revolução Industrial e depois, uma parte muito importante, falar dos impactes que são a ser gerados relativamente ao consumo dos combustíveis fósseis e, depois até que ponto surge existir uma mudança de paradigma do modelo de desenvolvimento relativamente aos padrões actuais de consumo.

Entrevista 5

Formação inicial e formação contínua

Q1- Durante a sua formação inicial teve alguma cadeira onde os conteúdos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis fossem tratados com pormenor?

R1- Eu sou formada em Biologia e, portanto, não tive qualquer formação na área dos combustíveis fósseis, tive apenas uma cadeira de Geologia que foi uma cadeira semestral e na qual demos as rochas em termos muito gerais e nem sequer falamos nos combustíveis fósseis. Portanto, em termos de formação não tive realmente nada que abordasse os combustíveis fósseis e, então com pormenor, é que não tive mesmo.

Q2- Como classifica os seus conhecimentos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R2- Os meus conhecimentos relativamente aos combustíveis fósseis têm a ver com pesquisas que faço em termos individuais e com leitura dos manuais, quando preciso de leccionar os combustíveis fósseis. Em termos de escola, a minha pesquisa aumentou quando comecei a orientar estágio, porque senti necessidade de aprofundar um bocadinho mais os combustíveis fósseis a nível do Básico, porque a nível do Secundário, os combustíveis fósseis aparecem na disciplina de 11.º ano. Mas aqui na escola era feita a selecção de um tipo de rocha, um ambiente e então só se dava o ambiente magmático e estudava-se em termos até aprofundados, o granito, por isso é que eu falei em rocha. Daí que normalmente no Secundário nunca chegássemos aos combustíveis fósseis, não havia tempo.

Q3- Durante a sua carreira recebeu formação contínua sobre os conteúdos relativos à temática dos combustíveis fósseis? Qual?

R3- Durante a minha carreira também nunca tive formação contínua sobre este tema e, eu estou aqui a entender por formação contínua, talvez aquelas acções de formação ministradas por alguém. Nunca fiz nenhuma na área dos combustíveis fósseis.

Q4- Alguma vez sentiu necessidade de receber formação contínua sobre questões relacionadas com a génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R4- Se calhar agora, se tivesse que leccionar 11.º ano sentiria essa necessidade, porque eu sei que faz parte do programa novo o estudo dos combustíveis fósseis e, se calhar era bom ter formação nessa área, até porque como não sou da área da Geologia, sou formada em Biologia, também não tenho assim um conhecimento... e se calhar a nível do Secundário é necessário abordar os combustíveis fósseis com outro pormenor que não aquele que se aborda ao nível do Básico.

Análise do manual utilizado

Q5- Quantas vezes já leccionou a disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R5- Já leccionei a disciplina salvo erro sete vezes.

Q6- Qual (ais) o (s) manual (ais) escolar (es) utilizado (s) aquando da leccionação da disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R6- O manual utilizado foi sempre o manual da Porto Editora, o da Amparo.

Q7- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis detectou incorrecções e/ou explicações pouco claras no manual adoptado?

R7- Posso referir alguns aspectos que eu acho que podem não estar muito bem esclarecidos, nomeadamente, eu acho que às vezes o manual faz alguma confusão se a turfa é ou não um carvão, embora defina a turfa como sendo matéria orgânica em decomposição depois inclui-a no interior do capítulo dos carvões. Comparando o manual antigo com o actual – relativamente ao manual actual eu acho que hoje em dia se fala sobre os combustíveis fósseis, no livro, porque o livro continua a ser o mesmo, o escolhido, os autores apenas mudaram alguns aspectos e eu acho que em alguns aspectos mudaram para pior. No livro anterior eles falavam nos combustíveis fósseis e no facto de serem energias não renováveis e retiraram essa parte, essa chamada de atenção, depois não fala em carvão betuminoso em nenhum dos capítulos, não fazem a distinção da densidade, no manual anterior eles distinguem a densidade da água, do petróleo e do gás natural para explicar a migração, no actual já não falam nisso. Na extracção do petróleo, eu acho que o anterior foca a extracção do petróleo e que ela até, ... o modo, no actual eles já não fazem referência a esse aspecto. Depois, eu acho que deviam ter a localização dos carvões em Portugal e não notei em nenhum dos livros alguma referência, eu acho que no caso do carvão é muito importante e, talvez, referir porque é que não se faz nenhum estudo para tentar encontrar petróleo em Portugal, não é, é necessário referir as condições que em conjunto levariam ao facto de haver formação de petróleo em Portugal. Depois outro aspecto que eu também acho que seria importante explicar, eles falam lá quer num, quer noutro, nas características dos carvões e, portanto, talvez fosse importante falar em termos de..., eles depois dizem o rendimento energético num e noutro mas se calhar referir qual é mais utilizado, qual é que tem vantagens em termos de utilizações, eles falam nas características mas depois não fazem essa abordagem. Assim, mas acho que isso foi o essencial.

Q8- De um modo geral como classificaria a abordagem apresentada pelo manual escolar à temática dos combustíveis fósseis?

R8- Se calhar, seria uma abordagem suficiente mas talvez pudesse ser melhor se fosse dado cá na escola. Eu agora vou dizer em relação ao actual acho que é suficiente mas que poderia estar melhorada e com algum pormenor até porque relativamente ao petróleo é uma temática muito actual que motiva as sociedades, faz gerir muito a parte económica em termos mundiais. Se calhar eu acho, e era esse outros dos aspectos que agora estou-me a lembrar, que os manuais não abordam e que é a parte económica da utilização dos combustíveis fósseis e, portanto eu acho que se calhar seja suficiente mas para alguns dos nossos alunos não é, principalmente os daqui da escola, que são alunos exigentes geralmente quando chegam ao 11.º ano a maioria gosta de ir um bocadinho mais além daquilo que é o essencial e, portanto, se o livro desenvolve-se um bocadinho mais seria bom, ajudava. Eu acho que há outros aspectos que estão demasiado desenvolvidos e que peca neste caso dos combustíveis fósseis, há outras rochas menos importantes e eles desenvolvem muito mais e nos combustíveis fósseis é um capítulo muito reduzido, mas também as orientações programáticas apontam para isso.

Estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores

Q9- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis sentiu necessidade de construir materiais pessoais para abordar esses conteúdos? Porquê? Quais? Em que fontes de informação se baseou?

Q10- Ao iniciar a abordagem desta unidade temática o que começaria por dizer, fazer ou perguntar aos seus alunos?

Q11- Quais os conteúdos que considera fundamentais ter em consideração na leccionação desta temática? Como os organizaria?

R10 e 11- Começaria pela génese, depois iria falar nos vários tipos, dentro do carvão nos vários tipos de carvões, começava logo por distinguir que a turfa não é considerada um carvão, falava dentro dos carvões, na percentagem de carbono, no rendimento energético, e depois possivelmente, queria que eles observassem amostras, porque acho que seria importante. Depois falava dos carvões em Portugal, dos locais onde se poderia encontrar carvões e depois faria ligação aonde tinha começado, iria aliar o consumo que os alunos tinham falado dos carvões, se é que eles teriam falado, mas provavelmente iriam falar, para aquilo que ocorre em Portugal e no mundo em termos de carvões. Começaria por aqui, no nosso país e depois tentava generalizar e ver no mundo qual é o consumo do carvão, como é utilizado, o que é que vai acontecer nos próximos anos, etc. Faria o mesmo em relação ao petróleo, se calhar utilizava o mesmo tipo de estratégia e o mesmo tipo de conteúdos, portanto, falaria na génese do petróleo, tentaria distinguir o gás natural, o petróleo, falar na densidade, nos vários tipos de petróleo, líquido, sólido e gasosos não é, nos vários tipos de materiais que estão ligados à formação do petróleo. Falava de como é que se faz a extracção do petróleo, embora em termos muito abreviados e sem entrar em grandes pormenores mas para eles terem a ideia da complexidade que é e de como fica dispendioso, a extracção, tentava com que eles percebessem muito bem porque é que existem realmente exploração de petróleo no mar, em alto mar, não é, que eles associassem a génese do petróleo depois ao facto da extracção ser feita em muitos desses locais, depois falava na localização, porque é que em Portugal, realmente, não se reuniram as condições essenciais para a formação do petróleo, porque é que não se procede a essa pesquisa, porque realmente não seria compensador, para depois ir em termos mundiais, se calhar depois então tentava relacionar com as ideias deles, pelas quais tinha começado e tentar ver que realmente o mundo move-se à volta do petróleo, hoje em dia, e que muitas vezes as energias que são renováveis são postas um bocadinho de parte por acusa dos combustíveis fósseis, essencialmente, hoje em dia, do petróleo, ver ao longo do tempo que primeiro foi o carvão e depois começou a ser o petróleo, realmente, para eles verificarem que a economia mundial está muito relacionada com o uso do petróleo. Mais ou menos assim.

Entrevista 6

Formação inicial e formação contínua

Q1- Durante a sua formação inicial teve alguma cadeira onde os conteúdos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis fossem tratados com pormenor?

R1- Bom, em relação à primeira questão a minha resposta é não, na realidade tive que aperfeiçoar e inteirar dos conhecimentos mais tarde, com a pratica docente, portanto em termos de formação de base não tinha a suficiente nesta área.

Q2- Como classifica os seus conhecimentos relativos à génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R2- Eu considero o meu conhecimento suficiente, não bom, suficiente.

Q3- Durante a sua carreira recebeu formação contínua sobre os conteúdos relativos à temática dos combustíveis fósseis? Qual?

R3- Não, não tive qualquer formação contínua nesta temática, tive muitas formações contínuas mas nunca nesta temática. Penso que isto tem alguma utilidade no 11.º ano do programa antigo e nos básicos, penso eu.

Q4- Alguma vez sentiu necessidade de receber formação contínua sobre questões relacionadas com a génese, classificação e utilização dos combustíveis fósseis?

R4- Olhe se calhar não senti muita necessidade em receber mais informação porque a minha auto-aprendizagem digamos, foi suficiente para a forma de leccionação dos conteúdos que eram propostos nos programas curriculares e também, porque de alguma forma eu estive muito tempo a leccionar o 12.º ano que não abordava esta temática. E, portanto, não me fez de todo falta.

Análise do manual utilizado

Q5- Quantas vezes já leccionou a disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R5- Foram muitas, inúmeras, mais de sete.

Q6- Qual (ais) o (s) manual (ais) escolar (es) utilizado (s) aquando da leccionação da disciplina de Ciências da Terra e da Vida – 11.º ano?

R6- O manual utilizado nesta disciplina foi sempre o da Porto Editora, da Amparo.

Q7- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis detectou incorrecções e/ou explicações pouco claras no manual adoptado?

R7- Bom, eu não me recordo se detectei incorrecções ou explicações pouco claras, especificamente em relação a este assunto, agora o que eu acho é que qualquer que seja o manual e, mesmo dentro deste manual da Porto Editora, não é bem a incorrecção em si, e por alguma razão nós fomos sempre seleccionando este manual, é porque entre todos os que víamos e analisávamos era o mais completo e o que suscitava menos dúvidas, que nos dava mais confiança, mas apesar de tudo, o que eu acho mais importante nestes manuais é alguma falta de criatividade e a falta de colocarem os assuntos numa abordagem que agora se pede CTS e continuamos a mudar de capa no manual mas os conteúdos permanecem mais os menos dados da mesma forma, com um toque de português, as imagens, os exercícios mantêm-se todos na mesma e isso torna-se muito monótono para o professor também e de alguma forma para os alunos, porque vão mudando de ano mas o estilo do manual que vão utilizando é sempre o mesmo. Portanto, eu penso que ai falta uma criatividade, falta uma certa metodologia, estratégias durante o livro que cative mais os miúdos, eu penso que é isso.

Q8- De um modo geral como classificaria a abordagem apresentada pelo manual escolar à temática dos combustíveis fósseis?

R8- Pronto, em relação à temática dos combustíveis fósseis, eu repito penso que foi abordada da mesma forma, que foram os outros, com falta de criatividade, com falta de interesse para os alunos, colocá-los no interesse deste assunto para a sua vida real, na sociedade. Uma coisa que eu também noto muito nos manuais é a falta de analogias, de metáforas e de comparações, que muitas vezes ajudam, especialmente nos níveis etários mais baixos, mas aqui também ajudam a compreender alguns conteúdos científicos e os manuais são muito pobres nisso. Também são pobres na História da Ciência propriamente dita porque quando se aborda um assunto qualquer onde se poderia ir fazendo uma introdução, uma historinha de quem descobriu aquilo, porque, qual a utilidade, e essas coisas não aparecem nos manuais ou aparecem muito raramente, mesmo agora com a mudança de currículo também não contemplam isso e isso faz falta porque muitas vezes é o pulo que precisamos para os miúdos ficarem sensibilizados ao tema. E há muito pouca sensibilização dos manuais para o tema com uma abordagem prática, aparecem os conteúdos dados, as definições, a ciência pronta e muitas vezes não aparece as etapas que de alguma forma ajudavam o aluno a fazer um esquema conceptual e isso não é abordado nos manuais em geral.

Estratégias e conhecimentos mobilizados pelos professores

Q9- Durante a leccionação dos conteúdos relativos aos combustíveis fósseis sentiu necessidade de construir materiais pessoais para abordar esses conteúdos? Porquê? Quais? Em que fontes de informação se baseou?

R9- Sim, temos sempre necessidade de construir materiais, eu pessoalmente gosto muito de construir materiais pessoais. Portanto, quando preparo uma aula não vejo só o manual que os miúdos têm, vejo outros e outros livros e, portanto, muitas vezes faço um apanhado das coisas que eu considero que estão mais interessantes nos diferentes e com isso conjugo tudo e preparo materiais pessoais. O manual escolar eu penso que continua a ser muito útil como trabalho de consolidação dos assuntos que abordamos na aula para casa, mas não utilizo muito os manuais escolares como ferramenta exclusiva na aula, só mais para fazer uma ficha de trabalho, ou coisa assim. Costumo dizer quais os aspectos mais relevantes do livro aos quais eles têm de prestar mais atenção, mas a forma como normalmente dou as aulas não é seguir radicalmente o manual escolar, muito pelo contrário. E relativamente a outras fontes de informação, tenho muitas vezes não só necessidade de consultar outros manuais para ver se me ilumina a minha criatividade, mas em termos de informação científica sinto muitas vezes necessidade de consultar livros do meu tempo de faculdade, alguns, outros que fui comprando em livrarias científicas. Preciso sempre de me informar porque a Ciências não é estática, vai mudando e aquilo que eu recebi como formação hoje já não é bem assim, tenho alguma preocupação nisso.

Q10- Ao iniciar a abordagem desta unidade temática o que começaria por dizer, fazer ou perguntar aos seus alunos?

R10- Se eu iniciasse esta temática agora por exemplo, eu começava por perguntar aos meus alunos se sabem o que é um conteúdo fóssil, se calhar era a primeira pergunta que começaria por fazer, para então depois os induzir ou relacionar os combustíveis fósseis com os que eles conhecem mas que não sabem que se denominam combustíveis fósseis e depois arranjar um texto ou uma ficha que perspectivasse aquilo que eu disse à bocadinho, a história da descoberta dos combustíveis fósseis, a sua utilidade, comparar com a sociedade antiga e mostrar que a evolução da sociedade

tem sido de alguma forma paralela à evolução dos conhecimentos sobre combustíveis fósseis, se calhar tentava ir por ai antes de aprofundar cada um dos combustíveis fósseis, fazia uma abordagem mais geral.

Q11- Quais os conteúdos que considera fundamentais ter em consideração na leccionação desta temática? Como os organizaria?

R11- Eu penso que todos os conteúdos são fundamentais a ter em consideração, agora como os organizaria eu já respondi anteriormente. Portanto, começaria por fazer uma abordagem geral, da importância, da descoberta da importância, da necessidade, da utilidade na vida prática e depois começaria por abordar cada um deles relativamente às suas características e funções e também tentaria de alguma forma sensibilizá-los para o perigo da sua exploração excessiva.

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DO PORTO
BIBLIOTECA