

Contribuição para o conhecimento
da petrologia dos carvões
da Bacia de Peñarroya - Belmez - Espiel

(Córdoba - Espanha)

por

Maria Manuela Coelho Marques Barbosa Correia

Volume 1 - TEXTO

Porto - 1993

**Contribuição para o conhecimento
da petrologia dos carvões
da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel
(Córdoba-Espanha)**

Volume 1 - TEXTO

**Contribuição para o conhecimento
da petrologia dos carvões
da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel
(Córdoba-Espanha)**

por

Maria Manuela Coelho Marques Barbosa Correia

Volume 1 - TEXTO

Porto - 1993

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

ÍNDICE

Volume 1 - TEXTO

Preâmbulo	X
1. Introdução	1
2. Localização, Historial Mineiro, Enquadramento Estrutural, Estratigrafia e Síntese Evolutiva da Bacia de Peñarroya--Belmez-Espiel	4
2.1. Localização e Historial Mineiro	4
2.2. Enquadramento Estrutural	5
2.3. Estratigrafia	6
2.4. Síntese Evolutiva	12
3. Metodologia Utilizada no Estudo dos Carvões	14
3.1. Considerações gerais	14
3.2. Amostragem	14
3.3. Preparação de amostras	17
3.4. Caracterização dos carvões	18
3.4.1. Composição petrográfica	19
3.4.2. Grau de incarbonização	25
3.5. Análise dos resultados	27
3.5.1. Análise maceral	27
3.5.2. Análise de microlitótipos	31
3.5.3. Grau de incarbonização	33

4. Análise e Caracterização Petrográfica dos carvões do Sector Ocidental da Bacia	34
4.1. Introdução	34
4.2. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade S.Rafael nas Minas María e Cervantes	36
4.3. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade S.Rafael na Mina Rampa 3 W	45
4.4. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade Cervantes	54
4.5. Análise e Caracterização Petrográfica das Unidades Mellizo, Pardo e María	60
4.6. Análise Conjunta das Unidades do Sector Ocidental da Bacia	63
5. Análise e Caracterização Petrográfica dos carvões dos Sectores Central e Oriental da Bacia	71
5.1. Introdução	71
5.2. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade Las Muchachas	73
5.3. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade Cabeza de Vaca	78
5.4. Análise e Caracterização Petrográfica dos Intervalos de carvão da Unidade Aurora	91
5.5. Análise Conjunta das Unidades dos Sectores Central e Oriental da Bacia	104
6. Grau de incarbonização	111
6.1. Considerações gerais	111
6.2. Sector Ocidental da Bacia	113
6.3. Sectores Central e Oriental da Bacia	125
6.4. Síntese da Evolução Térmica da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel	127

7. Classificação dos carvões da Bacia de Peñarroya--Belmez-Espiel	130
8. Conclusões	134
Referências	144

Volume 2 - QUADROS, FIGURAS E ESTAMPAS

Lista de Quadros	158
Lista de Figuras	161
Estampas	

PREÂMBULO

A pesquisa científica implica, por parte de quem a pratica, uma dedicação e entrega absolutas o que, por vezes, não se coaduna com uma vivência familiar normal. Durante toda a minha carreira profissional tive sempre e, afortunadamente, o apoio incondicional e permanente de todos os elementos da minha família sem o qual teria sido impossível levar a cabo os empreendimentos em que me envolvi. Por tudo isso e, em particular, pelo tempo que não lhes dediquei durante a preparação deste trabalho, o meu muito obrigada.

O estudo dos carvões da Bacia Carbonífera de Peñarroya-Belmez-Espiel de que resultou o trabalho que agora se apresenta não teria sido possível sem o empenhamento constante e o incentivo permanente do Prof. Doutor Manuel João Lemos de Sousa com o qual tive o privilégio de trabalhar desde 1983. Foi, aliás, o Prof. Lemos de Sousa que, na sequência de uma visita geológica à Bacia Carbonífera de Peñarroya-Belmez-Espiel, acreditou na possibilidade de um estudo desta natureza tendo, numa fase particularmente difícil da minha carreira profissional, depositado em mim a confiança necessária para que tal projecto pudesse ser levado a cabo. No decurso de todos estes anos nunca o Prof. Lemos de Sousa deixou de prestar o apoio necessário ao prosseguimento dos trabalhos, quer fornecendo todo o apoio logístico indispensável à sua realização, nomeadamente no respeitante às deslocações e trabalhos preliminares de terreno, quer disponibilizando o tempo necessário para a discussão dos resultados obtidos nas diferentes fases de elaboração do projecto.

São também devidos agradecimentos à Empresa Nacional Carbonífera del Sur, ENCASUR, em particular, ao Eng. José Artieda e ao Prof. Doutor Roberto Wagner, à data Director-Geral e Director do Departamento de Geologia, respectivamente, os quais, com o seu entusiasmo e persistência, tornaram possível a realização do projecto, tanto no que respeita a aspectos de carácter burocrático como, ainda, facilitando a recolha de amostras e a consulta de todos os dados de natureza geológica, sem os quais teria sido impossível efectuar o presente estudo. O Prof. Roberto Wagner acompanhou, aliás, com todo o pormenor, o trabalho realizado, mostrando-se sempre disponível para discutir os resultados e apontar caminhos com vista à coordenação dos dados petrológicos com os geológicos.

Um agradecimento muito especial vai também para o Prof. António Ribeiro o qual, desde o início e apesar de extremamente ocupado, nunca deixou de responder aos inúmeros apelos que lhe dirigi no sentido de esclarecer aspectos de carácter estrutural, disponibilizando-se, mesmo, para intervir nas reuniões efectuadas com vista à coordenação geral dos dados obtidos.

Aos colegas e amigos Ary Delmar, Deolinda Flores e Henrique Pinheiro agradeço a paciência e disponibilidade que sempre mostraram quando a eles recorri para troca de impressões sobre diversos aspectos relacionados com este trabalho.

À Maria Manuela Tavares, colega e amiga de longa data, agradeço o precioso auxílio prestado na organização e revisão das referências bibliográficas.

1. Introdução

O estudo petrológico dos carvões da Bacia Carbonífera de Peñarroya-Belmez-Espiel (Córdoba, Espanha) iniciou-se em 1984, com base num protocolo efectuado entre o Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e a actual empresa concessionária, a Empresa Nacional Carbonífera del Sur (ENCASUR), para o qual foi definido um plano integrado de estudos de Petrologia Orgânica que tinha como principais **objectivos** a caracterização petrográfica de todas as camadas e unidades de carvão exploradas e/ou reconhecidas na bacia, o estabelecimento das leis gerais de incarbonização e a sua relação com as principais fases de sedimentação e estruturação da mesma e, complementarmente, estudos de carácter tecnológico com vista à melhor rentabilização dos seus carvões.

Estudos deste tipo nunca tinham sido feitos antes nos carvões desta bacia, resumindo-se o seu conhecimento a dados de natureza química como, por exemplo, valores dos teores em cinzas e/ou em matérias voláteis, relativos a carvões localizados em áreas outrora exploradas e, nalguns casos, em fase de exploração, em ambos os casos apenas para as camadas com maior interesse económico. De facto, se estes dados permitem ter uma ideia geral quanto ao grau de evolução de alguns sectores da bacia, nenhum deles autoriza a inferir as condições ambientais de sedimentação específicas para cada camada e/ou unidade de carvão ou, ainda, quanto ao grau de incarbonização e suas variações no contexto global da bacia.

Relativamente à geologia da bacia os dados disponíveis eram também muito limitados dado que a investigação nesse domínio, a cargo do Departamento de Geologia da ENCASUR sob a direcção de R.Wagner, estava ainda no início, existindo, à data, um número muito reduzido de trabalhos publicados sobre a área em questão, uns relacionados com aspectos muito particulares da geologia de zonas restritas da bacia outros, mais gerais, incluindo por vezes interpretações relativas à reconstituição da sequência estratigráfica global (Ortuño 1970, Delgado et al. 1980, Jiménez et al. 1980, Quesada 1983) e, unicamente, dois trabalhos de pormenor (Andreis & Wagner 1983, Wagner et al. 1984) nos quais se apresentavam quer estudos sedimentológicos relativos aos leques aluviais do bordo norte quer ainda o enquadramento estrutural e estratigráfico das principais unidades reconhecidos até ao momento.

Foi neste contexto que iniciamos o nosso trabalho procurando, numa primeira fase, fazer um reconhecimento petrográfico das camadas de carvão com maior significado económico, (camadas Cervantes e S.Rafael) cuja exploração se processava no sector ocidental da bacia onde se previa que ocorressem os carvões mais evoluídos da mesma. O seu estudo, além de confirmar a presença de carvões muito evoluídos, revelou-se de importância fundamental na caracterização de cada camada, permitindo, de imediato e sem qualquer ambiguidade, a sua individualização e, apesar de o número de amostras estudado ser na altura muito limitado, as relações observadas entre alguns dos seus constituintes indicava já condições de sedimentação diferentes para cada uma das camadas. Os estudos seguintes incidiram sobre amostras recolhidas em sondagens efectuadas para reconhecimento geológico de uma unidade estrutural (Unidade Tectónica de María) situada aproximadamente a sul do local de colheita das primeiras amostras, e foram feitos utilizando como termo de comparação os dados previamente obtidos, uma vez que se tratava de amostras que, *a priori*, deveriam representar uma das camadas já analisadas. Com efeito, os critérios de análise petrográfica escolhidos, permitiram uma melhor definição das características globais da unidade em estudo (Unidade S.Rafael), em particular da Camada S.Rafael, acentuando as diferenças já antes identificadas entre esta camada e a Camada Cervantes.

O estudo do grau de incarbonização para as unidades S.Rafael e Cervantes evidenciou a presença de anomalias importantes no processo evolutivo destes carvões, cuja interpretação só foi possível após o estudo pormenorizado dos coques naturais associados à Camada Cervantes e depois de se conhecer perfeitamente todo o enquadramento estrutural e estratigráfico dos carvões do sector ocidental da bacia e suas correlações com as restantes zonas. Deste modo e embora a determinação do grau de incarbonização se tenha processado, por motivos de ordem prática, simultaneamente com a restante análise petrográfica, a interpretação global dos resultados obtidos, com vista ao estabelecimento das leis gerais de incarbonização da bacia, só pôde ser feita numa fase final conjugando todos os dados de que dispunhamos.

Toda a análise petrográfica subsequente teve como objectivo principal a escolha das associações de constituintes ou dos índices petrográficos a utilizar na caracterização pormenorizada das diferentes camadas de carvão, de modo a permitir a comparação entre camadas e/ou unidades de carvão situadas em unidades estruturais distintas e, eventualmente, efectuar correlações entre as diferentes zonas da bacia. Os constituintes e índices petrográficos seleccionados, foram testados, com êxito, nas camadas reconhecidas

na Mina Rampa 3 W, a ocidente da Mina Cervantes, onde as informações de natureza geológica (estratigráficas e estruturais) eram insuficientes para estabelecer algumas correlações necessárias à compreensão da estrutura desta mina, desiderato para que contribuiu decisivamente o estudo petrográfico dos carvões. Como se disse, foi, aliás, com base no estudo dos carvões deste sector da bacia que definimos a metodologia geral a seguir na análise e interpretação dos resultados petrográficos para todos os carvões da bacia, incluindo os menos evoluídos embora, nestes casos, o processo analítico tivesse de ser adaptado de acordo com o número de constituintes identificados. Este tipo de procedimento, além de facilitar a comparação entre carvões com graus de evolução muito diferente, conduziu ao estabelecimento de algumas relações entre fácies de carvão e ambientes de sedimentação para a grande maioria dos carvões da bacia o que, conjugado com todos os dados de natureza geológica, permitiu definir a evolução ambiental ao longo de toda a sequência estratigráfica.

2. Localização, Historial Mineiro, Enquadramento Estrutural, Estratigrafia e Síntese Evolutiva da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel.

2. 1. Localização e Historial Mineiro

A bacia carbonífera produtiva de Peñarroya-Belmez-Espiel (Fig. 1), localizada na província de Córdoba (Espanha), desenvolve-se por uma estreita faixa de direcção WNW-ESE, com cerca de 50 km de comprimento e 1 km de largura, e é servida, no sentido longitudinal, pela estrada principal N432 no troço entre Zafra e Córdoba. De NW para SE a área da bacia encontra-se coberta pelos mapas geológicos de pormenor efectuados à escala 1/50000, de Villaviciosa de Córdoba (901, 15-36) (Apalategui et al. 1985a), de Peñarroya-Pueblonuevo (879, 14-35) (Apalategui et al. 1985b) e de Espiel (880, 15-35) (Apalategui et al. 1985c).

Corresponde a uma bacia tectónica intramontanhosa com sedimentação estritamente continental (Wagner et al. 1984) cuja idade, inicialmente atribuída ao Vestefaliano B (Wagner 1983a, Wagner 1983b) foi recentemente precisada como sendo do Vestefaliano A terminal-B inferior, correspondendo, portanto, na terminologia actual, ao Langsettiano tardio-Duckmantiano precoce. Durante muito tempo foi espacialmente associada à bacia marinha do Guadiato de idade Viseana-Namuriana na qual ocupava o sector mais setentrional (Ortuño 1970, Quesada 1983). Hoje, porém, é considerada como uma bacia cuja evolução é completamente independente da bacia do Guadiato (Wagner & Jurado 1988). A história pormenorizada das investigações efectuadas nesta bacia é-nos fornecida por Coquel & Wagner (in prep.).

Os registos mais antigos que se conhecem referentes ao seu potencial mineiro remontam a meados da década de 1870 (Martín & Súdria I Triay 1987) quando praticamente toda a exploração da bacia era feita por duas empresas: a **Sociedad Loring, Herredia y Larios** que explorava, como arrendatária da Carbonera Española de Belmez y Espiel, as minas de St^a Elisa e Cabeza de Vaca, e a **Société Houillère et Metallurgique de Bélmez**, proprietária da mina El Terrible. A produção era, na altura, e em relação às duas empresas referidas de, respectivamente, 50000 e 40000 toneladas de carvão por ano. Em 1877, por iniciativa de Loring, constituía-se a **Compañía de los Ferrocarriles Andaluces**, da qual eram também accionistas Herredia e Larios. Estes passaram as minas que tinham arrendadas para a nova empresa, comprando-as mais tarde e, posteriormente, vendendo-as, em 1881, à **Compañía de los Ferrocarriles Andaluces**. Por outro lado, a **Société Houillère et Metallurgique de**

Bélmez fez, em 1891, um contrato de arrendamento com opção de compra sobre a concessão de Parrilla, no sector ocidental da bacia, chegando a produzir cerca de 150000 toneladas de carvão por ano. Entretanto, a companhia francesa começou a interessar-se pelo negócio de fundição do chumbo sendo criada, em 1881, uma nova empresa, a **Société Minière et Metallurgique de Peñarroya** tendo, no entanto, as duas companhias funcionado simultaneamente, compartilhando a mesma sede social e utilizando parcialmente o mesmo conselho de administração. Em 1893 os seus proprietários decidiram fundi-las numa só que conservou o nome da empresa mais jovem e que adquiriu, em 1900, as minas de Andaluces e, mais tarde, o coto mineiro de El Porvenir que, embora concessionado por várias empresas, nunca chegou a produzir. Antes da primeira Guerra Mundial esta companhia adquiriu ainda as minas de St^a Isabel e Castellana, além de outras pequenas concessões, concentrando, praticamente, todas as propriedades da área produtiva da bacia, sendo mais tarde, na década de 60, transferidas para uma empresa estatal, a **Empresa Nacional Carbonífera del Sur (ENCASUR)** que actualmente explora, tanto em lavra subterrânea como a céu aberto, várias unidades de carvão localizadas em diferentes zonas da bacia, com excepção de uma pequena zona, cuja exploração tem vindo a ser feita a céu aberto (Mina de San António)

2. 2. Enquadramento Estrutural

Esta bacia constitui uma estreita depressão tectónica, orientada paralelamente às estruturas do Precâmbrico e do Paleozoico inferior, no sector compreendido entre o Maciço de Pedroches e a Falha de Azuaga (Fig. 1). A maior parte dos trabalhos publicados sobre a sua geologia dizem respeito, essencialmente, a estudos de natureza estratigráfica e paleontológica embora, alguns autores, tenham procurado integrá-la num contexto geológico-estrutural mais alargado (Ortuño 1970, Quesada 1983, Gabaldón et al. 1985, Gabaldón & Quesada 1986, Quesada et al. 1990) apresentando, todavia, interpretações com base em dados recolhidos em zonas muito restritas da bacia e sem ter em consideração aspectos relacionados com a sua estrutura geológica de pormenor. Wagner et al. (1984) apresentam, pela primeira vez, um estudo global sobre a estrutura e estratigrafia da bacia que, mais tarde, vem a ser retomado e modificado por Wagner & Jurado (1988).

Segundo os últimos autores, o bordo NE da bacia constitui, actualmente, uma discordância angular que põe em contacto os sedimentos do Vestefaliano com os filitos e

quartzitos do Precâmbrico e Paleozoico inferior enquanto o bordo SW corresponde a um cavalgamento que sobrepõe os terrenos do Namuriano inferior, em posição normal, com grandes olistolitos de calcários do Viséano superior, ambos representando terrenos de fácies marinha pertencentes à Bacia do Guadiato, sobre os sedimentos do Vestefaliano, em posição invertida.

A estrutura tectónica da bacia é, no essencial, representada por dois flancos, um flanco NE, em posição normal, inclinando progressivamente para sul com valores que oscilam entre 20° a 65° e, um flanco SW, invertido, com inclinação média de 70° para sul, separados um do outro por uma falha inversa de direcção NW-SE, a Falha S.Rafael (Figs. 2 e 3). No flanco NE, pouco tectonizado, as estruturas mais importantes correspondem a dobras de arrasto com vergência para NE, induzidas pelo movimento associado a falhas inversas cuja direcção é sensivelmente paralela à da estratificação o que, localmente, conduz à repetição de estratos. O flanco SW, fortemente tectonizado e constituído pela justaposição de lenticulas tectónicas limitadas por falhas de contorno sigmoidal, é cavalgado por uma sucessão marinha Namuriana, em posição normal, cujo transporte se teria efectuado de SW para NE ao longo de vários quilómetros por descolamento acima de um nível de calcários do Viséano. Este flanco assim estruturado repete-se para o interior da bacia, sob a forma de escamas tectónicas terminadas, vertical e horizontalmente, em bisel, o que indica a existência de movimentos oblíquos importantes, resultantes da conjugação de movimentos verticais e horizontais.

As correlações estratigráficas recentemente estabelecidas com base em estudos mais aprofundados de alguns sectores da bacia em conjugação com dados de outra natureza, nomeadamente de palinologia e petrografia orgânica, conduziram a uma interpretação evolutiva algo diferente da anteriormente referida embora, no fundamental, a estrutura acima descrita se possa continuar a considerar a mesma.

2. 3. Estratigrafia

A complexidade estrutural desta bacia, particularmente no que respeita ao seu flanco sul, torna muito difícil uma reconstituição integral da sua sequência estratigráfica original. As primeiras reconstituições não tiveram em consideração a estrutura tectónica sendo as diferentes sequências consideradas como variações laterais de fácies o que conduziu ao

estabelecimento de uma coluna estratigráfica de espessura reduzida (Ortuño 1970, Jiménez et al. 1980, Quesada 1983, Quesada & Garrote 1983, Gabaldón & Quesada 1986). Os estudos efectuados sob a orientação de R.H. Wagner no Departamento de Geologia da ENCASUR, no decurso das diferentes campanhas de prospecção em zonas distintas da bacia, conduziram a interpretações que foram progressivamente adaptadas em função dos dados obtidos em cada fase de prospecção e, ainda, por conjugação destes dados com os resultados palinológicos e de petrografia orgânica. As primeiras interpretações da sucessão estratigráfica geral da bacia (Andreis & Wagner 1983, Wagner et al. 1984) baseiam-se em sequências parciais estabelecidas em diferentes unidades tectónicas e consideram, da base para o topo, depósitos grosseiros de leques aluviais com cerca de 200 m de espessura, sobrepostos por cerca de 700 m de depósitos fluviais, organizados em ritmos granodecrescentes, com conglomerados, arenitos e lutitos em percentagens variáveis, no topo dos quais se localizam alguns níveis de carvão com interesse económico e que, no seu conjunto, se designava por Unidade Juliana-Aurora. Para tecto consideram várias unidades de carvão alternando com níveis lutíticos lacustres e alguns níveis fluviais, com uma espessura total de cerca de 600 m, dos quais destacam as unidades S.Rafael, Mellizo, María e Cervantes. As correlações que levaram ao estabelecimento da parte superior da sequência, indicavam uma sobreposição entre o topo da Unidade Juliana-Aurora e a base da Unidade S.Rafael, do mesmo modo que pareciam apontar para uma identidade entre a parte mais alta da Unidade María e a Camada Chimbo, situada a muro da Camada Cervantes. O facto de a maior parte destas unidades de carvão se encontrarem em unidades tectónicas distintas e o insuficiente conhecimento de pormenor de algumas das unidades de carvão levantava interrogações quanto às correlações efectuadas. Apesar disso, foi possível estabelecer, como regra geral, que as sequências fluviais na base da sucessão estratigráfica se localizavam preferencialmente nos sectores central e oriental da bacia ao longo do flanco NE da estrutura tectónica principal, ao passo que as sequências essencialmente lacustres, cujo desenvolvimento era maior no sector ocidental, ocorriam normalmente, situadas no flanco SW em posição invertida.

Talvez atendendo a estes aspectos, Wagner & Jurado (1988) apresentam uma nova interpretação para a sucessão estratigráfica da bacia, separando as sequências associadas a cada um dos flancos principais da estrutura. No flanco NE, colocam toda a base da sucessão estratigráfica (unidades Rosa María, Candelaria e Sucia) a que atribuem uma espessura de cerca de 600 m e que se inicia por depósitos de leque aluvial, aos quais se seguem os sedimentos fluviais organizados em mesossequências, onde as fácies grosseiras de canal são

sobrepostas por depósitos mais finos, correspondentes a fácies de planície de inundação. Por cima desta sucessão situam a unidade correspondente à Camada Cervantes cuja sobreposição se faz tectonicamente, através da Falha Santa Ana. No flanco SW, invertido, a sucessão estratigráfica aparece constituída pela sobreposição de unidades com posições relativas conhecidas, mas correspondendo, cada um deles, a lenticulas tectónicas distintas, como é o caso das unidades Cabeza de Vaca, S.Rafael, Mellizo, Pardo e María. Os mesmos autores admitem ser difícil a correlação entre as sucessões definidas para os dois flancos, embora estabeleçam uma equivalência entre a Unidade Cabeza de Vaca e a parte inferior dos depósitos fluviais do flanco norte, assim como, entre a parte superior destes e a base da Unidade S.Rafael. Salientam, contudo, a inexistência, no flanco nordeste, de fácies lacustres correspondentes às que ocorrem a tecto da Camada S.Rafael e que apontam para uma inundação lacustre de certa envergadura. Mais tarde, Wagner (1990) (Fig. 4) retoma o mesmo esquema, acrescentando na parte superior da sequência estratigráfica do flanco sudoeste, uma nova unidade que denomina como Unidade Rampa, do mesmo modo que considera todas as mesossequência fluviais do flanco nordeste como pertencentes a uma só unidade, a Unidade Aurora .

Embora, em termos gerais, os dados palinológicos confirmem estas sucessões estratigráficas, estudos recentemente efectuados a leste da área Cervantes mostram aspectos que apontam para uma sequência estratigráfica global, fundamentalmente diferente (Wagner com. pess.). Por um lado, os dados recolhidos no Unidade Las Muchachas, localizado a oriente da Camada Antolín indicam uma correspondência entre este unidade e os níveis de carvão situados a tecto da Camada Cervantes, assim como, uma equivalência estratigráfica com os níveis localizados a muro do Intervalo da Camada 3 da Unidade Aurora, no sector de Belmez. Por outro lado, a Camada Antolín, já dobrada, termina bruscamente a leste onde se lhe sobrepõe discordantemente o Unidade Las Muchachas. Estas relações parecem evidenciar, em primeiro lugar, que toda a sucessão estratigráfica dos sectores central e oriental da bacia é posterior à sucessão definida para o sector ocidental e, em segundo lugar, que estas sucessões se teriam formado em relação com distintos depocentros.

Atendendo a todos os dados até à data recolhidos considera-se, actualmente, que a sucessão estratigráfica é constituída, da base para o topo pelas seguintes unidades (Figs. 5 e 6) (Coquel & Wagner in prep.):

(i) **Unidade S.Rafael**, largamente representado no sector ocidental da bacia, ocorre sempre associado ao flanco SW, invertido, da estrutura, onde é explorado nas minas S.José/Cervantes e Rampa 3 W e, ainda, na Mina María situada numa unidade tectónica localizada a SW das minas anteriores, aflorando, um pouco mais a leste, na Mina a céu aberto de S.Ricardo, hoje abandonada. Esta unidade é constituída por cerca de 150 m de sedimentos que se iniciam por depósitos fluviais aos quais se associam vários níveis de carvão que, no seu conjunto, constituem o Intervalo da **Camada Suelos**. Para tecto, a sequência evolui, gradualmente, para sedimentos de planície de inundação com os quais se relacionam os carvões da **Camada Techo** e, progressivamente, para sequências cada vez mais de tipo lacustre. Entre as camadas Techo e S.Rafael, estas sequências são constituídas por lutitos onde as variações laterais de possança, conjugadas com a presença de lamelibrânqueos do género *Naiadites*, indicam uma sedimentação em relação com uma lâmina de água ainda pouco significativa. Contudo, a tecto da **Camada S.Rafael** a sequência de fácies lacustre é constituída por lutitos cinzentos com laminação paralela onde ocorrem filópodes dos géneros *Leaia* e *Euestheria* e, esporadicamente, por níveis de siltitos e arenitos de grão fino, com uma espessura total de cerca de 110 m, indicando a presença de um lago muito profundo e de grandes dimensões. Uma sequência do mesmo tipo aparece na parte superior da sucessão estratigráfica definida para a Mina Rampa 3 W embora, neste caso, a sequência apresente percentagens mais elevadas de sedimentos areníticos, o que parece indicar uma maior proximidade em relação à fonte de origem dos sedimentos, concretamente ao bordo norte da bacia. Os estudos de petrografia orgânica conjugados com dados de natureza geológica (estruturais e estratigráficos) permitiram correlacionar as principais camadas exploradas na Mina Rampa 3 W com as camadas da Unidade S.Rafael nas minas María e Cervantes, nomeadamente da **Camada Intermédia Sur** e níveis de carvão associados com o Intervalo da Camada Suelos e da **Camada de Muro** com a Camada S.Rafael. A **Camada Intermédia Norte** da Mina Rampa 3 W embora petrograficamente seja equivalente à Camada Techo das minas María e Cervantes, do ponto de vista estratigráfico corresponde a um nível situado entre esta camada e a camada S.Rafael.

(ii) **Unidade Cervantes (Antolín)**, localizado no flanco NE, normal, da estrutura principal no sector ocidental da bacia, corresponde à alternância de níveis lutíticos e camadas de carvão das quais se destacam, como mais importantes, as **camadas Norte e Sul** que, no seu conjunto, constituem a **Camada Cervantes**. Actualmente é explorada na Mina S.José/Cervantes, em lavra subterrânea e, na Mina a céu aberto de Cervantes onde foi par-

cialmente carbonizada no contacto com doleritos. Para SE os dois veios passam a um só nível de carvão, a **Camada Antolín** que foi amplamente explorada, nos anos vinte, como "carvão de coque".

A muro da Camada Cervantes/Antolín foram detectados cerca de 280 m de sedimentos representando duas possantes sucessões de fácies lacustre. A sucessão inferior apresenta, na parte mais baixa, intercalações importantes de siltitos e arenitos e, no topo, níveis esporádicos de xistos carbonosos e solos de vegetação, sendo considerada, no seu conjunto, equivalente à sucessão lacustre que se sobrepõe à Camada S.Rafael. A sucessão superior contém, na parte mais alta, cerca de 30 m de lutitos sobrepostos por arenitos, aparentemente de fácies deltaica, terminados por solos de vegetação que constituem a base da Camada Cervantes. A tecto desta camada desenvolve-se uma sucessão com cerca de 100 m de espessura, iniciada por lutitos de fácies lacustre alternando com níveis de carvão pouco possantes passando, para o topo, a ser constituída por lutitos com intercalações de níveis areníticos e conglomeráticos correspondentes a fácies de canal o que indica a presença de depósitos fluvio-lacustres.

(iii) **Unidades Melizo, Pardo e Maria**, localizados no flanco SW, invertido, da estrutura e, concretamente, na Unidade Tectónica de Maria onde constituem pequenas lentículas tectónicas independentes, separadas umas das outras por falhas de cavalgamento, aparecendo espacialmente situados a tecto da sequência lacustre que se sobrepõe à Camada S.Rafael. A espessura de sedimentos correspondente aos intervalos que separam as três unidades não puderam, até à data, ser determinadas, devido à estrutura tectónica que apresentam. As fácies litológicas associadas a cada um deles estão, no entanto, razoavelmente conhecidas. Assim, a Unidade Melizo, das três a que se localiza mais a muro, aparece constituída por uma curta sucessão com sedimentos fluviais e de planície de inundaçãõ aos quais se associam cerca de quatro níveis de carvão sem grande interesse económico. A este unidade segue-se a Unidade Pardo, representada por cerca de 50 m de lutitos lacustres com lamalibrânquios do género *Naiadites* e nos quais se intercalam vários níveis de carvão. A Unidade Maria contém alguns níveis de carvão de interesse económico que se associam a sedimentos de fácies fluvial e de planície de inundaçãõ assim como a sedimentos de fácies lacustre, situados na parte superior da sucessão onde foram encontrados alguns restos de *Naiadites*.

Estudos estratigráficos recentes Coquel & Wagner (in prep.) apontam, por um lado, para uma correlação entre a Unidade Mellizo e a Unidade S.Rafael e, por outro lado, entre a Unidade Pardo e parte da sucessão encontrada a muro da Camada Cervantes, correlações estas que, até à data, não foram confirmadas petrográficamente.

(iv) **Unidade Las Muchachas** sobreposto discordantemente sobre o sector oriental da Camada Antolín já estruturada, termina, a leste, numa falha que, na zona de Belmez, separa a Unidade Aurora da Unidade Albardado/Juliana. Parece correlacionar-se com os níveis de carvão situados a tecto da Camada Cervantes/Antolín e é colocado numa posição estratigráfica equivalente à do intervalo localizado na parte inferior da Unidade Aurora (Intervalo da Camada 3 de Belmez).

(v) **Unidade Cabeza de Vaca**, localizado no flanco SW, invertido, da estrutura principal a oriente de Belmez, é representado por um total de cerca de 400 m de sedimentos, correspondentes a uma sucessão que se inicia por conglomerados e brechas aos quais se sobrepõem sequências de fácies fluvial e de planície de inundação que terminam com uma camada de carvão com interesse económico, a **Camada 1**. Entre esta camada e a **Camada 2** desenvolve-se o primeiro intervalo lacustre conhecido neste sector da bacia o qual é constituído por uma sucessão de lutitos siltosos, siltitos e lutitos finamente estratificados. Intervalos do mesmo tipo foram ainda identificados a tecto das camadas 2, 3 e 3bis sendo, nestes casos, caracterizados por um aumento da granulometria no sentido ascendente. Entre as camadas 3bis, 4 e 5 os sedimentos são essencialmente lutíticos, de fácies lacustre, passando a sedimentos de planície de inundação a tecto da Camada 5. Toda esta sucessão tem sido considerada como o prolongamento, para SW, da parte inferior da Unidade Aurora.

(vi) **Intervalos da Unidade Aurora**, localizados nos sectores central e oriental da bacia, entre Belmez e Espiel, correspondem a um total de cerca de 570 m de sedimentos que se iniciam por depósitos de leques aluviais aos quais se seguem sedimentos de fácies fluvial e de planície de inundação, organizados em sequências positivas que foram agrupadas em três mesossequências principais, caracterizadas, globalmente, pela presença dominante de conglomerados e arenitos na base e de siltitos e argilitos no topo.

Na área de Belmez, a parte inferior da sucessão estratigráfica é constituída por uma mesossequência à qual se encontra associada um intervalo constituído por um conjunto de camadas de carvão de forma lenticular, conhecido pelo nome de Intervalo da Camada 3, a

tecto do qual se desenvolve uma nova mesossequência, iniciada por conglomerados e arenitos de fácies fluvial e na qual se integra o Intervalo da Camada 6. Para oriente, no sector correspondente à Mina a céu aberto de San António (PMC), a mesossequência correspondente ao Intervalo da Camada 3 de Belmez, aparece dividida em duas sequências designadas, de muro para tecto, por Unidade Inferior e Unidade Aurora de PMC. Esta última é sobreposta por outra mesossequência, representada na base por possantes níveis de conglomerados e arenitos e, na parte superior, pela Unidade Cero que equivale, lateralmente, ao Intervalo da Camada 6 de Belmez. Uma tentativa de correlação destes intervalos com os que ocorrem na zona de Espiel, parece apontar para uma equivalência entre os Intervalo da Camada 6 de Belmez com o intervalo onde se integra a **Camada Candelaria** de Espiel.

(vii) **Intervalos da Unidade Albardado/Juliana**, localizados ao longo do bordo nordeste da bacia são considerados como contemporâneos da parte superior da Unidade Aurora, aparecendo representados por depósitos de leques aluviais e sedimentos de fácies fluvial e lacustre. A NE de Belmez foram reconhecidos 285 m de sedimentos constituídos, na base, por cerca de 100 m de brechas e conglomerados de leques aluviais aos quais se associam arenitos e siltitos e, para o topo, por um conjunto de sequências iniciadas por conglomerados e terminadas por depósitos palustres e lacustres com níveis de carvão.

2. 4. Síntese Evolutiva

Conjugando todos os dados estratigráficos e estruturais recolhidos até à data, parece ser evidente que toda a sedimentação processada na Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel foi condicionada tectonicamente. Segundo Wagner (com. pess.), o controlo estrutural estaria relacionado com a reactivação, como falha de rejeito direccional ("strike-slip"), da falha que limita, aparentemente, as Zonas de Ossa-Morena e Centro-Ibérica e cujo movimento induziria, a nordeste, o aparecimento de falhas normais num substracto centro-ibérico passivo. A depressão iniciar-se-ia a noroeste sendo progressivamente alargada para sudeste e nordeste, em relação com a presença de sucessivos bordos distensivos, associados a paleorrelevos importantes, ao mesmo tempo que o bordo sudoeste, permanentemente activo, conduzia a um basculamento geral, de nordeste para sudoeste, do substracto centro-ibérico (Fig 7a e 7b)

Neste contexto, o primeiro depocentro (Depocentro I), sobre o qual não existe, até ao momento, uma informação completa, seria gerado a ocidente da zona productiva da bacia, passando a sedimentação a efectuar-se, posteriormente, num segundo depocentro (Depocentro II), onde se depositaria toda a sucessão definida para o sector ocidental, desde as sequências associadas à Unidade S.Rafael, às que incluem a Camada Cervantes, isto é, todo o conjunto de sedimentos que hoje ocorrem associados aos carvões mais evoluídos da bacia. A discordância observada entre o Unidade Las Muchachas e a parte oriental da Camada Antolín e o facto daquele intervalo ter sido correlacionado, quer com os níveis a tecto da Camada Cervantes/Antolín, quer com os níveis associados ao Intervalo da Camada 3 na area de Belmez, aponta para a existência de um terceiro depocentro (Depocentro III) localizado a sudeste do segundo, onde se teria processado toda a sedimentação da Unidade Aurora. A Unidade Albardado/Juliana estaria, por sua vez, associada a um quarto depocentro (Depocentro IV), situado um pouco mais para nordeste do terceiro e que parece ter ocupado parte da área correspondente ao Depocentro III. A existência de um controlo tectónico durante toda a sedimentação da bacia parece ser evidenciada pela distribuição dos sedimentos de nordeste para sudoeste. Com efeito, em todas as fases de sedimentação da bacia, os sedimentos localizados a nordeste são invariavelmente representados por depósitos de leques aluviais que passam, progressivamente para sudoeste, a sedimentos fluviais, de planície de inundação e lacustres indicando, por um lado, a presença de relevos acentuados nos sectores a nordeste e um basculamento generalizado, a sudoeste, que condiciona a presença sistemática de sedimentos de fácies lacustres nesta direcção.

A deformação pós-sedimentar teria conduzido à inversão do movimento ao longo dos planos das falhas normais do bordo nordeste que passariam a funcionar como falhas inversas o mesmo acontecendo à falha localizada no bordo sudoeste da bacia (Fig. 7c). Após esta fase de estruturação, os terrenos do Namuriano inferior seriam deslocados de sudoeste para nordeste, sobrepondo-se, por cavalgamento, aos terrenos do Vestefaliano já estruturados (Figs 7d e 7e). Este terrenos, assim estruturados, repetem-se no sector sudoeste da bacia onde constituem lentículas tectónicas cuja geometria parece indicar a presença de movimentos oblíquos importantes.

3. Metodologia Utilizada no Estudo dos Carvões

3. 1. Considerações gerais

O estudo da matéria orgânica sedimentar fóssil e, nomeadamente, do carvão, utiliza métodos analíticos específicos cuja aplicação deve, naturalmente, em cada caso, ter em consideração os objectivos que se pretendem atingir. Quando o objectivo é a caracterização de carvões com vista a estabelecer a história evolutiva, ambiental ou térmica de uma bacia, os métodos analíticos a utilizar devem ser, fundamentalmente, os relativos à análise petrográfica pormenorizada, quantitativa e qualitativa, já que a análise química sistemática apenas pode interessar em casos muito particulares. Por outro lado, no que respeita à amostragem e preparação de amostras, embora existam Normas e especificações para este fim, o facto é que, em determinadas situações, elas não podem ser estritamente seguidas, por razões de ordem vária. Assim, no nosso estudo, foi necessário fazer algumas adaptações relativamente ao processo de amostragem e, mesmo, em certos casos, no que respeita aos métodos análise petrográfica, motivo pelo que consideramos fundamental incluir um Capítulo sobre a metodologia geral adoptada, nomeadamente no que respeita às condições de amostragem, preparação de amostras e critérios usados para na sua seleção, assim como aos métodos escolhidos com vista à caracterização dos diferentes carvões existentes.

3. 2. Amostragem

A colheita de amostras foi, na maior parte dos casos, efectuada pelo Departamento de Geologia da ENCASUR durante as campanhas de prospecção e reconhecimento geológico e, sempre que possível, nas minas em laboração. Cada fase de amostragem correspondeu, *grosso modo*, a uma fase de prospecção, sendo a maior parte das amostras recolhidas em sondagens e, uma pequena parte, em frentes de exploração, neste último caso quando nas áreas prospectadas existiam minas em laboração. No início, a amostragem não pôde ser totalmente planeada, uma vez que, para atingir tal desiderato em cada zona ou pacote de carvão em vias de prospecção se carecia na altura do conhecimento pormenorizado do enquadramento geológico.

Em consequência do exposto, as primeiras amostras para estudo foram obtidas nas áreas onde existiam trabalhos mineiros em curso, nomeadamente na Mina Cervantes

(camadas Cervantes e S.Rafael) que foram amostradas em colunas de blocos numa zona com condições ideais para este tipo de recolha, isto é, grande possança e fraca tectonização.

Enquanto se procedia ao estudo petrográfico preliminar das amostras referidas, decorria uma campanha de sondagens para prospecção de uma unidade tectónica situada a sul da referida mina (Unidade Tectónica de María) onde se previa que ocorresse a Camada S.Rafael. A amostragem correspondente a esta campanha de sondagens não se processou, porém, de uma só vez, sendo inicialmente recolhidas amostras da Camada S.Rafael e, só mais tarde, quando a estratigrafia da Unidade S.Rafael estava completamente estabelecida, se amostraram as restantes camadas da unidade, ou seja, as camadas Techo e Suelos. Este procedimento não permitiu a recolha, para análise petrográfica, de todos os níveis pertencentes a estas duas camadas, uma vez que, à data, a empresa utilizava uma boa parte do material sondado para sobre ele efectuar análises químicas de rotina, reservando para estudo de petrografia metade dos testemunhos representativos apenas das camadas julgadas mais importantes do ponto de vista mineiro. A partir desta altura e em todas as sondagem, passaram a ser amostrados todos os níveis de carvão, qualquer que fosse o seu enquadramento geológico, mesmo quando não se sabia a que unidade ou camada pertenciam. Numa fase posterior e com base nos dados fornecidos pelo Departamento de Geologia da ENCASUR, as amostras para estudo petrográfico de pormenor foram seleccionadas depois de uma análise petrográfica qualitativa prévia.

A amostragem de mina pôde ser programada de modo diferente uma vez que se conhecia a continuidade lateral e em profundidade das camadas em exploração. Este tipo de amostragem apenas foi utilizado em camadas principais, quando o número de amostras provenientes das sondagens era insuficiente, ou quando se pretendeu investigar zonas não prospectadas. O seu planeamento foi precedido de estudos petrográficos de reconhecimento e o número de amostras definido com base na maior ou menor variação lateral observada. Além das camadas S.Rafael e Cervantes, cuja amostragem em mina já foi referida, foram ainda recolhidas amostras deste tipo em algumas das camadas da Mina Rampa 3 W e na Camada Candelaria (Mina de Espiel) sendo utilizado, em cada ponto de colheita, o método que melhor se adaptava às características apresentadas pelas camadas.

Tendo em consideração os condicionalismos acima referidos e utilizando, como orientação, algumas das especificações presentes nas Normas ⁽¹⁾ ASTM D4596, ASTM D5192, AS 2617 e ISO 1988 e, ainda, as sugestões avançadas por Luppens et al. (1992), elaborámos o nosso próprio esquema geral de amostragem que apresentamos, sob a forma de organigrama, na Figura 8.

No momento da amostragem, cada amostra foi referenciada através de dois códigos, um correspondente à numeração utilizada pela ENCASUR (referência de **terreno**) e o outro ao registo interno do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico (referência de **laboratório**), de modo a possibilitar a identificação imediata pelas duas entidades. No caso das camadas representadas por várias amostras, a referência da amostra representativa do conjunto é feita usando os códigos referentes às duas amostras extremas. Seguiu-se o seguinte procedimento geral de amostragem:

- (i) Para as sondagens, as amostras foram localizadas e referenciadas directamente sobre a coluna de sondagem (Fig. 9a) sendo cada camada integralmente amostrada, salvo nos casos em que a fracturação ou o esmagamento do carvão não permitiu a recuperação total do testemunho. Nas camadas ou níveis de carvão com interesse económico, o testemunho foi dividido longitudinalmente ao meio sendo tomada uma parte para as análises químicas de rotina mineira, a cargo da empresa concessionária e, a parte restante, para o estudo petrográfico. Para camadas muito espessas e pouco tectonizadas a amostragem foi feita através de blocos justapostas de dimensão compatível com a partição do tarolo e de modo a cobrir toda a sua extensão.
- (ii) A amostragem de mina fez-se nas frentes de exploração ou nas zonas onde se processavam trabalhos mineiros de modo a evitar a recolha de amostras alteradas. Em cada ponto de colheita foi desenhado um perfil esquemático com a localização, numeração e espessura de todas as parcelas amostradas (Fig. 9b), sendo as camadas divididas, de tecto a muro, em blocos de dimensões médias de cerca de 20 cm³ ou compatíveis com a partição do carvão, cada um dos quais se referenciou em relação ao seguinte de modo a permitir a localização perfeita de cada bloco na camada. Nas zonas com elevado índice de esmagamento, as amostras foram recolhidas em sacos, sendo registado no perfil a zona correspondente. Nos sectores onde o carvão se apresentava bastante coerente, foram ainda recolhidas algumas amostras orientadas.

(1) Neste momento não existe qualquer Norma Portuguesa que prescreva a amostragem de carvões.

Por outro lado, para cada sector da bacia, foram elaborados mapas de localização de amostras aos quais correspondem quadros de inventariação onde cada amostra se encontra perfeitamente identificada através dos seus códigos, da zona onde foi recolhida (sondagem ou mina, com a respectiva referência) e da camada ou unidade que representa (Quadros 1 a 7 e Figs. 10 a 17). Além deste tipo de registo, foi ainda elaborado, para cada ponto de amostragem, um esquema pormenorizado de localização e referenciação de amostras, onde se lançaram também todas as informações de terreno. Por fim, chama-se a atenção para o facto de nas Figuras 10 a 17 os locais de amostragem de mina estarem directamente indicados pela mesma referência de laboratório que consta dos quadros respectivos. Quando se trate de amostragem em sondagens e, no caso de sondagens horizontais, igualmente se indicam as referências de laboratório (Fig. 13). Em todos os outros casos de amostragem em sondagens (sondagens inclinadas), nas figuras acima referidas apenas se indica o local de implantação da sondagem uma vez que é fácil identificar as amostras colhidas por consulta dos quadros respectivos.

3. 3. Preparação de amostras

A metodologia utilizada para a preparação das amostras foi definida tendo em consideração o tipo de análises que, prioritariamente, pretendíamos fazer, sendo no entanto salvaguardado, na medida do possível, o material necessário para outros estudos que, futuramente, pudessem vir a ser realizados. De acordo com o organigrama de preparação representado na Figura 18, todas as amostras recolhidas em bloco⁽²⁾ nas galerias ou frentes de exploração das minas em laboração, foram cortadas ao meio, perpendicularmente à estratificação, sendo uma parte arquivada e a outra triturada, num triturador de maxilas, a uma granulometria média de cerca de 3 mm. As amostras de sondagens foram, pelo mesmo processo, integralmente trituradas a cerca de 3 mm, mesmo quando provinham de uma amostragem em coluna de blocos, uma vez que como acima se disse só nos foi fornecida metade do tarolo de amostragem. Todo o material assim preparado foi dividido em duas partes iguais, uma das quais, devidamente acondicionada, se guardou para posterior utilização, sendo a outra usada na preparação das amostras para análise petrográfica e outros estudos complementares.

(2) O conceito de amostra em bloco e de amostra em grão corresponde ao expresso na Norma NP 3538-3.

As amostras para análise petrográfica (amostras em grão)⁽³⁾ foram preparadas de acordo com o estabelecido na Norma NP 3608. Na maior parte dos casos foram preparadas **amostras médias em grão**, sendo para tal necessário misturar, proporcionalmente, amostras parcelares trituradas a 1 mm. Quando a amostragem se processou em níveis cujo enquadramento estratigráfico não era conhecido à partida, as amostras foram preparadas e acondicionadas individualmente, sendo posteriormente compostas pelo método indicado no caso do seu estudo comprovar pertencerem à mesma camada. A título experimental e com vista ao estudo da variação da composição petrográfica e do grau de incarbonização de tecto a muro de algumas camadas, foram preparadas amostras parciais nas camadas Cervantes e S.Rafael, cujo estudo não forneceu dados que justificassem este tipo de procedimento.

Foram ainda preparadas amostras em bloco para estudo das texturas nos coques naturais da Camada Cervantes.

3. 4. Caracterização dos carvões

A caracterização de um carvão tem como finalidade principal determinar a sua **qualidade** através de três atributos principais: a **Composição petrográfica**, a **Categoria** e o **Grau de incarbonização** (Sousa 1985). O primeiro destes atributos reflecte, quantitativa e qualitativamente, as associações entre os constituintes orgânicos de um carvão, a partir das quais é possível deduzir a natureza da matéria vegetal original e, mesmo, algumas das características relacionadas com as suas condições de deposição. A Categoria, por outro lado, traduz a quantidade e natureza da matéria mineral presente num carvão ou a ele associada tendo, hoje em dia, uma importância fundamental em estudos de vária ordem, nomeadamente de carácter tecnológico, geológico e mineiro, sendo ainda de evidenciar a importância da Categoria em petrologia orgânica propriamente dita, principalmente se se tiver como objectivo definir as condições ambientais de sedimentação. O Grau de Incarbonização ou, simplesmente, Grau indica-nos o estado de evolução da matéria orgânica, constituindo um factor determinante no estabelecimento da história térmica de uma bacia, podendo mesmo servir como critério de correlação de camadas se, durante, o processo de incarbonização, não tiver havido perturbações importantes de natureza térmica

(3) O conceito de **amostra em bloco** e de **amostra em grão** corresponde ao expresso na Norma NP 3538-3.

e/ou tectónica, isto é, no caso da aquisição do grau se poder considerar ante-tectónica (Alpern 1987).

No caso da bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel e tendo em atenção, por um lado, o objectivo que nos propusemos atingir com o estudo dos seus carvões e, por outro lado, o facto destes carvões apresentarem percentagens bastante elevadas de constituintes minerais singenéticos cujas relações com os constituintes orgânicos permitem tipificar alguns ambientes de sedimentação decidiu-se efectuar o estudo da Composição petrográfica quantificando, simultaneamente, tanto os constituintes orgânicos (Composição petrográfica propriamente dita quando a percentagem, em volume, destes constituintes é recalculada "sem matéria mineral") como inorgânicos (estes correspondentes ao conceito de Categoria acima expresso).

No que respeita ao Grau de incarbonização, o seu estudo no caso do presente trabalho apenas permitiu o estabelecimento das leis gerais de evolução térmica da bacia, não podendo ser utilizado na correlação de camadas pelo facto de o Grau hoje patenteado pelos carvões corresponder a um somatório de episódios processados em diferentes fases da evolução tectónica da bacia.

3. 4. 1. Composição petrográfica

A determinação da composição petrográfica foi estabelecida através de critérios qualitativos (observação das relações existentes entre os diferentes constituintes, orgânicos e minerais) e quantitativos (determinação das percentagens em volume dos diferentes constituintes) para os quais se utilizou o sistema de nomenclatura internacionalmente adoptado para o efeito, Sistema de Nomenclatura de Stopes-Heerlen (abreviadamente SH), descrito no International Handbook of Coal Petrography (1963, 1971), cuja aplicação se encontra actualmente adaptada nas Normas para a determinação de macerais (NP 3605) e de microlitótipos carbominerites e minerites (NP 4218). Para os constituintes inorgânicos foi utilizada a mesma metodologia após uma escolha criteriosa dos minerais ou grupos de minerais com interesse para a caracterização destes carvões.

Esta análise implica uma identificação inequívoca de todos os constituintes presentes o que, por vezes, se torna difícil a partir de um certo grau de evolução. Com efeito, normalmente, os constituintes orgânicos vão experimentando, no decorrer do processo de in-

carbonização, variações das suas propriedades físicas e químicas (Stach et al. 1982) que conduzem a modificações, por vezes bruscas, das suas características como acontece, por exemplo, com os macerais do grupo da liptinite, no **salto de incarbonização de Stach (1953)⁽⁴⁾** quando o carvão atinge um grau de incarbonização correspondente a 29% de matérias voláteis [ssc] e 1,3% de poder reflector aleatório da vitrinite, ponto a partir do qual os macerais do grupo da liptinite passam a ter as mesmas propriedades ópticas dos macerais do grupo da vitrinite. Embora, em alguns casos, seja possível a sua distinção com base em aspectos de carácter morfológico, na maior parte dos casos isto não acontece, sendo necessário considerar, na análise quantitativa, a vitrinite e a liptinite no mesmo grupo. Um outro problema pode surgir na distinção entre alguns dos macerais do grupo da inertinite e da vitrinite (+liptinite), quando esta atinge valores do poder reflector máximo da ordem dos 4,5% que corresponde ao momento a partir do qual os macerais, ao longo do processo de incarbonização, sofrem, normalmente, alterações significativas (Alpern 1970, Alpern & Sousa 1970), sendo útil, nestes casos, efectuar observações em luz polarizada (Sousa 1978a).

Na bacia em estudo o grau de incarbonização aumenta acentuadamente de leste para oeste, sendo possível encontrar carvões com valores do poder reflector aleatório da vitrinite que variam de 0,6% no sector central-oriental a 3% no sector ocidental, correspondendo a uma gama de carvões que, de acordo com a Classificação Internacional dos Carvões em Camada da CEE-NU, inclui todos os Carvões Betuminosos (Carvões de Grau Médio D a A) e as Para-Antracites (Carvões de Grau Superior C) (veja-se Capítulo 7). Se atendermos ao que acima foi referido, esta variação no grau de incarbonização impossibilita a separação dos constituintes pertencentes aos grupos da vitrinite e liptinite nos carvões cujo grau de incarbonização corresponde a valores do poder reflector aleatório superiores a 1,3%, embora a observação exhaustiva de inúmeras secções de carvões com estas características tenha permitido a identificação inequívoca, embora esporádica, de constituintes do grupo da liptinite (esporos e cutículas vitrinizados) (Estampa 1, Fotos 1 a 3). A análise maceral nestes carvões fica portanto reduzida à quantificação de dois grupos de constituintes orgânicos, os grupos da vitrinite (+liptinite) e da inertinite, o que dificulta a correlação de camadas e, mais ainda, a determinação das condições ambientais de sedimentação.

(4) Hoje designado por **segundo salto de incarbonização** (Stach et al. 1982).

No sentido de minimizar este problema, decidimos proceder a uma análise maceral de pormenor com a individualização, em cada grupo de macerais, do maior número possível de macerais individuais, para a qual utilizamos critérios baseados em aspectos de incidência ambiental que foram aplicados a todos os carvões da bacia, qualquer que fosse o seu grau de incarbonização. Estes critérios tiveram sempre em atenção os erros introduzidos na quantificação dos constituintes dos carvões mais evoluídos, ao considerar, em conjunto, constituintes de natureza distinta como, por exemplo, incluir na vitrodetrinite eventuais liptodetrinites, na desmocolinite esporos de reduzidas dimensões com morfologia indistinta e, nas telocolinites, porções de macrósporos (Estampa 2, Fotos 1 a 3).

Assim, no grupo da vitrinite, os critérios utilizados na selecção dos principais macerais ou associações de macerais a individualizar tiveram em consideração o tipo de material orgânico original, sendo considerados, por um lado, os tecidos, representados quase exclusivamente pela telocolinite mas, em alguns casos, também pela telinite e, por outro lado, os detritos, onde se incluem a desmocolinite e a vitrodetrinite. A corpocolinite, embora ocorrendo em percentagens muito reduzidas, foi quantificada separadamente, por não se considerar aceitável a sua integração em qualquer dos agrupamentos de macerais referidos.

Nos grupos da liptinite e da inertinite, todos os macerais presentes foram quantificados individualmente, embora, posteriormente, alguns deles tivessem sido considerados conjuntamente de forma a permitir uma interpretação mais clara dos resultados.

A identificação dos macerais do grupo da liptinite foi feita, sempre que o grau de incarbonização o permitiu, com o auxílio da fluorescência em luz azul, sem a qual teria sido muito difícil quantificar alguns dos macerais, principalmente quando se apresentavam com dimensões reduzidas e dispersos no seio da matéria mineral.

No grupo da inertinite, os macerais puderam ser individualizados, na maior parte dos casos, sem qualquer dificuldade, embora tivessem surgido problemas com a quantificação da micrinite. Com efeito, este maceral ocorre, por vezes em percentagens muito elevadas, nos carvões mais evoluídos, tendo sido, em muitos deles, utilizado como critério distintivo. Por outro lado e, como é sabido, a micrinite é considerada pela maior parte dos autores como sendo um maceral de neoformação, gerado a partir de liptinites, durante o processo de incarbonização ocorrendo, frequentemente, em estreita associação com os macerais deste grupo (Stach & Alpern 1966, Teichmüller 1974, Teichmüller & Ottenjahn 1977,

Teichmüller & Wolf 1977, Stach et al. 1982). Há, no entanto, referências à presença de micrinite noutros contextos, nomeadamente preenchendo cavidades celulares, ou finamente dispersa na vitrinite e que foi considerada por alguns autores como tendo uma origem diferente (Delattre & Mériaux 1966, Shibaoka 1978, 1983, Taylor et al. 1982, Taylor & Liu 1987, 1989). A sua análise de pormenor foi conseguida através da utilização de técnicas de observação sofisticadas (Taylor & Liu 1989), com as quais foi possível distinguir, dentro do grupo de materiais com características semelhantes às da micrinite, vários tipos com origem completamente diferente como, por exemplo, porigelinites oxidadas, inertodetrinites muito finas, vazios e, mesmo, matéria mineral. Quando a observação é feita nas condições normalmente usadas para a análise petrográfica de carvões, estes diferentes aspectos não podem ser postos em evidência, sendo necessário utilizar, caso a caso, critérios de associação deste maceral com os restantes constituintes, com vista a estabelecer as suas relações genéticas.

No que respeita aos carvões da bacia agora em estudo, não é possível determinar a relação entre a micrinite e a liptinite para os carvões onde aquele maceral ocorre com mais frequência (carvões do sector ocidental da bacia, encontrando-se a micrinite associada, nestes casos, quase exclusivamente à telocolinite. Por outro lado, nos carvões menos evoluídos, onde a liptinite aparece, por vezes, em grande quantidade, a micrinite está praticamente ausente e, quando aparece, encontra-se associada preferencialmente a inertodetrinites de dimensão variada, no seio de vitrinertites e trimacerites. Apesar de tudo isto, e atendendo ao tipo de aparelhagem por nós utilizado na análise maceral, todos os constituintes com as características descritas para a micrinite no *International Handbook of Coal Petrography* (1963, 1971) foram considerados como tal, independentemente das suas relações com os restantes constituintes.

Com base não só nas considerações acima tecidas, mas também nos factos observados na bacia em estudo, decidimos considerar, para a determinação da composição petrográfica de todos os nossos carvões, os seguintes macerais ou associações de macerais:

- (i) **No grupo da vitrinite** e nas camadas ou níveis de carvão que consideramos de interesse fundamental para o estabelecimento das condições ambientais de sedimentação e/ou para proceder a correlações, foram considerados, individualmente, os seguintes macerais: a **telinite+telocolinite**, a **desmocolinite**, a **vitrodetrinite** e a

corpocolinite. Nos restantes casos o grupo da vitrinite foi considerado como um todo⁽⁵⁾.

- (ii) **No grupo da liptinite** foram considerados todos os macerais presentes, tais como, a esporinite, a resinite, a cutinite e a liptodetrinite.
- (iii) **No grupo da inertinite** foram também considerados todos os macerais presentes, nomeadamente, a fusinite, a semifusinite, a esclerotinite, a micrinite e a inertodetrinite.

Uma análise com este pormenor, não podia ser feita usando apenas um contador de pontos, pelo que tivemos de proceder a contagens sucessivas, sobre a mesma amostra, para os diferentes grupos de macerais, sendo depois calculadas as percentagens proporcionalmente aos valores determinados para os grupos principais. Por outro lado, foi necessária a utilização de uma objectiva cuja ampliação permitisse a identificação inequívoca de alguns macerais quer do grupo da inertinite (micrinite, por exemplo) quer do grupo da liptinite e que não colidisse com o especificado na Norma NP 3605, tendo sido escolhida a objectiva de imersão de 50x. A contagem dos macerais do grupo da liptinite nos carvões menos evoluídos foi feita com o auxílio de fluorescência na a qual utilizamos luz azul obtida com um filtro de excitação BG 12 ($\lambda = 408 \text{ nm}$), um filtro de paragem K 510 e um espelho dicróico TK 510.

A par dos constituintes orgânicos acima referidos e tal como anteriormente mencionámos, foram ainda considerados na determinação da composição petrográfica, constituintes minerais cujos grupos foram fixados após uma pesquisa qualitativa da natureza da matéria mineral presente em carvões com diferentes graus de incarbonização e pertencentes a unidades e camadas localizadas em distintas zonas da bacia, tendo-se optado pela separação entre matéria mineral singenética e epigenética, embora algumas espécies minerais se encontrem representadas em ambos os tipos. Assim:

- (i) **Na matéria mineral singenética** consideramos a **pirite singenética** (framboidal) e um conjunto de material inorgânico predominantemente constituído por minerais da argila e, por vezes, também por alguns carbonatos microcristalinos.

(5) A maior parte dos níveis de carvão de pequena possança contém uma percentagem muito elevada de matéria mineral, apresentando-se a vitrinite distribuída em pequenos leitos de telocolinite no seio dessa matéria mineral

- (ii) Na **matéria mineral epigenética**, fundamentalmente constituída por carbonatos bem cristalizados, consideramos a **calcite** e a **siderite** e os sulfuretos nitidamente tardios, essencialmente representados por **pirite/marcassite**.

A matéria mineral singenética ocorre intimamente associada com a matéria orgânica, em estreitos leitos no seio desta ou constituindo uma boa parte do carvão englobando, neste caso, muitas partículas orgânicas que, nos carvões mais evoluídos, são representadas por vitrodetrinite e inertodetrinite mas, nos restantes carvões, incluem, além dos constituintes referidos, toda a gama de liptinites constituindo, por vezes, associações muito semelhantes às matrizes organo-minerais descritas por vários autores para as rochas sedimentares com matéria orgânica dispersa (Robert 1985). As características mineralógicas da matéria mineral singenética foram determinadas com base na observação em luz reflectida, tendo-se verificado ser essencialmente constituída por minerais da argila aos quais se associam mais raramente carbonatos com textura microcristalina e/ou pirite framboidal. À matéria mineral singenética aparece quase sempre associada alguma matéria mineral epigenética (calcite, siderite e pirite/marcassite), cujas relações texturais, quer com a matéria orgânica, quer com a restante matéria mineral permite, em alguns casos, estabelecer sequências de fenómenos relacionados com a acção de fluidos provavelmente associados às rochas doleríticas que ocorrem em certas zonas da bacia.

Além da determinação da composição petrográfica com base na análise maceral foi, ainda, determinada a composição em microlitótipos nos carvões onde foi possível a identificação dos macerais do grupo da liptinite. Este tipo de análise, conjugada com a presença de determinados macerais, é fundamental para a caracterização das condições ambientais de sedimentação. No caso dos carvões mais evoluídos a análise de microlitótipos tem pouco significado, uma vez que o número de microlitótipos fica substancialmente reduzido, não sendo possível a sua representação nos diagramas ternários usualmente utilizados. Esta análise foi efectuada considerando a determinação dos microlitótipos monomacerais, **vitrite**, **liptite** e **inertite**⁽⁶⁾, bimacerais, **clarite**, **durite** e **vitrinertite**, e dos diferentes tipos de trimacerites, isto é, **clarodurite**, **duroclarite** e **vitrinertoliptite**. Procedeu-se, ainda, à determinação da **minerite** e das **carbominerites**, estas últimas sem distinção do tipo de

(6) A inertite aparece representada apenas pela fusite e semifusite. Os outros macerais do grupo da inertinite nunca aparecem sob a forma de microlitótipos monomacerais.

matéria mineral presente, uma vez que, na grande maioria dos casos, esta é constituída por minerais da argila e, mais raramente, por carbonatos.

3. 4. 2. Grau de incarbonização

No decurso da incarbonização, os materiais orgânicos originais vão sendo progressivamente modificados, inicialmente em relação com processos diagenéticos onde os agentes biológicos, nomeadamente alguns microorganismos, desempenham um papel preponderante (incarbonização bioquímica) e, mais tarde, numa fase anquimetamórfica (incarbonização geoquímica), na qual as características químicas e físicas dos constituintes orgânicos são significativamente alteradas devido, fundamentalmente, à acção de fenómenos de natureza térmica que podem reflectir, simplesmente, o afundimento progressivo da bacia, e/ou, a presença de anomalias térmicas na maior parte dos casos relacionadas com o enquadramento geotectónico onde esta se situa e, muitas vezes, associadas à implantação de corpos ígneos.

O resultado final de todo este processo é traduzido no grau de incarbonização ou de carbonificação que pode ser avaliado, indirectamente, através parâmetros de grau, obtidos pela quantificação de propriedades físicas e químicas (designadas por parâmetros de grau) que mostrem variações significativas no decurso da incarbonização. São exemplos de parâmetros físicos de grau, os poderes reflectores máximo e aleatório da vitrinite, o espectro de fluorescência de alguns constituintes do grupo da liptinite, a microdureza da vitrinite e a densidade do vitrino ou do carvão global. Os teores em humidade, em matérias voláteis, em carbono e em hidrogénio assim como o poder calorífico superior e o índice de intumescimento no cadinho, são exemplos de parâmetros químicos e fisico-químicos. De um modo geral, qualquer um dos parâmetros referidos só tem validade em zonas relativamente restritas da escala de incarbonização, embora haja alguns cujas variações permitem cobrir intervalos maiores daquela escala, como acontece, por exemplo, com o poder reflector da vitrinite e os teores em carbono e em matérias voláteis. Com efeito, estes parâmetros têm sido os mais utilizados para estudo do grau de incarbonização, existindo publicadas curvas que os correlacionam entre si ou com outros parâmetros de aplicação mais restrita (Sousa 1977, 1979), com as quais é possível determinar alguns parâmetros a partir de outros.

Para o estudo da incarbonização dos carvões da bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel, o parâmetro escolhido foi o valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) da vitrinite (medido sempre na telocolinite), não só porque nos pareceu ser o mais indicado para a análise da incarbonização destes carvões, mas também pelo facto de poder ser medido ao mesmo tempo que se processavam as outras análises petrográficas. Nos carvões mais evoluídos e com vista ao estudo da anisotropia de reflexão da vitrinite foram, também, determinados os valores médios do poder reflector máximo (\bar{R}_{max}) e os valores do poder reflector mínimo estatístico ($R_{min,e}$) (veja-se Capítulo 6).

As determinações dos valores médios dos poderes reflectores aleatório (\bar{R}_a) e máximo (\bar{R}_{max}) foram feitas de acordo com as especificações presentes na Norma NP 3606, sendo os valores do poder reflector mínimo estatístico ($R_{min,e}$) determinado de acordo com a metodologia descrita por Sousa (1971). Em todos os casos, as medições dos poderes reflectores foram efectuadas sobre superfícies polidas, observadas em imersão em óleo e utilizando um microscópio para luz reflectida munido de um fotómetro .

A ampliação total inicialmente utilizada na medição dos poderes reflectores da vitrinite foi de 320 x, tendo sido ensaiada, posteriormente, uma ampliação superior (500x), em amostras com percentagens elevadas de matéria mineral nas quais era dificilmente possível efectuar as 100 medições requeridos para esta análise. Como os resultados obtidos na mesma amostra e utilizando cada uma das ampliações referidas, foram praticamente os mesmos, encontrando-se as diferenças dentro dos limites de repetibilidade do método, passamos entretanto a utilizar, em todos os casos, apenas a ampliação de 500x.

Complementarmente, foram usados critérios qualitativos de análise, particularmente no caso dos coques naturais da Camada Cervantes, cujas texturas dão indicações quanto ao estado de evolução do carvão no momento em que foi carbonizado (Quiu, 1983) e, por vezes, quanto às relações espaciais da incarbonização com a deformação da camada, o que permitiu uma seriação dos diferentes episódios de incarbonização para os carvões de grau superior.

3. 5. Análise dos resultados

3. 5. 1. Análise maceral

Os resultados obtidos na análise maceral foram lançados em diagramas triangulares escolhidos de modo a representar as composições do carvão tal qual e, quando possível, do carvão considerado sem matéria mineral (carvão puro) assim como as relações entre os macerais de cada grupo, para cada uma das unidades analisadas. No carvão tal qual foram usados diagramas ternários vitrinite-inertinite-matéria mineral total e vitrinite-inertinite-matéria mineral singenética. Nos carvões menos evoluídos, para além dos diagramas referidos foi igualmente utilizado o diagrama V-L-I. Quando se pretendeu estudar as relações entre os macerais de cada grupo utilizaram-se diagramas para cada grupo de macerais, onde se associaram constituintes com o mesmo significado ambiental e/ou genético. Assim, para o grupo da inertinite, o diagrama foi construído com base nas percentagens de fusinite+semifusinite+esclerotinite, de inertodetrinite e de micrinite, para o grupo da vitrinite, nas percentagens de tecidos gelificados (telinite+telocolinite), de corpocolinite e de desmocolinite+vitrodetrinite e, para o grupo da liptinite, nas percentagens de cutinite+resinite, de esporinite e de liptodetrinite.

Além dos diagramas acima referidos, foram ainda considerados outros gráficos com vista a salientar a variação lateral de composição das camadas mais importantes. Cada um destes corresponde à justaposição de perfis longitudinais e transversais nos quais as amostras foram dispostas lado a lado e, sempre que possível, orientadas de oeste para este, nos perfis longitudinais e, de sul para norte, nos transversais. Nestes diagramas lançámos as percentagens dos principais grupos de constituintes para o carvão tal qual e algumas associações de macerais para o carvão considerado sem matéria mineral (puro). Para as principais unidades da bacia consideramos, ainda, os valores médios de cada camada sendo representada a variação de composição de tecto a muro.

Para além dos diagramas supracitados, elaboraram-se outros onde é possível observar o comportamento de índices petrográficos que traduzem características importantes das condições ambientais e/ou do "tipo" predominante de material orgânico original. Estes índices, escolhidos de entre os utilizados por alguns autores para estabelecer as condições ambientais de sedimentação em carvões de várias idades e proveniências (Diessel 1982, Navale &

Misra 1984, Harvey & Dillon 1985, Diessel 1986, Kalkreuth & Leckie 1989), foram adaptados de acordo com as características gerais evidenciadas pelos carvões desta bacia.

Neste estudo foram considerados, basicamente, três índices:

- (i) **O índice VAVB** que traduz a relação entre os tecidos gelificados e a matriz vitrinítica, pode ser utilizado como indicativo do tipo predominante de material original, principalmente nos casos em que os carvões se apresentam essencialmente constituídos por vitrinite. Foi usado por Kalkreuth & Leckie (1989) tendo sido definido como o quociente entre as vitrinites A e B de Brown et al. (1964), ou seja, respectivamente, a telinite+telocolinite e a desmocolinite (à qual foi adicionada a vitrodetrinite). Com efeito, a presença de percentagens elevadas de telinite+telocolinite aponta, desde logo, para um material original maioritariamente proveniente de florestas associado a ambientes com muita água, ao mesmo tempo que a desmocolinite e a vitrodetrinite, embora menos diagnósticas, podem ser sintomáticas de algum transporte do material antes da deposição, quando presentes em quantidade significativa.
- (ii) **O índice IR**, usado pelos mesmos autores como indicativo do grau de degradação da matéria orgânica antes do seu afundimento, define-se como a razão entre os tecidos oxidados (fusinite+semifusinite) e a restante inertinite (macrinite+micrinite+inertodetrinite). Este índice foi por nós ligeiramente alterado com a inclusão, no numerador, da esclerotinite, uma vez que este maceral, quando presente, é sempre representado por tecidos de fungos, podendo, a nosso ver, ser adicionado aos restantes tecidos oxidados.
- (iii) **O índice VI**, utilizado por Navale & Misra (1984) como índice de correlação em carvões da Índia e, por Harvey & Dillon (1985), para definir ambientes de sedimentação em carvões pensilvanianos da América do Norte, traduz a relação entre a totalidade da vitrinite e da inertinite presentes num carvão. Pode fornecer indicações importantes quanto aos níveis de oxidação existentes no momento da sedimentação, principalmente nos carvões mais ricos em inertinite.

Complementarmente, foram utilizados dois outros índices que correspondem a razões entre associações de macerais pertencentes a grupos diferentes e que permitem, com mais clareza, definir fácies petrográficas dos carvões. Estes índices foram inspirados nas associações de macerais usadas por Diessel para a análise de fácies (Diessel 1982) e, posteriormente, para correlacionar essas fácies com ambientes de sedimentação previamente definidos (Diessel 1986). No primeiro caso, este autor utilizou dois diagramas triangulares

nos quais confrontou associações de macerais, a que chamou diagnósticos, com outros constituintes que considerou não terem um significado especial. Num dos diagramas (D-W-R), colocou no vértice W, os macerais com origem em tecidos, isto é, a associação fusinite+semifusinite+telinite+telocolinite e, nos outros dois vértices, os macerais dispersos inertodetrinite+esporinite+alginite (vértice D) e os restantes macerais (vértice R) (Fig. 19a). O segundo diagrama (D-T-F), utilizado unicamente quando a percentagem dos macerais diagnósticos era superior a 50%, permitia a individualização de fácies por comparação entre os tecidos gelificados (telinite+telocolinite) no vértice T, os tecidos oxidados (fusinite+semifusinite) no vértice F e, os macerais dispersos (inertodetrinite+esporinite+alginite) no vértice D (Fig. 19b). Com base neste último diagrama estabeleceu limites para determinados tipos de fácies considerando, como relações fundamentais, as razões entre os tecidos gelificados e oxidados (T/F) e, entre estes, e os macerais dispersos (TF/D). Estes quocientes, mais tarde modificados pelo mesmo autor, vieram a dar origem aos índices de gelificação (GI)⁽⁷⁾ e de preservação de tecidos (TPI)⁽⁸⁾, com os quais conseguiu estabelecer as relações entre fácies de carvão e ambientes de sedimentação (Fig. 19c).

Tendo em consideração o significado ambiental atribuído, por este autor, aos macerais e associações de macerais que utilizou nos seus diagramas procurámos, para os carvões da nossa bacia, usar os mesmos critérios, introduzindo adaptações de acordo com os constituintes que tínhamos em presença, e isto nos diferentes graus de incarbonização. Assim, por exemplo, apenas se considerou o diagrama T-F-D, onde foram acrescentadas, ao vértice F, a esclerotinite e, ao vértice D, a desmocolinite+vitrodetrinite+liptodetrinite (Fig. 20a). Com efeito estes três últimos macerais têm, a nosso ver, mais afinidades com os macerais dispersos do que com um conjunto indiferenciado de constituintes como os que Diessel considerou.

Com base em critérios semelhantes, os índices petrográficos GI e TPI sofreram também algumas modificações. No primeiro caso, o índice manteve-se praticamente inalterado, sendo apenas retirada a macrinite, por nunca ocorrer nos carvões da nossa bacia. No segundo caso, substituímos o índice de preservação de tecidos pelo índice S/D⁽⁹⁾ utilizado

(7) $GI = (\text{vitrite} + \text{macrinite}) / (\text{semifusinite} + \text{fusinite} + \text{inertodetrinite})$

(8) $TPI = (\text{telinite} + \text{telocolinite} + \text{semifusinite} + \text{fusinite}) / (\text{desmocolinite} + \text{macrinite} + \text{inertodetrinite})$

(9) $S/D = (\text{telinite} + \text{telocolinite} + \text{fusinite} + \text{semifusinite}) / (\text{desmocolinite} + \text{vitrodetrinite} + \text{inertodetrinite} + \text{esporinite} + \text{alginite})$.

por Kalkreuth & Leckie (1989) embora, para estes autores, o índice não se tenha revelado de interesse especial. No nosso caso permite, porém, a comparação entre carvões com graus de incarbonização diferentes pois considera alguns dos macerais do grupo da vitrinite associados a outros do grupo da liptinite. Seguindo, mais uma vez, os critérios acima justificados, também o índice S/D foi por nós modificado em relação à sua definição original, sendo acrescentado ao denominador a liptodetrinite e retirada a alginite, constituinte que nunca foi detectado nos carvões da nossa bacia. O diagrama resultante da projecção destes dois índices (Fig. 20b), embora com aspecto gráfico semelhante ao utilizado por Diessel (1986), não pode ser interpretado do mesmo modo uma vez que, para os mesmos carvões, os valores de S/D são, por razões óbvias, sempre inferiores aos valores de TPI. No nosso caso, os valores obtidos, em todos os carvões, para o índice S/D, são bastante superiores aos valores de TPI referidos por Diessel nos seus trabalhos, o que, como adiante veremos, indica uma proporção de tecidos significativamente superior à dos restantes constituintes.

Os resultados da análise maceral, incluindo os índices petrográficos, foram tratados estatisticamente tendo sido usados vários métodos de Análise Multivariada (Laffitte 1972, Davis 1986), com vista a testar, por um lado, o significado das associações dos constituintes e índices petrográficos por nós escolhidos para a caracterização dos carvões e, por outro lado, para verificar se, por via estatística era possível separar as diferentes unidades de carvão e, dentro de cada uma delas, individualizar as principais camadas. O primeiro método de Análise Multivariada aplicado foi a Análise dos Componentes Principais, para a qual se utilizaram, como variáveis, todos os macerais individuais e os índices petrográficos deles derivados. A análise foi processada em carvões com diferentes graus de incarbonização sendo evidenciadas, por um lado, relações estreitas entre alguns dos macerais e os primeiros Componentes Principais e, por outro lado, a presença de variáveis sem qualquer significado, nomeadamente a micrinite e o índice IR. Para os três índices petrográficos restantes (V/I, VAVB, GI e S/D) verificou-se que os índices com significado ambiental idêntico apresentavam pesos semelhantes relativamente ao mesmo Componente Principal tendo, por conseguinte, significado estatístico semelhante. Tendo em consideração estes resultados retomámos a análise, eliminando as variáveis com significado estatístico duvidoso e conjugando outras que correspondiam a associações já previstas para a caracterização dos carvões desta bacia como, por exemplo, a desmocolinite+vitródetrinite e a fusinite+semifusinite +esclerotinite. A estas variáveis foram acrescentados alguns índices petrográficos cuja escolha resultou de testes efectuados primeiro com os índices VI e VAVB

e, posteriormente, com os índices de significado semelhante GI e S/D. Os resultados obtidos foram bastante mais satisfatórios, sendo nítidas as relações entre constituintes de determinado tipo e os três Componentes Principais que, neste caso, acumulavam cerca de 80% da variância total.

Com vista a obter resultados estatísticos com maior significado, usamos a Análise Factorial em módulo R que foi aplicada exactamente nas mesmas condições do método anterior, isto é, considerando as mesmas variáveis. Com efeito, as relações entre os grupos de constituintes escolhidos e os principais factores retidos passaram a ser mais evidentes, principalmente se utilizássemos uma rotação ortogonal aos eixos factoriais pelo processo VARIMAX. Os resultados obtidos nesta análise para todos os carvões da bacia evidenciaram o mesmo tipo de relações, independentemente do sector onde estavam integrados, o que veio a confirmar a possibilidade de aplicação dos mesmos critérios petrográficos para a caracterização de carvões com grau de incarbonização muito diferente.

Uma Análise Factorial idêntica foi, posteriormente, aplicada a cada uma das unidades de carvão estudadas, para verificar se as associações preferenciais de constituintes definidas na globalidade dos carvões de cada sector da bacia tinham o mesmo significado em todas as unidades. Os resultados da Análise Factorial serão apresentados nos Capítulos 4 e 5 dedicados ao estudo petrográfico dos diferentes carvões da bacia e dizem, apenas, respeito aos dados finais obtidos nesta análise.

Um outro tipo de análise utilizada foi a Análise Discriminante, aplicada primeiro à totalidade dos carvões de cada sector e, depois, às diferentes unidades de carvão. As variáveis a usar foram testadas por conjugações sucessivas, tendo-se verificado que, na maior parte dos casos, as variáveis com maior significado na Análise Factorial permitiam uma melhor discriminação nos casos em que esta era possível. Este tipo de análise apenas resultou em algumas unidades não sendo possível a sua aplicação para totalidade dos carvões de cada sector, devido à dispersão de composição apresentada por algumas das camadas.

3. 5. 2. Análise de microlitótipos

A composição em microlitótipos, determinada apenas nos carvões menos evoluídos, foi utilizada, fundamentalmente, na análise das condições ambientais, constituindo aqui um complemento muito importante relativamente aos resultados obtidos com os dados da

análise maceral. Tratando-se, todavia, de um método que traduz, de forma distinta, a composição de um carvão, decidimos considerar, para este tipo de análise, diagramas que evidenciassem as variações laterais e verticais de composição em microlitótipos, seguindo para tal a mesma metodologia utilizada no tratamento gráfico dos resultados da análise maceral.

Os diagramas utilizados para a análise destes resultados, são os diagramas dados à estampa por Hacquebard et al. (1967), Hacquebard & Donaldson (1969) e Smyth (1984) para estabelecer a relação entre fácies petrográficas dos carvão e os ambientes de sedimentação associados. Estes diagramas também sofreram algumas alterações, quer no que respeita ao seu aspecto gráfico (rotação dos diagramas de modo a representar no mesmo vértice e em diagramas diferentes, as mesmas associações de microlitótipos), quer relativamente à composição de cada vértice, onde foram acrescentados alguns microlitótipos que não tinham sido considerados por aqueles autores.

Assim, o diagrama de fácies utilizado por Hacquebard & Donaldson (1969) constituído por dois triângulos equiláteros justapostos pela base e com os vértices ocupados por associações de microlitótipos que refletem ambientes específicos relacionados com diferentes tipos de vegetação (Fig. 21a), foi separado em dois, sendo adicionado no vértice da duroclarite, a vitrinertite, a vitrinertoliptite e a liptite, enquanto que a carbargilite foi substituída pela carbominerite (Figs 22a e 22b). Com efeito, a vitrinertite, embora constituída, nos carvões desta bacia, essencialmente por vitrinite, apresenta percentagens razoáveis de inertodetrinite e, por conseguinte, do ponto de vista ambiental, tem mais afinidades com a duroclarite do que com as vitrites ou clarites. Por outro lado, a liptite e vitrinertoliptite, a serem consideradas, só podem, quanto a nós, ser logicamente associadas à duroclarite. A substituição da carbargilite pela carbominerite foi, no nosso caso, absolutamente necessária, uma vez que, nestes carvões os minerais da argila se encontram intimamente associados com outros constituintes minerais singenéticos cuja natureza mineralógica não foi possível determinar com exactidão.

O diagrama usado por Hacquebard et al. (1967) para caracterizar petrográficamente os carvões depositados em ambientes de sedimentação previamente conhecidos (Fig. 21b) foi utilizado, em simultâneo, com os diagramas anteriores, tendo sido também alterado com base nos critérios atrás considerados (Fig. 22c). Do mesmo modo, as modificações por nós efectuadas no diagrama de Smyth (1984) (Fig. 23a e 23b), tiveram como base os mesmos princípios, de modo a ser possível comparar os dados projectados nos três diagramas.

3. 5. 3. Grau de incarbonização

No que respeita ao grau de incarbonização e, atendendo às importantes anomalias verificadas no processo de incarbonização, particularmente no sector ocidental da bacia, e, ainda, ao facto da incarbonização ser, no essencial, independente de toda a evolução sedimentar e estratigráfica, a análise da distribuição do poder reflector foi feita, separadamente, nas zonas ocidental e central-oriental da bacia, considerando-se, para o efeito e no caso geral, os valores médios do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) em todas as camadas e unidades de carvão sem utilizar o critério parcelar de análise por unidade tal como o que foi adoptado para o estudo da composição petrográfica.

Para todos os sectores, foram traçados mapas de isolinhas com base no valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) e, no sector onde ocorriam os carvões mais evoluídos, estes mapas foram comparados com outros calculados com base no valor médio do poder reflector máximo (\bar{R}_{max}). Verificando-se, neste último caso, que a geometria da distribuição espacial para cada um dos dois poderes reflectores citados era, no essencial, idêntica, optamos por considerar, no modelo global de incarbonização da bacia, somente os valores médios do poder reflector aleatório (\bar{R}_a), o que permitiu delimitar áreas de ocorrência preferencial para carvões com graus de incarbonização diferente, classificados de acordo com a Classificação Internacional para os Carvões em Camada da CEE-NU (veja-se Capítulo 7).

A par dos mapas de isolinhas de incarbonização foram, ainda, considerados, em cada sector da bacia, gráficos de variação do poder reflector com a profundidade, o que permitiu calcular gradientes de incarbonização locais e, a partir destes, inferir as variações do gradiente paleogeotérmico ao longo da bacia.

4. Análise e Caracterização Petrográfica dos carvões do Sector Ocidental da Bacia

4. 1. Introdução

Na zona ocidental da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel, também designada por "zona das antracites" ocorrem, como já referimos, os carvões mais evoluídos da bacia, com valores médios do poder reflector aleatório da vitrinite oscilando entre 1,4% e 3,2% o que, de acordo com a Classificação Internacional dos Carvões em Camada da CEE-NU, corresponde a uma gama de incarbonização que cobre parte dos carvões Betuminosos e parte das Antracites (veja-se Capítulo 6). Devido ao grau de incarbonização destes carvões, a sua composição petrográfica só pôde ser determinada com base na quantificação de dois grupos de constituintes orgânicos (vitrinite e inertinite), uma vez que, para níveis de incarbonização desta ordem, os macerais do grupo da liptinite só dificilmente se conseguem separar dos do grupo da vitrinite. Pela mesma razão, uma análise de microlitótipos não nos parece que tenha, nestas condições, qualquer sentido, pelo que optámos por determinar unicamente a composição em macerais de acordo com a metodologia descrita no Capítulo 3 e atendendo aos aspectos aí referidos a propósito de carvões com estas características. Todas as amostras estudadas representam "amostras médias em grão", preparadas a partir de amostras colhidas, na maior parte dos casos, em sondagens e, mais raramente, nas minas em laboração.

Após a análise prévia de algumas das amostras pertencentes às principais camadas verificou-se, desde logo, tratar-se de carvões muito ricos em vitrinite, nomeadamente em telocolinite, ao mesmo tempo que se mostravam relativamente pobres em inertinite. As percentagens de matéria mineral são muito diferentes, principalmente no que se refere à matéria mineral singenética, cuja relação com os constituintes orgânicos parece constituir, em alguns casos, a característica distintiva mais importante. No entanto, análises subsequentes mostraram que, numa só camada, estas relações são muito variáveis, tornando-se necessário a utilização de critérios qualitativos suplementares para conseguir individualizar as camadas. Por outro lado, a diferença de composição petrográfica existente entre amostras da mesma camada é, frequentemente, superior à que se verifica de camada para camada, ou mesmo, de uma unidade para a outra. Mesmo utilizando uma análise petrográfica de pormenor, este tipo de relações persiste embora seja já possível distinguir globalmente algumas das camadas. Estas variações de composição estão, como veremos,

intimamente relacionadas com o tipo de ambientes de sedimentação presentes, que, por sua vez, se reflectem nas sequências litológicas intercalares. Com efeito, as correlações estratigráficas efectuadas no sector ocidental da bacia evidenciam algumas variações laterais importantes nas sequências litológicas que enquadram as principais camadas, enquanto verticalmente as repetições são, por vezes, frequentes.

Para testar o significado dos constituintes utilizados na caracterização destes carvões, aplicámos aos resultados da análise maceral, quer para a totalidade dos carvões deste sector, quer para cada uma das unidades individualmente, a Análise Factorial em módulo R com rotação dos eixos pelo processo VARIMAX. No caso das unidades Mellizo, Pardo e María a análise estatística foi efectuada em conjunto devido ao número limitado de amostras disponíveis. As variáveis utilizadas na Análise Factorial foram sempre as mesmas para todos os casos estudados sendo a sua selecção feita de acordo com os resultados de sucessivos estudos estatísticos preliminares, tal como referido no Capítulo 3. Os resultados obtidos (Quadro 8) mostram, claramente, a presença de relações estreitas e altamente significativas entre algumas das variáveis e os principais eixos, relações estas que se mantêm para a maioria das unidades analisadas e, ainda, para o conjunto de todos os carvões do sector. Tal é indicativo de associações preferenciais entre constituintes e índices petrográficos que não diferem, no essencial, das associações por nós consideradas como fundamentais para a caracterização destes carvões. Com efeito, a inertinite total e os tecidos oxidados (fusinite+semifusinite+esclerotinite) aparecem sempre destacados no primeiro eixo, para o qual contribui, também, o índice de gelificação (GI). A vitrinite total e os tecidos gelificados (telinite+telocolinite) a par da matéria mineral singenética são, ainda, os principais contribuintes ao segundo eixo e a desmocolinite+vitrodetrinite com o índice S/D constituem o essencial do terceiro eixo. A associação de constituintes em cada um dos eixos, conjugada com a importância relativa de cada eixo permite ter uma ideia mais precisa dos constituintes a considerar na caracterização petrográfica de cada unidade. Por outro lado torna-se evidente que, para este sector da bacia, os constituintes do grupo da inertinite (1º eixo), nomeadamente os tecidos oxidados e, em alguns casos, a inertodetrinite, são de importância fundamental no estudo petrográfico, mesmo ocorrendo em percentagens reduzidas. A vitrinite, a telinite+ telocolinite e a matéria mineral singenética, constituintes dominantes, em termos percentuais, na totalidade dos carvões deste sector, embora devam ser tomados em consideração na análise petrográfica, são menos importantes, do ponto de vista estatístico, do que os outros macerais acima referidos, uma vez que se associam num eixo

(2º eixo) cuja contribuição para a variância total é inferior à do eixo que concentra as inertinites. Do mesmo modo, a associação desmocolinite+ vitrodetrinite corresponde a um constituinte cuja importância é menor do que a de qualquer das associações anteriores (3º eixo). No entanto, o significado estatístico de cada eixo deve ser analisado, em cada caso particular, podendo, em algumas unidades, o significado ser mesmo invertido, como é o caso do conjunto das unidades Mellizo, Pardo e María, onde o primeiro eixo é caracterizado pelas associações que se encontram relacionadas com o segundo eixo nas restantes unidades.

A Análise Factorial, embora não tenha introduzido alterações fundamentais relativamente aos critérios considerados na escolha dos constituintes a utilizar na caracterização petrográfica dos carvões, critérios estes previamente seleccionados por criteriosa observação petrográfica, permite contudo uma seriação mais racional de alguns deles, principalmente em situações onde se torna difícil a escolha dos constituintes principais a ter em consideração.

Atendendo ao exposto, a análise petrográfica e a caracterização dos carvões deste sector será efectuada, separadamente, em cada unidade, onde se estabelecerão as características individuais de cada camada e, por fim, as tendências gerais de evolução da unidade. Estas, por sua vez, serão comparados umas com as outras de modo a definir traços comuns que levem ao estabelecimento de relações petrográficas ou ambientais que permitam efectuar correlações laterais.

4. 2. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade S.Rafael nas Minas María e Cervantes

Esta unidade, reconhecida no flanco invertido da estrutura principal, ocorre em duas unidades tectónicas distintas, uma situada a norte da bacia onde contacta com o flanco normal através da Falha S.Rafael e, outra, um pouco mais a sul, constituindo uma escama tectónica parcialmente aflorante, a Unidade Tectónica de María (Fig. 2). De muro a tecto, a Unidade S.Rafael é constituída por três camadas de carvão com interesse económico, cada uma das quais se encontra associada a sequências sedimentares com características ambientais distintas que foram estabelecidas por Wagner & Jurado (1988) com base no estudo das sondagens antes referidas (veja-se Capítulo 2). De acordo com o corte padrão

definido para a Unidade Tectónica de María (Fig. 24), na parte inferior da Unidade S.Rafael ocorrem sequências de tipo fluvial e de planície de inundação com as quais estão relacionadas as **camadas Suelos e Techo**. Por cima da camada Techo desenvolve-se uma sequência lutítica com lamelibrânqueos do género *Naiadites*, correspondente à primeira incursão lacustre importante da bacia que culmina com a deposição da **Camada S.Rafael**. As sequências encontradas a tecto desta camada, reflectem a presença de um lago de grandes dimensões responsável pela presença de possantes níveis lutíticos onde foram encontrados fósseis de filópodes dos géneros *Leiaia* e *Euestheria*.

A amostragem desta unidade foi obtida, fundamentalmente, nas sondagens efectuadas para reconhecimento geológico da Unidade Tectónica de María (Fig. 10), embora em número mais reduzido, se tenham também obtido amostras na Mina Cervantes situada mais a norte (Fig. 11). Os condicionalismos que envolveram a amostragem desta unidade e que já foram referidos no Capítulo 3, não permitiram uma recolha de amostras em número suficientemente representativo para as camadas Suelos e Techo. Contudo se conjugarmos os dados contidos no mapa da Figura 10 com o painel de correlação da Figura 25 onde se representaram todas as amostras recolhidas nas sondagens, verificamos que as duas camadas referidas foram amostradas, sempre que possível, em zonas distintas, de modo a cobrir, na medida do possível, toda a sua extensão lateral. Como adiante veremos, a variação lateral de composição para as camadas inferiores da unidade é bastante menor do que a que se observa na Camada S.Rafael, pelo que o número de amostras recolhido nas camadas Suelos e Techo, parece ter sido suficiente para a sua caracterização.

Não tendo sido nunca questionada a continuidade lateral das camadas desta unidade, em particular da Camada S.Rafael, o seu estudo petrográfico permitia, à partida, o estabelecimento das relações existentes entre fácies petrográficas do carvão e ambientes de sedimentação, apesar do elevado grau de incarbonização por elas apresentado. Foi nesta base que procedemos ao estudo desta unidade, começando por caracterizar cada uma das camadas, relativamente às quais procuramos definir critérios que permitissem a sua individualização e que, mais tarde, pudessem vir a ser considerados na comparação de camadas localizadas noutras unidades estruturais e/ou noutras zonas da bacia.

Os resultados obtidos na análise maceral apresentam-se listados em tabelas (Quadros 9 e 10) onde se consideram também os índices petrográficos e os valores médios para cada camada. Estes valores foram projectados em diagramas triangulares (Figs 26 e 27), nos quais

podem ser observadas as diferenças globais de composição das três camadas da Unidade S.Rafael das minas María e Cervantes, assim como a variação das suas composições médias de muro a tecto da unidade.

A composição global do carvão tal qual para as três camadas (Quadro 9 e Fig. 26) mostra, na esmagadora maioria das amostras estudadas, um domínio claro do grupo da vitrinite (+liptinite) sobre todos os outros constituintes embora a Camada Suelos evidencie, de um modo geral, valores mais baixos para este grupo de constituintes relativamente aos valores encontrados para as restantes camadas. Por outro lado, a dispersão observada quanto à composição das camadas Techo e Suelos, quando se considera no vértice da matéria mineral a matéria mineral total (Fig. 26a), diminui bastante se utilizarmos no diagrama apenas a matéria mineral singenética (Fig. 26c). Estes aspectos são ainda mais evidentes quando se analisa a distribuição de valores médios (Figs. 26b e 26d), onde se verifica que a diferença de composição entre a Camada Suelos e as camadas Techo e S.Rafael é mais acentuada se considerarmos a matéria mineral total.

Com efeito, a percentagem de matéria mineral epigenética é, de um modo geral, bastante elevada relativamente ao que é usual encontrar-se em carvões, aproximando-se, frequentemente, dos níveis percentuais apresentados pela matéria mineral singenética tendo mesmo, por vezes, tendência a ultrapassá-los. Esta matéria mineral epigenética é fundamentalmente constituída por carbonatos, calcite e, mais raramente, siderite, minerais estes que se apresentam bem cristalizados, os primeiros por vezes maclados, os segundos quase sempre com estrutura radial evidente e que ocorrem preenchendo fracturas e lúmenes celulares do mesmo modo que constituem o cimento de partículas orgânicas em zonas milonitizadas (Estampa 3, Fotos 1 a 3). As relações espaciais entre estes dois carbonatos não são evidentes nesta unidade, mas observações em amostras pertencentes a outras unidades deste sector da bacia parecem indicar uma formação precoce de calcite relativamente à siderite. De qualquer forma, quer uma quer outra, parecem estar relacionadas com circulação de fluídos carbonatados associados à implantação de doleritos a que adiante nos referiremos com pormenor (veja-se Capítulo 6), não tendo nada a ver com os processos ambientais que condicionaram a acumulação de material orgânico.

Em contrapartida, a matéria mineral singenética, intimamente relacionada com a génese dos carvões, ocorre em percentagens relativamente baixas na Camada S.Rafael, onde é constituída exclusivamente por minerais da argila que aparecem associados à vitrinite,

normalmente delimitando leitões de telocolinite ou de fusinite e semifusinite. Nas camadas Techo e Suelos, a percentagem de matéria mineral singenética é um pouco superior, sendo também constituída, na sua maior parte, por minerais da argila, embora na Camada Suelos se observem agregados minerais de grão muito fino que parecem corresponder a carbonatos com aspecto criptocristalino⁽¹⁰⁾. Esta matéria mineral apresenta-se em níveis bastante mais espessos que os observados na Camada S.Rafael, níveis estes que contêm quase sempre fragmentos orgânicos dispersos, principalmente constituídos por vitrodetrinite (+liptodetrinite) e mais raramente por inertodetrinite.

A análise da distribuição dos macerais do grupo da vitrinite (Quadros 9 e 10 e Figs.27a e 27b), mostra que associação telinite+telocolinite ou a telocolinite é sempre dominante sobre os restantes macerais do grupo, representando mais de 50% da vitrinite. Ocorre em leitões muito possantes onde, por vezes, se notam ainda pequenas pontuações, vestígios da estrutura celular original (Estampa 4, Foto 1). Além disso, apresenta fendas semelhantes às descritas por Kaegi (1981, 1985) para a pseudovitrinite⁽¹¹⁾, por vezes com forma sigmoidal e, não raramente, dispostas em escada (Estampa 4, Fotos 2 e 3). Dos outros macerais do grupo da vitrinite, a desmocolinite excede a vitrodetrinite em quase todas as amostras estudadas, embora pontualmente a situação se inverta, encontrando-se valores relativamente elevados para este maceral, em duas amostras, uma da Camada Techo e outra da Camada Suelos (18%), curiosamente com percentagens de desmocolinite bastante mais baixas. Estes dois macerais foram considerados em conjunto nos diagramas triangulares, onde se pode observar uma tendência para a sua diminuição de muro a tecto da unidade (Fig. 27b). A corpocolinite não tem qualquer significado, encontrando-se ausente na maior parte das amostras e, quando ocorre, a sua percentagem nunca atinge os 2%.

A inertinite, em percentagens relativamente baixas (excepcionalmente ultrapassa os 12%) é mais abundante na Camada Suelos, principalmente se considerarmos os seus valores globais no carvão puro (Quadro 10). Dos macerais do grupo são a fusinite e a semifusinite os mais representados constituindo, no seu conjunto, mais de 50% do total (Figs 27c e 27d). A semifusinite é, de um modo geral, dominante sobre a fusinite, embora haja amostras onde

(10) A análise mineralógica da matéria mineral não foi feita, nem, aliás, estava na índole do presente trabalho. Assim, a identificação dos minerais presentes, quando a matéria mineral se apresenta muito dividida, resulta difícil se atendermos a que as observações são efectuadas nas mesmas condições utilizadas para a identificação da matéria orgânica, isto é, em luz reflectida e em imersão em óleo

(11) Estas estruturas serão referidas mais tarde no Capítulo 6 reservado ao estudo do grau de incarbonização.

se verifica o contrário. Ambas ocorrem em placas bem desenvolvidas (Estampa 5, Fotos 1 e 2), nomeadamente na Camada Suelos onde constituem, por vezes, níveis individualizados e, mais raramente, associam-se à vitrinite em telocolinites. A esclerotinite, apenas presente na Camada S.Rafael, ocorre em percentagens insignificantes (inferiores a 1%), sempre sob a forma de micélios e, mais raramente, de pequenos esclerotos (Estampa 5, Foto 3). A inertodetrinite, com percentagens relativamente baixas em todas as camadas, corresponde, na sua maioria, a detritos provenientes de fusinites e semifusinites. Apresenta variações percentuais com algum significado nas camadas Techo e S.Rafael, mas mantém um valor praticamente fixo na Camada Suelos. A micrinite só se encontra presente nesta camada e, embora ocorra em percentagens relativamente baixas (cerca de 2% em todas as amostras), a sua associação preferencial à telocolinite, em leitos estreitos e contínuos (Estampa 5, Foto 4), parece indicar, pelo menos neste caso, uma origem primária para este maceral, não sendo de excluir a hipótese de se tratar de inertodetrinite muito fina.

Analisando em conjunto as três camadas desta unidade nas minas María e Cervantes, resulta clara a diferença de composição entre a Camada Suelos e as camadas Techo e S.Rafael, estas muito mais próximas no que respeita às características petrográficas globais, apesar das dispersões observadas em todas elas e postas em evidência nos diagramas triangulares das Figuras 26 e 27. Estas dispersões traduzem variações laterais de composição que são postas em evidência através de diagramas onde se representa a composição do carvão tal qual e do carvão puro (Fig 28) bem como os índices petrográficos calculados a partir da composição maceral (Quadro 10 e Fig. 29). Para o carvão tal qual as maiores variações verificam-se nas percentagens de matéria mineral total e, conseqüentemente, nas percentagens de vitrinite (Fig. 28). Na Camada Suelos, as oscilações laterais de matéria mineral são as mais importantes da unidade, principalmente no que respeita à matéria mineral epigenética que apresenta, em algumas amostras recolhidas na Unidade Tectónica de María, valores muito elevados. A matéria mineral singenética mostra, nesta unidade tectónica, uma tendência nítida para um aumento no sentido W-E, em todas as camadas da unidade, com maior incidência na Camada Suelos. Esta mesma tendência, embora bastante mais diluída, é evidenciada, nas camadas inferiores da unidade, pelas percentagens de inertinite, o mesmo não acontecendo com a Camada S.Rafael, onde a inertinite se apresenta com variações percentuais significativas, principalmente na zona leste, sendo nítido o seu aumento para ocidente. Se considerarmos as variações de composição com base unicamente nos constituintes orgânicos (carvão puro), verificamos que, para as camadas Techo e Suelos,

a distribuição lateral das principais associações de macerais é bastante regular, o mesmo não acontecendo na Camada S.Rafael que mostra oscilações importantes de composição, principalmente nos macerais do grupo da vitrinite, embora as percentagens globais deste constituinte sejam sensivelmente constantes. Estas irregularidades são mais acentuadas no sector central e ocidental da camada onde a inertinite, representada fundamentalmente por tecidos, apresenta percentagens mais elevadas. Relações do mesmo tipo podem ainda ser observadas nos diagramas de variação lateral dos índices petrográficos (Fig. 29), nomeadamente no que respeita às variações referidas para a Camada S.Rafael que evidencia, nas zonas central e ocidental, uma distribuição com a mesma tendência para os índices VAVB e IR, ao mesmo tempo que apresenta valores praticamente constantes para o índice VI sendo estes mais baixos do que os valores encontrados para o mesmo índice na zona oriental da camada. Para as camadas Techo e Suelos a distribuição lateral dos índices petrográficos faz-se sem anomalias significativas confirmando a continuidade lateral de composição para estas camadas.

A variação de composição de muro a tecto da unidade pode ser analisada em diagramas onde se consideram os valores médios calculados, em cada camada, para a composição petrográfica do carvão tal qual, do carvão puro e dos índices petrográficos (Fig. 30). Embora a Camada S.Rafael apresente uma variação lateral de composição mais acentuada que as restantes camadas, em termos médios é muito semelhante à Camada Techo, apenas mostrando percentagens de matéria mineral singenética um pouco inferiores às desta camada. A Camada Suelos é, no entanto, diferente das outras duas camadas (S.Rafael e Techo) sendo mais pobre em todos os macerais do grupo da vitrinite, principalmente em telinite+telocolinite, e mais rica em inertinite e matéria mineral, fundamentalmente matéria mineral epigenética. A análise da distribuição vertical dos índices petrográficos mostra uma variação insignificante dos índices VAVB e VI tendo apenas algum significado o aumento do índice IR de muro para tecto da unidade, traduzindo neste caso, claramente, a presença de micrinite na Camada Suelos.

Se compararmos os resultados obtidos na Análise Factorial para esta unidade (Quadro 8) com os dados retirados da análise conjunta dos diagramas até aqui referidos, verificamos que a individualização das camadas S.Rafael, Techo e Suelos nas minas María e Cervantes, se baseia, essencialmente, na análise da distribuição das associações de constituintes relacionadas com os dois primeiros eixos, isto é, percentagens de inertinite e de vitrinite totais e, em cada um destes grupos, o destaque para os tecidos oxidados (fusinite+

semifusinite+esclerotinite) e gelificados (telinite+telocolinite). No caso da variação lateral de composição da Camada S.Rafael, os constituintes e índices petrográficos que melhor a explicam são, precisamente, os que se associam ao primeiro eixo, ou seja os tecidos oxidados e o índice VI que, no caso presente, tem o mesmo significado petrográfico do índice GI usado na análise estatística. No entanto, o índice IR e a micrinite que, na análise dos diagramas de composição parece ter algum significado, não tem qualquer interesse do ponto de vista estatístico.

Por via estatística e aplicando aos carvões desta unidade uma Análise Discriminante onde se utilizam como variáveis os constituintes que se revelaram de maior interesse na Análise Factorial e que correspondem aos constituintes usados, até aqui, para a caracterização de cada uma das camadas, é possível separar, sem qualquer dúvida, a Camada Suelos das restantes camadas da unidade, sendo mais problemática a discriminação entre estas (Fig. 31). Com efeito, todas as amostras das camadas S.Rafael e Techo apresentam, sempre, valores positivos relativamente à primeira função discriminante ao contrário da Camada Suelos cujos valores para esta função são marcadamente negativos. As camadas Techo e S.Rafael podem ser separadas utilizando a segunda função, mas apenas se considerarmos os valores médios de cada uma delas. A dispersão de composição evidenciada pela Camada S.Rafael é a principal responsável pela interpenetração observada entre os agrupamentos de amostras destas duas camadas no diagrama da Figura 31, não havendo qualquer relação entre a Camada Techo e as zonas da Camada S.Rafael com grandes variações de composição.

Estes aspectos são também evidenciados nos diagramas de fácies onde os carvões desta unidade foram projectados com vista a estabelecer relações entre a composição petrográfica e as fácies dela deduzidas, com as condições ambientais a que se encontram associadas (Figs. 32a e 32b). Em ambos os diagramas a dispersão de composição da Camada S.Rafael continua a ser muito acentuada ao contrário do que acontece nas camadas Techo e Suelos cujas amostras se projectam em áreas bastante mais reduzidas. As três camadas não evidenciam, contudo, diferenças muito acentuadas no que se refere às condições ambientais de sedimentação correspondendo, todas elas, a fácies petrográficas caracterizadas pela presença de percentagens muito elevadas de tecidos gelificados, o que está intimamente relacionado não só com o tipo de material orgânico original, predominantemente tecidos lenhosos originados em florestas, mas também, e fundamentalmente, com as condições que permitiram a sua gelificação, isto é, condições extremamente húmidas.

No conjunto das três camadas e analisando as distribuições apresentadas por cada uma delas nos dois diagramas das Figuras 32a e 32b, pode salientar-se a tendência para um aumento das percentagens de tecidos gelificados da Camada Suelos para a Techo, ao mesmo tempo que se verifica um crescimento simultâneo dos índices GI e S/D no mesmo sentido. Em contrapartida, a Camada S.Rafael dispersa-se por dois grupos perfeitamente distintos, um coincidente com a maior parte das amostras das outras duas camadas e, outro, muito disperso, mostrando percentagens bastante elevadas de tecidos gelificados e valores extremamente altos para o índice S/D. As diferenças assinaladas, embora não justifiquem ambientes de sedimentação fundamentalmente distintos para as três camadas indicam, contudo, variações no que respeita aos níveis de água e, mesmo, talvez, a oscilações da taxa de subsidência da bacia.

Se procurarmos integrar as características ambientais acima descritas com as sequências litológicas a que estas camadas estão associadas e que se representam no painel de correlação desta unidade para a Mina María (Fig. 25), verificamos que as camadas Suelos e Techo aparecem intercaladas em sequências litológicas essencialmente detríticas onde os níveis de lutitos são raros, enquanto que a Camada S.Rafael se localiza entre duas sequências lutíticas muito espessas que correspondem a sedimentos lacustres. No caso das duas primeiras camadas, as fácies petrográficas indicam ambientes de sedimentação localizados muito próximo da fonte de alimentação da matéria orgânica e onde os níveis de água se deveriam manter sem grandes alterações (variações laterais de composição quase insignificantes). A Camada Suelos, com valores mais elevados de inertinite e índices de gelificação globalmente mais baixos, parece corresponder a ambientes ligeiramente mais oxidantes do que os associados à Camada Techo e, se considerarmos que, naquela camada, há uma maior participação de matéria mineral singenética e de material orgânico detrítico (valores mais baixos para o índice S/D), podemos acrescentar que o a Camada Suelos deve ter-se depositado em relação com um ambiente onde existe um maior índice de oxigenação das águas, por exemplo, numa planície aluvial, enquanto a Camada Techo aponta para ambientes mais palustres. No caso da Camada S.Rafael, as deduções de tipo ambiental são mais complicadas devido às variações laterais que apresenta e que parecem reflectir-se, parcialmente, nas sequências litológicas localizadas a muro da camada. Estas sequências correspondem a sedimentos lacustres relacionados com a primeira grande inundação da bacia, processada após a deposição da Camada Techo e culminando com a sedimentação da Camada S.Rafael. As análises petrográfica e ambiental efectuadas sobre esta camada,

embora pontualmente pareçam indicar tendências composicionais bem definidas, não permitem, no conjunto estabelecer uma lei geral de variação que explique as diferenças de fácies encontradas. Contudo, se considerarmos que as inundações lacustres da bacia se devem ter processado sob importante controlo tectónico, é provável que, no fim de cada ciclo lacustre, a instabilidade tectónica se faça ainda sentir, mesmo durante a instalação de ambientes de outro tipo, como, por exemplo, de ambientes palustres aos quais pode perfeitamente estar associada a Camada S.Rafael.

Sintetizando tudo o que atrás foi dito relativamente à **Unidade S.Rafael** nas minas María e Cervantes, podemos destacar os principais aspectos petrográficos que permitem caracterizar globalmente os seus carvões, quer do ponto de vista da composição, quer de ambientes de sedimentação:

- (i) **A vitrinite é, em todas as camadas, o constituinte dominante, correspondendo sempre, pelo menos, a 50% da composição global do carvão e a telocolinite+telinite são, sem qualquer dúvida os macerais mais importante do grupo da vitrinite;**
- (ii) **A inertinite, com percentagens relativamente baixas em comparação com as de vitrinite é, em todas as camadas, representada maioritariamente por tecidos (fusinite+semifusinite). A micrinite; embora em percentagens bastante baixas, apenas ocorre na Camada Suelos;**
- (iii) **A inertinite diminui, em termos médios, de muro para tecto da unidade, sendo acompanhada por um decréscimo, no mesmo sentido, da matéria mineral singenética e por um aumento das percentagens de tecidos oxidados;**
- (iv) **As diferenças na composição média das camadas S.Rafael e Techo são insignificantes, o mesmo não acontecendo com a Camada Suelos que se destaca nitidamente daquelas duas. Contudo, enquanto as camadas Techo e Suelos mantêm uma composição lateral praticamente constante, a Camada S.Rafael evidencia variações laterais de composição com algum significado;**
- (v) **As relações entre a matéria mineral singenética e os constituintes orgânicos são, fundamentalmente, diferentes na Camada S.Rafael e Techo e na Camada Suelos onde, por sua vez, a matéria mineral epigenética é mais importante;**

- (vi) **As fácies petrográficas do carvão, indicam condições ambientais extremamente húmidas associadas a níveis de oxidação-redução que conduzem à gelificação da maior parte do material orgânico original que, por sua vez, é predominantemente constituído por tecidos lenhosos;**
- (vii) **Embora as condições ambientais sejam, globalmente, as mesmas para todas as camadas há uma tendência para um aumento da percentagem dos tecidos gelificados e do Índice de Gelificação da Camada Suelos para a Camada Techo, o que indica um maior índice de oxigenação das águas na Camada Suelos e ambientes mais próximos dos palustres, para a Camada Techo;**
- (viii) **Na Camada S.Rafael a variação lateral de composição conduz a valores muito distintos dos índices ambientais, encontrando-se Índices de Gelificação cujas diferenças são superiores às encontradas para as outras duas camadas, o que indica variações nas condições de oxidação-redução do meio, não sendo possível estabelecer uma lei de variação lateral.**

4. 3. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade S.Rafael na Mina Rampa 3W

Na Mina Rampa 3 W, situada imediatamente a ocidente da Mina Cervantes, são exploradas três camadas de carvão, duas das quais, localizadas na zona norte da mina e designadas por **Camada Muro** e **Camada Intermédia Norte**, apresentam uma continuidade lateral bastante consistente no que respeita ao seu enquadramento estratigráfico, bem como uma espessura sensivelmente constante ao longo de toda a sua extensão. Mais a sul, com um enquadramento estrutural e estratigráfico completamente diferente, situa-se a **Camada Intermédia Sur** à qual se associam numerosos níveis de carvão com espessura e continuidade lateral variáveis que se enquadram em unidades estruturais diferentes, justapostas umas às outras por falhas orientadas paralelamente à direcção geral das camadas (Fig. 13). A estratigrafia desta mina foi estabelecida pelo Departamento de Geologia da ENCASUR com base no estudo de numerosas sondagens, a maior parte das quais se efectuou no interior (Piso 160) a partir da Camada Intermédia Norte e orientadas de modo a intersectar as camadas Muro e Intermédia Sur, bem como os níveis de carvão a esta associados. Este estudo mostrou que a Camada Intermédia Sur se situava a muro da Camada Intermédia Norte e esta, por sua vez, a muro da Camada Muro, o que indicava tratar-se de

uma estrutura invertida à semelhança do que acontecia com a Unidade S.Rafael, localizada um pouco mais para leste, na Mina Cervantes.

Quando iniciamos o estudo dos carvões desta mina, as camadas Muro e Intermédia Sur estavam em fase de reconhecimento, não havendo quaisquer indicações de carácter estratigráfico que permitissem uma correlação entre as camadas aqui presentes e as integradas nas restantes unidades já reconhecidas no sector ocidental da bacia. Por outro lado, a complexidade estrutural apresentada pela Camada Intermédia Sur e níveis de carvão associados, adicionada à falta de dados de natureza estratigráfica, dificultavam o estabelecimento de correlações laterais entre alguns dos níveis de carvão, sem as quais não era possível compreender o enquadramento geológico e estratigráfico deste sector da mina. Foi então julgado útil recorrer a critérios de outro tipo, nomeadamente os de natureza petrográfica que permitissem, em conjunto com todos os outros dados disponíveis, estabelecer as citadas correlações. Neste contexto, os estudos petrográficos foram orientados, numa primeira fase, no sentido de obter dados que possibilitassem a comparação entre os diferentes níveis de carvão localizados a sul da Camada Intermédia Norte e, só mais tarde, se procedeu a uma análise petrográfica com vista à caracterização pormenorizada das principais camadas presentes.

Atendendo a todos estes aspectos, procedeu-se a uma análise qualitativa prévia das amostras recolhidas nas sondagens efectuadas no interior do Piso 160 a sul da Camada Intermédia Norte e nas duas sondagens de exterior localizadas nos extremos ocidental e oriental da mina, análise essa que permitiu distinguir dois grupos de carvões com características nitidamente distintas: por um lado, carvões muito ricos em matéria mineral, pobres em inertinite e com vitrinite exclusivamente representada por telocolinite e, por outro lado, carvões onde a micrinite estava sempre presente e cujo conteúdo em inertinite era elevado. Na sequência deste estudo e com vista a quantificar as observações efectuadas, determinou-se a composição maceral em todas as amostras previamente observadas, na qual se individualizaram todos os macerais do grupo da inertinite, as matérias minerais singenética e epigenética e a vitrinite que, neste caso, foi considerada como um único constituinte. Os resultados obtidos (Quadro 11) mostram, claramente, a presença de níveis de carvão com percentagens elevadas de matéria mineral singenética e, simultaneamente, muito pobres em inertinite, em contraste com outros, onde este grupo de macerais apresenta valores significativos, muitas vezes devido à ocorrência de micrinite. Analisando a distribuição dos principais constituintes em cada sondagem verifica-se que, os níveis de carvão ricos em matéria

mineral e pobres em inertinite enquadram, na maior parte dos casos, outros com percentagem de inertinite nitidamente mais elevada, repetindo-se este padrão ao longo da sondagem. Se integrarmos as variações de composição observadas, com os dados estruturais conhecidos no Piso 160, é possível relacionar lateralmente alguns dos níveis de carvão com base nas percentagens relativas de inertinite total e na presença de micrinite, principalmente se forem confrontadas com os valores encontrados nos níveis adjacentes (Fig. 33). Com efeito, as amostras 1090, 900 e 1419 (sondagens SRI-11, SRI-7 e SRI-16, respectivamente) apresentam características muito semelhantes, nomeadamente no que respeita aos valores de inertinite total e de micrinite, devendo corresponder lateralmente ao mesmo nível de carvão. Do mesmo modo, os carvões das amostras 1085 e 1517 (sondagens SRI-11 e SRI-16, respectivamente), assim como os correspondentes à Camada Intermédia Sur, nas sondagens SRI-4, SRI-12 e SRI-14 (amostras 1078, 1080, 1094 e 1102, respectivamente), mostram características globais comuns, tanto no que se refere ao seu enquadramento relativamente aos níveis de carvão adjacentes, como também às percentagens de micrinite e inertinite total presentes representando, quanto a nós, a mesma camada, embora cada conjunto de amostras se localize em unidades estruturais diferentes. Se, por outro lado, considerarmos como critério de correlação as percentagens relativamente elevadas de matéria mineral associadas ao baixo conteúdo em inertinite total e, ainda, a percentagem reduzida de micrinite ou, mesmo, a sua ausência, podemos relacionar lateralmente outros níveis de carvão como, por exemplo, os correspondentes às amostras 1082 e 1093 (sondagens SRI-11 e SRI-12), 1091 e 901 (sondagens SRI-11 e SRI-7), 1087/1088, 899, 1097 e 1418 (sondagens SRI-11, SRI-7, SRI-12 e SRI-16), 1084, 1096 e 1416 (sondagens SRI-11, SRI-12 e SRI-16). Com base nas relações acima referidas e considerando o enquadramento de todas as amostras no contexto geológico do Piso 160, foi possível estabelecer correlações laterais na zona meridional desta mina que vieram a evidenciar a presença de repetições da Camada Intermédia Sur e sequências associadas (Fig. 34). Os critérios utilizados nestas correlações foram também aplicados às duas sondagens de exterior, SRE-1 e SRE89-1, localizadas a ocidente e oriente do sector explorado, para as quais, nas zonas correspondentes à zona meridional do Piso 160, as variações de composição global indicam o mesmo tipo de comportamento (Fig. 35). Na posse deste conjunto de dados e utilizando alguns elementos retirados dos painéis de correlação parciais elaborados pelo Departamento de Geologia da ENCASUR, construímos um painel de correlação geral para a Mina Rampa 3 W (Fig. 36) onde se pode observar todo o enquadramento litológico e estratigráfico para as principais camadas e, ainda, para alguns dos níveis de carvão que consideramos serem idênticos à Camada Intermédia Sur. As

sucessões estratigráficas correspondentes à repetição desta camada não foram, por razões óbvias, representada neste painel.

Após a caracterização preliminar acabada de descrever, a caracterização petrográfica pormenorizada das principais camadas da Mina Rampa 3 W resultou da análise maceral de pormenor feita em conformidade com a metodologia descrita no Capítulo 3 para os carvões do sector ocidental da bacia, utilizando-se para o efeito amostras recolhidas, quer nos trabalhos mineiros das galerias do Piso 160, quer nas sondagens de reconhecimento aí efectuadas. No caso particular da Camada Intermédia Sur, além das amostras recolhidas nas condições acima indicadas foram ainda seleccionadas para estudo todas as amostras que, na sequência das correlações efectuadas, consideramos corresponderem a repetições desta camada ou, ainda, a níveis de carvão muito semelhantes.

Os resultados obtidos na análise petrográfica, das três camadas, para o carvão tal qual (Quadro 12 e Fig. 37), evidenciam variações importantes nas percentagens dos constituintes principais e, conseqüentemente, a presença de dispersões acentuadas nos diagramas de composição global, principalmente em relação à vitrinite (+liptinite) e à matéria mineral, seja ela total (Fig. 37a) ou singenética (Fig. 37c). Com efeito, os valores encontrados para a matéria mineral são, na maior parte das amostras estudadas, muito elevados, chegando a atingir níveis idênticos aos da matéria orgânica, conduzindo, por vezes, a percentagens relativamente baixas de vitrinite. Embora, pontualmente, a matéria mineral epigenética seja superior à singenética, na grande maioria dos casos esta é nitidamente dominante sobre aquela o que, justifica, por um lado, o mesmo tipo de dispersão nos diagramas onde se considera, em alternativa, a matéria mineral total (Fig. 37a) e a singenética (Fig. 37c) e, por outro lado, distribuições idênticas dos valores médios de cada camada, nos diagramas equivalentes (Figs. 37b e 37d).

Em todas as camadas, a matéria mineral singenética é, essencialmente, constituída por carbonatos microcristalinos aos quais se associam, acessoriamente, minerais da argila e pirites framboidais (Estampa 6, Foto 1), enquanto a matéria mineral epigenética aparece representada, quase exclusivamente, por siderite que ocorre em nódulos de dimensões variadas, com texturas radiais frequentes e, no seio da qual, se encontra, muitas vezes, pirite de origem secundária (Estampa 6, Fotos 2 e 3). Quando a siderite se apresenta sob a forma de pequenos nódulos, parece resultar da recristalização tardia dos carbonatos microcristalinos da matriz mineral singenética, sendo comum este tipo de relações em

amostras pertencentes às três camadas desta mina, podendo indicar uma composição do mesmo tipo para a maioria da matéria mineral singenética destes carvões. O carácter epigenético da siderite, foi determinado com base em observações efectuadas em carvões pertencentes a unidades diferentes, onde este mineral é posterior a cristais bem desenvolvidos de calcite, claramente de origem epigenética.

As relações entre os principais grupos de constituintes orgânicos, assim como as suas distribuições pelas camadas de carvão desta mina, embora possam ser analisadas com base nos dados obtidos para o carvão tal qual (Quadro 12), são bastante mais evidentes se forem utilizados os valores recalculados para o carvão puro (Quadro 13), uma vez que, neste caso, é possível a comparação entre carvões com percentagens muito diferentes de matéria mineral, sem que esta tenha qualquer influência nas percentagens relativas dos outros constituintes. Com efeito, as variações percentuais observadas no grupo da vitrinite para o carvão tal qual, são claramente atenuadas no carvão puro, como se pode verificar, por exemplo, na Camada Muro, onde as percentagens de matéria mineral são muito elevadas.

No conjunto das três camadas, as variações de composição dos constituintes orgânicos são claramente distintas para os grupos da vitrinite e da inertinite, como se pode verificar através dos diagramas triangulares da Figura 38. No grupo da vitrinite, as diferenças de composição observadas de camada para camada são pouco nítidas, projectando-se todas as amostras numa área restrita do diagrama (Fig. 38a), o que torna difícil a sua distinção e impossível a individualização de cada camada, mesmo considerando os seus valores médios (Fig. 38b). Em todas as camadas, a telocolinite (+telinite) é dominante sobre os restantes macerais do grupo, embora a desmocolinite e, principalmente, a vitrodetrinite apresentem, por vezes, percentagens significativas, nomeadamente nas camadas Muro e Intermédia Norte, onde este maceral atinge, na maior parte das amostras, valores superiores aos de inertinite total presente.

Para o grupo da inertinite, as dispersões de composição observadas, em todas as camadas, são nitidamente evidentes embora, cada uma delas, apresente características específicas que permitem a sua individualização inequívoca (Fig. 38c). Com efeito, a Camada Intermédia Sur aparece, neste diagrama, perfeitamente destacada das restantes devido, fundamentalmente, à presença sistemática de micrinite que, em alguns casos, representa o constituinte mais importante do grupo. Nas restantes duas camadas (Intermédia Norte e Muro) onde a micrinite não tem qualquer significado (ocorre unicamente numa amostra da

Camada Intermédia Norte), a individualização faz-se com base nas percentagens relativas dos tecidos oxidados (fusinite+semifusinite+esclerotinite) e da inertodetrinite e, apesar da dispersão observada na Camada de Muro para estes constituintes, a utilização dos valores médios para cada camada não deixa qualquer dúvida quanto à distinção entre ambas (Fig. 38d). Neste diagrama é nítido o aumento da percentagem da inertodetrinite da Camada Intermédia Sur para a Camada Muro e, simultâneamente, o decréscimo da micrinite no mesmo sentido, ao mesmo tempo que as percentagens dos tecidos oxidados se mantêm idênticas nestas duas camadas crescendo, significativamente, para a Camada Intermédia Norte.

Nestes diagramas, as dispersões observadas traduzem oscilações de composição, cujas tendências laterais podem ser evidenciadas através de outros diagramas onde se compararam, ao longo de cada camada, as composições do carvão tal qual e do carvão puro (Fig. 39). Fazendo uma análise conjunta dos diferentes diagramas para as três camadas, verifica-se que a heterogeneidade de composição presente no carvão tal qual é significativamente reduzida quando se consideram os valores recalculados para o carvão puro. Este facto, embora essencialmente relacionado com o contraste das percentagens da matéria mineral em amostras contíguas da mesma camada, é também condicionado pelas percentagens relativas dos restantes constituintes, principalmente nas camadas onde a inertinite é mais abundante, o que é claramente posto em evidência, quando se comparam as composições do carvão tal qual e do carvão puro para a Camada Muro com as composições equivalentes para as camadas Intermédia Norte e Intermédia Sur. Efectivamente, na Camada Muro as percentagens de matéria mineral e de vitrinite, além de acentuadamente oscilantes, são bastante superiores às de inertinite, conduzindo a variações laterais insignificantes para as percentagens de vitrinite e de inertinite no carvão puro. As camadas Intermédia Norte e Intermédia Sur, com oscilações laterais de matéria mineral e de vitrinite bastante mais reduzidas, apresentam, em contrapartida, percentagens globalmente mais elevadas de inertinite, cujas variações vão induzir uma maior diferenciação lateral na composição do carvão puro para os principais constituintes.

Analisando, em pormenor, a variação lateral de composição relativamente aos constituintes elementares de cada grupo de macerais para o carvão puro, verifica-se que, no grupo da vitrinite, a telocolinite (+telinite) é o maceral dominante, evidenciando valores praticamente constantes ao longo de cada uma das camadas. Do mesmo modo, para o grupo da inertinite, os tecidos oxidados são, na maioria dos casos, os constituintes mais

abundantes apresentando, no entanto, variações com algum significado na Camada Muro, à semelhança do que acontece com a inertodetrinite. A micrinite que, como foi já referido, ocorre quase exclusivamente na Camada Intermédia Sur, mantém, lateralmente, valores sensivelmente constantes. Algumas destas relações foram quantificadas através de índices petrográficos (Quadro 13) cujas variações laterais, para cada camada, se apresentam nos diagramas da Figura 40. A sua análise conjunta mostra, desde logo, uma certa homogeneidade na distribuição do índice VAVB para todas as camadas, o que traduz proporções semelhantes para os constituintes do grupo da vitrinite, ao mesmo tempo que evidencia variações significativas do índice IR para a Camada Muro e, pontualmente, para a Camada Intermédia Norte, o que reflecte, principalmente no primeiro caso, oscilações importantes nas proporções relativas dos constituintes do grupo da inertinite. O índice VI, parcialmente condicionado pelas relações acima referidas, evidencia um crescimento progressivo de ocidente para oriente na Camada Muro, algumas oscilações nitidamente pontuais na camada Intermédia Norte e um valor praticamente constante na Camada Intermédia Sur.

Considerando o enquadramento, das três camadas, no contexto estratigráfico global da Mina Rampa 3 W, é possível caracterizar a evolução de composição destas camadas, de muro para tecto da sequência, com base em diagramas onde se consideram os valores médios da composição do carvão tal qual, do carvão puro e dos índices petrográficos (Fig. 41). As tendências gerais observadas, indicam um aumento da percentagem de matéria mineral singenética da camada Intermédia Sur para a Camada Muro e, simultaneamente, uma diminuição da inertinite e da vitrinite total no mesmo sentido. Se considerarmos apenas estes dois grupos de constituintes orgânicos, a variação de muro para tecto da sequência é um pouco distinta, mantendo-se a tendência decrescente da inertinite mas invertendo-se claramente a tendência de variação para o grupo da vitrinite. No primeiro caso, as maiores percentagens de tecidos oxidados e de micrinite justificam o conteúdo mais elevado de inertinite total para a Camada Intermédia Sur, enquanto que, no grupo da vitrinite, o aumento se processa tanto na telocolinite (+telinite) como na restante vitrinite embora, neste caso, ele seja devido ao aumento progressivo de vitrodetrinite da Camada Intermédia Sur para a Camada Muro (veja-se Quadro 13). Estas relações aparecem também retratadas pelas variações de alguns dos índices petrográficos, nomeadamente no que respeita ao índice VI, que aumenta progressivamente de muro para tecto da sequência, e ao índice VAVB que mantém valores constantes em todas as camadas. O índice IR, com valores médios muito

semelhantes para as camadas Intermédia Sur e Muro, apresenta um valor nitidamente superior para a Camada Intermédia Norte indicando um equilíbrio entre os tecidos oxidados e a inertodetrinite+micrinite para as camadas localizadas a muro e a tecto da sequência, ao contrário da Camada Intermédia Norte onde os tecidos oxidados são claramente dominantes sobre os restantes constituintes do grupo da inertinite.

Independentemente dos valores percentuais encontrados para os constituintes orgânicos, as relações de carácter textural observadas entre eles e com a matéria mineral associada são muito semelhantes aos descritos para as camadas da Unidade S.Rafael das minas María e Cervantes (veja-se 4.2), nomeadamente no que respeita a algumas das estruturas observadas na telocolinite e à associação preferencial da micrinite com aquele maceral. A inertodetrinite parece, também aqui, corresponder a fragmentos de fusinite e de semifusinite, à semelhança do que acontecia na Unidade S.Rafael.

Se atendermos aos resultados da Análise Factorial baseada nos dados da composição petrográfica do carvão tal qual de todas as amostras representativas das três principais camadas desta mina (Quadro 8), verificamos que os constituintes com maior contribuição para os eixos factoriais retidos, embora permitam a caracterização global de cada uma das camadas, não são, por si só, suficientes, para a sua individualização completa, sendo necessário usar parâmetros suplementares, nomeadamente as percentagens de micrinite e o índice IR, embora não tenham significado a nível da Análise Factorial. Do mesmo modo, a Análise Discriminante aplicada às mesmas camadas e utilizando, como variáveis, os constituintes com maior significado na Análise Factorial (Fig. 42), mostra resultados pouco satisfatórios, não se observando uma separação efectiva dos grupos correspondentes ao conjunto de amostras de cada camada, sendo apenas possível a sua discriminação com base nos valores calculados para os grupos centróides.

Nos diagramas de fácies (Fig. 43) é, ainda, evidente a sobreposição entre os grupos correspondentes a cada camada sendo difícil uma caracterização individual, embora se note, em todas elas, uma tendência para condições ambientais onde a gelificação tem um papel preponderante e, simultaneamente, a presença de materiais orgânicos originais, essencialmente derivados de tecidos lenhosos. Embora no diagrama da Figura 43a a caracterização individual das camadas seja praticamente impossível, esta pode ser efectuada, em parte, através do diagrama que relaciona os índices GI e S/D (Fig. 43b) apesar das dispersões observadas, nas camadas Muro e Intermédia Sur, relativamente aos dois índices. Para a

Camada Muro, o valor do índice de gelificação é, na maior parte das amostras, superior ao apresentado pelas amostras da Camada Intermédia Sur, o que indica a presença de condições globalmente mais oxidantes para esta camada. As dispersões observadas, nas duas camadas, para o índice S/D, embora se apresentem essencialmente distribuídas em zonas do diagrama onde os tecidos são claramente dominantes, parecem traduzir variações nas características dinâmicas do meio com as quais podem estar relacionadas percentagens, por vezes elevadas, de detritos orgânicos e, no caso da Camada Muro, devem ainda condicionar as percentagens de matéria mineral singenética presente. A Camada Intermédia Norte evidencia características ambientais intermédias sendo, das três camadas, a que mostra menor dispersão relativamente aos dois índices.

As sequências litológicas localizadas a tecto e a muro das três camadas em estudo (Fig. 36) mostram, na generalidade, características muito semelhantes, sendo essencialmente constituídas por arenitos com espessuras, muitas vezes, consideráveis e aos quais se associam, ou conglomerados, como acontece nas sequências a muro da Camada Intermédia Sur, ou níveis lutíticos cuja frequência aumenta para tecto da Camada Muro na zona oriental da mina. Para as três camadas, o enquadramento a tecto e a muro é fundamentalmente idêntico, correspondendo a níveis lutíticos pouco possantes cuja distribuição lateral não evidencia variações significativas, o que pode explicar a homogeneidade de composição verificada, em cada camada, relativamente aos constituintes orgânicos com maior significado percentual, mas que colide com a acentuada variação lateral observada, em algumas camadas, para as percentagens de matéria mineral singenética presente.

Conjugando todos os resultados obtidos no estudo dos carvões pertencentes às principais camadas da Mina Rampa 3 W destacam-se os aspectos mais importantes que permitem a sua caracterização:

- (i) **A matéria mineral e a vitrinite são, em percentagem, os constituintes com maior significado em todas as camadas;**
- (ii) **Também em todas as camadas, a matéria mineral singenética é, na maior parte dos casos, dominante sobre a epigenética, apresentando-se essencialmente constituída por carbonatos microcristalinos;**
- (iii) **A telocolinite (+telinite) é, nas três camadas, o maceral dominante do grupo da vitrinite;**

- (iii) A individualização ds três camadas pode ser feita com base nos valores médios das percentagens de matéria mineral e dos macerais do grupo da inertinite;
- (iv) Os tecidos oxidados são, globalmente, os constituintes dominantes no grupo da inertinite;
- (v) A micrinite ocorre sistematicamente na Camada Intermédia Sur, estando praticamente ausente nas restantes camadas, ao mesmo tempo que, em termos médios, a Camada de Muro é a mais rica em inertodetrinite e a Camada Intermédia Norte a que apresenta valores mais elevados de tecidos oxidados;
- (vi) As variações laterais de composição têm algum significado para o carvão tal qual, sendo quase imperceptíveis no carvão puro;
- (vii) De muro para tecto da sequência estratigráfica, a percentagem de matéria mineral singenética cresce, ao mesmo tempo que a percentagem de inertinite diminui significativamente;
- (viii) As três camadas apresentam fácies petrográficas muito semelhantes, associadas a ambientes muito húmidos onde a gelificação é o processo dominante e os tecidos são o material orgânico original por excelência;
- (ix) Apesar das características ambientais serem globalmente as mesmas, para todas as camadas, verifica-se um aumento de gelificação de muro para tecto da sequência;
- (x) Na Camada Muro a dispersão do índice S/D associada aos valores mais elevados dos detritos orgânicos (gelificados e oxidados) e da matéria mineral singenética, indiciam uma maior dinâmica do meio.

4. 4. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade Cervantes

A Unidade Cervantes, situada no bordo NW do sector ocidental da bacia representa, neste sector, o flanco normal da estrutura tectónica principal, sendo essencialmente constituído por uma camada muito espessa, a **Camada Cervantes** que, frequentemente, se apresenta dividida em dois ramos, localmente designados por **ramos Norte e Sul**, separados um do outro por um nível lutítico com uma continuidade lateral bastante consistente. Para tecto desta camada, desenvolve-se um conjunto de sequências de fácies fluvial, fundamentalmente caracterizadas pela alternância de níveis areníticos e lutíticos e, pontualmente, conglomeráti-

cos, às quais se associam níveis de carvão (designados por N1 a N7) de espessura variável (Fig. 44).

A Camada Cervantes tem vindo a ser explorada, à superfície, na Mina a Céu Aberto de Cervantes (Corta Cervantes) na qual se pode observar a carbonização parcial do carvão, no contacto com um filão dolerítico, de que resultou o aparecimento de uma estreita faixa de coques naturais que dificultam, nesta zona, uma exploração em profundidade. No entanto, um pouco mais para ocidente, a camada é explorada na Mina Cervantes em lavra subterrânea. Aqui o contacto com o flanco invertido da estrutura, representado pela Unidade S.Rafael, faz-se através de uma falha inversa (a Falha S.Rafael), cujo movimento induziu na Camada Cervantes dobras de arrasto por vezes de dimensões razoáveis.

A amostragem da Camada Cervantes foi feita em duas etapas diferentes. Numa primeira fase, aproveitando os trabalhos de exploração em curso na Mina Cervantes, foram recolhidos três pilares de carvão no ramo norte da Camada Cervantes, em pontos situados a cotas diferentes. Mais tarde, ainda na Mina Cervantes, a amostragem foi estendida ao ramo sul da camada e aos sete níveis de carvão situados a tecto, para cada um dos quais se recolheu apenas uma amostra (Figs. 11 e 44). Simultaneamente, foram amostrados carvões provenientes de sondagens efectuadas em zonas diferentes da área onde era suposto ocorrer esta unidade (Fig. 12), algumas das quais intersectaram os coques naturais da Camada Cervantes os quais vieram a ser utilizados no estudo dos coques naturais desta área.

A análise petrográfica destes carvões foi processada em fases diferentes, sendo as amostras seleccionadas com base no conhecimento geológico e estratigráfico em progresso. Uma vez que, na Mina Cervantes, o enquadramento estratigráfico das amostras recolhidas para a Camada Cervantes e níveis situados a tecto era perfeitamente conhecido, decidimos, numa primeira fase, utilizar estas amostras para a caracterização petrográfica da unidade, a partir da análise maceral de pormenor, efectuada de acordo com a metodologia descrita no Capítulo 3, para este sector da bacia. Posteriormente, estes resultados foram comparados com os obtidos para os carvões recolhidos em algumas das sondagens desta área, tendo sido excluídas todas as amostras correspondentes às zonas onde foi identificada a presença de coques naturais. O estudo separado destes coques veio, contudo, a revelar-se de interesse fundamental no conhecimento do grau de incarbonização dos carvões deste sector, nomeadamente no que respeita à seriação das principais fases de evolução térmica da bacia (veja-se Capítulo 6).

Os resultados da análise maceral para o carvão tal qual, carvão puro e índices petrográficos determinados na Camada Cervantes e nos sete níveis de carvão localizados a tecto (Quadro 14) permitem individualizar, à partida, dois grupos de carvões com base, unicamente, nas percentagens relativas de inertinite. Por um lado, os carvões com percentagens de inertinite muito baixas ($\leq 3,5\%$), no carvão tal qual e/ou no carvão puro, representados por todas as amostras da Camada Cervantes e pelos quatro níveis (N1 a N4) localizados imediatamente a tecto desta camada e, por outro lado, os carvões cujas percentagens de inertinite são claramente superiores às citadas e que correspondem a todos os outros níveis a tecto da Camada Cervantes, isto é, aos níveis de carvão de N5 a N7. Esta seriação é, ainda, evidenciada nos diagramas triangulares de composição global (Figs. 45a e 45b). Nos dois diagramas, as dispersões observadas para todas as amostras relativamente aos conteúdos de matéria mineral total ou singenética são, além de muito acentuadas, praticamente idênticas, indicando percentagens de matéria mineral epigenética globalmente muito baixas, com excepção do nível de carvão N7 que apresenta uma percentagem anormalmente elevada para este tipo de matéria mineral.

Em todos estes carvões a matéria mineral singenética é constituída, unicamente, por minerais da argila, ocorrendo interestratificada com a matéria orgânica em níveis, por vezes espessos, enquadrando normalmente leitões bem desenvolvidos de telocolinite e, mais raramente, de fusinite e semifusinite (Estampa 7, Foto 1). A matéria mineral epigenética é, por outro lado, fundamentalmente representada por carbonatos que, na quase totalidade dos carvões, correspondem a calcite bem cristalizada preenchendo fracturas ou lúmenes celulares ou, ainda, como cimento nas zonas milonitizadas das camadas. No caso do carvão correspondente ao nível N7, a matéria mineral epigenética é, também, constituída por siderite e, principalmente, por minerais de alteração, provavelmente óxidos (Estampa 7, Foto 2), minerais estes que aparecem sistematicamente associados aos carvões afectados termicamente e, nomeadamente, aos coques naturais que ocorrem neste sector da bacia. Na Camada Cervantes e, em particular, nas amostras afectadas térmicamente é frequente a ocorrência de pirites singenéticas (framboidais) ou epigenéticas oxidadas (Estampa 7, Fotos 3 e 4).

Apesar da dispersão observada na Camada Cervantes relativamente ao conteúdo em matéria mineral, os valores percentuais, por ela apresentados, para o grupo da vitrinite são bastante elevados, o mesmo acontecendo com os níveis de carvão de N1a a N4. Para todos estes carvões, as percentagens de vitrinite, no carvão puro, são extraordinariamente ele-

vadas, nunca atingindo valores inferiores a 95%. Os restantes níveis de carvão (N5 a N7), embora evidenciando percentagens mais baixas de vitrinite, podem ainda ser considerados como carvões muito ricos neste grupo de constituintes. As proporções relativas dos macerais do grupo da vitrinite indicam, para a quase totalidade dos carvões da Unidade Cervantes, um domínio da telocolinite (+telinite) sobre a desmocolinite+vitrodetrinite embora, pontualmente, esta associação seja percentualmente mais importante (Fig. 46a).

O grupo da inertinite, com algum significado nos níveis de carvão localizados na parte superior da sequência (N5 a N7) é quase exclusivamente representado por micrinite com excepção da amostra correspondente a um estreito nível a tecto de N5, para a qual as percentagens de inertodetrinite e semifusinite são, igualmente, importantes e onde se pode observar, pontualmente, a degradação de alguns tecidos oxidados num material inertínico muito fino idêntico à micrinite. O diagrama da Figura 46b, além de evidenciar algumas das relações acima descritas, mostra ainda que, para a Camada Cervantes, os tecidos oxidados são, em termos médios, os constituintes dominantes deste grupo.

A variação de composição petrográfica de muro para tecto desta sequência pode ainda ser analisada a partir de diagramas onde se projectam, em paralelo, as composições do carvão tal qual, do carvão puro e os índices petrográficos (Fig. 47). Os aspectos que aqui podemos observar são muito semelhantes aos que foram já descritos anteriormente para os diagramas triangulares. Com efeito, a composição petrográfica desde a Camada Cervantes até ao nível de carvão a tecto N4 é bastante homogénea mostrando, para o carvão tal qual, ligeiras variações nas percentagens da matéria mineral singenética e da vitrinite e, para o carvão puro, variações também insignificantes da telocolinite (+telinite) e da restante vitrinite, factos igualmente evidenciados pelos índices VAVB e VI. A partir do nível N4 a percentagem de inertinite aumenta bruscamente até ao tecto do nível N5 (N5t) diminuindo, de novo, para os níveis N6 e N7 embora, neste caso, as percentagens de inertinite sejam superiores às dos níveis localizados na base da sequência. É, ainda, a partir do nível N4 que se verificam as maiores variações nas relações entre os constituintes dos grupos da vitrinite e da inertinite, como se pode ver através das variações dos índices VAVB e IR e, obviamente, do índice VI que traduz a relação entre a vitrinite e a inertinite totais.

A Análise Factorial, aplicada a estas amostras, mostra resultados muito semelhantes aos encontrados para as outras unidades do sector ocidental já estudadas (Quadro 8) embora, nos carvões da Unidade Cervantes não seja necessário utilizar, para a sua caracterização,

constituintes ou índices petrográficos sem qualquer significado estatístico como é o caso da micrinite e do índice IR. A diferenciação entre os dois principais grupos de carvões desta unidade é, ainda, claramente evidenciada através da Análise Discriminante (Fig. 48) efectuada utilizando como variáveis os constituintes com maior contribuição relativamente aos principais eixos factoriais e, com base na qual, é possível destacar, inequivocamente, os níveis de carvão referenciados de N5 a N7 dos restantes carvões, isto é, da Camada Cervantes e dos níveis localizados imediatamente a tecto (N1 a N4). Nestes dois últimos casos e, embora os seus grupos centróides possam ser diferenciados em relação à segunda função discriminante, a dispersão verificada para cada grupo não permite uma discriminação efectiva entre eles.

As fácies petrográficas determinadas para todos estes carvões (Figs. 49a e 49b), são muito semelhantes e ocorrem associadas a ambientes extremamente húmidos onde a gelificação é o processo dominante por excelência. Comparando os valores excepcionalmente elevados do índice GI com as variações observadas nas proporções relativas dos tecidos e dos detritos, maioritariamente pertencentes ao grupo da vitrinite, é de admitir que, para estes carvões, a sedimentação foi fortemente influenciada por um aumento da taxa de subsidência da bacia, conduzido a um afundimento muito rápido de todo o material depositado, principalmente no que respeita à Camada Cervantes e níveis a tecto de N1 a N4. Os carvões a tecto do nível N5-N5t, embora ainda marcados por níveis de gelificação bastante altos, indicam já ambientes relacionados com pântanos de floresta, onde o material vegetal original é predominantemente constituído por tecidos. A transição entre os dois ambientes referidos é nitidamente marcada por um aumento brusco de inertinite e de matéria mineral singenética acompanhado ainda pelo acréscimo de detritos (oxidados e gelificados) e pela diminuição acentuada de telocolinite (+telinite).

Em resumo, as características petrográficas mais importantes para o conjunto destes carvões são as seguintes:

- (i) **Com excepção do nível N5t, para todos os outros carvões a vitrinite é o constituinte mais importante, sendo a telocolinite (+telinite) o maceral dominante do grupo da vitrinite;**
- (ii) **A Camada Cervantes e os níveis de carvão a tecto, de N1 a N4, praticamente não apresentam inertinite;**

- (iii) A inertinite tem algum significado nos níveis a tecto de N4, onde ocorre sempre a micrinite;
- (iv) O índice de gelificação é extremamente elevado indicando condições de sedimentação extraordinariamente húmidas para todos os carvões, com excepção do nível N5-N5t;
- (v) A deposição da Camada Cervantes e dos níveis de N1 a N4 está relacionada com um afundimento muito rápido do material original, provavelmente devido ao aumento brusco da taxa de subsidência da bacia;
- (vi) Para tecto da sequência as fácies indicam a presença de pântanos de floresta onde o material original é, essencialmente, constituído por tecidos lenhosos;
- (vii) A transição entre os dois regimes (lacustre marginal e palustre) é marcado pelos níveis N5-N5t.

Tendo em atenção os resultados obtidos na caracterização petrográfica destes carvões, nomeadamente no que respeita às percentagens relativas de inertinite para os dois "tipos" principais de carvão acima definidos empreendemos igualmente o estudo das amostras recolhidos em algumas outras sondagens desta área, e isto com base na distinção entre os principais grupos de constituintes dos quais se individualizaram, unicamente, os macerais do grupo da inertinite (Quadro 15). Apesar de ser evidente a presença, também nestas amostras, de carvões com características petrográficas muito semelhantes aos "tipos" de carvão definidos para a Unidade Cervantes, o enquadramento geológico, estrutural e estratigráfico para cada uma das sondagens estudadas não permitiu, na maioria dos casos, uma correlação directa com aquela unidade. Mesmo assim, os dados obtidos na análise petrográfica destes outros carvões foram utilizados na construção de diagramas que, por um lado, evidenciassem a variação de composição petrográfica em cada sondagem e, por outro lado, permitissem a comparação entre cada uma delas (Fig. 50). Em cada sondagem, foi, assim, possível identificar a presença de carvões com composição semelhante à da Camada Cervantes e níveis de carvão de N1 a N4 como, por exemplo, as amostras 1563/1564 (sondagem DR-13), 1471 (sondagem C-88-8), 1454/1455 (sondagem C-88-10) e todas as amostras das sondagens C-88-9 e C-88-11, bem como carvões com características idênticas à dos níveis N5 a N7 a tecto da Camada Cervantes, como é o caso de todas as restantes amostras.

4. 5. Análise e Caracterização Petrográfica das Unidades Mellizo, Pardo e María

Estas três unidades foram reconhecidas no flanco invertido da estrutura principal da bacia associados à Unidade Tectónica de María, onde constituem pequenas escamas cuja justaposição se faz através de falhas cavalgantes semelhantes à que os separa da Unidade S.Rafael. As referidas unidades não foram, até à data, objecto de estudos geológicos de pormenor conhecendo-se, apenas, a sua posição estratigráfica relativamente à Unidade S.Rafael e, ainda, alguns elementos de carácter ambiental, resultantes da análise das sequências litológicas a eles associadas.

A Unidade Mellizo é, das três unidades, a que se situa na parte mais baixa da sucessão estratigráfica, sobrepondo-se, espacialmente, à série lacustre que se desenvolve a tecto da Camada S.Rafael. É representada por uma curta sucessão com sedimentos de fácies fluvial e de planície de inundação aos quais se associam alguns níveis de carvão. A tecto desta unidade situam-se as unidades Pardo e María, caracterizadas pela presença dominante de sequências de fácies, respectivamente, lacustre e de planície de inundação. Em ambas as unidades foram encontrados lamelibránquios do género *Naiadites*, muito frequentes na Unidade Pardo e, mais raros, na Unidade María, onde ocorrem unicamente em níveis lacustres situados na parte superior da sequência.

Estudos recentes (Coquel & Wagner in prep.) apontam para uma correlação entre a Unidade Mellizo e a Unidade S.Rafael e entre a Unidade Pardo e parte da sucessão localizada a muro da Camada Cervantes, correlações estas não confirmadas petrograficamente.

A amostragem para o estudo petrográfico destas unidades, resultou da recolha de alguns níveis de carvão em três sondagens localizadas na zona oriental da Unidade Tectónica de María, nomeadamente as sondagens SM-19 e SM-35 para a Unidade Mellizo, SM-19 para a Unidade Pardo e SM-17 para a Unidade María, o que representa um número muito reduzido de amostras para proceder à caracterização pormenorizada e completa de qualquer uma delas. Apesar de tudo efectuou-se a análise petrográfica dos carvões das três unidades, mais uma vez com base nos critérios definidos para o estudo das principais camadas de carvão do sector ocidental, fundamentalmente com vista a estabelecer comparações com as unidades já caracterizados.

Os resultados obtidos (Quadro 16), evidenciam composições diferentes para cada uma das unidades sendo, também aqui, mais clara a sua individualização se atendermos aos valores relativos das percentagens de inertinite total e, dentro deste grupo, à presença ou não de micrinite. Com efeito, este maceral ocorre exclusivamente na Unidade Pardo que, por sua vez, corresponde, no conjunto das três unidades, ao unidade com percentagens mais elevadas de inertinite (12% em valor médio no carvão puro). As unidades Mellizo e María apresentam, por outro lado, valores percentuais mais baixos para este grupo de macerais, nomeadamente no primeiro caso, onde a percentagem média de inertinite é de 3%. A matéria mineral, essencialmente representada por minerais da argila singenéticos, ocorre com percentagens relativamente baixas na maior parte das amostras, embora evidencie pontualmente valores bastante elevados como, por exemplo, acontece na Unidade Mellizo. Por outro lado, a matéria mineral epigenética mostra, para todas as unidades, valores praticamente insignificantes, com excepção de uma amostra a tecto da Unidade Pardo na qual, é exclusivamente constituída por cristais bem desenvolvidos de siderite.

Alguns dos aspectos descritos aparecem claramente representados nos diagramas triangulares obtidos para o carvão tal qual (Figs. 51a a 51d) onde se pode observar, por um lado, que as dispersões de composição são independentes do tipo de matéria mineral e apenas significativas na Unidade Mellizo (Figs. 51a e 51c) e, por outro lado, que a Unidade Pardo é, das três unidades, a mais rica em inertinite. Utilizando os diagramas equivalentes para os valores médios das três unidades (Figs. 51b e 51d) o domínio da vitrinite relativamente aos outros dois constituintes é evidente em todos eles, sendo nítida a diferença entre a Unidade Pardo e as restantes unidades. O mesmo tipo de relação é destacado nos diagramas triangulares para os macerais do grupo da vitrinite (Fig. 52 a e 52b), nos quais a Unidade Pardo se destaca das Unidades Mellizo e María pela maior percentagem de desmocolinite+vitrodetrinite que apresenta. A individualização completa e inequívoca das três unidades, à semelhança do que acontece em todos os carvões deste sector da bacia, é conseguida com base nas percentagens relativas dos constituintes do grupo da inertinite (Figs. 52c e 52d), distinguindo-se a Unidade Pardo das outras duas pela presença de micrinite, e a Unidade María da Unidade Mellizo pelo elevado conteúdo de tecidos oxidados que a primeira contém.

Associando estes dados à posição estratigráfica relativa das unidades em estudo podemos representar, em diagramas de variação vertical, a evolução de composição, de muro para tecto, do carvão tal qual, do carvão puro e, ainda, dos índices petrográficos

(Fig. 53), diagramas estes que evidenciam, mais uma vez e de forma global, as diferenças já referidas para estas unidades, isto é, o aumento brusco das percentagens de tecidos oxidados da Unidade Pardo para a Unidade María e a diminuição, também brusca, dos tecidos gelificados da Unidade Mellizo para as unidades localizadas a tecto o que conduz, genericamente, a um decréscimo, no mesmo sentido, da relação entre a vitrinite e a inertinite total.

A Análise Factorial aplicada a estes carvões (Quadro 8) conduz a resultados ligeiramente distintos dos obtidos para as restantes unidades do sector ocidental, embora os constituintes com maior significado estatístico sejam, também aqui, os mesmos, isto é, a vitrinite e inertinite totais, a matéria mineral singenética e os tecidos oxidados e gelificados. A principal diferença reside na associação destes constituintes com os dois factores principais verificando-se que, para as unidades em estudo, a vitrinite total, os tecidos gelificados e a matéria mineral singenética contribuem mais eficazmente para o factor que representa uma percentagem mais elevada da variância total (52,1%), factor este que, nos restantes carvões, estava essencialmente relacionado com a inertinite total e com os tecidos oxidados. Este facto deve estar relacionado com o número restrito de amostras utilizado na Análise Factorial para estas unidades, não tendo, a nosso ver, qualquer implicação em relação aos critérios a utilizar na sua caracterização petrográfica. Com efeito, a Análise Discriminante efectuada utilizando como variáveis os constituintes estatisticamente mais importantes (Fig. 54) permitiu a separação inequívoca das três unidades, sendo a sua individualização possível com qualquer das funções discriminantes.

A distinção entre estas unidades é, ainda, evidenciada nos diagramas de fácies (Fig. 55) embora para todas elas as fácies correspondam, mais uma vez, a ambientes com condições de gelificação excelentes onde o material orgânico original, resultante essencialmente de tecidos lenhosos, mostra níveis de preservação muito elevados (Fig. 55a). Se considerarmos, em conjunto, os índices GI e S/D para as três unidades (Fig. 55b), verificamos existir uma diferenciação clara nos ambientes associados a cada uma delas. Para a Unidade Mellizo, as condições de gelificação são mais importantes do que as observadas para as Unidades Pardo e María as quais, por sua vez, mostram diferenças nítidas no conteúdo relativo de tecidos e detritos presentes, com tendência para o aumento de detritos na primeira unidade, o que pode indicar uma maior dinâmica do ambiente de sedimentação associado.

Em resumo podemos destacar, para as unidades Mellizo, Pardo e María, as seguintes características petrográficas:

- (i) A vitrinite é o constituinte que ocorre em percentagem mais elevada nas três unidades, sendo sempre representada maioritariamente por tecidos gelificados, ou seja, telocolinite (+telinite);
- (ii) A matéria mineral só pontualmente apresenta percentagens elevadas, tal como acontece nas unidades Mellizo e Pardo;
- (iii) A Unidade Pardo distingue-se das outras duas pelas percentagens mais elevadas de inertinite que contém e pela presença de micrinite;
- (iv) Os constituintes do grupo da inertinite permitem a individualização clara das três unidades;
- (v) As fácies petrográficas indicam, para todas as unidades, condições ambientais onde a gelificação é dominante, sendo o material orgânico original derivado essencialmente de tecidos lenhosos;
- (vi) A Unidade Pardo é, das três, a que apresenta, simultâneamente, menor gelificação e maior percentagem de detritos.

4. 6. Análise Conjunta das Unidades do Sector Ocidental da Bacia

4. 6. 1. A comparação entre os carvões do sector ocidental da bacia, embora baseada fundamentalmente, nas características petrográficas definidas para cada um, não pode deixar de ter em consideração o seu enquadramento geológico e estratigráfico. As semelhanças de composição observadas entre alguns dos carvões ou entre unidades com tendências petrográficas evolutivas equivalentes, só podem ser naturalmente utilizadas como critérios de correlação se, do ponto de vista estratigráfico, não existir qualquer impedimento. De facto, a identidade petrográfica entre carvões claramente localizados em locais distintos da sequência estratigráfica, só pode ser interpretada como correspondendo a repetições de fácies que traduzem condições ambientais semelhantes em diferentes fases da evolução sedimentar da bacia.

Considerando em conjunto todos os carvões estudados no sector ocidental e tendo ainda em consideração apenas as características de carácter petrográfico, verifica-se que a

diferenciação de composição mais evidente é conseguida conjugando as percentagens de inertinite total com os teores relativos apresentados pelos macerais deste grupo e, principalmente, pela presença ou não de micrinite. Por outro lado, os constituintes do grupo da vitrinite embora permitam, esporadicamente, a distinção entre alguns destes carvões indicam, na esmagadora maioria dos casos, composições bastante homogéneas que se relacionam, fundamentalmente, com o domínio quase absoluto dos tecidos gelificados (telocolinite+ telinite) sobre os restantes constituintes do grupo. As oscilações observadas nas percentagens de vitrinite total para alguns destes carvões, estão directamente relacionadas com variações das percentagens de matéria mineral, particularmente nos casos em que a inertinite ocorre em percentagens muito reduzidas. O significado atribuído à matéria mineral na caracterização dos carvões do sector ocidental tem a ver com o tipo de matéria mineral singénica presente e, principalmente, com o modo como esta se associa à matéria orgânica, o que permite uma melhor diferenciação dos ambientes de sedimentação presentes. Atendendo a todos estes aspectos é possível distinguir, no total dos carvões estudados, três "tipos" petrográficos fundamentais:

- T1 - Carvões com micrinite e que apresentam percentagens de inertinite total relativamente elevadas.**
- T2 - Carvões sem micrinite ou com percentagens muito baixas deste constituinte e com percentagens de inertinite total variáveis.**
- T3 - Carvões sem micrinite, com percentagens de inertinite total muito reduzidas e essencialmente constituídos por vitrinite e matéria mineral singénica.**

4. 6. 2. Cada um destes grupos engloba carvões pertencentes a diferentes camadas e/ou unidades, cujas dispersões de composição, por vezes acentuadas, dificultam a sua correlação com os "tipos" petrográficos definidos. Pela mesma razão a individualização destes grupos, através de diagramas de composição é, de um modo geral complicada, nomeadamente no que se refere aos carvões com características petrográficas intermédias que, na maior parte dos casos, correspondem aos carvões que apresentam maiores variações na composição. Contudo, se atendermos ao significado acima atribuído a cada grupo de constituintes, orgânicos e inorgânicos e, principalmente, se utilizarmos, simultaneamente, diagramas que traduzam as relações entre os constituintes que melhor permitiram a individualização das principais camadas e/ou unidades deste sector da bacia, a distinção entre estes "tipos" petrográficos referidos pode ser, razoavelmente, efectuada (Figs. 56 e 57). Com

efeito, nos diagramas que evidenciam as relações entre os constituintes do grupo da inertinite (Figs. 56a e 56b) é nítida a semelhança entre os carvões pertencentes às camadas Suelos, Intermédia Sur (+níveis de carvão equivalentes), à Unidade Pardo e a todos os níveis de carvão a tecto da Camada Cervantes de N5 a N7, que se distinguem de todos os outros pela presença de micrinite e, por conseguinte, se integram no grupo correspondente ao "tipo" petrográfico T1. Se analisarmos o diagrama onde se representa a composição do carvão tal qual para todas as camadas do sector ocidental (Figs 57a e 57b), a selecção dos carvões pertencentes a cada "tipo" petrográfico é bastante mais difícil, uma vez que a maior parte das camadas mostra dispersões na composição muito acentuadas, nomeadamente no que respeita às percentagens de matéria mineral singenética, facto a que nos referimos quando cada unidade foi analisada individualmente. No entanto, os carvões da Camada Cervantes, dos níveis N1 a N4 a tecto desta camada e da Unidade Mellizo mostram características que permitem considerá-los integrados no grupo correspondente ao "tipo" petrográfico T3. Os restantes carvões projectados, nomeadamente os carvões das camadas S.Rafael, Techo, Muro, Intermédia Norte e os carvões da Unidade María, todos integrados no "tipo" petrográfico T2, mostram uma dispersão de composição muito acentuada que conduz a sobreposições dos conjuntos pertencentes a cada camada e/ou unidade sendo praticamente impossível, neste diagrama, separá-los uns dos outros. Se atendermos aos valores médios da composição petrográfica, a seriação dos três "tipos" petrográficos é mais clara embora haja ainda dúvidas quanto ao "tipo" petrográfico onde devem ser integradas algumas das camadas, sendo necessário recorrer aos constituintes do grupo da inertinite para conseguir uma distinção efectiva. Assim, os carvões pertencentes às camadas Suelos e Intermédia Sur, com uma dispersão significativa quando considerados no diagrama da Figura 57a mostram, em termos médios, composições praticamente equivalentes (Fig. 57b) apresentando, no conjunto de todas as camadas, os valores mais elevados para as percentagens de inertinite total. Por outro lado, as amostras correspondentes à Unidade Pardo e aos níveis de carvão N5 a N7 a tecto da Camada Cervantes que, nos diagramas de composição do carvão tal qual, aparecem projectados nas áreas ocupadas pelos carvões das camadas Techo, Intermédia Norte, S.Rafael, Muro e da Unidade María, cujas características estão de acordo com o determinado para o "tipo" petrográfico T2, se forem consideradas no diagrama de composição para os constituintes do grupo da inertinite, passam a ser integradas no "tipo" petrográfico T1, em conjunto com as amostras representativas das camadas Suelos e Intermédia Sur.

4. 6. 3. As semelhanças de composição observadas entre algumas destas camadas, assim como as diferenças observadas na composição petrográfica de uma mesma camada, só podem ser interpretadas com base em dados de carácter geológico nomeadamente, dados relativos ao seu enquadramento estratigráfico e estrutural e, particularmente, no caso de camadas ou unidades localizadas em unidades estruturais distintas, dados que permitam ter uma ideia das condições ambientais de sedimentação associadas. Tendo em atenção estes aspectos, foi possível considerar como equivalentes, a **Camada Suelos da Unidade S.Rafael nas minas María e Cervantes e a Camada Intermédia Sur da mesma unidade na Mina Rampa 3 W**, do mesmo modo que as unidades **Mellizo e Pardo** foram equiparadas aos níveis de carvão a tecto da **Camada Cervantes, N1 a N4 e N5 a N7**, respectivamente.

A correlação entre as camadas Suelos e Intermédia Sur foi efectuada utilizando, simultâneamente, o seu enquadramento geológico e os resultados obtidos na análise petrográfica de cada uma delas. Com efeito, as relações estruturais e estratigráficas da Mina Rampa 3 W indicam a presença de uma sucessão invertida à semelhança do que acontece para a Unidade S.Rafael na Mina Cervantes que se localiza imediatamente a oriente da zona explorada da Mina Rampa 3 W. Por outro lado, a Camada Suelos, tanto na Mina Cervantes como na Mina María, e a Camada Intermédia Sur da Mina Rampa 3 W, correspondem sempre à parte inferior das respectivas sucessões estratigráficas, onde aparecem enquadradas por sedimentos de fácies fluvial constituídos, essencialmente, por intercalações de níveis conglomeráticos e areníticos, cuja frequência é maior na Mina Rampa 3 W (painéis de correlação das Figs. 25 e 36). Analisando, ainda, os resultados obtidos na análise petrográfica das duas camadas, podemos dizer que existe uma semelhança nítida entre elas, quer no que respeita às percentagens globais de inertinite e à presença sistemática de micrinite, quer ao tipo de relações observadas entre a matéria mineral singenética e a matéria orgânica, mesmo considerando que a maior parte das amostras da Camada Suelos foram recolhidas numa unidade tectónica localizada a SW das minas Cervantes e Rampa 3 W.

A correlação entre as camadas Suelos e Intermédia Sur conduziu a que fossem efectuadas análises petrográficas comparativas para as camadas localizadas a tecto, nomeadamente entre as camadas Techo e Intermédia Norte, por um lado, e entre as camadas S.Rafael e Muro, por outro. Em ambos os casos, as sequências litológicas que enquadram estas camadas são bastante diferentes na Mina Rampa 3 W e na Mina María, encontrando-se sequências areníticas com alguns níveis lutíticos na Rampa 3 W, enquanto que na Mina

María se observam litologias mais finas, normalmente lutíticas e de fácies claramente lacustre. Do ponto de vista da composição petrográfica, estas camadas apresentam dispersões em relação à maior parte dos constituintes, embora as maiores variações se encontrem nas camadas Muro e S.Rafael, localizadas a tecto de cada uma das sequências estratigráficas. Nas camadas Techo e Intermédia Norte, as dispersões são menos acentuadas e, se considerarmos os valores médios para cada camada, as suas composições não são significativamente diferentes. Ora, considerando estas camadas lateralmente equivalentes, então a Camada Muro deverá corresponder, necessariamente, à Camada S.Rafael uma vez que se sobrepõe, estratigráficamente, à Camada Intermédia Norte sem que haja qualquer acidente tectónico entre elas. Se, por outro lado, atendermos às variações laterais de composição observadas nas camadas da Unidade S.Rafael nas minas María e Cervantes (Figs. 28 e 29) e nas camadas da Mina Rampa 3 W (Figs. 39 e 40) e, ainda às variações verticais presentes em cada caso (Figs. 30 e 41) verificamos que, tanto a Camada S.Rafael como a Camada Muro, representam as camadas com maior variação lateral em cada sector apresentando, as duas unidades, tendências gerais evolutivas equivalentes.

Ao conjunto destas camadas foi aplicada uma Análise Discriminante cujas variáveis foram sucessivamente testadas, sendo obtidos os melhores resultados para os constituintes até aqui considerados neste tipo de análise. O critério de classificação dos grupos a discriminar baseou-se nas correlações acima efectuadas, embora cada camada tenha sido projectada com símbolos distintos, de modo a permitir uma melhor visualização das relações de cada uma delas com o grupo onde se integra (Fig. 58). Os resultados obtidos são muito semelhantes aos encontrados para cada uma das camadas nas análises do mesmo tipo efectuadas para as duas minas, sendo a Camada Suelos-Intermédia Sur claramente individualizada através da primeira função discriminante observando-se, ainda, uma sobreposição dos grupos representados pelas camadas Techo-Intermédia Norte e S.Rafael-Muro, cuja separação só se consegue através dos seus grupos centróides.

As dispersões de composição petrográfica observadas em todas as camadas mas, principalmente, nas camadas Techo-Intermédia Norte e S.Rafael-Muro, reflectem variações das características ambientais claramente evidenciadas pela variação dos índices petrográficos e, em particular, do índice S/D (Figs. 59a e 59b) que se traduzem nas sequências litológicas localizadas a muro de cada uma delas. Para as camadas depositadas em relação com ambientes essencialmente fluviais, como é o caso das camadas Suelos e Intermédia Sur, as dispersões de composição podem ser explicadas pela presença de zonas encharcadas associadas

a uma planície de inundação embora, em termos gerais, as condições ambientais não sejam muito distintas umas das outras. É possível que, para as camadas Techo-Intermédia Norte se tenha verificado uma situação idêntica sendo, contudo, a sua deposição processada, neste caso, em relação com ambientes palustres associados, ainda, a planícies de inundação, onde pequenas oscilações das condições de oxidação-redução podem conduzir ao aparecimento de percentagens diferentes de materiais orgânicos oxidados. Nas camadas S.Rafael-Muro, as variações laterais de composição são de tal modo importantes que parecem traduzir condições ambientais completamente distintas. Se atendermos às diferenças observadas nas sequências litológicas localizadas a muro de cada camada e, particularmente, no caso da Camada S.Rafael, ao seu significado ambiental, as oscilações petrográficas presentes nestas camadas podem ter sido induzidas por variações das taxas de subsidência associadas à instalação progressiva de um lago de grandes dimensões que só se estabeleceria, completamente, após a sedimentação destas camadas. As percentagens mais elevadas de detritos (gelificados e oxidados) e de matéria mineral singenética observadas na Camada de Muro, indicam condições ambientais mais dinâmicas do que as presentes no ambiente de sedimentação para a Camada S.Rafael, o que poderia ser explicado pela presença de um pântano de grandes dimensões, possivelmente um lago confinado, cuja instalação se processaria por impulsos que induziriam um aporte mais intenso de detritos e de matéria mineral nas zonas de bordadura, onde se teria depositado a Camada Muro correspondendo a Camada S.Rafael a uma zona um pouco mais calma.

Para além das correlações acima referidas foi, também, possível estabelecer, algumas relações de composição entre a Unidade Cervantes e níveis de carvão a tecto e as unidades Mellizo e Pardo utilizando, ainda, como critérios de correlação, a localização, de cada uma destas unidades, na sequência estratigráfica geral deste sector da bacia. A Unidade Cervantes e níveis de carvão a tecto, localizados no flanco normal da estrutura principal, correspondem à parte superior da sucessão estratigráfica definida para o sector ocidental da bacia, sobrepondo-se a uma possante sequência lutítica de fácies lacustre. No flanco invertido, a Unidade S.Rafael corresponde à parte inferior da sucessão estratigráfica, culminando com uma sequência lutítica, também de fácies lacustre à qual se seguem, para tecto, as sequências litológicas associadas às unidades Mellizo, Pardo e María. Do ponto de vista petrográfico, as unidades Cervantes e Mellizo são muito parecidas, ambas apresentando valores de inertinite quase insignificantes e percentagens muito elevadas de vitrinite (Fig 57), o que também acontece com os níveis de carvão de N1 a N4 a tecto da Camada

Cervantes podendo, todos eles, ser integrados no "tipo" petrográfico T3. Por outro lado, a semelhança entre as amostras recolhidas na Unidade Pardo e nos níveis a tecto da Camada Cervantes de N5 a N7 é perfeitamente evidente tanto no que respeita aos constituintes do grupo da inertinite como relativamente à composição global dos carvões, características estas que permitem a sua integração no "tipo" petrográfico T1. Os carvões da Unidade María não apresentam quaisquer afinidades com os carvões das unidades referidas, sendo mais parecidos com os das camadas integradas no "tipo" petrográfico T2.

A todas estas amostras foi ainda aplicada uma Análise Discriminante para a qual se adoptaram, na selecção dos grupos a discriminar, critérios baseados nas identidades de composição acima descritas sendo, também neste caso, cada camada ou unidade, representado por simbologias distintas (Fig. 60). A discriminação entre os três "tipos" de carvão é, aqui, perfeitamente evidente e, à semelhança do que acontecia na Análise Discriminante efectuada para a Unidade Cervantes e carvões associados, assim como, para as unidades Mellizo, Pardo e María, a sua individualização pode ser efectuada usando unicamente a primeira função discriminante. As dispersões evidenciadas no diagrama da Figura 60 para cada grupo considerado, são idênticas às observadas nos diagramas de composição utilizados para a caracterização de cada unidade, sendo perfeitamente clara a homogeneidade de composição relativamente ao grupo que integra os carvões da Camada Cervantes, níveis N1 a N4 a tecto e a Unidade Mellizo, assistindo-se a uma maior dispersão no grupo constituído pelos carvões da Unidade Pardo e dos níveis N5 a N7 a tecto da Camada Cervantes. A Unidade María aparece nítidamente destacada dos grupos anteriores, mostrando não ter qualquer relação com os carvões a elas associados.

O facto de existirem as semelhanças de composição acima referidas, não significa, necessariamente, que estes carvões possam ser lateralmente correlacionados, mesmo porque, as sequências litológicas intercalares, nas Unidades Mellizo e Pardo e na Unidade Cervantes e níveis de carvão associados, correspondem a fácies que indicam condições ambientais de sedimentação, por vezes, bastante distintas. Com efeito, a Unidade Mellizo, parece relacionar--se com ambientes de tipo fluvial, ao contrário da Camada Cervantes cuja deposição se processou em relação com condições extremamente redutoras (praticamente não apresenta inertinite) certamente condicionadas por um afundimento rápido da bacia, o que explica o modo como a matéria mineral singenética se associa à matéria orgânica. Os carvões da Unidade Mellizo e dos níveis de carvão N1 a N4 a tecto da Camada Cervantes, mostram características petrográficas praticamente equivalentes existindo, portanto, uma

incompatibilidade entre as fácies ambientais a eles associadas e as fácies petrográficas que apresentam. No que respeita à correlação entre a Unidade Pardo e os níveis N5 a N7 a tecto da Camada Cervantes a situação é um pouco distinta. As características petrográficas para estes últimos carvões, indicam a presença de ambientes palustres, com níveis de água muito importantes e que podem ocorrer associados a planícies de inundação, o que não contradiz os dados sedimentológicos correspondentes que apontam para fácies essencialmente de tipo fluvial. Para a Unidade Pardo as sequências litológicas intercalares indicam fácies de tipo lacustre, embora as características petrográficas apontem para condições ambientais de tipo palustre, semelhantes às que se observam para a maior parte das camadas deste sector da bacia (Figs. 59a e 59b). Todas as incongruências acima descritas resultam, certamente, do número reduzido de amostras utilizadas no estudo das unidades Mellizo e Pardo o que traduz, por sua vez, afinal, o deficiente conhecimento geológico que sobre elas existe.

5. Análise e Caracterização Petrográfica dos carvões dos Sectores Central e Oriental da Bacia

5. 1. Introdução

Os sectores central e oriental da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel ocupam a maior parte da área concedida e correspondem às zonas onde ocorrem os carvões menos evoluídos, cujos valores médios do poder reflector aleatório da vitrinite variam entre 0,55% e 0,93%. De acordo com a Classificação Internacional dos Carvões em Camada da CEE-NU, os carvões destes sectores incluem-se nos grupos dos carvões Para-Betuminosos e Meta-Sub-Betuminosos, embora estes últimos sejam raros (Veja-se Capítulo 7). Devido ao grau de incarbonização presente e, ao contrário do que acontecia no sector ocidental da bacia, o estudo petrográfico destes carvões pôde ser efectuado com maior pormenor, sendo possível a individualização dos constituintes do grupo da liptinite, assim como a determinação da composição dos mesmos carvões em microlitótipos, o que permitiu comparar diagramas de fácies com maior pormenor.

Na grande maioria dos casos, amostras estudadas são provenientes de sondagens, sendo recolhidas nas frentes de exploração unicamente amostras representativas da Camada Candelária (Mina Espiel) e duas amostras do Intervalo da Camada 6 de Belmez da Unidade Aurora (Mina Belmez), estas últimas obtidas imediatamente antes do encerramento desta mina.

De um modo geral, todos estes carvões são bastante ricos em vitrinite e matéria mineral singenética apresentando, por outro lado, alguns deles, percentagens muito elevadas de liptinite e, por vezes, também resinite e liptodetrinite em quantidade significativa. A observação de todos os carvões em fluorescência (luz azul), permitiu na maior parte das amostras a identificação de duas populações de esporos com índices de maturação diferente, e, ainda, em alguns casos, de fluorinite. Em praticamente todas as amostras e, ainda, sob o efeito da excitação em fluorescência, é frequente observar-se a libertação de hidrocarbonetos líquidos e gasosos, assim como a sua dissolução na resina de aglutinação das partículas de carvão. A inertinite é percentualmente menos importante que a liptinite e a inertodetrinite aparece, na maior parte dos casos, com percentagens iguais ou superiores à dos tecidos oxidados (fusinite+semifusinite+esclerotinite). No que respeita à composição em microlitótipos, é nítido o domínio de vitrite e da clarite relativamente a todos os restantes

microlitótipos, sendo raras as amostras onde a durite e as trimacerites ocorrem com percentagens significativas.

Para testar o significado estatístico dos constituintes aplicámos aos resultados da análise maceral, quer para a totalidade dos carvões destes sectores da bacia, quer para cada unidade individualmente, a Análise Factorial em módulo R com rotação dos eixos pelo processo VARIMAX. As variáveis utilizadas na Análise Factorial foram escolhidas com base nos dados obtidos em estudos estatísticos prévios tendo-se verificado que, para a Unidade Las Muchachas, só se conseguiam valores com algum significado usando, unicamente, os constituintes principais, ou seja, as percentagens totais de vitrinite, de inertinite e de liptinite e a matéria mineral singenética. Para as restantes unidades, assim como para a totalidade dos carvões, as variáveis consideradas são idênticas às utilizadas para a Análise Factorial dos carvões do sector ocidental da bacia (Veja-se Capítulo 4), embora aqui tivessem sido acrescentados os constituintes pertencentes ao grupo da liptinite (Quadro 17). Com excepção da Unidade Las Muchachas, os quatro factores retidos explicam sempre mais de 80% da variância total verificando-se que, na maior parte dos casos, os maiores pesos se concentram nos dois primeiros factores. Embora a rotação dos eixos factoriais pelo processo VARIMAX não altere, significativamente, as relações observadas, parece conduzir a uma melhor distribuição das variáveis, estatisticamente mais significativas, em cada um dos eixos, particularmente no caso da Unidade Cabeza de Vaca, permitindo uma selecção mais eficaz dos constituintes a utilizar na sua caracterização, pelo que optámos por considerar, em todos os casos, essa rotação. Deste modo e para a totalidade dos carvões destes sectores, as variáveis com maior significado no primeiro eixo correspondem aos constituintes do grupo da inertinite (inertinite total, fusinite+semifusinite+esclerotinite e inertodetrinite) e, ainda, à esporinite que, embora com um peso inferior, é também significativa. No segundo eixo aparecem destacadas a vitrinite total e telocolinite+telinite às quais se associa a matéria mineral singenética. Para os restantes eixos, as participações mais importantes são representadas pela desmocolinite+vitrodetrinite e pelo índice S/D no terceiro eixo e pela liptinite total e liptodetrinite no quarto eixo. Estas relações não são exactamente as mesmas, quando se consideram as diferentes unidades individualmente salientando-se, no entanto, a presença de uma associação preferencial das inertinites com o primeiro eixo, isto em todas as unidades com excepção da Unidade Las Muchachas. A participação dos constituintes do grupo da liptinite varia de unidade para unidade sendo de destacar, para a Unidade Cabeza de Vaca, a importância da liptodetrinite que se associa ao segundo eixo com um peso de 0,90,

contrastando com a esporinite, cujo significado estatístico é nitidamente inferior. Para os intervalos de carvão da Unidade Aurora a situação inverte-se, aparecendo a esporinite associada ao primeiro eixo com um peso bastante elevado, não tendo a liptodetrinite qualquer interesse estatístico. A resinite associa-se, em ambos os casos, ao quarto e terceiro eixos, revelando um peso superior na Unidade Cabeza de Vaca e não tendo qualquer expressão na totalidade dos carvões destes sectores. Se compararmos estes resultados com os obtidos na análise factorial para os carvões do sector ocidental da bacia, onde o grupo da liptinite era incluído, por razões óbvias, no grupo da vitrinite, verificamos que os macerais do grupo da inertinite se apresentam, em todos os carvões da bacia, como os constituintes com maior significado estatístico, mesmo quando ocorrem em percentagens reduzidas. O acréscimo de novas variáveis na Análise Factorial dos carvões dos sectores central e oriental da bacia, concretamente as variáveis correspondentes aos macerais do grupo da liptinite, não introduz alterações significativas nas relações antes referidas permitindo, por outro lado, uma selecção mais criteriosa dos constituintes a utilizar na caracterização de cada unidade e, nomeadamente, a escolha das variáveis mais convenientes para proceder à Análise Discriminante das camadas e/ou intervalos dentro de cada unidade.

5. 2. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade Las Muchachas

Esta unidade, com estrutura monoclinal, localiza-se a oriente da área Cervantes onde se sobrepõe à Camada Antolín/Cervantes, nitidamente dobrada. O estudo geológico desta unidade não foi, até à data, efectuado em pormenor, não se sabendo, exactamente, se este contacto corresponde a uma discordância estratigráfica ou a um contacto puramente estrutural. Do ponto de vista estratigráfico, esta unidade tem sido considerada como equivalente, por um lado, do intervalo imediatamente por baixo do Intervalo da Camada 3 de Belmez da Unidade Aurora (Fig. 6) e, por outro lado, aos níveis de carvão localizados a tecto da Camada Cervantes/Antolín o que, a ser verdade, implica uma descontinuidade unicamente estrutural entre o Unidade Las Muchachas e a Camada Antolín/Cervantes. A presença de uma discordância estratigráfica entre a Camada Antolín/Cervantes e a Unidade Las Muchachas obrigaria à interrupção da sedimentação no sector ocidental da bacia, de modo a que fosse possível a estruturação da Camada Antolín/Cervantes antes da deposição da Unidade Las Muchachas e da parte inferior da Unidade Aurora o que, por sua vez, implicaria a presença de duas bacias completamente independentes. Além disso, a Camada Las Muchachas só

acidentalmente, teria características semelhantes à apresentada pelos níveis localizados a tecto da Camada Antolín/Cervantes.

Atendendo a todos estes aspectos e, principalmente, à deficiência de informações geológicas que permitam uma integração inequívoca desta unidade no contexto tectono-estratigráfico da bacia, o estudo petrográfico dos seus carvões foi efectuado sem considerar qualquer tipo de enquadramento geológico, tendo sido conduzido, essencialmente, com vista à recolha de elementos que permitissem, eventualmente, responder às indeterminações levantadas.

As amostras estudadas foram, todas elas, recolhidas em sondagens, cobrindo lateralmente toda a extensão da unidade (Fig. 14). Os resultados obtidos na análise maceral do carvão tal qual e os valores calculados para o carvão puro e para os índices petrográficos (Quadro 18) evidenciam, de imediato, uma anomalia de composição relativamente à amostra da sondagem SA-90-4, com percentagens extremamente elevadas de inertinite total e de matéria mineral epigenética, devidas à presença de fusinite (23%) que ocorre sempre associada a calcite bem cristalizada (39%). Esta associação tem sido considerada por alguns autores como sintomática da presença de pirofusinite o que, neste caso, implicaria a existência de incêndios localizados unicamente numa parte restrita desta camada. Porém, as características morfológicas apresentadas pela fusinite da amostra referida (Estampa 8, Foto 1) são idênticas às observadas nas fusinites presentes em todos os outros carvões da bacia, não nos parecendo provável que, nesta amostra, a fusinite tenha uma origem diferente.

No que se refere a todas as outras amostras, a vitrinite e a matéria mineral singenética representam os constituintes mais importantes apresentando, na maior parte dos casos e em termos médios, percentagens não muito diferentes, sendo a vitrinite claramente dominada pela telocolinite+telinite. As variações percentuais mais acentuadas verificam-se no grupo da liptinite, nomeadamente em relação à esporinite, que representa o maceral dominante do grupo. Observadas em fluorescência, todas as amostras evidenciam uma libertação rápida de hidrocarbonetos provenientes das fracturas existentes na telocolinite (Estampa 8, Foto 2) e, mais frequentemente, a partir de liptinites de forma irregular que parecem corresponder a corpos resinosos (Estampa 8, Foto 3), bem como a dissolução rápida, na resina aglutinante, dos hidrocarbonetos libertados. No que respeita ao grupo da inertinite, as percentagens apresentadas pela maior parte das amostras são bastante baixas e, se excluirmos a amostra acima referida da sondagem SA-90-4, com teores anómalos em fusinite, a percentagem

média deste grupo de constituintes é bastante mais reduzida do que a calculada com base na totalidade das amostras (4,5% em contraste com 7,6%).

Globalmente, os carvões desta unidade mostram uma homogeneidade de composição generalizada assim como percentagens muito reduzidas de alguns dos constituintes elementares, o que deve ter conduzido aos resultados, pouco satisfatórios, obtidos na Análise Factorial para esta unidade. Com efeito, esta análise só foi possível utilizando como variáveis os quatro constituintes principais (vitrinite, inertinite, liptinite e matéria mineral singenética) e os tecidos gelificados (telinite+telocolinite) (Quadro 17) que, por sua vez, apresentam participações equivalentes em relação aos dois factores retidos tendo, por conseguinte, todos eles, o mesmo significado estatístico. Apesar de tudo, e atendendo à necessidade de efectuar comparações entre todos as unidades dos sectores central e oriental da bacia, a análise dos resultados obtidos para a Unidade Las Muchachas será processada de acordo com os critérios definidos para o estudo global dos carvões desta bacia, tendo sempre presente que as percentagens totais de vitrinite, inertinite e liptinite e as percentagens de matéria mineral singenética devem ser, neste caso, prioritariamente consideradas.

As relações entre os diferentes constituintes podem ainda ser analisadas com base nos diagramas triangulares de composição (Figs. 61 a 63). As projecções apresentadas nos diagramas de composição para o carvão tal qual são sensivelmente idênticas (Figs 61a e 61b) o que mostra o domínio claro da matéria mineral singenética relativamente à totalidade dos constituintes inorgânicos presentes no carvão. Por outro lado, as dispersões observadas nestes diagramas e, principalmente, no diagrama de composição para o carvão puro (Fig. 62a) são insignificantes se não se tomar em consideração a amostra da sondagem SA-90-4 onde se identificou a presença de percentagens anómalas de inertinite (fusinite), o que mostra homogeneidade na composição petrográfica global desta unidade. Analisando as distribuições correspondentes a cada grupo de macerais verifica-se que as maiores dispersões se situam no grupo da liptinite (Fig. 62b) onde, apesar de tudo, existe uma identidade de composição que é marcada, em todas as amostras, pela presença dominante de esporinite.

Para os constituintes do grupo da vitrinite (Fig. 63a) a dispersão observada tem pouco significado notando-se, em todas as amostras, um domínio dos tecidos sobre os detritos gelificados. A diferenciação de composição observada nas inertinites (Fig. 63b) pode ser considerada irrelevante se atendermos às baixas percentagens encontradas para este grupo de constituintes excluindo, obviamente, a amostra anteriormente referida.

Os diagramas de variação lateral (Fig. 64) mostram, claramente, a anomalia de composição registada na amostra da sondagem SA-90-4. As composições do carvão tal qual e do carvão puro são, globalmente, muito semelhantes para as restantes amostras, embora haja uma tendência generalizada para um aumento da relação vitrinite/inertinite, de ocidente para oriente da camada, o que é posto em evidência pelo índice VI. A proporção de tecidos e detritos gelificados é, ainda, bastante homogénea, ao longo de toda a camada (índice VAVB), o mesmo não acontecendo com o índice IR cujos valores oscilam, acentuadamente, de amostra para amostra o que, no caso desta unidade, não tem qualquer significado, devido às baixas percentagens de inertinite presentes.

As fácies petrográficas determinadas com base nos resultados obtidos na análise maceral e nos índices petrográficos (Figs. 65a e 65b) indicam, para a maioria das amostras, condições ambientais muito húmidas associadas a áreas limno-telmáticas onde a evolução se processa por gelificação e cuja relação com zonas de floresta é evidenciada pelo domínio dos constituintes orgânicos com origem em tecidos lenhosos. Por outro lado, as relações observadas entre os índices petrográficos S/D e GI mostram variações nas condições ambientais de sedimentação que se traduzem, de um modo geral, pelo aumento das condições limno-telmáticas do meio, de oriente para ocidente da unidade (Fig. 65b e Quadro 18). Estas variações associadas às elevadas percentagens de matéria mineral singenética (minerais da argila) observadas na maior parte das amostras, parecem indicar a transição de uma zona pantanosa de floresta para um ambiente mais aberto.

Estas características ambientais podem ainda ser confirmadas com base nos resultados obtidos para a composição em microlitótipos (Quadro 19 e Fig. 66). Com efeito, todos os carvões desta unidade apresentam percentagens quase insignificantes para a maior parte dos microlitótipos destacando-se, como constituintes principais, a vitrite, a carbominerite e a minerite o que aponta, de imediato, para ambientes por um lado favoráveis à concentração de matéria mineral e, por outro lado, com níveis de gelificação compatíveis com a concentração de vitrinite predominantemente sob a forma de telocolinite. Lateralmente, a variação da composição em microlitótipos não é muito acentuada com excepção das duas amostras extremas da unidade e, obviamente, da amostra anómala já anteriormente referida. Quanto às amostras extremas da unidade, o aumento da vitrite (+clarite) e da duroclarite (+vitriner-toliptite+liptite) indica um nível superior de gelificação e, simultaneamente, a presença de maior quantidade de detritos orgânicos que se traduz por percentagens mais elevadas de trimacerite total, o que pode estar relacionado com zonas mais encharcadas. No caso da

amostra da sondagem SA-90-4, a composição em microlitótipos não traduz, minimamente, as características petrográficas da amostra, uma vez que a anomalia em inertinite (fusinite) não é, neste caso, posta em evidência devido ao facto da fusinite ocorrer intimamente associada a carbonatos cristalinos o que obrigou a uma quantificação do conjunto como carbominerite. Este aspecto aparece claramente evidenciado no diagrama de fácies obtido através da análise de microlitótipos (Fig. 67a) onde a amostra é considerada no domínio das fácies de pântano aberto o que está nitidamente em desacordo com as características inferidas da sua composição global. O mesmo não acontece quando se utiliza o diagrama da Figura 67b no qual a amostra aparece incluída no grupo dos carvões baços o que traduz, efectivamente, a sua riqueza em inertinite.

Utilizando os mesmos diagramas para as restantes amostras da camada podemos verificar que, todas elas, se enquadram na mesma área revelando, por conseguinte, uma certa homogeneidade relativamente às fácies petrográficas que representam, nomeadamente a fácies associadas a pântanos de floresta em regime limno-telmático (Fig. 67a) e/ou a fácies representadas por carvões semi-brilhantes (Fig. 67b). Se compararmos as fácies petrográficas estabelecidas pelos microlitótipos as quais, por sua vez, são equivalentes às determinadas com base na composição maceral, com os ambientes de sedimentação definidos, também, a partir da composição em microlitótipos (Fig. 68) os resultados parecem ser bastante consistentes, já que as amostras se distribuem nas áreas correspondentes a ambientes fluviais e/ou de planície de inundação, lagunares e/ou de lago confinado e de delta superior. Neste caso concreto e atendendo ao enquadramento sedimentológico desta camada, parece-nos mais provável que os seus carvões se tenham depositado num pântano de floresta que, embora localizado numa planície de inundação, poderia pontualmente estar ligado a um pequeno lago o que conduziria a variações no nível de água e, conseqüentemente, à possibilidade de coexistência no espaço de condições oxidantes e redutoras.

Com base nos resultados obtidos no estudo petrográfico da Unidade Las Muchachas destacamos alguns aspectos que permitem, globalmente, a sua caracterização :

- (i) Com excepção de uma amostra os carvões desta unidade, **mostram percentagens bastante baixas de inertinite** e, esporadicamente, **alguma micrinite** (0,8% no máximo). São essencialmente **constituídos por vitrinite e matéria mineral singenética** (minerais da argila);

- (ii) A vitrinite é predominantemente representada por telocolinite e, de um modo geral, a vitrodetrinite é superior à desmocolinite. A esporinite é, praticamente, o único maceral com significado no grupo da liptinite, ocorrendo em percentagens muito variáveis (de 3,5% a 16%) e predominantemente associada à matéria mineral sin-genética;
- (iii) Os microlitótipos dominantes são a vitrite, a carbominerite e a minerite;
- (iv) A gelificação é mais acentuada a oriente da unidade onde se evidencia, com maior nitidez, o domínio dos tecidos sobre os detritos gelificados. A distribuição dos microlitótipos mostra percentagens mais elevadas de vitrite e trimacerite nesta zona e no extremo ocidental da unidade;
- (v) As fácies petrográficas determinadas, quer a partir da composição maceral, quer da composição em microlitótipos, indicam a presença de carvões relacionados com pântanos de floresta num regime limno-telmático que poderão estar associados a ambientes de sedimentação de planície de inundação numa zona de transição para lagos confinados.

5. 3. Análise e Caracterização Petrográfica da Unidade Cabeza de Vaca

Localizada a leste de Belmez (Fig. 15) esta unidade, em posição invertida, constitui uma lenticula tectónica situada no flanco sul da estrutura principal da bacia e inclui várias camadas de carvão passíveis de exploração. Foi correlacionada estratigraficamente com a parte inferior da Unidade Aurora, nomeadamente com as Mesossequências I e II relativamente às quais parece representar fácies mais distais (Wagner & Jurado 1988). É constituído por cerca de 180 m de sedimentos iniciados por brechas e outros conglomerados sobrepostos por sequências positivas associadas a depósitos fluviais e de planície de inundação que culminam com solos de vegetação e níveis de carvões pouco possantes. Esta sucessão termina com uma camada de carvão de interesse económico, a **Camada 1**, a tecto da qual se situa o primeiro episódio lacustre identificado nos sectores central e oriental da bacia. Para topo da sucessão, nomeadamente a tecto das **camadas 2, 3 e 3bis**, ocorrem intervalos lacustres lutíticos e siltíticos do mesmo tipo terminados, geralmente, por depósitos mais grosseiros aos quais se associam, por vezes, níveis com solos de vegetação. Entre as

camadas 4 e 5 desenvolvem-se sequências de fácies fluvial e lacustre que se repetem a tecto desta última camada.

A amostragem para o estudo petrográfico destes carvões foi obtida em algumas das sondagens efectuadas para reconhecimento geológico da unidade, cuja distribuição espacial garante uma representatividade significativa da maior parte das camadas, principalmente se tivermos em consideração as eliminações resultantes da tectonização do flanco sul da estrutura principal neste sector da bacia. Contudo, a deficiente continuidade lateral apresentada por algumas camadas não permitiu a recolha de um número suficientemente representativo de amostras, em particular a Camada 2, amostrada unicamente em duas sondagens e, a Camada 3, relativamente à qual não foi possível obter qualquer amostra. Toda a amostragem recolhida foi referenciada nas sondagens correspondentes e lançada sobre um painel de correlação parcial construído com base no painel de correlação geral elaborado pelo Departamento de Geologia da ENCASUR (Fig. 69), onde se pode observar a continuidade lateral e enquadramento litológico de cada uma das camadas.

Uma análise prévia destes carvões permitiu salientar alguns aspectos relativos à sua composição que vieram a revelar-se extremamente importantes na caracterização desta unidade e cuja quantificação é, de um modo geral e como veremos, impraticável. Assim, um dos aspectos mais característicos da Unidade Cabeza de Vaca está relacionado com a presença de resinite em quantidades que, no contexto global dos carvões desta bacia, podem ser consideradas anómalas. Este maceral está sempre presente e, em grande parte das amostras, contribui de um modo significativo para o conteúdo global de liptinite. Ocorre quase exclusivamente associado à vitrinite, preenchendo lúmenes celulares nas telinites ou impregnando telocolinites, chegando, mesmo, a aparecer sob a forma de colorresinite (Estampa 9, Fotos 1 a 3). Um outro aspecto a considerar na análise qualitativa destes carvões diz respeito ao seu comportamento quando observados em fluorescência (luz azul). Assim, as resinities acima referidas não mostram qualquer fluorescência, ao contrário dos outros constituintes do grupo da liptinite, nomeadamente a esporinite, cujas cores se situam no amarelo-dourado e castanho, evidenciando a presença de duas populações distintas que podem indicar diferentes proveniências para este maceral (Estampa 10, Fotos 1 e 2). Por outro lado, durante a exposição à luz azul, a produção e dissolução de hidrocarbonetos líquidos na resina de aglutinação é claramente visível, induzindo nesta um "fading" positivo extraordinariamente rápido e impossível de registar fotograficamente. O fenómeno é mais frequente nas zonas com maior percentagem de matéria mineral singenética onde se pode, ainda, observar com mais

nitidez a libertação de hidrocarbonetos gasosos (Estampa 10, Foto 3). Este tipo de matéria mineral, francamente dominante sobre a matéria mineral epigenética, aparece em proporções muito elevadas em algumas das camadas, ocorrendo sempre associada a macerais do grupo da liptinite e, em particular, a esporinites e a liptodetrinites. No conjunto parecem constituir matrizes organo-minerais idênticas às descritas por Robert (1985) e Alpern et al. (1992).

Os resultados obtidos na análise petrográfica do carvão tal qual e os valores recalculados para o carvão puro (Quadros 20 e 21) reflectem, quantitativamente, alguns dos aspectos acima referidos. Com efeito a presença de percentagens bastante elevadas de liptinite em algumas das amostras está, em grande parte, relacionada com os níveis de resinite presentes embora, em certos casos, a contribuição de liptodetrinite seja também importante. A matéria mineral singenética é, globalmente, dominante sobre a epigenética, sendo percentualmente muito significativa em algumas das camadas, nomeadamente nas camadas 1, 4 e 5. Nas duas primeiras camadas as oscilações de composição são muito acentuadas, apresentando a matéria mineral singenética, a inertinite e a liptinite, as maiores variações identificadas na unidade. São, todavia, estes constituintes que permitem, mais eficazmente, a individualização das diferentes camadas e, conseqüentemente, a sua caracterização. As percentagens de vitrinite total são, em média, muito semelhantes em todas as camadas e, quando recalculadas para o carvão puro, atingem valores muito elevados, para os quais contribuem, claramente, percentagens determinadas para os macerais do grupo com origem em tecidos (telinite+telocolinite).

Se atendermos aos resultados obtidos na Análise Factorial (Quadro 17) verificamos que as variáveis com maior contribuição nos dois primeiros eixos estão representadas pelo total de inertinite e de liptinite, por alguns macerais e/ou associações de macerais destes grupos e pelos índices petrográficos GI e S/D, enquanto que a vitrinite total, os tecidos gelificados, a matéria mineral singenética e a resinite aparecem associados ao terceiro e quarto eixos. Por isso, a caracterização petrográfica global da unidade e de cada uma das camadas em particular, foi efectuada com base na análise das relações mútuas entre todos os constituintes, independentemente do seu significado estatístico, sendo este considerado, apenas mais tarde, na selecção das variáveis a utilizar na Análise Discriminante das cinco camadas estudadas.

As composições do carvão tal qual e do carvão puro, assim como a distribuição dos constituintes para cada grupo de macerais, foram representadas em diagramas triangulares

(Figs 70 a 72) cuja análise permite determinar as características petrográficas globais da unidade. Para o carvão tal qual e apesar das dispersões de composição verificadas em todas as camadas é possível encontrar diferenças importantes na composição de algumas delas (Figs 70a e 70c). Assim, a Camada 5 aparece representada por carvões muito pobres em inertinite mas com percentagens de matéria mineral (total e singenética) relativamente elevadas. A Camada 3bis é, por outro lado, a camada que, globalmente, apresenta valores mais baixos de matéria mineral singenética, enquanto a Camada 4 mostra uma variação de composição muito acentuada, distribuindo-se por dois polos distintos nos diagramas considerados. Se considerarmos os valores médios para cada camada (Figs 70b e 70d) verificamos que, das camadas 1, 2 e 3bis, muito semelhantes entre si, para as camadas 4 e 5, há um aumento significativo das percentagens de matéria mineral singenética e, simultaneamente, um decréscimo moderado nas percentagens dos restantes constituintes. Os diagramas de composição para o carvão puro (Figs 71a e 71b) mostram, por outro lado, uma variação acentuada nas percentagens de vitrinite ao mesmo tempo que evidenciam, para todas as camadas, um equilíbrio entre os conteúdos de liptinite e de inertinite. As camadas 2, 3bis e 4 aparecem projectadas na mesma área, sendo praticamente impossível distingui-las, ao contrário das camadas 1 e 5 que evidenciam composições claramente distintas. A Camada 1 é, de todas as camadas, a que contém maior percentagem de inertinite sendo ainda a mais pobre em vitrinite, enquanto que a Camada 5 é representada por carvões quase sem inertinite e muito ricos em vitrinite.

Para os constituintes do grupo da liptinite (Figs 71c e 71d), as dispersões observadas estão fundamentalmente relacionadas com variações nas percentagens de resinite (considerada em conjunto com a cutinite) e de esporinite nas camadas 3bis, 4 e 5 e de esporinite e de liptodetrinite nas restantes camadas. Em termos médios, as camadas 1, 4 e 5 são as mais ricas em resinite, particularmente as duas primeiras onde este maceral chega a atingir cerca de 50% da liptinite presente, enquanto que as camadas 2 e 3bis apresentam maiores percentagens de esporinite e de liptodetrinite. O grupo da vitrinite mostra menor dispersão do que o grupo da liptinite, sendo a distinção entre as diferentes camadas ainda possível (Figs 72a e 72b). Os tecidos gelificados (telinite+telocolinite) são sempre os constituintes dominantes atingindo, em todas as camadas, mais de 75% do total de vitrinite. As camadas 1, 2 e 3bis, como já vimos muito semelhantes entre si, são as que apresentam, em média, percentagens mais baixas de telinite+telocolinite. As variações percentuais dos macerais do grupo da inertinite são muito acentuadas (Figs 72c e 72d) verificando-se que, na

maioria das amostras, a inertodetrinite e a micrinite são mais abundantes do que a associação fusinite+semifusinite+esclerotinite. As camadas 2, 3bis e 4, em média muito idênticas, correspondem às camadas com maior percentagem de micrinite, enquanto a Camada 5, sem este constituinte, mostra uma proporção relativa de inertodetrinite bastante elevada. Contudo, em termos absolutos, o conteúdo em inertodetrinite é maior nas camadas 1 e 3bis embora, nestes casos, a sua percentagem em relação à micrinite e aos tecidos oxidados seja significativamente mais reduzida.

Apesar das dispersões de composição acima referidas, verificamos existir uma certa homogeneidade na composição das camadas 2 e 3bis que, de um modo geral, se projectam em áreas sobreponíveis. Estes carvões mostram afinidades com os carvões da Camada 1, nomeadamente nos diagramas de composição do carvão tal qual e/ou dos constituintes do grupo da vitrinite e com a Camada 4 quando se considera o carvão puro. Por fim, nos diagramas em questão, a Camada 5 aparece, quase sempre, isolada das camadas anteriores embora, em alguns diagramas, mostre algumas semelhanças com a Camada 4.

A partir das composições do carvão tal qual e do carvão puro foram elaborados diagramas de variação lateral com vista a estabelecer as relações petrográficas entre amostras da mesma camada (Fig. 73), sendo a mesma metodologia utilizada para a representação de alguns dos índices petrográficos (Quadro 21 e Fig. 74). Nestes diagramas, a distribuição das amostras obedeceu aos critérios gerais por nós adoptados em diagramas equivalentes e já utilizados noutras unidades mas, neste caso concreto, a justaposição de perfis com orientação distinta, nomeadamente NW-SE e SW-NE, possibilita uma análise integrada mais pormenorizada para algumas das camadas. Com efeito, cada sondagem intersecta, na maior parte dos casos, uma ou duas camadas sendo muito difícil estabelecer a evolução, de muro a tecto da unidade, em cada área da bacia. Todavia, as camadas 1, 3bis e 4 além de apresentarem uma distribuição longitudinal significativa, aparecem bem representadas no mesmo perfil transversal definido pelas sondagens SB-15, SB-18, SB-14 e SB-20, o que permite comparar, na mesma zona, as suas composições. Assim, em termos globais e independentemente da posição relativa das amostra em cada camada, resulta evidente que as oscilações verificadas na Camada 3bis são insignificantes quando comparadas com as que se observam nas restantes camadas da unidade, quer no que respeita às composições carvão tal qual e do carvão puro, quer quanto aos índices petrográficos. Apesar disso, é possível salientar duas anomalias relativamente à tendência de composição média da camada, localizadas ao nível das sondagens SB-27 e SB-7 (amostras 1484/1485 e 1472) respectivamente a ocidente e

orientado da mesma, onde a diminuição da vitrinite total e da telinite+telocolinite é claramente evidente, do mesmo modo que se verifica um aumento nas percentagens de matéria mineral singenética. Estas variações são acompanhadas, na amostra da sondagem SB-27, por um acréscimo importante de liptinite, nomeadamente de esporinite, cuja percentagem atinge o valor mais elevado da camada (24% no carvão tal qual) e, na amostra da sondagem SB-7, por um aumento significativo de desmocolinite. Destas anomalias, apenas a segunda se traduz na distribuição lateral dos índices petrográficos VAVB e IR que, de um modo geral e à semelhança do índice VI, se apresentam quase sem variações ao longo de toda a camada.

Em todas as outras camadas (1, 2, 4 e 5) as variações laterais são muito importantes traduzindo, nitidamente, oscilações nas condições de sedimentação a elas associadas. Analisando a composição das camadas 1 e 4 ao longo do perfil transversal de SW-NE definido pelas sondagens SB15, SB-18, SB-14 e SB-20 verificamos existir, nesta zona das camadas, uma tendência para o aumento das percentagens de liptinite total que, na sondagem SB-18, apresenta os valores mais elevados determinados para o carvão puro na totalidade das amostras da unidade (31% na Camada 1 e 24,3% na Camada 4). Em ambos os casos a resinite contribui, significativamente, para o total de liptinite presente embora, na Camada 1, a esporinite e a liptodetrinite apresentem percentagens significativas. Se considerarmos, ainda, as proporções relativas de alguns dos constituintes dos grupos da vitrinite e da inertinite nos mesmos sectores das camadas em questão e, particularmente, o facto da Camada 1 conter maior quantidade de desmocolinite e de inertodetrinite do que a Camada 4, resulta evidente que, nestas áreas, as duas camadas reflectem fácies ambientais distintas, nitidamente mais límnicas no primeiro caso e com afinidades telmáticas, no segundo. A Camada 3bis apresenta, na mesma zona, uma composição com características intermédias, ao mesmo tempo que a Camada 5 evidencia fácies relacionadas com áreas francamente telmáticas de floresta húmida. As composições dos carvões localizados a ocidente e orientado desta zona, embora traduzam variações nas condições ambientais de cada camada, não indicam uma variação acentuada das fácies associadas a cada um dos regimes anteriormente descritos.

Nos diagramas de variação lateral dos índices petrográficos para as diferentes camadas da unidade (Fig. 74) estes aspectos são menos evidentes sendo, no entanto, de destacar, as importantes oscilações observadas no índice IR para as camadas 1 e 4, reflectindo diferenças fundamentais nas proporções dos tecidos oxidados (fusinite+semifusinite+esclerotinite) em relação à totalidade de inertinite presente o que, em carvões com percentagens relativamente elevadas deste constituinte, pode indicar variações nas condições dinâmicas do ambiente de

sedimentação associado. Oscilações menos acentuadas mas ainda com algum significado, são patentes no índice VAVB que traduz, por sua vez, diferenças nas proporções dos tecidos e dos detritos gelificados. Na Camada 1, as tendências observadas na distribuição lateral dos dois índices petrográficos são praticamente equivalentes, o mesmo não acontecendo para as restantes camadas onde, de um modo geral, os índices IR e VAVB não evidenciam qualquer correlação.

Apesar das variações laterais de composição apontadas, podemos, em termos globais, definir as características petrográficas de muro a tecto da unidade utilizando, para tal, os valores médios determinados em cada camada para o carvão tal qual, para o carvão puro e para os índices petrográficos (Fig. 75). A semelhança entre as camadas 2 e 3bis é aqui perfeitamente evidente sendo nítido o contraste relativamente às camadas situadas imediatamente a muro e a tecto. No que respeita ao carvão tal qual, o aspecto mais importante a salientar prende-se com o aumento brusco das percentagens de matéria mineral singénica da Camada 3bis para as camadas 4 e 5 que é acompanhado pela diminuição no conteúdo de inertinite total. Para o carvão puro a evolução de composição é ainda mais evidente notando-se, de muro para tecto da unidade, um crescimento gradual e progressivo das percentagens de telinite+telocolinite e de vitrinite total, ao mesmo tempo que os tecidos oxidados (fusinite+semifusinite+esclerotinite) e a liptinite total, em particular a esporinite e a liptodetrinite, tendem a diminuir no mesmo sentido. As variações nas percentagens de resinite e de inertodetrinite são mais irregulares, embora ambas apresentem valores máximos na Camada 1. Os índices petrográficos VAVB e VI não evidenciam diferenças importantes entre as camadas 1, 2 e 3bis mas traduzem, de forma clara, o aumento, para tecto da unidade, dos tecidos gelificados e da vitrinite total. O índice IR mostra uma distribuição marcada por oscilações quase imperceptíveis com valores que, na maior parte dos casos, indicam o domínio da inertodetrinite+micrinite sobre os restantes macerais do grupo da inertinite.

As características petrográficas que têm vindo a ser descritas para esta unidade revelam semelhanças profundas na composição de algumas camadas o que dificulta a separação clara e inequívoca de cada uma delas. Para obviar este problema foi efectuada uma Análise Discriminante na qual se utilizaram como variáveis os constituintes que, na Análise Factorial previamente efectuada, representavam as variáveis com maior significado estatístico. Os resultados obtidos para as duas primeiras funções discriminantes permitem uma individualização mais eficaz, embora se observe, também neste caso, uma sobreposição parcial de áreas correspondentes a camadas diferentes (Fig. 76). Neste diagrama, a projecção dos

grupos centróides não deixa, no entanto, qualquer dúvida quanto à possibilidade de discriminação, sendo clara a separação das camadas 1, 2+3bis e 4+5 com base na primeira função (F1) do mesmo modo que a segunda (F2) permite individualizar a Camada 2 da 3bis e a 4 da 5. Se relacionarmos a posição destes grupos centroides com a composição média de cada camada e com os valores calculados para os coeficientes das diferentes variáveis verificamos que a discriminação pela função F1 é fundamentalmente conseguida com base nas variáveis cujos coeficientes apresentam os valores máximos e mínimos, enquanto que na função F2 este tipo de correlação não é claramente evidente. Com efeito, no caso da função F1, os valores decrescem da Camada 1 para as camadas 2 e 3bis e destas para a 4 e 5 o que traduz o aumento do índice S/D, com um coeficiente mínimo de valor negativo, e, simultaneamente, a diminuição das percentagens de liptodetrinite e/ou inertodetrinite com coeficientes máximos positivos. As dispersões devidas à variação dos valores de F1 correspondem, por outro lado, às oscilações máximas do índice S/D quando associadas a valores negativos da função (Camada 4) ao mesmo tempo que reflectem variações mais importantes das percentagens de liptodetrinite e de inertodetrinite, nos sectores com valores positivos (Camada 1). Os valores encontrados para a função F2 não mostram uma relação directa entre os coeficientes com maior peso (positivo ou negativo) e as percentagens dos constituintes correspondentes, o que pode ser exemplificado pela dispersão observada na Camada 5. Neste caso, o valor máximo de F2 aparece na amostra com menor percentagem de fusinite+semifusinite+esclerotinite e maior valor de S/D (sondagem SB-20), correspondendo o valor mínimo à amostra com maior percentagem de tecidos oxidados (sondagem SB-23). As acentuadas diferenças nos valores de F2 são devidas, quase exclusivamente, a variações do índice GI cujo coeficiente apresenta um valor bastante baixo.

Os aspectos acima referidos traduzem diferenciações importantes nas fácies petrográficas de algumas camadas cuja transição, de muro a tecto da unidade, pode ser discutida com base nos diagramas da Figura 77. O aumento progressivo dos tecidos gelificados da Camada 1 para as camadas 4 e 5 reflecte a proximidade de áreas com florestas onde os níveis de oxidação são extremamente baixos. Esta evolução faz-se gradualmente, o que explica a sobreposição parcial de áreas que delimitam camadas localizadas estratigraficamente em posição sucessiva (Fig. 77a). As variações de fácies em algumas das camadas só são evidenciadas quando se projectam, simultaneamente, os índices GI e S/D (Fig. 77b) observando-se, neste caso e para a maioria das camadas, dispersões mais acentuadas em relação ao segundo índice as quais, nas camadas 4 e 5, se apresentam extraordinariamente

elevadas. Analisando a evolução das fácies petrográficas com base neste diagrama, fica claro que a Camada 1 é, de todas as camadas da unidade, a que mostra valores mais baixos para o índice de gelificação, distribuindo-se, por outro lado, em zonas que indiciam regimes de tipo diferente, desde límnicos e limno-telmáticos a telmáticos francos o que, por sua vez, se relaciona com as variações do índice S/D, aqui essencialmente condicionado por diferenças nas percentagens dos detritos orgânicos. A transição para as camadas 2 e 3bis faz-se em regime limno-telmático a telmático com condições de gelificação muito semelhantes às definidas para a camada anterior e que se mantêm praticamente invariáveis nesta última camada. Para tecto, a variação de fácies é nitidamente mais acentuada, evoluindo para regimes cada vez mais telmáticos com condições de gelificação e de preservação crescentes o que parece indicar a presença de zonas muito protegidas com florestas.

A análise ambiental pode, ainda, ser efectuada com base na composição em microlitótipos que, por sua vez, permite uma caracterização petrográfica mais clara das cinco camadas da unidade. Os resultados obtidos (Quadro 22) revelam, por um lado, diferenças importantes na composição de camadas até aqui consideradas com características globais semelhantes mostrando, por outro lado, tendências laterais de variação mais importantes do que as identificadas com base na composição maceral. As relações percentuais dos diferentes microlitótipos e/ou suas associações podem ser discutidas utilizando, simultaneamente, as percentagens determinadas para cada microlitótipo e os diagramas da Figura 78, onde se representa a variação lateral de composição para cada camada, assim como a evolução de composição média de muro a tecto da unidade. Da sua análise retira-se, de imediato, a importância da vitrite+clarite na composição global de todas as camadas e, particularmente da vitrite que traduz claramente as elevadas percentagens de vitrinite encontradas na análise maceral. A carbominerite e a minerite aparecem, por outro lado, bem representadas em algumas camadas, nomeadamente nas camadas 1, 4 e 5 que, por sua vez, correspondem às camadas com maiores teores em matéria mineral singenética e epigenética. Os restantes microlitótipos, individualmente sem grande significado percentual, quando associados em grupos que reflectem condições ambientais semelhantes permitem estabelecer as características petrográficas globais de cada camada e, conseqüentemente, proceder à sua diferenciação. Os contrastes nas percentagens apresentadas, de muro a tecto da unidade e ao longo de cada camada, pela inertite, pela vitrinertite e pela durite+clarodurite, microlitótipos considerados como diagnósticos para a análise das condições de oxidação-redução do meio, assim como, os idênticos contrastes evidenciados pela associação duroclarite+vitrinertoliptite+liptite que,

por sua vez, agrupa microlitótipos que reflectem fácies relacionadas com uma maior proporção de vegetação herbácea, são, por si só, suficientes para distinguir a maior parte das camadas. Contudo, em alguns casos, a relação entre este conjunto de microlitótipos (duroclarite+vitrinertoliptite+liptite, durite+clarite e vitrinertite) e a clarite ou a vitrite, condicionam a análise global das condições ambientais específicas de cada camada.

Assim, a associação constituída pela durite+clarodurite é nitidamente mais abundantes na Camada 1, mostrando uma distribuição lateral e um valor percentual muito semelhantes aos evidenciados pelo conjunto de microlitótipos representado pela duroclarite+vitrinertoliptite+liptite. A tendência de variação destas associações de microlitótipos coincide com a observada para a clarite sendo, por outro lado, discordante da distribuição apresentada pela vitrite, o que parece reflectir diferenças nas condições de evolução do material orgânico original. Com efeito, na Camada 1, as percentagens de trimacerite, de clarite e de durite apresentam valores mais elevados nas amostras com menor quantidade de vitrite, o que traduz condições de sedimentação favoráveis à acumulação de detritos, gelificados ou não, que geralmente se verificam em zonas pouco protegidas. Se a este facto associarmos a presença, na maior parte das amostras, de trimacerite com percentagens superiores às de clarite e, pontualmente, percentagens de trimacerite+durite superiores às de vitrite, fica claro que, em termos globais, as condições de sedimentação para estes carvões, foram fundamentalmente influenciadas por oscilações do nível da água o que parece indicar a proximidade de zonas abertas.

Nas restantes camadas, o decréscimo nas percentagens de durite+clarodurite é acompanhado por um aumento percentual na clarite e, em alguns casos, na vitrite e na trimacerite, relações estas que não são sempre as mesmas em todas as camadas. A Camada 2, representada unicamente por duas amostras e, por conseguinte, sem grande peso na caracterização global da unidade, apresenta, no entanto, valores bastante elevados de vitrinertite, principalmente quando comparados com os de clarite e de trimacerite, valores estes que representam as maiores percentagens encontradas na unidade. Dos restantes microlitótipos, só a vitrite tem algum significado, contrastando claramente com as percentagens de durite e de inertite. Na Camada 3bis, as percentagens de duroclarite+vitrinertoliptite+liptite são nitidamente mais elevadas do que as de durite+clarodurite, mesmo no sector ocidental da camada onde a percentagem destes microlitótipos tem tendência a aumentar. Apesar da relação percentual entre estes constituintes ser suficiente para distinguir a Camada 3bis das anteriormente descritas, as percentagens bastante elevadas de clarite permitem a sua individualização

inequívoca no contexto global da unidade. As tendências de variação lateral da vitrite, da clarite e da trimacerite são bastante regulares em toda a camada, com excepção da amostra correspondente à sondagem SB-6, localizada no sector oriental, onde a percentagem de clarite baixa bruscamente verificando-se, simultaneamente, um aumento percentual de durite, clarodurite e vitrinertite. As elevadas percentagens de clarite+vitrite e o domínio claro da trimacerite sobre a durite, indicam condições de sedimentação em ambientes muito protegidos com uma lâmina de água razoável e sem variações significativas. A Camada 4 mostra, em contrapartida, contrastes muito acentuados nas percentagens dos principais microlitótipos evidenciando, na zona ocidental, valores relativamente elevados para a associação duroclarite+vitrinertoliptite+liptite que, para leste, diminui acentuadamente. A vitrinertite e a clarodurite, ainda com algum significado na zona ocidental da camada, passam a apresentar percentagens extremamente baixas nas restantes amostras. As distribuições laterais de vitrite e de clarite mostram, do mesmo modo, oscilações muito importantes, ocorrendo em maior quantidade na zona oriental e extremo ocidental da Camada 4. As variações de composição descritas para esta camada e, principalmente, os contrastes de composição observados nas duas zonas referidas, apontam para a existência de ambientes com características diferentes, parecendo indicar a transição entre um ambiente palustre de floresta com muita água, onde a vitrite e a clarite são significativamente mais abundantes do que todos os outros constituintes, e um ambiente menos protegido e influenciado por oscilações do nível da água, favorável ao aparecimento de quantidades mais elevadas de materiais detríticos aqui representados pelas trimacerites e vitrinertite. A Camada 5 é, quase exclusivamente, constituída por vitrite, clarite, carbominerite e minerite o que permite, globalmente, a sua distinção relativamente a todas as outras camadas. A sua composição global traduz condições de gelificação e preservação óptimas, relacionadas com zonas de deposição extremamente húmidas mas propícias à sedimentação de quantidades elevadas de matéria mineral sob a forma de minerais da argila associada a detritos orgânicos essencialmente representados por vitrodetrinite, o que, por sua vez, indica uma certa dinâmica do meio. Podemos considerar, neste caso, um ambiente palustre de floresta localizado em relação directa com uma planície de inundação.

Alguns dos aspectos descritos aparecem representados nos diagramas de fácies construídos com base na composição em microlitótipos (Fig. 79), embora as diferenciações descritas para cada camada não sejam aqui tão evidentes. Todos os carvões aparecem projectados nas áreas que representam fácies de pântano de floresta, na maior parte dos

casos relacionados com regimes telmáticos e, mais raramente, com regimes limno-telmáticos (Figs 79a e 79b), à semelhança do que acontecia nos diagramas equivalentes baseados nas relações entre macerais. Na Camada 1 e parte das camadas 2, 3bis e 4, os carvões mostram uma tendência para fácies onde a vegetação herbácea predomina sobre a arbórea, aparecendo algumas amostras projectadas sobre a linha que separa os domínios reservados aos dois tipos de fácies. Esta diferenciação é, ainda, evidenciada no diagrama da Figura 79c, onde as camadas se distribuem em zonas correspondentes a carvões de tipo diferente. Com efeito, as camadas 5 e 1 que, em termos globais, representam fácies com características distintas, no primeiro caso claramente relacionadas com pântanos de floresta associados a regimes fundamentalmente telmáticos e, no segundo caso, com tendência marcada para pântanos dominados por vegetação herbácea, aparecem integralmente projectadas nas áreas atribuídas, respectivamente, aos carvões brilhantes e semibrilhantes, enquanto que as camadas com características mistas ou intermédias se distribuem pelos dois domínios.

Estas variações nas fácies petrográficas traduzem, como já foi referido, diferenças nas características dos ambientes de sedimentação associados que podem ser analisadas com base no diagrama ambiental da Figura 80. A maior parte das amostras localiza-se na zona de transição entre ambientes fluviais e/ou de planície de inundação e ambientes lagunares e/ou de lago confinado embora, algumas camadas, mostrem afinidades claras com cada um deles. Assim, a Camada 5 aparece nitidamente associada aos ambientes fluviais e de planície de inundação, bem como alguns carvões da Camada 4, nomeadamente os que apresentam maior percentagem de minerite e carbominerite (amostras das sondagens SB-11 e SB-28). Por outro lado, as amostras com maior percentagem de trimacerite, nomeadamente as amostras da Camada 1 (sondagens SB-14, SB-15, SB-18, SB-24 e SB-26), da Camada 2 (sondagem SB-6), da Camada 3bis (sondagens SB-6, SB-7, SB-17, SB-20, SB-26 e SB-27) e da Camada 4 (sondagens SB-14, SB-18 e SB-20), projectam-se na área correspondente ao ambiente de lago confinado, situando-se todas as restantes amostras nas zonas de transição entre os dois ambientes.

Conjugando todos os dados de carácter petrográfico discutidos para a Unidade Cabeza de Vaca, salientamos, em síntese, os aspectos mais importantes relacionados com a sua caracterização petrográfica e ambiental:

- (i) **Todos os carvões são ricos em vitrinite que ocorre predominantemente sob a forma de telocolinite (+telinite) frequentemente impregnada por resinas o que indica um material original fundamentalmente de tipo lenhoso;**
- (ii) **A liptinite é, de um modo geral, mais frequente do que a inertinite, aparecendo essencialmente representada por esporos e resinas sem qualquer indício de oxidação;**
- (iii) **O grupo da inertinite é, por vezes, abundante (Camada 1) sendo caracterizado, na maior parte dos casos, por um domínio da inertodetrinite e da micrinite sobre os tecidos oxidados, fusinite+semifusinite+esclerotinite;**
- (iv) **A matéria mineral singenética é sempre mais abundante do que a epigenética, sendo ainda claramente mais abundante nas camadas a tecto da unidade (camadas 4 e 5);**
- (v) **Com base na análise maceral, a distinção entre as cinco camadas estudadas não é inequívoca, existindo, no entanto, semelhanças de composição importantes entre as camadas 2 e 3bis, por um lado, e entre as camadas 4 e 5, por outro;**
- (vi) **A Análise Discriminante efectuada com base na selecção de alguns macerais e/ou associações de macerais permite, com mais nitidez, a individualização das camadas;**
- (vii) **As fácies petrográficas, deduzidas da variação dos índices petrográficos GI e S/D mostram tendência para uma evolução, de muro a tecto da unidade, de fácies em regimes limno-telmáticos (Camada 1) para outras em regimes francamente telmáticos de pântano de floresta (camadas 4 e 5);**
- (viii) **A composição em microlitótipos é dominada, em todas as camadas, pela associação vitrite+clarite, embora as percentagens relativas de durite+clarodurite, de vitrite e de trimacerites tenham, em geral, um significado ambiental importante que permite caracterizar algumas das camadas;**
- (ix) **As maiores percentagens de durite+clarodurite aparecem a muro da unidade (Camada 1), decrescendo acentuadamente para a Camada 2 e deixando praticamente de ter qualquer significado para tecto (camadas 4 e 5);**
- (x) **A vitrinertite ocorre com mais frequência na Camada 2, embora apresente percentagens com algum significado na Camada 1;**

- (xi) **A associação duroclarite+vitrinertoliptite+liptite, mostra oscilações importantes na Camada 1, onde varia no mesmo sentido que a durite+clarodurite e a clarite, passando a ser mais significativa na Camada 3bis, com variações laterais mínimas, e na zona ocidental da Camada 4 onde é bastante abundante;**
- (xii) **A clarite é nitidamente mais abundante na Camada 3bis apresentando variações laterais que, de um modo geral, são pouco significativas;**
- (xiv) **A vitrite, embora seja o microlitótipo mais abundante em todas as camadas é, juntamente com a carbominerite e a minerite, fundamental para a caracterização da Camada 5;**
- (xv) **A análise ambiental, baseada na composição em microlitótipos, aponta para uma evolução desde zonas periféricas palustres (Camada 1), passando progressivamente para zonas confinadas, provavelmente lacustres (Camada 3bis) e, finalmente, para zonas palustres, primeiro em relação directa com ambientes ainda confinados (Camada 4) e, depois, para pântanos de floresta telmáticos associados a ambientes fluviais (Camada 5).**

5. 4. Análise e Caracterização Petrográfica dos Intervalos de carvão da Unidade Aurora.

Localizada no sector nordeste da bacia entre o Poço Antolín (oriente de Pueblonuevo) e Espiel, a Unidade Aurora constitui uma espessa série sedimentar representada, da base para o topo, por depósitos de leque aluvial sobrepostos por sedimentos fluviais e de planície de inundação organizados em sequências positivas que, por sua vez, foram agrupadas em três mesossequências principais caracterizadas, em termos globais, por apresentarem maior percentagem de sedimentos grosseiros (conglomerados e arenitos) nos sectores inferiores e, nos superiores, um domínio de siltitos e de lutitos aos quais se associam as camadas ou intervalos de carvão. Apesar de existir, de noroeste para sudeste, uma variação acentuada nas proporções relativas de sedimentos finos e grosseiros, a continuidade lateral apresentada por alguns níveis permitiu efectuar correlações entre as áreas de Belmez e de Espiel que procurámos representar sobre a forma de um painel no qual reunimos as colunas estratigráficas estabelecidas por R. Wagner para cada área (Fig. 81). Na área de Belmez, a parte inferior da sucessão aparece representada por uma mesossequência no topo da qual ocorrem níveis lenticulares de carvão interestratificados com sedimentos finos siltíticos e

lutíticos que, no conjunto, constituem o **Intervalo da Camada 3 de Belmez**. Para tecto, desenvolve-se uma nova mesossequência onde se encontram intercalados os carvões do **Intervalo da Camada 6 de Belmez** e que se inicia por conglomerados fluviais provavelmente equivalentes, na área de Espiel, aos conglomerados situados na base da sub-unidade Candelaria. Nesta área a mesossequência inferior termina com o Intervalo Rosa Maria ao qual se sobrepõe toda a sucessão correspondente à sub-unidade referida que, por sua vez, integra duas camadas de carvão de interesse económico, as camadas Norte e **Candelaria**. Para tecto desta camada, por cima de uma sucessão lutítica espessa, ocorrem, de novo, conglomerados fluviais que marcam a base de uma nova mesossequência onde se situam os níveis de carvão pertencentes ao **Intervalo Sucia**.

Estes carvões foram amostrados em diferentes etapas da campanha de prospecção da bacia e numa fase em que a estratigrafia global da Unidade Aurora, assim como o seu enquadramento regional, só parcialmente eram conhecidos o que conduziu a uma recolha incompleta e pouco representativa de alguns intervalos. A amostragem, essencialmente efectuada a partir de sondagens nos intervalos da Camada 3 de Belmez e Sucia, foi conseguida, para a Camada Candelaria, nas frentes de exploração da Mina de Espiel e, para o Intervalo da Camada 6 de Belmez, em parte no Poço Belmez. Na Camadas Norte e Intervalo Rosa Maria não se procedeu a qualquer amostragem.

As características apresentadas por alguns destes intervalos e/ou camadas, nomeadamente, o facto de se apresentarem constituídos por níveis alternantes de carvão e de lutito, a par da deficiente amostragem obtida em quase todos eles, não permitiu uma correlação directa, no mesmo intervalo, para as amostras recolhidas nas diferentes sondagens o que, por sua vez, condicionou o tipo de diagramas a utilizar. Com efeito, os diagramas de variação lateral de composição e dos índices petrográficos só têm significado quando usados para uma mesma camada, não nos parecendo, por conseguinte, que devessem ser aplicados nos intervalos das camadas 3 e 6 de Belmez e no Intervalo Sucia.

A análise qualitativa prévia dos carvões em questão salientou a presença de quantidades muito elevadas de matéria mineral singenética, fundamentalmente representada por minerais da argila que, em associação com matéria orgânica muito fragmentada, constituem verdadeiras matrizes organo-minerais no seio das quais, muito raramente e com o auxílio da fluorescência, se observam finas lâminas liptiníticas que parecem representar lamalginite. Estes aspectos são mais frequentes nos carvões do Intervalo da Camada 3 de Belmez onde,

por vezes, a quantidade de liptinite é muito elevada (25,2% no carvão tal qual e 30,4% no carvão puro). Em todos os carvões estudados, este grupo de macerais é quase exclusivamente representado por esporinite, frequentemente distribuída em dois grupos com cor de fluorescência distinta (amarela e castanha) sendo esta diferenciação por vezes observada no mesmo esporo, parecendo indicar a presença de alguma oxidação (Estampa 11, Fotos 1 a 3). Em algumas amostras do Intervalo da Camada 6 de Belmez de Belmez a liptodetrinite está presente em quantidades significativas parecendo, na maior parte dos casos, corresponder a detritos originados a partir da esporinite e, mais raramente, a fragmentos de forma irregular e de origem duvidosa, provavelmente representando restos de corpos resinosos. Na Camada Candelaria e no Intervalo Sucia, observaram-se corpos com estrutura semelhante, de maiores dimensões, ocorrendo isolados ou associados à vitrinite (telocolinite) que, quando observados em fluorescência, evidenciam a libertação de hidrocarbonetos que se difundem no óleo de imersão ou se dissolvem na resina de aglutinação (Estampa 12, Fotos 1 a 3) produzindo, nesta, um "fading" negativo extremamente rápido. Em fluorescência, é ainda possível observar, na maior parte das amostras, a presença de fluorinite (Estampa 12, Foto 4) que, conjugada com os outros aspectos referidos constitui, nestes carvões, uma das características distintivas mais importantes. Outro aspecto igualmente importante para a caracterização diz respeito à quantidade de detritos orgânicos presentes, em particular de vitrodetrinite e de inertodetrinite, essencialmente associadas à matéria mineral singenética sob a forma de carbominerite nos carvões dos intervalos das camadas 3 e 6 de Belmez e do Intervalo Sucia e, aos restantes constituintes orgânicos, em trimacerites, na Camada Candelaria.

Os resultados obtidos na análise maceral para o carvão tal qual e para o carvão puro (Quadros 23 e 24) reflectem, em grande parte, as observações supracitadas. Com efeito, as percentagens de matéria mineral singenética são, de um modo geral, muito elevadas, chegando a atingir valores superiores ou equivalentes aos determinados para o grupo da vitrinite, nomeadamente em algumas amostras do Intervalo da Camada 6 de Belmez, do Intervalo Sucia e da Camada Candelaria, conduzindo a variações de composição significativas que, no Intervalo Sucia e na Camada Candelaria, são claramente atenuadas quando se considera o carvão puro. O Intervalo da Camada 3 de Belmez, representado unicamente por duas amostras da mesma sondagem, mostra diferenças muito importantes de composição, quaisquer que sejam os resultados analisados. As percentagens dos grupos da vitrinite e da inertinite e, principalmente, os valores anómalos apresentados pela amostra nº 2232, apenas

permitem uma análise pontual e muito limitada, não sendo possível inferir, nestas condições, características petrográficas globais para o intervalo.

Excluindo a matéria mineral, todos os carvões são muito ricos em vitrinite, predominantemente representada por telocolinite (+telinite) mas, evidenciando já, um conteúdo importante de desmocolinite e, principalmente, de vitrodetrinite. Este maceral ocorre em percentagens significativas na Intervalo da Camada 6 de Belmez as quais, de um modo geral, se sobrepõem às de desmocolinite. A liptinite, com valores percentuais bastante elevados e frequentemente superiores aos de inertinite é, na maior parte dos casos, constituída quase exclusivamente por esporinite, embora algumas amostras do Intervalo da Camada 6 de Belmez mostrem percentagens razoáveis de liptodetrinite. No grupo da inertinite, os tecidos oxidados são globalmente dominantes sobre a inertodetrinite, apesar deste maceral ocorrer em percentagens importantes na Camadas Candelaria e no Intervalo Sucia.

A Análise Factorial aplicada ao conjunto destes carvões (Quadro 17) não introduz qualquer alteração na selecção dos constituintes a utilizar preferencialmente na caracterização global dos intervalos e/ou camadas. Com efeito, a inertinite e a vitrinite são os constituintes que mais contribuem para os dois eixos factoriais principais aparecendo a inertinite estreitamente associada à fusinite+semifusinite+esclerotinite, à inertodetrinite, à esporinite e à liptinite total, no primeiro eixo e, à vitrinite, à telenite+telocolinite e à matéria mineral sin-genética, no segundo. O peso destes constituintes varia ligeiramente quando se processa a rotação VARIMAX dos eixos factoriais, mas o significado global, para cada eixo, não se altera. Este tipo de análise reflecte, ainda, a importância dos tecidos gelificados e da esporinite no total da vitrinite e da liptinite presentes, do mesmo modo que evidencia um comportamento estatístico semelhante para os tecidos oxidados e para a inertodetrinite relativamente ao grupo da inertinite.

Os diagramas triangulares de composição, além de naturalmente traduzirem alguns dos aspectos até aqui referidos, possibilitam a comparação mútua dos diferentes intervalos e/ou camadas analisados. Para o carvão tal qual (Fig. 82), a dispersão de composição aparece essencialmente relacionada com variações nas percentagens de matéria mineral total ou sin-genética e de vitrinite+liptinite, sendo máxima no Intervalo da Camada 6 de Belmez e mínima na Camada Candelaria (Figs 82a e 82c). A diferenciação entre intervalos e/ou camadas pode ser efectuada com base nestes diagramas, apesar da sobreposição parcial verificada nas áreas de influência definidas para cada um deles. Os valores médios per-

mitem, sem qualquer dúvida, separar cada grupo de carvões e, em particular, a Camada Candelaria cujo conteúdo em matéria mineral é claramente o mais baixo (Figs 82b e 82d). No carvão puro (Figs 83a e 83b) as dispersões diminuem consideravelmente, ao mesmo tempo que cresce a homogeneidade de composição entre os carvões de alguns intervalos e/ou camadas, nomeadamente entre os carvões da Camada Candelaria e do Intervalo Sucia cuja individualização só é possível com base nos valores médios. Mesmo assim, é possível observar dispersões em relação à composição do carvão puro para todos os carvões dos sectores central e oriental da bacia, particularmente, nos carvões do Intervalo da Camada 6 de Belmez, para os quais as oscilações das percentagens de vitrinite e de liptinite condicionam, claramente, a geometria da distribuição. Nos restantes intervalos e/ou camadas as dispersões, embora menos acentuadas, estão relacionadas com variações das percentagens dos três constituintes apesar de, na Camada Candelária, existir um equilíbrio entre as percentagens de liptinite e de inertinite. Em termos médios, o Intervalo da Camada 6 de Belmez apresenta os valores mais baixos de liptinite e de inertinite e, simultaneamente, o mais elevado de vitrinite ao contrário do Intervalo da Camada 3 de Belmez, onde as percentagens relativas destes constituintes se invertem. Nos restantes intervalos e/ou camadas, a liptinite é ligeiramente superior à inertinite, aparecendo ambas com percentagens mais elevadas no Intervalo Sucia que, por sua vez, é mais pobre em vitrinite.

A análise das relações entre os macerais de cada grupo não permite, de um modo geral, proceder à individualização clara de todos os carvões. Para o grupo da liptinite (Figs. 83c e 83d) e apesar das dispersões observadas é, no entanto, possível efectuar uma seriação razoável dos diferentes carvões utilizando, fundamentalmente, a variação das percentagens médias relativas de esporinite e de liptodetrinite. As maiores dispersões são, também aqui, evidenciadas no Intervalo da Camada 6 de Belmez onde a liptodetrinite chega a atingir níveis semelhantes aos da esporinite. Nos restantes intervalos e/ou camadas, as percentagens de cutinite+resinite e/ou de liptodetrinite são insignificantes quando comparadas com as de esporinite. Os valores médios mostram, nitidamente, o aumento de esporinite e, simultaneamente, a diminuição de liptodetrinite, do Intervalo da Camada 6 de Belmez para a Camada Candelaria e desta para o Intervalo Sucia, enquanto no Intervalo da Camada 3 de Belmez, a liptinite é quase exclusivamente representada por esporinite. No grupo da vitrinite (Figs 84a e 84b), a variação percentual relativa das associações de macerais até aqui utilizadas só permite diferenciar, em termos médios, os carvões do Intervalo da Camada 3 de Belmez que, como já foi referido, evidencia uma composição anómala relativamente a todos

os outros carvões. Se, neste grupo de macerais, utilizarmos como critério distintivo principal as percentagens de desmocolinite e de vitrodetrinite presentes e, em particular, os valores médios determinados para estes macerais em cada camada (Quadros 23 e 24) é possível, sem qualquer ambiguidade, individualizar os carvões da Camada Candelaria que, ao contrário de todos os outros, apresentam percentagens de desmocolinite significativamente superiores aos de vitrodetrinite. No grupo da inertinite (Figs 84c e 84d) as dispersões de composição estão sempre relacionadas com variações nas percentagens dos tecidos oxidados e da inertodetrinite que, no Intervalo da Camada 6 de Belmez e na Camada Candelaria, apresentam oscilações muito acentuadas. Os restantes carvões, embora evidenciando menor dispersão relativamente aos constituintes do grupo da inertinite, aparecem projectados nas áreas definidas para o Intervalo da Camada 6 de Belmez e para a Camada Candelaria sendo, por conseguinte, impossível a sua separação. Apesar de, neste caso, os valores médios terem pouco significado na individualização dos diferentes carvões, eles indicam uma tendência para o domínio dos tecidos oxidados nos carvões dos intervalos da Camadas 6 de Belmez e Sucia embora, em valor absoluto, a sua percentagem seja mínima no primeiro intervalo e máxima no Intervalo da Camada 3 de Belmez.

As percentagens relativas de alguns constituintes podem, ainda, ser avaliadas através dos valores determinados para os índices petrográficos cujas variações permitem, por vezes, explicar anomalias não identificadas por outros processos. Nos carvões em estudo, os resultados obtidos (Quadro 24) traduzem, directamente, tudo o que até aqui foi referido a propósito da sua composição. As variações dos índices VI, VAVB, GI e S/D são claramente mais importantes no Intervalo da Camada 6 de Belmez reflectindo, por um lado, as acentuadas dispersões observadas para os carvões deste intervalo na maior parte dos diagramas triangulares utilizados e, por outro lado, a homogeneidade de composição evidenciada, em termos globais, pela Camadas Candelaria e pelo Intervalo Sucia. O índice IR mostra, igualmente, oscilações acentuadas no Intervalo da Camada 6 de Belmez e na Camada Candelaria, o que traduz a variabilidade referida, nestes casos, para as proporções relativas de tecidos e detritos oxidados.

O estudo da variação lateral de composição só pôde ser efectuada na Camada Candelaria, uma vez que, de todas as camadas analisadas, é a única que apresenta um número suficiente de amostras distribuídas ao longo de toda a sua extensão. Nos diagramas de variação (Fig. 85), as amostras foram colocadas de NW para SE e de acordo com a sua posição em relação à direcção geral da camada mas independentemente da profundidade que

representam. Assim, ao lado das amostras recolhidas no Piso 250 da Mina de Espiel (zona mais amostrada da camada), localizam-se outras que foram obtidas, quer nas frentes de exploração dos Pisos 185 e 325 da mesma mina, quer em algumas das sondagens e cujas cotas correspondem, aproximadamente, à dos pisos referidos (SEW-7bis ao Piso 185, SEP-4bis e SEP-3 ao Piso 325 e SEW-2 ao Piso 250) (Quadro 7). Apesar disso, a composição das zonas NW e SE da camada é fundamentalmente distinta observando-se, a NW, importantes oscilações laterais nas percentagens da maior parte dos constituintes e, particularmente, da vitrinite e da matéria mineral singenética enquanto que, a SE, a variação de composição é gradual notando-se uma tendência para o aumento progressivo, no sentido sudeste, das percentagens de liptinite e de inertinite total, ao mesmo tempo que a telinite+telocolinite decresce. Um outro aspecto que evidencia a diferenciação de composição da Camada Candelaria está relacionado com a natureza e quantidade de detritos orgânicos encontrados em cada zona. Com efeito, a NW da sondagem SEW-2, o conjunto constituído pela desmocolinite e pela vitrodetrinite é sensivelmente constante e globalmente mais abundante do que na zona SE onde a desmocolinite e, em parte, a inertodetrinite mostram nitidamente uma tendência para aumentar no sentido sudeste. Estas variações são acompanhadas por oscilações nas percentagens dos tecidos, gelificados e oxidados, o que conduz a uma distribuição lateral dos índices VAVB e IR que indica o aumento progressivo de detritos orgânicos para sudeste. Todos estes aspectos reflectem uma transição gradual de NW para SE da Camada Candelaria no sentido de ambientes cada vez mais abertos e dinâmicos.

A comparação entre as composições dos diferentes carvões, pode ser efectuada no contexto estratigráfico global da Unidade Aurora se, para tal, utilizarmos diagramas de variação, elaborados com base nos valores médios calculados para cada intervalo e/ou camada e, onde, a sua posição relativa é respeitada (Fig. 86). Nestes diagramas os intervalos das camadas 3 e 6 de Belmez, localizadas em mesossequências consecutivas, apresentam diferenças de composição nitidamente mais acentuadas do que as observadas entre a Camada Candelaria e o Intervalo Sucia que, por sua vez, se situam, na zona de Espiel, em sub-unidades também distintas, diferenças estas que se intensificam quando se considera o carvão puro ou os índices petrográficos. Por outro lado, o Intervalo da Camada 6 de Belmez e a Camada Candelaria situadas na mesma mesossequência mas em diferentes sectores da bacia, revelam uma composição claramente distinta qualquer que seja a análise considerada. Se analisarmos as tendências gerais de variação evidenciadas pelo carvão puro e índices petrográficos do Intervalo da Camada 6 de Belmez para o Intervalo Sucia, verificamos que a

evolução se faz progressivamente e em relação com o aumento de liptinite e de inertinite, no primeiro caso condicionado unicamente pela variação de esporinite (de 10,1% para 18,6%) e, no segundo, devido ao acréscimo simultâneo dos tecidos oxidados (de 4,5% para 9,7%) e da inertodetrinite (de 2,8% para 7,1%), o que mostra a passagem gradual para ambientes com níveis de água cada vez maiores mas onde as condições de gelificação e de preservação decresceram. Em contrapartida, do Intervalo da Camada 3 de Belmez para o Intervalo da Camada 6 de Belmez a situação inverte-se encontrando-se, para o primeiro intervalo, condições ambientais muito semelhantes às observadas em relação ao Intervalo Sucia.

A transição de composição entre o intervalo da Camadas 6 de Belmez e o Intervalo Sucia é, ainda, evidenciada na Análise Discriminante aplicada ao conjunto destes carvões para a qual foram utilizados, como variáveis, os constituintes com maior significado estatístico na Análise Factorial. O Intervalo da Camada 6 de Belmez e o Intervalo Sucia aparecem, no diagrama da Figura 87, nitidamente separados, observando-se uma sobreposição parcial de cada um deles com os carvões da Camada Candelaria os quais parecem representar um grupo de composição intermédia. A discriminação dos carvões pertencentes a cada um dos intervalos e/ou camadas só é conseguida com base nos seus grupos centróides e, mesmo assim, a distinção entre o Intervalo da Camada 6 de Belmez e a Camada Candelaria, só é possível se utilizarmos a primeira função discriminante (F1). Os carvões do Intervalo da Camada 3 de Belmez, apesar de mostrarem composições que, em termos globais, se assemelham às dos carvões do Intervalo Sucia, aparecem claramente separados dos outros, sendo discriminados, dos carvões deste último intervalo, através da segunda função (F2). Os resultados obtidos permitem, ainda, confirmar alguns dos critérios utilizados na análise petrográfica destes carvões, uma vez que os constituintes considerados como diagnósticos para a sua diferenciação correspondem às variáveis com maior peso em cada uma das funções discriminantes. Com efeito, a inertinite e a esporinite, fundamentais para a individualização dos intervalos da Camada 6 de Belmez, Sucia e da Camada Candelaria, são as variáveis que condicionam, no essencial, a distribuição segundo F1 apresentando, nesta função, os coeficientes com valores mais elevados. Para a função F2 a discriminação é influenciada, quase exclusivamente, por variações do índice S/D que, por um lado, representa a variável com maior coeficiente em F2 e, por outro, traduz a proporção de tecidos relativamente aos restantes constituintes, reflectindo, neste caso particular, as elevadas percentagens de detritos encontradas no Intervalo da Camada 3 de Belmez. A associação fusinite+semifusinite+esclerotinite e a inertodetrinite, embora com coeficientes mais baixos do que o do índice

S/D, contribuem significativamente para a distribuição em relação a F2, nomeadamente a inertodetrinite cuja percentagem média permite, de igual modo, separar o Intervalo da Camada 3 de Belmez dos restantes carvões estudados. A importância destes constituintes na caracterização global e na individualização dos diferentes intervalos e/ou camadas fica claramente expressa nos coeficientes de classificação para eles calculados em cada camada cuja variação é nitidamente mais acentuada do que a apresentada pelos coeficientes equivalentes atribuídos às restantes variáveis.

A análise de fácies efectuada com base na composição maceral (Figs. 88a e 88b) reflecte alguns dos aspectos acima discutidos, nomeadamente no que se refere à proporcionalidade observada, nos diferentes carvões, entre detritos e tecidos e, particularmente, à importância que esta relação apresenta para a individualização do Intervalo da Camada 3 de Belmez o qual, nos dois diagramas, aparece localizado em áreas que representam fácies associadas a regimes essencialmente límnicos enquanto que, todos os outros carvões, se situam na transição entre zonas de regime limno-telmático e telmático. No diagrama da Figura 88a, as dispersões observadas para os intervalos da Camadas 6 de Belmez e Sucia e para a Camada Candelaria estão, fundamentalmente, relacionadas com variações nas percentagens dos tecidos gelificados (telinite+telocolinite) e de detritos+esporos, existindo uma sobreposição quase integral das áreas definidas para cada um deles sendo difícil, por este processo, distinguir fácies com características distintas. A comparação entre os índices de gelificação e de preservação (Fig. 88b) além de traduzir, através da variação do índice S/D, a relação acima referida, mostra diferenças importantes nas condições gerais de gelificação para os carvões dos intervalos e/ou camadas acima referidos que indicam uma evolução gradual, do Intervalo da Camada 6 de Belmez para o Intervalo Sucia, no sentido de ambientes progressivamente mais oxidantes. No Intervalo da Camada 3 de Belmez as dispersões são condicionadas pelas características de gelificação do meio encontrando-se, uma das amostras, associada a ambientes onde a oxidação domina nitidamente sobre a gelificação enquanto que, a outra, mostra uma composição que reflecte condições claramente redutoras.

As inferências, de carácter ambiental e, nomeadamente, as fácies petrográficas definidas a partir da composição maceral não são muito diferentes das determinadas com base na composição em microlitótipos embora, no primeiro caso, a matéria mineral não seja tomada em consideração. Para a maior parte dos intervalos e/ou camadas em estudo, o conteúdo em matéria mineral singenética é muito elevado (chega a atingir mais de 50% da percentagem, em volume, do carvão) sendo, nestes casos, extremamente importante para a caracterização

dos ambientes de sedimentação o modo como este constituinte se associa com os demais e, em particular, com os detritos orgânicos (vitrodetrinite e inertodetrinite), relações estas que podem ser parcialmente quantificadas, através da análise de micro-litótipos, na determinação das percentagens de carbominerite e minerite. Assim, o Intervalo da Camada 3 de Belmez, globalmente mais pobre em matéria mineral singenética do que os intervalos das Camadas 6 de Belmez e Sucia, apresenta, em contrapartida, percentagens anómalas de carbominerite (Quadro 25) ao passo que, nos carvões do Intervalo da Camada 3 de Belmez e Camada Candelaria, as percentagens de minerite e carbominerite são praticamente equivalentes. Estas disparidades de composição estão relacionadas com o grau de disseminação da matéria orgânica na matéria mineral o que, por sua vez, reflecte directamente o conteúdo em detritos orgânicos para cada caso. Os resultados obtidos na análise de microlitótipos mostram, por outro lado, a presença de percentagens relativamente elevadas de durite no Intervalo da Camada 3 de Belmez, e de clarite e de duroclarite, na Camada Candelaria, ao mesmo tempo que evidenciam percentagens muito baixas para a maioria dos microlitótipos nos restantes intervalos.

Na Camada Candelaria, a variação lateral de composição em microlitótipos traduz, de um modo geral, as mesmas tendências observadas em relação à distribuição dos macerais embora, no caso dos microlitótipos, as oscilações de composição sejam menos acentuadas, nomeadamente no que respeita às percentagens de vitrite+clarite e, particularmente, de vitrite, cuja variação tem pouco significado (Fig. 89). O aumento gradual de detritos para SE da sondagem SEW-2 é, aqui, representado, pelo acréscimo de duroclarite, microlitótipo que corresponde, na maior parte dos casos, ao constituinte mais importante depois da vitrite. As percentagens de duroclarite e de clarite presentes nesta camada permitem, sem qualquer ambiguidade, individualizá-la de todas as outras como se pode observar através do diagrama de variação média da Figura 89 onde a distinção entre todas as camadas é, aliás, bem clara. Aqui, a diferenciação de composição é conseguida, essencialmente, com base nas percentagens relativas de carbominerite e de duroclarite que reflectem, nitidamente, o modo como os detritos orgânicos se associam aos restantes constituintes. No Intervalo da Camada 3 de Belmez, eles aparecem fundamentalmente disseminados no seio da matéria mineral singenética sob a forma de carbominerite, à qual se associam percentagens de durite e de fusite que, no contexto global destes carvões, podem ser consideradas significativas. A transição para o Intervalo da Camada 6 de Belmez faz-se com aumento de vitrite+clarite e decréscimo, relativamente acentuado, de carbominerite, facto que se acentua na Camada Candelaria,

onde a trimacerite e a vitrite+clarite representam os microlitótipos dominantes. No Intervalo Sucia a percentagem destes constituintes desce novamente atingindo percentagens ligeiramente superiores às encontradas para o Intervalo da Camada 6 de Belmez.

As composição descritas reflectem fácies petrográficas muito semelhantes às determinadas com base na composição maceral mas permitem, de um modo geral, uma melhor definição para cada grupo de carvões. Com excepção do Intervalo da Camada 3 de Belmez, de duas amostras do Intervalo da Camada 6 de Belmez e de uma amostra do Intervalo Sucia, todos os outros carvões se distribuem nas áreas correspondentes a fácies de pântano de floresta, de um modo geral relacionadas com regimes limno-telmáticos e, mais raramente, com regimes telmáticos (Figs 90a e 90b) o que equivale, globalmente, às fácies determinadas a partir dos índices de gelificação e de preservação. O Intervalo da Camada 6 de Belmez que, em relação a estes índices, mostrava uma dispersão com tendência para regimes mais telmáticos, aparece aqui sempre associado a regimes limno-telmáticos e límnicos reflectindo, claramente, as elevadas percentagens de matéria mineral singenética, sob a forma de carbominerite, que contém. O mesmo tipo de relação pode ser observado na Camada Candelaria onde as amostras com maior percentagem de matéria mineral singenética e de carbominerite, da zona ocidental da camada, se dispersam para as áreas limno-telmáticas enquanto, todas as outras, aparecem projectadas nas áreas telmáticas embora, parcialmente, representem a transição para fácies de pântano com vegetação herbácea, ou seja, zonas marginais. Na Figura 90c, os aspectos referidos aparecem sintetizados no mesmo diagrama sendo de destacar o carácter semibrilhante da maior parte dos carvões do Intervalo da Camada 6 de Belmez e da Camada Candelaria e a tendência para carvões semibaços e baços no caso dos intervalos da Camada 3 de Belmez e Sucia.

Se analisarmos a distribuição destas amostras no diagrama ambiental da Figura 91 verificamos que, com excepção de uma amostra do Intervalo da Camada 3 de Belmez, todos os carvões se associam, preferencialmente, ou a ambientes fluviais e de planície de inundação (caso dos intervalos da Camadas 6 de Belmez e Sucia), ou a ambientes de lago confinado como acontece com a Camada Candelaria. Para a caracterização destes ambientes é necessário atender a tudo o que até aqui foi dito a respeito da composição petrográfica destes carvões, até porque, a diferenciação ambiental aqui efectuada, não toma em consideração os conteúdos de matéria mineral presentes.

Com efeito, o carácter predominantemente limno-telmático definido para a maior parte dos carvões reflecte a presença de percentagens relativamente importantes de detritos orgânicos e/ou de esporinite e, simultaneamente, a ocorrência de percentagens muito elevadas de matéria mineral singenética, o que aponta, à partida, para um certo dinamismo nos ambientes de sedimentação associados. Por outro lado, o facto de, na maior parte dos casos, as fácies petrográficas indicarem ambientes pantanosos de floresta, traduz a existência de proporções razoáveis de vitrite+clarite que, por sua vez, se relacionam directamente com as percentagens de telinite+telocolinite e de desmocolinite presentes, reflectindo condições propícias à gelificação e, em muitos casos, à preservação de tecidos normalmente associadas a ambientes protegidos.

Para cada intervalo e/ou camada estudados, o tipo predominante de ambiente de sedimentação deve ser encontrado a partir da conjugação de todos os factores apontados. Assim, na Camada Candelaria, as elevadas percentagens de vitrite+clarite associadas à riqueza relativa em desmocolinite e em clarodurite e ao conteúdo, globalmente reduzido, de matéria mineral, parecem indicar condições de sedimentação em relação com um ambiente razoavelmente protegido, pouco dinâmico e essencialmente aquático, provavelmente relacionado com a presença de um pequeno lago confinado, desenvolvido essencialmente para sudeste e cujo sector marginal estaria representado na zona ocidental da camada. Os intervalos das camadas 3 e 6 de Belmez e o Intervalo Sucia, com características completamente distintas das referidas denotam, globalmente, condições ambientais bastante mais irregulares e propícias à deposição de grandes quantidades de matéria mineral que, nuns casos, aparece intimamente associada à matéria orgânica constituindo carbominerites e, noutros casos, se reparte entre a carbominerite e a minerite. No Intervalo da Camada 3 de Belmez a análise ambiental fica prejudicada pelo reduzido número de amostras estudado, sendo, no entanto, de destacar o domínio absoluto da carbominerite sobre a minerite e as elevadas percentagens de detritos orgânicos, de liptinite e de inertinite que apresentam. Nos intervalos da Camada 6 de Belmez e Sucia, a carbominerite é, percentualmente equivalente à minerite, ocorrendo fundamentalmente associada à vitrodetrinite no Intervalo da Camada 6 de Belmez e, à inertodetrinite no Intervalo Sucia. Este aspecto conjugado com as maiores percentagens apresentadas, por esta última camada, para a liptinite e, principalmente, para a inertinite, apontam para condições ambientais que, no Intervalo da Camada 6 de Belmez, parecem estar essencialmente associadas a zonas pantanosas, provavelmente em relação com planícies de inundação e, no Intervalo Sucia, a zonas mais oxigenadas e dinâmicas

possivelmente correspondentes a sectores marginais de pântanos de floresta ou mesmo a zonas de transição para pequenos lagos.

Em termos globais podemos salientar para estes carvões, os seguintes aspectos petrográficos mais importantes que permitiram a sua caracterização:

- (i) **A matéria mineral singenética é um dos constituintes mais abundantes e, em associação com a matéria orgânica, constitui matrizes organo-minerais;**
- (ii) **Na observação em fluorescência, a libertação de hidrocarbonetos é um fenómeno frequente em todos os carvões;**
- (iii) **A vitrinite, quando considerada no carvão puro, apresenta-se em percentagens relativamente elevadas;**
- (iv) **A liptinite, quase exclusivamente representada por esporinite é, de um modo geral, muito abundante;**
- (v) **Os detritos orgânicos têm um papel fundamental na caracterização destes carvões;**
- (vi) **A percentagem de desmocolinite sobrepõe-se à de vitrodetrinite na Camada Candelaria, enquanto que nos restantes carvões se observa o contrário;**
- (vii) **A inertinodetrinite tem mais significado nos intervalos da Camadas 3 de Belmez e Sucia que, por sua vez, são as mais ricas em inertinite total;**
- (viii) **A individualização dos intervalos e/ou camadas é possível tanto por via petrográfica como estatística, sendo essencialmente conseguida com base nas percentagens relativas de liptinite (esporinite), de inertinite (relação entre tecidos e detritos) e no índice S/D;**
- (ix) **O melhor critério de individualização dos intervalos e/ou camadas baseia-se na composição em microlitótipos:**
 - a. **O Intervalo da Camada 3 de Belmez é quase exclusivamente constituído por carbominerite, vitrite e durite;**
 - b. **Nos intervalos da Camada 6 de Belmez e Sucia a carbominerite é importante mas percentualmente inferior à determinada para o Intervalo da Camada 3 de Belmez, aparecendo em quantidade idêntica à de minerite. As percentagens de**

vitrite são mais elevadas do que no Intervalo da Camada 3 de Belmez e as de clarite e trimacerite muito baixas. Mesmo assim, o Intervalo da Camada 6 de Belmez apresenta mais clarite do que trimacerite ao contrário do Intervalo Sucia onde as suas percentagens se invertem;

c. A Camada Candelaria contém menos matéria mineral do que todos os outros carvões da Unidade Aurora e é essencialmente constituída por vitrite+clarite e trimacerite (clarodurite);

(xiii) As fácies petrográficas determinadas com base na análise de microlitótipos são equivalentes às obtidas a partir da análise maceral e correspondem, essencialmente, a fácies de pântano de floresta associadas, fundamentalmente, a regimes limno-telmáticos;

(xiv) A análise ambiental aponta para ambientes relativamente protegidos e com muita água (lago confinado) para a Camada Candelária, pântanos associados a planícies de inundação para a Intervalo da Camada 6 de Belmez e de transição ou pantanosos para o Intervalo Sucia.

5. 5. Análise conjunta das Unidades dos Sectores Central e Oriental da Bacia

5. 5. 1. A comparação entre os carvões estudados dos sectores central e oriental da bacia tem como finalidade principal a análise global das fácies petrográficas e ambientes de sedimentação encontrados, mais do que a procura de critérios que permitam efectuar correlações laterais, uma vez que, todos eles, representam camadas e/ou intervalos cuja posição estratigráfica relativa é perfeitamente conhecida, aparecendo associados às diferentes mesossequências estabelecidas para a Unidade Aurora, ou integrados em sucessões com elas correlacionadas. O estudo petrográfico teve, no entanto, de ser efectuado com muito pormenor, procedendo-se a uma análise integrada dos resultados obtidos para a composição maceral e em microlitótipos, sem a qual não teria sido possível a caracterização de fácies e ambientes. Além disso, as características de composição determinadas com base na análise maceral não se revelaram, nos sectores central e oriental, em muitos casos, eficazes para a individualização inequívoca de camadas, sendo esta conseguida a partir das proporções relativas de algumas associações de microlitótipos que, quando comparadas com a correspondente composição maceral, permitiram levantar algumas das indeterminações. Por

outro lado, há aspectos de carácter qualitativo, particularmente os relacionados com o comportamento em fluorescência de alguns carvões, os quais, utilizados complementarmente, reflectem enquadramentos ambientais particulares.

De tudo isto resulta que a caracterização global dos carvões destes sectores da bacia só é possível com base na análise conjunta de vários factores, alguns dos quais não são facilmente quantificáveis.

Assim, as percentagens relativas de matéria mineral singenética associadas à quantidade e natureza da liptinite e da inertinite presentes constituem os critérios petrográficos fundamentais para a individualização destes carvões. Quando a percentagem de matéria mineral é muito elevada, a natureza e a proporção de detritos orgânicos nela disseminados em associação com dados de carácter qualitativo, nomeadamente os que traduzem, em fluorescência, a produção de hidrocarbonetos e a rapidez com que se difundem na resina de aglutinação, permitem distinguir os ambientes essencialmente relacionados com zonas pastures de floresta dos ambientes lacustres ou equivalentes. Em contrapartida, nos carvões pobres em matéria mineral, a caracterização petrográfica e ambiental foi conseguida utilizando, simultaneamente, as proporções relativas de desmocolinite e de vitrodetrinite quando comparadas com as dos microlitótipos onde preferencialmente se integram (clarite e trimacerite) e o tipo predominante de inertinite e de liptinite presentes.

No conjunto de todos os carvões estudados e fazendo apenas a análise da sua composição podemos, com base nos critérios acima referidos, considerar três tipos petrográficos fundamentais:

- T4 - Carvões muito ricos em matéria mineral singenética, parcialmente associada à desmocolinite e à vitrodetrinite sob a forma de carbominerite, com percentagens de inertinite baixas e de liptinite variáveis e, onde, de um modo geral, a clarite domina sobre a trimacerite.**
- T5 - Carvões igualmente ricos em matéria mineral singenética onde se disseminam detritos orgânicos originários dos três grupos de macerais e que apresentam percentagens elevadas de liptinite quase exclusivamente representada por esporinite. A inertinite total é variável embora a inertodetrinite seja sempre significativa, e, em termos globais, a trimacerite domina sobre a clarite. Quando observados em fluorescência libertam hidrocarbonetos.**

T6 - Carvões pobres em matéria mineral singenética, com valores percentuais de inertinite e liptinite variáveis mas, de um modo geral, elevados e desmocolinite superior à vitrodetrinite e trimacerite e/ou clarite muito abundantes.

5. 5. 2. As características definidas para cada um destes "tipos" de carvão indicam condições ambientais de sedimentação distintas com transições que se traduzem em composições petrográficas variáveis e impossíveis de caracterizar inequivocamente. Para a maior parte dos intervalos e/ou camadas, os ambientes de sedimentação não são constantes, assistindo-se a uma variação ambiental progressiva que permite, no entanto, ter uma ideia das condições de sedimentação predominantes em cada caso. As maiores variações são observadas nas camadas que, globalmente, apresentam percentagens mais elevadas de matéria mineral singenética, o que reflecte a importância deste constituinte para a caracterização e distinção dos ambientes de sedimentação dos carvões destes sectores da bacia.

O significado ambiental da matéria mineral nos carvões tem sido interpretado em relação com o tipo predominante de matéria orgânica presente sendo conotado ou com ambientes transicionais e lacustres, ou com ambientes palustres de floresta (Smith 1962, Hacquebard et al. 1967, Smith 1968, Hacquebard & Donaldson 1969, Hacquebard e Barss 1970, Diessel 1982, 1986, Kalkreuth & Leckie 1989, Kalkreuth et al. 1991, Marchioni & Kalkreuth 1991). Assim, quando a matéria mineral se encontra associada a quantidades elevadas de durite e de clarite rica em esporinite reflecte condições essencialmente aquáticas em relação directa com ambientes marginais e lacustres, enquanto que o predomínio de vitrites e clarites ricas em vitrinite aponta para ambientes palustres relacionados, quer com planícies aluviais, quer com ambientes de tipo deltaico (deltas superiores e inferiores). Para Smith (1962, 1968) o aumento da matéria mineral numa camada de carvão está intimamente associado às fases de incursão que reflectem afundimentos temporários relacionadas com períodos de subsidência da bacia de sedimentação. Por outro lado, a presença de elevadas percentagens de vitrinite, normalmente traduzindo conteúdos importantes de vitrite e de clarite, o domínio da telinite e da telocolinite sobre os detritos gelificados (desmocolinite+ vitrodetrinite) e, ainda, a associação com resinas associadas à telinite ou à telocolinite, são considerados, por alguns dos autores acima citados, como factores diagnósticos de condições ambientais de tipo palustre fundamentalmente relacionados com áreas de floresta.

No nosso caso, os carvões dos "tipos" petrográficos T4 e T5 reflectem ambientes propícios à deposição de grande quantidade de material inorgânico, embora as condições de

sedimentação pareçam ser um pouco distintas. Os ambientes de sedimentação definidos, com base na composição em microlitótipos, para os intervalos e/ou camadas constituídas exclusiva ou predominantemente por carvões pertencentes aos dois "tipos" petrográficos referidos, estão essencialmente relacionados com sistemas fluviais que, por vezes, mostram tendência a evoluir para sistemas lacustres confinados. No entanto, se considerarmos as características petrográficas específicas de cada um dos "tipos" e, simultaneamente, alguns aspectos qualitativos, a definição ambiental é bastante mais clara.

Para o "tipo" petrográfico T4, no qual incluímos a maior parte dos carvões da Unidade Las Muchachas e do Intervalo da Camada 6 de Belmez, a Camada 5 e alguns carvões da Camada 4 (Unidade Cabeza de Vaca), as percentagens de inertinite (muito baixas), a natureza da matéria orgânica disseminada na matéria mineral (predominantemente vitrinite) e o facto de, por vezes, apresentarem conteúdos significativos de resinas associadas a telocolinites ou telinites (Camada 5 da Unidade Cabeza de Vaca) apontam para ambientes muito redutores essencialmente palustres.

No "tipo" petrográfico T5, exclusivamente constituído pelos carvões do Intervalo Sucia, a variedade de detritos orgânicos associados aos minerais da argila, as percentagens bastante mais elevadas de inertinite e, principalmente o elevado conteúdo em liptinite (esporinite) e a facilidade com que libertam hidrocarbonetos quando observados em fluorescência traduzem, por um lado, condições mais dinâmicas do meio de deposição e, por outro lado, ambientes com maior quantidade de água o que, por sua vez, deve estar relacionado com a presença de ambientes com características essencialmente lacustres.

O "tipo" petrográfico T6, representado pela Camada 3bis, pela maior parte dos carvões da Camada 1 (Unidade Cabeza de Vaca) e, ainda, pela Camada Candelaria, mostra uma composição petrográfica que traduz, antes, ambientes bastante mais confinados, com óptimas condições de gelificação e onde o aporte de matéria mineral é pouco significativo. Os carvões com maior significado neste "tipo" petrográfico são os que constituem a Camadas Candelária e a Camada 3bis cuja análise ambiental, efectuada com base na composição em microlitótipos, aponta para ambientes de sedimentação lagunares ou de lago confinado (Figs. 80 e 91). Na Camada Candelaria a maior percentagem de esporinite associada ao domínio da trimacerite sobre a clarite parece indicar um ambiente mais aquático do que o associado à Camada 3bis, onde a clarite é mais impor-

tante do que a trimacerite e a liptinite frequentemente representada por resinas preenchendo lúmenes celulares de tecidos gelificados.

As camadas 1 e 4 da Unidade Cabeza de Vaca mostram composições petrográficas variáveis e situadas entre as definidas para os "tipos" petrográficos T4 e T6 o que, por sua vez, traduz condições ambientais com características intermédias (Fig. 80). Mais uma vez, em cada uma destas camadas, se evidencia uma maior tendência para ambientes palustres ou de lago confinado. Com efeito, embora as percentagens de trimacerite e de clarite sejam significativas nas duas camadas, na Camada 4 a clarite e a matéria mineral sin-genética são, em termos globais, mais abundantes do na Camada 1 onde a clarite e a trimacerite, com valores sensivelmente equivalentes, se associam à durite. Estas características de composição indicam, para a Camada 4, condições ambientais directamente relacionadas com ambientes palustres, enquanto que no caso da Camada 1 reflectem a presença de ambientes marginais tendencialmente mais oxidantes e dinâmicos. A Camada 2, globalmente mais parecida com a Camada 4, apresenta, contudo, percentagens anómalas de vitrinertite provavelmente relacionadas com a diminuição da quantidade de água no pântano e, conseqüentemente, com uma diminuição das condições de gelificação do meio.

O Intervalo da Camada 3 de Belmez não permitiu, por deficiência de amostragem, uma análise de pormenor, sendo apenas de salientar o facto de evidenciar uma variação de composição extremamente acentuada, quer no que diz respeito à composição maceral, quer à composição em microlitótipos, correspondendo uma das amostras ao "tipo" petrográfico T4 e, a outra, a um carvão cuja composição não é compatível com nenhum dos grupos estabelecidos.

5. 5. 3. Se atendermos ao enquadramento de todos os intervalos e/ou camadas no contexto litoestratigráfico da Unidade Aurora e analisarmos o comportamento da composição dos seus carvões de sector para sector da bacia verificamos não existir uma tendência específica na distribuição dos "tipos" petrográficos anteriormente definidos. Para os carvões integrados na mesossequência inferior, parece haver uma certa equivalência petrográfica entre a Unidade Las Muchachas e a Camada 5 da Unidade Cabeza de Vaca, embora não exista qualquer indicação de que estes carvões possam ser lateralmente correlacionáveis. De qualquer modo, as fácies petrográficas estabelecidas para os seus carvões indicam a presença de ambientes palustres de floresta relacionados com planícies

aluviais (Figs. 67, 68, 69 e 80) que, na zona de Las Muchachas, deveriam corresponder a ambientes de sedimentação com muita água (Figs. 65 e 67). Na **Unidade Cabeza de Vaca** (Fig. 80) a evolução faz-se de ambientes marginais na Camada 1 para ambientes confinados na Camada 3bis passando, para tecto, a ambientes palustres de floresta que, na Camada 4, ainda mostram uma relação com os ambientes confinados da parte inferior da unidade mas, na Camada 5, se apresentam já claramente relacionados com sistemas fluviais. A sequência evolutiva referida não apresenta qualquer incongruência relativamente à sucessão litoestratigráfica definida para a Unidade Cabeza de Vaca, uma vez que as camadas 1 e 3bis, depositadas em relação com lagos confinados, podem traduzir a fase inicial de instalação de um lago de maiores dimensões onde veio a sedimentar-se toda a sucessão lacustre identificada a tecto destas duas camadas. A Camada 4, por outro lado, pode reflectir a transição para ambientes palustres de floresta que, na Camada 5, se associariam a planícies de inundação. As percentagens anómalas de resinas associadas à telinite e telocolinite descritas para os carvões da Unidade Cabeza de Vaca, além de indicarem a proximidade de zonas com florestas podem ainda reflectir a presença de uma vegetação um pouco diferente da que existia nas áreas associadas aos restantes carvões dos sectores em estudo. Com efeito, este tipo de resinite foi relacionada, nos carvões do Carbonífero, com florestas de *Cordaites* (Teichmüller in Stach et al 1983, Teichmüller 1989) que, por sua vez, estão na origem das *Florinites* (Florin 1936), polenes que aparecem em quantidade muito elevada nos sedimentos lacustres da sucessão de Cabeza de Vaca (Wagner 1990) e em percentagem significativamente mais reduzida em todos os outros carvões da bacia.

Na segunda mesossequência da Unidade Aurora, o **Intervalo da Camada 6 de Belmez** e a **Camada Candelaria de Espiel** são, em termos globais, claramente distintos sendo representados, no primeiro caso, por carvões essencialmente depositados em relação com ambientes palustres de floresta e, no segundo caso, com ambientes confinados subaquáticos (Fig. 91). O **Intervalo Sucia**, localizado na **zona de Espiel** a tecto da Camada Candelaria e integrado na terceira mesossequência da Unidade Aurora, mostra características de composição distintas das dos carvões anteriores as quais traduzem condições ambientais bastante mais dinâmicas, possivelmente relacionadas com zonas lacustres marginais.

No Intervalo da Camada 6 de Belmez e, principalmente, no Intervalo Sucia, as elevadas percentagens de matéria mineral presentes podem reflectir, pelo menos em parte, a instabilidade tectónica verificada no início da sedimentação de cada mesossequência e que se traduz pelos possantes níveis conglomeráticos da base. Se tivermos em consideração que

uma boa parte das amostras recolhidas para cada intervalo não representa o mesmo horizonte mas sim diferentes níveis de carvão sobrepostos, os intervalos da Camadas 6 de Belmez e Sucia podem ser interpretados como o resultado de uma série de episódios de incursão lacustre rápida sobre zonas mais pantanosas, no primeiro caso e, marginais no segundo, o que explicaria as dispersões observadas na distribuição de fácies para cada um deles. A Camada Candelária, pelo contrário, parece indicar a presença de um lago relativamente estável que se teria estabelecido numa fase tectonicamente pouco perturbada, ponto de vista este que se harmoniza com seu enquadramento litoestratigráfico.

6. Grau de incarbonização

6. 1. Considerações gerais

O grau de incarbonização ou de carbonificação traduz o estado final atingido pela matéria orgânica durante toda a evolução pós-sedimentar. A matéria orgânica que evolui inicialmente em relação com condições não muito diferentes das que existiam no momento da sedimentação é, mais tarde, durante a fase de incarbonização geoquímica (anquimeta-morfismo), fortemente influenciada pela acção de vários agentes que, em parte, reflectem as características geotectónicas da zona onde se situa a bacia de sedimentação. Embora a pressão induza modificações na estrutura física da matéria orgânica durante o processo referido, é a temperatura que mais directamente condiciona aquela evolução, sendo a principal responsável pelas reacções químicas que aí ocorrem. De extrema importância para todo o processo de incarbonização é, ainda, o tempo durante o qual estes agentes actuam, factor este que, muitas vezes, influencia significativamente o estado final de evolução atingido.

A história térmica de uma bacia pode, por conseguinte, ser inferida a partir do grau de incarbonização da matéria orgânica associada se, simultaneamente, forem considerados todos os factores geológicos intervenientes no processo evolutivo. Com efeito, se a incarbonização se processa exclusivamente em relação com o afundimento contínuo de uma bacia, sem que haja no decorrer do processo evolutivo ou posteriormente a ele, qualquer perturbação térmica ou tectónica importante, o grau de incarbonização aumenta progressivamente com a profundidade Lei de Hilt (Hilt 1873), caso em que o gradiente de incarbonização reflecte directamente o ambiente geotérmico associado. No entanto, se a bacia se situa numa zona tectonicamente activa onde o afundimento e a tectogénese se processam simultâneamente, ou se, durante ou posteriormente à estruturação da mesma, ocorrem fenómenos ígneos locais, a incarbonização final resulta de um somatório de processos parciais cuja individualização é fundamental para o estabelecimento da história térmica global da bacia. Os gradientes paleogeotérmicos podem ser determinados com base em modelos matemáticos desenvolvidos por vários autores (Karweil 1956, Lopatin 1971, Bostick 1973, Lopatin & Bostick 1974, Karweil 1975, Tissot & Epitalié 1975, Bunterbarth et al 1979, Bunterbarth & M. Teichmüller 1982, Bunterbarth 1983) e nos quais se utilizaram, fundamentalmente, os gradientes de incarbonização e o tempo de duração dos episódios de incarbonização correspondentes. Em casos especiais (afundimento progressivo da bacia e gra-

diente geotérmico constante) é possível calcular a espessura de sedimentos responsável pela aquisição de um determinado grau de incarbonização (Alpern 1980), embora estas condições, em particular a segunda, não correspondam, na maior parte dos casos, a situações reais. A presença de anomalias geotérmicas ou a interferência de acções de natureza tectónica durante ou após o processo de incarbonização são fenómenos bastante frequentes que podem ser identificados por vários processos (Alpern 1967, 1969, 1972, Sousa 1978b, M. & R. Teichmüller 1981) e, nomeadamente, a partir da análise da variação do grau de incarbonização em perfis ou em mapas de isolinhas .

A avaliação do grau de incarbonização é feita através de parâmetros de grau físicos, químicos e físico-químicos cuja variação nem sempre é significativa ao longo de toda a escala de incarbonização. Os utilizados com mais frequência pertencem aos dois primeiros grupos e correspondem aos parâmetros que cobrem a maior parte da referida escala (poder reflector da huminite/vitrinite e o teor em carbono) (Sousa 1978a).

Para o estudo da incarbonização na Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel, o parâmetro escolhido foi, no caso geral, o valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) da vitrinite, por duas razões fundamentais: primeiro, porque representava o único parâmetro de grau passível de ser utilizado, inclusivamente com vista a ser aplicado na Classificação Internacional para os Carvões em Camada da CEE-UN, em toda a gama de carvões desta bacia e, depois, porque a sua determinação, além de ser relativamente simples e rápida, podia ser efectuada em simultâneo com a análise petrográfica o que se traduzia numa economia de tempo preciosa. O constituinte utilizado para medir o poder reflector foi sempre a telocolinite e a metodologia aplicada, a que vem descrita no Capítulo 3 para este tipo de análise. A selecção das amostras para este estudo, apesar de condicionada pela repartição espacial da amostragem disponível, foi feita de modo a obter uma distribuição suficientemente representativa para todos os intervalos e/ou camadas com posição estratigráfica perfeitamente conhecida conduzindo assim a que algumas das amostras estudadas nos capítulos anteriores não tivessem sido consideradas.

As diferenças de incarbonização observadas nos sectores ocidental e central-oriental da bacia, as acentuadas anomalias identificadas para os carvões localizados a ocidente e a presença, neste sector, de coques naturais resultantes da carbonização parcial da Camada Cervantes no contacto com uma soleira dolerítica, obrigaram a um estudo mais aprofundado desta zona onde, para além da análise da distribuição espacial dos valores médios do poder

reflector aleatório (\bar{R}_a) da vitrinite se procedeu, também, ao estudo da variação dos valores médios do poder reflector máximo (\bar{R}_{max}) e dos valores dos poderes reflectores mínimos estatísticos ($R_{min,e}$) com a latitude, a longitude e a profundidade e, ainda, à análise petrográfica dos coques naturais e rochas ígneas associadas. Para estes carvões foi, ainda, testada a análise tridimensional da distribuição dos poderes reflectores de acordo com o método proposto por Levine e Davis em 1983 para o estudo de carvões pensilvanianos, o qual permite, por um lado, avaliar a anisotropia óptica da vitrinite e, por outro, caracterizar o estado de tensão em determinadas situações. O processo de estudo é bastante moroso e obriga, para cada caso, à determinação do valor e orientação dos diferentes poderes reflectores em três blocos polidos, perpendiculares entre si e previamente orientados em relação às estruturas geológicas envolventes. Esta metodologia foi utilizada com êxito por alguns autores em estudos de carácter tectónico (Levine & Davis 1983, 1984, Levine 1986, Salih & Lisle 1988, Levine & Davis 1989a, 1989b) mas a sua aplicação aos carvões desta bacia, nomeadamente às camadas Cervantes e S.Rafael não forneceu resultados minimamente conclusivos.

6. 2. Sector Ocidental da Bacia.

Os valores médios do poder reflector máximo (\bar{R}_{max}) e aleatório (\bar{R}_a) e o valor dos poderes reflectores mínimos estatísticos ($R_{min,e}$) determinados no sector ocidental da bacia para todas as amostras pertencentes a camadas cujo enquadramento estratigráfico é perfeitamente conhecido, aparecem listados no Quadro 26 onde se apresentam, também, os valores calculados para os respectivos desvios padrão. Estes valores traduzem o grau de incarbonização final de carvões tectonizados que, actualmente e na grande maioria dos casos, se encontram numa posição estratigráfica diferente da que ocupavam originalmente.

Da análise global destes resultados resulta evidente a acentuada variação dos valores dos poderes reflectores na mesma camada e, em particular, nas camadas da Unidade S.Rafael localizadas na Mina María. Por outro lado, os resultados encontrados para os valores médios do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) (ou máximo (\bar{R}_{max})) variam indiferentemente da posição estratigráfica das diferentes unidades, encontrando-se valores da mesma ordem de grandeza nas amostras da Unidade Cervantes e S.Rafael as quais, originalmente, teriam entre elas uma espessura de sedimentos da ordem dos 300 m. O mesmo tipo de relação pode ser observado nas camadas da Unidade S.Rafael, tanto na Mina María como na

Mina Rampa 3W, onde os valores do poder reflector mostram inversões relativamente aos valores que seriam de esperar numa sequência estratigráfica normal.

A análise da distribuição dos valores médios do poder reflector máximo (\bar{R}_{\max}) e aleatório (\bar{R}_a) na Mina María e, nomeadamente, ao longo da Camada S.Rafael, evidenciam importantes variações de incarbonização na zona ocidental desta mina que, embora com menor intensidade, se reflectem também na Mina Cervantes (Fig. 92). Com efeito, na zona ocidental da Mina María e oriental da Mina Cervantes, áreas localizadas sensivelmente na mesma longitude, os valores médios do poder reflector máximo (\bar{R}_{\max}) e aleatório (\bar{R}_a) são bastante mais elevados do que os encontrados nas restantes amostras de cada uma das camadas, situadas a oriente e ocidente daquela longitude (Figs. 92a, 92b) onde, por sua vez, o grau de incarbonização é muito semelhante. Se compararmos estes valores com a profundidade a que foram recolhidas as amostras, verificamos existir um condicionalismo claro desta sobre as variações referidas e, se extrapolarmos esta relação para o total das amostras estudadas nas zonas das minas María e Cervantes (unidades S.Rafael, Mellizo, Pardo, Cervantes e María), as correlações entre os valores médios dos poderes reflectores máximo (\bar{R}_{\max}) e aleatório (\bar{R}_a) e a profundidade (cota) de amostragem, apesar de mais atenuadas, não são de desprezar (Fig. 92c). Para ocidente da Mina Cervantes (Mina Rampa 3W) os valores médios dos poderes reflectores máximo (\bar{R}_{\max}) e aleatório (\bar{R}_a) são muito semelhantes aos encontrados nas zonas menos incarbonizadas das minas María e Cervantes embora, neste caso, evidenciem oscilações um pouco mais acentuadas do que as observadas naquelas zonas (Figs 93a e 93b). Também aqui o grau de incarbonização é independente da posição estratigráfica ocupada por cada camada não sendo possível, neste caso, relacioná-lo com a profundidade, uma vez que a maior parte das amostras foram obtidas sensivelmente à mesma cota (Piso 160). Estes aspectos parecem apontar para uma incarbonização que, pelo menos em parte, se deve ter processado após as fases principais de tectonização da bacia e em relação com uma anomalia geotérmica importante que seria mais intensa na zona ocidental da Unidade Tectónica de María.

A relação entre os diferentes poderes reflectores foi analisada por via estatística através do cálculo das correlações entre os valores médios dos poderes reflectores máximo (\bar{R}_{\max}) e aleatório (\bar{R}_a) e entre os valores médios do poder reflector máximo (\bar{R}_{\max}) e os valores do poder reflector mínimo estatístico ($R_{\min,e}$), tanto para a totalidade dos carvões deste sector da bacia, como para algumas zonas em particular, nomeadamente para a Mina Rampa 3 W e para as minas María e Cervantes. Assim, a correlação entre os valores médios dos poderes

reflectores máximo (\bar{R}_{\max}) e aleatório (\bar{R}_a) é, em todos os casos, muito significativa (Fig. 94) com valores do coeficiente de correlação da ordem dos 0,96, quer para a totalidade dos carvões estudados, quer para os localizados nas minas María e Cervantes e, com valores ainda superiores, no caso particular da Mina Rampa 3 W ($r = 0,98$) o que permite a utilização do valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) como parâmetro de grau em alternativa ao valor médio do poder reflector máximo (\bar{R}_{\max}). Entre os valores médios do poder reflector máximo (\bar{R}_{\max}) e os valores do poder reflector mínimo estatístico ($R_{\min,e}$) a correlação é, em termos globais, bastante mais baixa e nitidamente distinta nos dois casos referidos, sendo claramente significativa na Mina Rampa 3W e praticamente inexistente nas minas María e Cervantes (Figs 95).

Para avaliar a anisotropia de reflexão da vitrinite, o valor do poder reflector mínimo estatístico ($R_{\min,e}$) foi aqui utilizado em alternativa ao valor do poder reflector mínimo real, uma vez que não há a garantia de um comportamento uniaxial negativo para este constituinte (Hevia & Virgos 1977). Com efeito, a possibilidade da existência de vitrinites com um comportamento óptico diferente do usual (uniaxial positivo ou, mesmo, biaxial) não é compatível com a utilização de poderes reflectores calculados com base em fórmulas deduzidas a partir de um modelo óptico uniaxial negativo, sendo mais correcto usar os valores médios dos poderes reflectores medidos directamente sobre as partículas analisadas. Hevia (1977) considerou mesmo ser preferível usar como parâmetro de grau o valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) em substituição do valor médio do poder reflector máximo (\bar{R}_{\max}) uma vez que permite cobrir, com menor erro, todas as situações possíveis. Nos carvões da bacia em estudo, algumas análises efectuadas sobre amostras em bloco orientadas perpendicular e paralelamente ao plano de estratificação, evidenciaram uma tendência para a presença de anisotropia de reflexão em relação aos valores de poder reflector no plano de estratificação o que denota, pelo menos em alguns casos, a presença de vitrinites com comportamento óptico que não é uniaxial negativo. Embora estudos deste tipo não tenham sido levados a cabo para todos os carvões desta bacia, o facto de muitos autores associarem o carácter óptico anómalo das vitrinites a acções de natureza tectónica (Cook et al 1972, Stach et al 1973, M. & R Teichmüller 1981, Levine & Davis 1983, Levine & Davis 1984, Levine 1986, Salih & Lisle 1988, Levine & Davis 1989a, 1989b) leva-nos a pensar que, nos nossos carvões, a probabilidade de aparecerem vitrinites com estas características possa ser muito elevada. Efectivamente as relações observadas entre os valores médios do poder reflector máximo (\bar{R}_{\max}) e os valores do poder reflector mínimo estatístico ($R_{\min,e}$)

apontam para uma maior variação da anisotropia de reflexão na zona actualmente ocupada pelas minas María e Cervantes, a qual se traduz por uma dispersão mais acentuada dos valores do poder reflector mínimo estatístico ($R_{\min,e}$), que pode estar relacionado com uma tectonização importante dos carvões durante ou após a sua incarbonização. A presença, em todo este sector da bacia, de milonitos de carvão produzidos antes e depois da incarbonização (Estampa 13, Fotos 1 e 2) reflecte a instabilidade tectónica que deveria ter existido durante todo o processo de incarbonização o que, conjugado com eventuais anomalias térmicas localizadas nas áreas das minas María e Cervantes, poderá explicar a diferença de anisotropia encontrada neste sector. Por outro lado, o facto dos milonitos formados após a aquisição do grau de incarbonização serem mais frequentes nesta última zona, parece apontar para uma tectonização mais acentuada dos seus carvões que deverá ter conduzido ao aumento da anisotropia de reflexão das vitrinites correspondentes.

Atendendo a tudo o que até aqui se disse podemos salientar, desde já, alguns aspectos de importância fundamental para o estabelecimento das leis gerais de incarbonização na bacia:

- (i) **Para uma mesma camada o grau de incarbonização é variável;**
- (ii) **A sequência estratigráfica não tem qualquer relação com as diferenças de incarbonização observadas;**
- (iii) **Nas minas María e Cervantes o grau de incarbonização é, em parte, condicionado pela profundidade, observando-se uma anomalia clara no sector ocidental da primeira mina referida;**
- (iv) **Na Mina Rampa 3W o grau de incarbonização é semelhante ao encontrado nas áreas menos incarbonizadas das minas Cervantes e María;**
- (v) **A anisotropia de reflexão aumenta claramente com o grau de incarbonização sendo bastante mais variável nos carvões localizados nas áreas das minas María e Cervantes;**
- (vi) **O grau de incarbonização final foi essencialmente adquirido após as fases principais de tectonização da bacia e em relação com uma importante anomalia térmica;**
- (vi) **A correlação encontrada entre os valores médios do poder reflector máximo (\bar{R}_{\max}) e aleatório (\bar{R}_a) para este sector da bacia permite a utilização deste último como parâmetro de grau em alternativa primeiro;**

Além destes aspectos há outros de carácter qualitativo, cuja análise é essencial para a interpretação de alguns dos resultados apresentados. Tais aspectos dizem, fundamentalmente, respeito ao estudo petrográfico dos coques naturais que ocorrem na Área Cervantes. Aqui e, em particular, na Mina a céu aberto de Cervantes, a camada é intruída paralelamente à estratificação por uma soleira dolerítica com cerca de 1 m de espessura que, no contacto com o carvão, induz uma estreita banda de coques naturais com uma possança média de 50 cm. O conjunto apresenta-se dobrado em sinclinal como resultado do arrasto em relação a uma falha inversa de extensão regional (Falha S.Rafael). A oriente desta zona, nas sondagens efectuadas para reconhecimento da Unidade Cervantes, o dolerito aparece intercalado em diferentes zonas da camada encontrando-se esta quase completamente carbonizada. Rochas do mesmo tipo foram ainda identificadas em duas sondagens na Unidade Tectónica de María (SM-15 e SM-16) e, mais tarde, quando os trabalhos de exploração subterrânea se iniciaram nesta área, foram encontradas esporadicamente e em associação com a Camada S.Rafael. Petrograficamente correspondem, na sua grande maioria, a rochas doleríticas (M. Montenegro de Andrade, com.pess.) embora no contacto com o carvão se apresentem intensamente alteradas sendo, muitas vezes, já quase exclusivamente constituídas por calcite. O estudo petrográfico destas rochas revelam ainda que, mesmo no caso de alteração quase total em calcite, se notam esqueletos da estrutura típica dos doleritos.

Os carvões em contacto directo com estas rochas doleríticas têm, globalmente, um aspecto muito semelhante apesar de pertencerem a camadas com características petrográficas distintas. Com efeito, as suas vitrinites mostram, sistematicamente, numerosos poros de desvolatilização circulares ou elípticos de dimensões variáveis (Estampa 14, Fotos 1 e 2) e poderes reflectores muito elevados (entre 5% e 7%) embora, na maior parte dos casos, sejam opticamente isotrópicas. Em algumas das sondagens da área Cervantes, carvões claramente carbonizados aparecem a uma curta distância, 20 m em alguns casos, de outros sem qualquer indício de carbonização, e cujas vitrinites evidenciam poderes reflectores nitidamente mais baixos (1,8%), o que parece indicar um fluxo térmico de pequeno alcance. Por outro lado, a presença de texturas em mosaico é muito limitada, aparecendo estes sempre sob a forma de mosaicos incipientes ou finos (Estampa 14, Fotos 3 e 4) em zonas das amostras onde se observam pequenos filonetes de carbonatos ou de rocha ígnea completamente alterada. Os carbonatos, representados essencialmente por siderite e por calcite, ocorrem frequentemente no preenchimento de poros de desvolatilização da vitrinite, ao mesmo tempo que se observam pseudomorfoses de hematite depois de pirite tanto epigenética como

singenética framboidal (Estampa 15, Fotos 1 e 2). Nestes carvões carbonizados é, ainda, possível observar poros com forma elíptica orientados paralelamente ao plano axial de microdrobras (Estampa 16, Fotos 1 a 3). Este tipo de estruturas orientadas não são conhecidas em coques industriais nem em coques produzidos em laboratório, o que nos leva a pensar que terão resultado da deformação de poros circulares previamente existentes.

Em zonas afastadas da influência directa dos doleritos e, em particular, na Mina Rampa 3 W foram observados aspectos semelhantes aos descritos, tais como poros de desvolatilização nas vitrinites e raras estruturas em mosaico fino. Nos carvões estudados para a Mina María, foram também identificadas percentagens bastante elevadas de vitrinite com fendas semelhantes às descritas por alguns autores para caracterizar a pseudovitrinite (Benedict *et al.* 1968, Kaegi 1981, 1985). Medições sistemáticas do poder reflector em partículas com estas características não evidenciaram, contudo, qualquer diferença em relação aos valores medidos nas vitrinites associadas, nem sequer se notou um aumento preferencial deste tipo de estruturas nos carvões mais ricos em inertinite como é sugerido por Benedict *et al.* (1968). O facto da frequência das estruturas descritas aumentar no sentido das zonas mais incarbonizadas e, em particular, na parte mais ocidental da Mina María, onde a anomalia de incarbonização é claramente mais acentuada, leva-nos a pensar que estas estruturas estejam, no nosso caso, directamente relacionadas com acções térmicas importantes e não, como pensam os autores supracitados, associadas a oxidação primária ou, mesmo, secundária de baixa temperatura.

O estudo petrográfico de coques obtidos em laboratório a partir de carvões com composição petrográfica e grau de incarbonização diferentes, foi efectuado em França por alguns investigadores da Universidade de Orleães (Garza Gomez 1982, Qiu 1983) que quantificaram, por análise microscópica, as texturas observadas nos referidos coques utilizando, para tal, a classificação de texturas à data adoptada naquele laboratório. Os resultados obtidos pelos referidos autores podem ser aplicados aos coques naturais do sector ocidental da nossa bacia com vista a determinar o grau de incarbonização dos carvões antes da carbonização. Com efeito, estes autores consideram que a proporção relativa de texturas isotrópicas (fundidas e não fundidas) e anisotrópicas (mosaico, fibras e bandas) está fundamentalmente relacionada com o grau de incarbonização do carvão original, sendo a anisotropia parcialmente condicionada pela composição maceral e pela temperatura e velocidade de aquecimento. No primeiro caso, consideram necessário para a obtenção de coques completamente anisotrópicos, um carvão cujo grau de incarbonização corresponda a um poder reflector

superior a 0,85% acrescentando que os carvões com vitrinites de poder reflector inferior a 0,80% não produzem senão coques isotrópicos, quaisquer que sejam os condicionalismos térmicos introduzidos no processo. No que respeita à influência da composição petrográfica Qiu (1983) conclui que a liptinite apenas tem influência na génese de texturas anisotrópicas (mosaicos finos) em coques provenientes de carvões com vitrinites cujo poder reflector se situa entre 0,80% e 0,85% produzindo, neste caso, a vitrinite texturas isotrópicas. Estudos mais recentes efectuados sobre carvões com graus de incarbonização diferentes (poder reflector da vitrinite de 0,7% e 1,1%), carbonizados no contacto com rochas ígneas (Goodarzi & Jerzykiewicz 1986, Goodarzi *et al.* 1988), apontam, do mesmo modo, para um comportamento claramente distinto dos dois carvões, no primeiro caso com produção de alguns vacúolos de desvolatilização e carbono pirolítico e, no segundo caso, com formação de mosaicos médios e finos. Para estes autores, a distância entre o carvão e a rocha ígnea influencia as estruturas observadas, tendo sido identificadas, nas zonas mais afastadas do foco térmico (subzonas de precarbonização), vitrinites com fendas de contração muito semelhantes às acima referidas.

Se compararmos os resultados obtidos por estes autores com alguns dos aspectos descritos para os coques no sector ocidental da bacia, nomeadamente com o facto de neles encontrarmos, essencialmente, estruturas fundidas isotrópicas e só raramente mosaicos de grão fino, parece plausível considerar que, no momento da carbonização, estes carvões deveriam ter atingido um grau de incarbonização equivalente ao valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) situado entre 0,70% e 0,85%. Por outro lado, as estruturas observadas nos carvões localizados em zonas onde não se verifica a presença de rochas doleríticas, parecem indicar a circulação generalizada de fluidos com temperatura elevada, os quais poderão estar na origem de grande parte da matéria mineral epigenética encontrada neste sector da bacia.

Analisando, em conjunto, todos estes resultados podemos ainda destacar o seguinte quanto ao sector ocidental da bacia:

- (i) **Os carvões em contacto com os doleritos apresentam, no momento da carbonização, um grau correspondente a um valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) da vitrinite entre 0,70% e 0,85%, porque os coques resultantes são constituídos quase exclusivamente por texturas isotrópicas fundidas e, pontualmente, por mosaicos finos;**

- (ii) **A implantação dos doleritos é anterior à tectonização**, uma vez que, por um lado, o carvão, o coque e os doleritos estão dobrados e, por outro lado, se verifica deformação dos poros de desvolatilização da vitrinite nos carvões carbonizados;
- (iii) **Os carvões afectados termicamente encontram-se em distintas zonas do sector e representam camadas situadas em níveis diferentes da sucessão estratigráfica**, uma vez que, os coques e os doleritos ocorrem, tanto na Camada Cervantes, como na Camada S.Rafael da Mina María;
- (iv) **A carbonização é muito localizada**, seja ela produzida por doleritos ou por fluidos a elevada temperatura, facto que é comprovado pela presença de carvões sem qualquer indício de carbonização a escassos metros das zonas afectadas e pela diminuição drástica do poder reflector nas mesmas situações;
- (v) **Os carvões situados próximo do dolerito principal mostram um grau de incarbonização equivalente ao da maior parte dos carvões do sector e claramente inferior ao apresentado por alguns carvões localizados em zonas mais afastadas daquela rocha**. Com efeito, as camadas e níveis de carvão da Mina Cervantes mostram valores médios do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) que variam entre 1,9% a 2,5%, enquanto que a Camada S.Rafael na Mina María apresenta valores que podem ir a 3,2%;
- (vi) **O grau de incarbonização final é posterior à tectonização da bacia e independente da sucessão estratigráfica original**, afirmação que se fundamenta no aumento da incarbonização com a profundidade na zona ocidental da Mina María e na distribuição totalmente aleatória do poder reflector nas camadas do Unidade S.Rafael tanto na Mina María como na Mina Rampa 3 W.

Sendo assim, o grau de incarbonização destes carvões do sector ocidental da bacia resultou de um somatório de episódios directamente relacionados com a evolução tectónica da bacia, sob acção de fenómenos de natureza térmica extremamente importantes e, embora todo este processo se deva ter efectuado de um modo contínuo, há evidências que permitem separá-lo em três fases principais:

- F1 - processada durante ou imediatamente após a sedimentação e responsável por um grau de incarbonização equivalente a um valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) da ordem dos 0,70% a 0,85%;**

F2 - de âmbito local e relacionada com a implantação de rochas doleríticas, anteriormente à tectonização principal da bacia;

F3 - pós-tectónica e devida à existência de anomalias geotérmicas importantes, possivelmente com origem na implantação de um corpo ígneo em profundidade.

Embora a segunda fase esteja claramente evidenciada através da carbonização dos carvões de algumas zonas deste sector da bacia, não é possível determinar o acréscimo de incarbonização por ela produzido e, conseqüentemente, conhecer o valor absoluto da incarbonização atribuída à fase posterior. Por outro lado, relativamente à primeira e terceira fase levantam-se questões geológicas ainda por resolver que têm a ver com o modo e altura em que se processaram.

Com efeito, para atingir um grau de incarbonização equivalente ao estimado para a primeira fase seria necessário, em condições geotérmicas normais e constantes (33° C/km), uma espessa coluna de sedimentos e um afundimento durante um intervalo de tempo razoável que, estimados pelo *método de Karweil* (Karweil 1956), corresponderiam, respectivamente, a cerca de 3,5 km de sedimentos afundidos durante um período de tempo de 10 Ma (tempo mínimo previsto no diagrama correspondente). Ora estes valores colidem em absoluto com os elementos recolhidos da estratigrafia e da estrutura tectónica do sector ocidental e, mesmo, de toda a bacia. A sucessão estratigráfica total foi calculada em cerca de 1500 m representando uma sedimentação de idade compreendida entre o Langesetiano tardio (Vestefaliano A terminal) e o Dunckmanciano precoce (Vestefaliano B inferior), o que equivale a um intervalo de tempo de cerca de 1Ma (Wagner, com.pess.) o que é claramente inferior aos valores acima indicados. Para além destes sedimentos não há conhecimento de qualquer deposição posterior (restante Vestefaliano, Estefaliano ou Pérmico) não sendo, por outra parte, plausível admitir que todos esses sedimentos, a terem existido, fossem completamente eliminados por erosão. Aliás, o modelo tectono-sedimentar da bacia, anteriormente apresentado (Capítulo 2) aponta para um processo evolutivo contínuo onde a tectogénese se processa imediatamente após ou, mesmo, durante a sedimentação, o que não é compatível com uma sedimentação prolongada e estendida aos períodos referidos. Por outro lado, o sector em questão corresponde a um dos depocentros mais antigos da bacia onde se teria depositado uma coluna de sedimentos com cerca de um terço da espessura estimada para a sucessão estratigráfica total, não havendo quaisquer evidências de que a sedimentação nos depocentros localizados a oriente (Unidades Aurora e Albardado/Juliana) se processasse sobre os depósitos do sector ocidental, sendo antes mais provável existir uma independência

parcial ou total na sedimentação das duas zonas, a avaliar pela discordância observada entre a Unidade Las Muchachas (equivalente à parte inferior da Unidade Aurora) e a Camada Antolín/Cervantes (topo da sucessão do sector ocidental) que, já estruturada, é sobreposta pelo primeira. Tão-pouco o carreamento dos terrenos do Namuriano inferior sobre todo o Vestefaliano da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel poderá ser responsável pela presença de uma espessura razoável de sedimentos justificando a incarbonização até ao grau indicado (valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) compreendido entre 0,70% a 0,85%), uma vez que este carreamento se processa após a estruturação principal da bacia, e a incarbonização referida foi atingida numa fase claramente ante-tectónica.

A primeira fase de incarbonização deverá, pois, ter sido processada durante o afundimento do sector ocidental em condições de gradiente geotérmico bastante elevado que poderia estar relacionado com toda a actividade ígnea posterior. A determinação do gradiente paleogeotérmico implica, em casos destes, o conhecimento de vários factores como, por exemplo, a temperatura e profundidade do foco anómalo, o tipo de sedimentos interpostos, o seu grau de compactação e condutibilidade térmica e a temperatura de incarbonização. Por outro lado, os diferentes modelos matemáticos desenvolvidos com vista a inferir as temperaturas de incarbonização a partir do grau de de evolução atingido pela matéria orgânica (Karweill 1956, Lopatin 1971, Bostick 1973, Lopatin & Bostick 1974, Karweil 1975, Tissot & Espitalié 1975) pressupõe um afundimento progressivo durante um determinado intervalo de tempo, na maior parte dos casos não inferior a 10 Ma, sob acção de um gradiente geotérmico constante e da ordem dos 33°C/km o que, como acima se viu, não reflecte minimamente as características definidas para a evolução tectono-sedimentar desta bacia. Os diagramas concebidos por Hood & Castaño (1974) e Hood et al (1975), mais tarde completados por Bostick et al (1979), embora calculados para áreas onde o gradiente geotérmico é relativamente baixo, possibilitam, no entanto, a determinação de paleotemperaturas com tempos de afundimento muito inferiores aos considerados pelos autores anteriores permitindo, no nosso caso, ou seja, tendo em atenção o intervalo de tempo de deposição da bacia acima referido de cerca de 1Ma, estimar uma temperatura de cerca de 175°C para esta fase de incarbonização. Por outro lado, se calcularmos o gradiente paleogeotérmico com base na equação empírica utilizada no estudo da sondagem URACH 3 na Alemanha (Buntebarth et al. 1979, Buntebarth & M.Teichmüller 1982, Buntebarth 1983) encontramos um valor bastante superior ao normal, cerca de 55°C/km, traduzindo claramente a presença da anomalia térmica acima referida.

A segunda fase de incarbonização, associada à implantação dos doleritos, está, quanto a nós, intimamente relacionada com a primeira e, além de conduzir à carbonização dos carvões nas zonas de contacto com a rocha ígnea, pode ter induzido antracitização em áreas cuja extensão se desconhece. Em algumas sondagens da área Cervantes, o valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) da vitrinite passa de 5,7%, no contacto com o dolerito, para 1,8% em distâncias variáveis, mas nunca superiores a 120 m o que parece confirmar o carácter relativamente restrito destes fenómenos. No entanto, Raymond & Murchison (1988) consideram que o grau de incarbonização da matéria orgânica em auréolas térmicas relacionadas com intrusões ígneas, aumenta com o grau de compactação dos sedimentos o que, no nosso caso, e tendo em conta o grau de incarbonização dos carvões no momento da carbonização, pode ser indicativo de uma pré-antracitização mais significativa do que a inferida a partir daquelas observações. Por outro lado, o facto de se terem encontrado rochas ígneas e vestígios de carbonização em diferentes zonas do sector parece indicar uma maior distribuição espacial destas rochas e, conseqüentemente, a possibilidade de uma acção mais generalizada destes fenómenos.

A terceira fase de carbonificação produziu um acréscimo de incarbonização de que resultou o grau actualmente observado nos carvões deste sector da bacia. Embora, e pelas razões já acima indicadas, haja fortes indícios de que se tenha processado após as fases principais de tectonização da bacia, a sua localização no tempo não parece muito clara, principalmente no que respeita à sua relação com os movimentos que conduziram à estruturação da Unidade Tectónica de María. O facto de, com alguma frequência, se observar uma milonitização pós-incarbonização nos carvões da Mina María pode ser indicativo de uma movimentação desta unidade tectónica após a incarbonização final o que, de certo modo, explicaria a maior anisotropia aqui verificada. No entanto, acções tectónicas de reajustamento final ou, ainda, uma tectonização bastante mais recente podem estar na origem destas milonitizações, mesmo porque, embora menos intensa, ela aparece noutras zonas do sector, nomeadamente nas minas Rampa 3 W e Cervantes.

Numa tentativa de clarificar esta situação calculamos, por regressão linear, as correlações entre o grau de incarbonização (valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a)) e a latitude, a longitude e a profundidade (cota) das amostras estudadas, procurando associá-las de acordo com afinidades tectónicas e/ou estratigráficas de modo a cobrir todas as hipóteses possíveis. Os resultados obtidos (Quadro 27), apenas válidos para o sector ocidental em causa, mostram correlações bastante menos significativas quando determinadas para o total

do sector ou quando, em zonas específicas, se consideram em conjunto camadas localizadas em diferentes níveis da sucessão estratigráfica, o que pode reflectir dispersões devidas à sobreposição das diferentes fases de incarbonização. De qualquer modo, a correlação com a profundidade (cota) é, na quase totalidade dos casos, superior à que se observa em relação à latitude e à longitude, com excepção da Mina Cervantes, onde a relação com estas duas coordenadas indica, claramente, um aumento da incarbonização para sul ($r_{Lat} = -0,805$) e para leste ($r_{Long} = +0,636$) relação esta que se intensifica quando a Unidade Cervantes (flanco normal) é considerada isoladamente ($r_{Lat} = -0,850$; $r_{Long} = +0,873$). Se, por simetria, analisarmos o que se passa na Mina María, verificamos que o grau de incarbonização é essencialmente influenciado pela profundidade mostrando, no entanto, uma tendência geral para aumentar de oriente para ocidente. Quando se aplica este tipo de análise à Unidade S.Rafael e, em particular, às amostras situadas na Mina María, a variação do grau de incarbonização com a profundidade é mais acentuada e, claramente mais significativa, do que em qualquer outro caso ($r_{Cota} = -0,835$), enquanto na Mina Rampa 3 W a correlação não tem significado ($r_{Cota} = -0,222$). O valor relativamente elevado do coeficiente de correlação calculado para o total da Unidade S.Rafael ($r_{Cota} = -0,712$) é nitidamente condicionado pelos valores obtidos na Mina María apesar do número de amostras aqui considerado ser bastante inferior ao utilizado para o total da unidade, o que evidencia a importância da anomalia identificada naquela mina.

As correlações apresentadas revelam, por um lado, um controlo efectivo da incarbonização pela profundidade, tanto no flanco normal como no invertido e, por outro lado, a tendência para o aumento da incarbonização na zona ocidental da Mina María e oriental da Mina Cervantes, indicando a presença de uma anomalia térmica nesta área claramente evidenciada através do mapa de isolinhas traçado para este sector (Fig. 96). Sendo assim, a Unidade Tectónica de María deveria estar de início localizada praticamente no local onde hoje se encontra, embora posteriormente possam ter existido reajustamentos tectónicos essencialmente verticais que poderão explicar, quer a milonitização pós-incarbonização aqui presente, quer as diferenças de incarbonização encontradas para amostras da mesma camada localizadas à mesma cota.

Os gradientes de incarbonização calculados a partir das equações das rectas de correlação são extremamente elevados, entre 0,2%/100m na Mina Cervantes e 0,27%/100m na Mina María, valores que tendem a aumentar se os determinarmos com base na análise de uma só camada de carvão, o que aponta para um gradiente geotérmico correspondente ex-

tremamente elevado. Gradientes de incarbonização desta ordem de grandeza foram referidos por M. & R. Teichmüller (1981) como exemplos em zonas com um fluxo térmico muito elevado (cerca de 16°C/100 m) e relacionado com intrusões ígneas muito recentes (menos de 0,6 Ma). No nosso caso, o gradiente paleogeotérmico pode ser estimado por determinação das temperaturas necessárias para produzir uma incarbonização equivalente a um valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) situado entre os 3,2% (máximo valor de \bar{R}_a para o sector) e os 2,0% (média aritmética de \bar{R}_a para o sector) durante um tempo que pode oscilar entre 1Ma (incarbonização imediatamente após a tectonização principal da bacia) e 25Ma (incarbonização durante o Estefaniano ou Pérmico) sendo depois calculada a variação em profundidade com base no gradiente de incarbonização referido. Utilizando o mesmo modelo considerado para o cálculo da temperatura na primeira fase de incarbonização (Hood & Castaño 1974, Hood et al 1975, Bostick et al 1979) o intervalo de temperatura correspondente a cada intervalo de tempo considerado é de 40°C (240°C a 280°C) e 35°C (185°C a 220°C) o que, se atendermos à diferença de cota equivalente à variação de poder reflector considerado (480m na base de um gradiente médio de incarbonização de 0,25%/100m) encontramos gradientes geotérmicos que oscilam entre 83°C/km e 73°C/km. Para o intervalo de tempo mais alargado (25Ma), utilizámos ainda os modelos de Karweill (1956) e de Lopatin (1971) tendo sido obtidos intervalos de temperatura respectivamente de 55°C (185°C a 240°C) e 30°C (120°C a 150°C) e, conseqüentemente, gradientes geotérmicos de 115°C/km e 63°C/km.

Em qualquer das fases de incarbonização, os gradientes calculados são extremamente elevados e muito semelhantes aos determinados por Buntebarth et al. (1982) para a bacia vestefaliana do Rhur (entre 60°C/km e 91°C/km) onde uma anomalia gravimétrica parece indicar a presença de um corpo intrusivo em profundidade (M. & R. Teichmüller 1981). O acentuado aumento do gradiente geotérmico da primeira para a terceira fase de incarbonização aponta para a instalação progressiva de um corpo ígneo que poderá ter terminado depois de se ter processado toda a tectonização da bacia.

6. 2. Sectores Central e Oriental da Bacia.

Para os carvões destes sectores da bacia, situados em diferentes níveis da sucessão estratigráfica estabelecida para a Unidade Aurora, o grau de incarbonização é, claramente, inferior ao determinado nos carvões anteriormente analisados, sendo aqui avaliado unica-

mente com base no valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) da vitrinite, uma vez que as diferenças observadas entre os valores dos poderes reflectores máximo e mínimo aparente eram, na grande maioria dos casos, insignificantes. Aliás, estes carvões correspondem a uma gama de incarbonização (0,6% a 0,9%) para a qual, no modelo teórico de Alpern (1970), não existe anisotropia em relação ao poder reflector daquele constituinte.

À semelhança do que acontece no sector ocidental da bacia, o grau de incarbonização não parece ser, também aqui, condicionado pela posição estratigráfica dos diferentes intervalos e/ou camadas, observando-se variações significativas no valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) para carvões integrados em níveis estratigraficamente equivalentes e, nomeadamente, para a mesma camada, ao mesmo tempo que se encontram valores da mesma ordem de grandeza para unidades e/ou intervalos localizados em zonas claramente distintas dessa sucessão (Quadro 28). Com efeito, as unidades Las Muchachas e Cabeza de Vaca, localizadas, estratigraficamente, ao nível da parte inferior da sucessão definida para a Unidade Aurora, evidenciam valores médios do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) que cobrem toda a gama de incarbonização determinada para os carvões dos dois sectores, ao mesmo tempo que a Camada Candelaria, localizada na parte superior da mesma unidade, apresenta valores variáveis mas tendencialmente situados nos níveis mais elevados de incarbonização encontrados para estas áreas.

Estes aspectos traduzem anomalias no processo de incarbonização que devem estar relacionadas com as anomalias térmicas referidas no sector ocidental embora, neste caso, as correlações entre o parâmetro de grau e as coordenadas geográficas (longitude, latitude e cota) não sejam minimamente significativas (Fig 97). Todavia, se tivermos em consideração a distância a que os carvões dos sectores central e oriental se encontram do sector ocidental, cerca de 7 km para os carvões da unidade mais próxima (Unidade Las Muchachas), a ausência de correlação entre estas variáveis pode ser explicada por uma "diluição" do efeito térmico a ela associado, à semelhança do que acontece no sector ocidental para a Unidade S.Rafael na zona da Mina Rampa 3 W que, apesar de tudo, se encontra mais próxima (cerca de 2,5 km). Num modelo deste tipo a incarbonização seria, fundamentalmente, condicionada pelo afastamento em relação à zona termicamente anómala, o que conduziria a uma diminuição progressiva do grau de incarbonização de ocidente para oriente, o que afinal não se verifica ao longo de toda a bacia (Fig. 98). Com efeito, o aumento do grau de incarbonização da Unidade Cabeza de Vaca ($0,56\% < \bar{R}_a < 0,79\%$), situada na zona de Belmez e estratigraficamente equivalente à parte inferior da Unidade Aurora, para a Camada

Candelaria ($0,71\% < \bar{R}_a < 0,90\%$), localizada em Espiel na parte superior desta mesma unidade, apenas pode ser explicado, num esquema evolutivo desta natureza, pela presença de um segundo foco térmico localizado bastante mais para oriente o que, até à data, não pôde ser confirmado. O facto de, neste caso concreto, o grau de incarbonização aumentar, de uma forma clara, de muro para tecto da sucessão estratigráfica parece, por si só, indicar um processo de incarbonização anómalo que, a nosso ver, só pode ser interpretado com base num modelo evolutivo semelhante ao apresentado. Por outro lado, a Camada Candelaria, embora situada na área mais afastada do foco térmico definido para o sector ocidental, evidencia um grau de incarbonização ($0,71\% < \bar{R}_a < 0,90\%$) muito semelhante ao determinado para a Unidade Las Muchachas ($0,74\% < \bar{R}_a < 0,93\%$) a qual, por sua vez, representa, nos sectores central e oriental da bacia, a unidade mais próxima do foco térmico supracitado. Todas estas evidências parecem apontar para a presença efectiva de um foco térmico localizado a oriente da bacia.

De qualquer modo, independentemente dos factores que conduziram às anomalias referidas, o facto é que os carvões dos sectores central e oriental apresentam um grau de incarbonização que, em média, corresponde ao grau estimado para a Camada Cervantes antes da instalação dos doleritos o que, associado à inexistência de evidências de uma sedimentação de idade posterior, aponta para uma evolução condicionada por um gradiente paleogeotérmico muito semelhante ao que teria existido no decurso da primeira fase de incarbonização do sector ocidental da bacia. Não é, no entanto, linear que a incarbonização nos sectores central e oriental se tenha processado em simultâneo com a primeira fase do sector ocidental até porque, o aumento do gradiente geotérmico neste sector deverá ter influenciado a incarbonização em toda a bacia.

6. 3. Síntese da Evolução Térmica da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel.

De toda a análise até aqui efectuada parece ter ficado claro que o estabelecimento das leis gerais de incarbonização para toda a bacia só tem algum significado quando considerado num contexto tectono-sedimentar global, uma vez que o faseamento da incarbonização definido para o sector ocidental aparece claramente relacionado com episódios de estruturação que podem ou não ter sido simultâneos em toda a bacia. Com efeito, o facto da sedimentação se ter processado em relação com um tectonismo activo durante num curto

intervalo de tempo (cerca de 1Ma) associado ao facto de não existir qualquer evidência de que a deposição num determinado depocentro tenha tido continuidade com a efectuada no depocentro anterior, aponta para uma interdependência estreita entre todos os processos geológicos reflectindo-se inclusivamente na evolução pós-sedimentar da bacia e, consequentemente, no grau de incarbonização dos seus carvões. Sendo assim, é bem possível que a tectonização se tenha feito, progressivamente, de ocidente para oriente no sentido da progradação dos diferentes depocentros, o que pode perfeitamente condicionar uma se-riação, no espaço e no tempo, dos processos que levaram à incarbonização dos carvões situados em diferentes sectores da bacia.

A independência verificada entre o grau de incarbonização final e a posição estratigráfica ocupada pelos diferentes pacotes de carvão em qualquer dos sectores estudados indica a existência de uma fase de incarbonização posterior à tectonização principal de cada sector que, a ocidente, aparece claramente relacionada com uma anomalia térmica associada a um gradiente geotérmico extraordinariamente elevado. No entanto se para este sector o estudo petrográfico dos coques naturais e a sua relação com a estrutura das camadas a que se encontram associados permitiu a individualização de três episódios de incarbonização, o mesmo não foi possível para os dois restantes sectores da bacia onde, as fases de incarbonização eventualmente existentes, se encontram "aglutinadas" num único episódio de que resultou a incarbonização final.

Se a incarbonização pós-tectónica se tiver processado simultaneamente em toda a bacia, o foco térmico localizado no sector ocidental deverá ter também influenciado, embora de uma forma atenuada, a incarbonização nos sectores central e oriental, conduzindo a uma "diluição" dos efeitos relacionados com eventuais fases anteriores, o que poderia explicar algumas das anomalias aqui observadas. Sendo assim, a semelhança verificada, em média, entre o grau de incarbonização destes carvões e o grau inferido para a primeira fase de incarbonização do sector ocidental não pode ser linearmente interpretada em relação com o mesmo episódio de incarbonização e, em particular, como o resultado de uma fase de incarbonização ante-tectónica regional, uma vez que isso implicaria, necessariamente, concluir que a fase de incarbonização final ficaria circunscrita ao sector ocidental o que nos parece ser absurdo. Todavia, se a tectonização se tiver processado de ocidente para oriente durante e após a sedimentação nos diferentes depocentros, é possível que a anomalia térmica detectada no sector ocidental esteja relacionada com a implantação progressiva de um corpo ígneo cuja influência se fará sentir, numa primeira fase, apenas nesse sector e, mais tarde, de

uma forma mais atenuada, nos restantes sectores. Um modelo deste tipo pode conduzir ao aparecimento de uma incarbonização ante-tectónica inicial que, progressivamente, passará a processar-se em simultâneo com a tectonização podendo permanecer após a estruturação final da bacia. A distribuição dos valores médios do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) observada tanto para os sectores central e oriental como para o sector onde se verificou a anomalia térmica, pode ser explicada por um processo de incarbonização desta natureza o que, por outro lado, parece ser mais coerente com o modelo tectono-sedimentar admitido para a bacia.

Sendo assim, e em giza de síntese, a incarbonização ter-se-ia iniciado a ocidente, numa fase ante-tectónica e em relação com um gradiente geotérmico anómalo ($55^\circ\text{C}/\text{km}$) que conduziu à aquisição, por parte dos carvões deste sector, de um grau de incarbonização correspondente a um valor médio do poder aleatório (\bar{R}_a) de cerca de 0,8% a que se seguiu a implantação local de doleritos que, na zona de contacto com o carvão, produziram coques naturais e, muito provavelmente, uma pré-antracitização do sector. Esta fase pode ter sido, aliás, contemporânea da sedimentação da Unidade Aurora no depocentro seguinte, o que explicaria a ausência de sedimentos desta unidade litoestratigráfica no sector ocidental. À medida que se processava toda a sedimentação e tectonização nos sectores central e oriental da bacia, o gradiente geotérmico do sector ocidental aumentaria significativamente ($80^\circ\text{C}/\text{km}$ a $90^\circ\text{C}/\text{km}$) devido à instalação progressiva de um corpo ígneo cuja implantação se tinha iniciado na fase anterior e que viria a ser responsável pela incarbonização final dos carvões em toda a bacia.

7. Classificação dos carvões da Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel

Como complemento ao estudo dos carvões desta bacia e tendo em consideração as variações observadas no grau de incarbonização e na composição petrográfica das camadas com maior significado económico, procuramos agrupá-los de acordo com critérios de seriação comuns procedendo, para tal, à sua classificação individual de acordo com a Classificação Internacional dos Carvões em Camada da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas (CEE-NU) (Sousa & Pinheiro 1992) baseada na Classificação de Alpern para os combustíveis sólidos (Alpern 1979, 1981, Alpern & Sousa 1987, Alpern et al. 1988, 1989, Sousa et al. 1992). As Figuras 99 e 100 ilustram a versão actual da referida classificação.

No que respeita ao Grau e atendendo à gama de incarbonização apresentada por estes carvões ($\bar{R}_a \geq 0,6\%$), o parâmetro utilizado na classificação foi o valor médio do poder reflector médio aleatório da vitrinite (\bar{R}_a) (Sousa & Pinheiro 1992). A Categoria, estabelecida de acordo com o teor em cinzas do carvão tal qual, calculado na base sobre seco (c (AT) [s] % massa), apenas pôde ser determinada em alguns casos, uma vez que os dados disponíveis, fornecidos pelo Laboratório de Análises Químicas da ENCASUR, não cobriam a totalidade das amostras estudadas. Quanto à Composição Petrográfica este sistema de classificação circunscreve-se à simples enumeração das percentagens, em volume, dos três grupos de macerais determinados na base sem matéria mineral (análise maceral [smm] % volume). Decidimos, porém, completar a nossa informação a este respeito apresentando os carvões estudados também nos sistemas propostos, quer pelo Grupo Nacional Alemão (G.N.A.), quer na proposta de 1990 da CEE-NU (Sousa et al. 1992).

Os resultados obtidos (Quadro 29 e Fig. 101) reflectem alguns dos aspectos referidos nos capítulos precedentes, quer no que respeita às diferenças identificadas no grau de incarbonização, nomeadamente para os carvões do sector ocidental da bacia, onde uma mesma camada pode ser classificada de modo diferente em relação a este atributo, quer, ainda, às oscilações de composição, tanto no que diz respeito às variações observadas em relação às percentagens de matéria mineral (aqui traduzidas pelos diferentes teores em cinzas), como as que reflectem variações das percentagens dos principais constituintes orgânicos, particularmente quando se utiliza o sistema de classificação do Grupo Nacional Alemão.

Assim, e de acordo com estes resultados, podemos destacar o seguinte:

1- No que respeita ao Grau, nos sectores central e oriental da bacia todos os carvões aparecem incluídos no grupo dos Carvões Orto-Betuminosos (Carvões de Grau Médio C) qualquer que seja a camada ou zona considerada, o mesmo não acontecendo no sector ocidental onde os carvões cobrem uma gama de incarbonização que varia desde os Carvões per-Betuminosos às Orto-Antracites (Carvões de Grau Médio A a Carvões de Grau Superior B). A Camada S.Rafael é, no sector ocidental, a que apresenta maior dispersão quando classificada em relação a este atributo embora, na maior parte dos casos, as amostras estudadas se integrem no grupo correspondente às Para-Antracites (Carvões de Grau Superior C) grupo que representa, aliás, a maioria dos carvões deste sector. As Orto-Antracites só ocorrem nesta camada na zona da Mina María, enquanto os carvões per-Betuminosos aparecem, de um modo geral, distribuídos aleatoriamente em todas as camadas ou unidades de carvão, nomeadamente na Unidade S.Rafael na Mina Rampa 3W e na Unidade Cervantes. A Unidade Mellizo constitui a única excepção a esta regra sendo integralmente constituído por Carvões per-Betuminosos.

2- No que respeita à Composição Petrográfica, os grupos estabelecidos com base em cada um dos dois sistemas de classificação referidos são claramente distintos, encontrando-se uma razoável diferenciação dos "tipos" de carvão para o sistema proposto pelo Grupo Nacional Alemão (Fig.101a), enquanto que no sistema da CEE-UN de 1990 (Fig.101b) se reflecte uma identidade de composição que, embora real, não traduz minimamente as variações verificadas em relação às condições ambientais de sedimentação, nomeadamente para os Carvões Orto-Betuminosos dos sectores central e oriental da bacia. No sistema alemão os carvões do sector ocidental aparecem classificados nos grupos Vitríptico e Vitrinertítico (V) sendo nítida a diferenciação entre camadas com composições petrográficas claramente distintas como, por exemplo, as camadas Cervantes e Suelos, integradas respectivamente no grupo Vitríptico e Vitrinertítico (V) (veja-se Quadro 29), enquanto que no sistema da CEE-NU 1990 todos os carvões deste sector aparecem apenas classificados como Víttricos. Por outro lado, os Carvões Orto-Betuminosos dos sectores central e oriental aparecem, no primeiro sistema de classificação referido, integrados nos grupos ricos em vitrinite e, em particular, nas áreas correspondentes aos carvões Claríticos e Trimaceríticos o que traduz, claramente, a sua composição em grupos de macerais e de microlitótipos e, consequentemente, as características dos ambientes de sedimentação associados. Em contrapartida, no sistema de classificação da CEE-NU de 1990, a maior parte destes carvões são

apenas classificados como Vítricos (veja-se Quadro 29) e, pior ainda, alguns deles seriam designados por Trimacéricos (L) o que está claramente em desacordo com a sua composição. Com efeito e apesar de, com uma certa frequência, apresentarem percentagens razoáveis de liptinite, nunca evidenciam níveis elevados de trimacerite líptica sendo, pelo contrário, caracterizados pela presença de vitrite e clarite e/ou trimacerite ricas em vitrinite nas quais a liptinite (esporinite ou resinite) se distribui.

Por outra parte a Classificação Internacional dos Carvões em Camada da CEE-NU utiliza, actualmente, como limite entre os carvões bandados (Húmicos) e os não-bandados (Sapropélicos) um valor para a percentagem de liptinite igual ou superior a 25% o que, a ser aplicado a esta bacia, conduziria a considerar alguns destes carvões como sapropélicos, mesmo nos casos em que a liptinite é parcialmente representada por resinas ocupando os lúmenes celulares das telinites como, por exemplo, na Camada 1 da Unidade Cabeza de Vaca. Ora, todas as características petrográficas determinadas para estes carvões e, em particular, as elevadas percentagens de telocolinite presentes, a par do aspecto bandado apresentado por todos os carvões da bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel não apontam para ambientes de sedimentação compatíveis com o aparecimento de carvões sapropélicos. O que se deixa dito é, quanto a nós, um bom exemplo que milita a favor da necessidade de diferenciar os carvões húmicos dos sapropélicos com base em critérios múltiplos e, nomeadamente, em critérios ambientais, não nos parecendo pois, útil, utilizar o limite simplesmente baseado na percentagem de liptinite.

3- No que respeita à Categoria, os elevados teores em cinzas apresentados pela grande maioria dos carvões desta bacia, conduz a uma dispersão extremamente acentuada da classificação em relação a este atributo, encontrando-se desde Carvões de Categoria Superior a Rochas Carbonosas. Esta dispersão existe para uma mesma camada sendo muito difícil caracterizar, deste ponto de vista, cada camada individualmente. Com efeito, e apresentando apenas alguns exemplos, a Camada S.Rafael aparece representada por Carvões de Categoria Média, Inferior e Muito Inferior à semelhança do que acontece com a Camada Suelos embora, no primeiro caso, os Carvões de Categoria Média dominem sobre os restantes ao contrário do segundo caso onde os Carvões de Categoria Inferior e Muito Inferior são mais abundantes. Curiosamente, as únicas amostras classificadas como sendo de Categoria Superior pertencem às camadas 1 e 2 da Unidade Cabeza de Vaca.

A relação entre o teor em cinzas (% massa) e as percentagens de matéria mineral (% volume) foi analisada por regressão linear (Fig. 102) tendo-se verificado existir uma correlação com algum significado nos carvões cuja matéria mineral é exclusivamente representada por minerais da argila ($r = 0,80$), como no caso dos Carvões Orto-Betuminosos dos sectores central e oriental da bacia, o mesmo não acontecendo para os carvões do sector ocidental da bacia onde a matéria mineral tem uma participação importante de carbonatos ($r = 0,41$). Considerando a totalidade dos carvões, a correlação não é muito diferente da determinada no primeiro caso ($r = 0,71$). Embora a dispersão dos pontos relativamente ao modelo matemático seja algo acentuada, não restam dúvidas de que, para carvões com percentagens significativas de carbonatos, a relação entre o teor em cinzas (AT [s] % de massa) e a quantidade de matéria mineral (% em volume determinada petrograficamente) presente no carvão é, fundamentalmente, diferente da que existe quando esta é essencialmente constituída por minerais da argila, o que aliás, seria de esperar tendo em conta os conhecidos estudos clássicos do foro exclusivamente químico conduzidos por Parr (Parr 1937) e que conduziram às não menos conhecidas "fórmulas de Parr". Os factos ora verificados com base simultaneamente petrográfica e química, muito embora digam apenas respeito a uma só bacia, são suficientes para afirmar que, a nosso ver, não é geologicamente correcto considerar o limite entre Rocha Carbonosa e Carvão exclusivamente baseado no teor em cinzas, muito especialmente numa classificação que se pretende de âmbito "internacional" e na qual o carvão é essencialmente encarado como uma entidade petrográfica.

8. Conclusões

A Bacia de Peñarroya-Belmez-Espiel situada em Espanha na província de Andaluzia (Córdoba, Espanha) constitui actualmente uma estreita faixa (cerca de 1km de largura) que se prolonga por cerca de 50 km de comprimento, com orientação paralela às estruturas dos terrenos do Precâmbrico e Paleozóico inferior das zonas Centro-Ibérica e Ossa Morena e corresponde a uma bacia intramontanhosa, preenchida por cerca de 1500 m de sedimentos de fácies exclusivamente continental, cuja sedimentação se terá efectuado, em sucessivos depocentros, durante o intervalo de tempo compreendido entre o Vestefaliano A (Langsetiano) tardio e o Vestefaliano B (Duckmanciano) inferior. A abertura da bacia ter-se-ia iniciado a ocidente sobre um substracto centro-ibérico e em relação directa com o movimento contínuo da falha que separa as duas zonas paleogeográficas acima referida, falha esta que se manteria como bordo activo no decurso de toda a evolução sedimentar da bacia. Durante todo este processo, a sedimentação inicialmente concentrada a NW (Depocentro I), foi-se deslocado progressivamente para SE, processando-se em sucessivos depocentros (depocentros II, III e IV) cujas relações mútuas estão, ainda, pouco esclarecidas.

As sequências litológicas definidas para os depocentros II, III e IV são, em termos globais, iniciadas por depósitos de leques aluviais (brechas e outros conglomerados) aos quais se seguem sedimentos de fácies fluvial e de planície de inundação que, geralmente, terminam por níveis lutíticos lacustres, mais frequentes e possantes junto ao bordo SW da bacia, o que indica um basculamento generalizado do substracto nessa direcção. A sucessão estratigráfica do Depocentro II é essencialmente representada, da base para o topo, pela Unidade S.Rafael com sedimentos de fácies fluvial (sequências da Camada Suelos) que evoluem para sedimentos de planície de inundação e lacustres (sequências das camadas Techo e S.Rafael), ao qual se sobrepõe um importante intervalo lacustre, interrompido por um episódio aluvial com alguns níveis de carvão associados (eventualmente representado pela Unidade Pardo), e que culmina com a sedimentação da Unidade Cervantes. Nos depocentros III e IV a que correspondem as unidades Aurora e Albardado/Juliana, a sedimentação é fundamentalmente representada por sequências de fácies fluvial, por vezes agrupadas em mesossequências que, globalmente, são caracterizadas por um aumento da frequência dos sedimentos lutíticos para o topo, onde aparecem intercalados os níveis de carvão. Na base da sucessão definida para a Unidade Aurora (mesossequência inferior) situa-se a Unidade Las Muchachas à qual se segue, na zona de Belmez, o Intervalo da

Camada 3 que se admite ocupar sensivelmente o mesmo nível estratigráfico da Unidade Cabeza de Vaca. Para tecto desenvolve-se, na zona de Belmez, nova mesossequência onde se integra o Intervalo da Camada 6 e, para sudeste, na zona de Espiel, a sucessão continua-se com a sub-unidade Candelaria, no topo da qual se intercala a camada com o mesmo nome e, mais para o topo ainda, a sub-unidade Sucia (Intervalo Sucia) com vários níveis de carvão associados.

A inexistência de evidências claras de que a sedimentação relacionada com um determinado depocentro esteja em continuidade com a do depocentro anterior, associado ao facto da Unidade Las Muchachas, situado na parte inferior da sucessão da Unidade Aurora, se sobrepôr, discordantemente, sobre a Camada Cervantes/Antolín claramente dobrada e representando a parte superior da série sedimentar depositada no depocentro anterior, aponta para uma estruturação diferenciada dos sedimentos depositados em cada um destes depocentros, o que implica a presença de um tectonismo activo durante toda a sedimentação que poderá ter induzido uma independência dos processos sedimentares em cada polo.

Estruturalmente, a bacia aparece organizada em dois flancos, um em posição normal, localizado no bordo NE e suavemente inclinado para sudoeste e, o outro, SW, em posição invertida, verticalizado e intensamente tectonizado sobre o qual se encontra cavalgada uma série marinha do Namuriano inferior, esta em posição estratigráfica normal. Este conjunto repete-se, para sudoeste, sob a forma de lentículas tectónicas. O flanco normal é representado, no sector ocidental, pela Unidade Cervantes e a leste, nos sectores central e oriental, por todos os intervalos integrados nas unidades Aurora e Albardado/Juliana, com excepção da Unidade Cabeza de Vaca que, no sector central, representa o flanco invertido. A ocidente, o flanco invertido é essencialmente constituído pela Unidade S.Rafael que se repete, para sudoeste, na Unidade Tectónica de María onde se associa às unidades Pardo, Mellizo e María.

Os carvões da bacia integrados, como se viu, em vários níveis das sequências sedimentares associadas a cada depocentro reflectem, necessariamente, os condicionalismos tectono-sedimentares descritos, sendo o seu estudo petrográfico extremamente útil na caracterização dos ambientes de sedimentação presentes e, mesmo, fundamental para o estabelecimento das leis gerais de evolução térmica da bacia.

Este estudo foi, por conseguinte, orientado no sentido de obter informações quanto à composição de cada unidade, intervalo ou camada de modo a facilitar correlações em zonas onde existiam ambiguidades de natureza geológico-estratigráfica e, por outro lado, para a individualização de fácies petrográficas e consequente caracterização dos ambientes de sedimentação associados e, simultaneamente, com vista a definir as leis gerais de incarbonização da bacia. A complexidade estrutural observada em algumas zonas a par das anomalias de incarbonização identificadas ao longo de toda a bacia obrigaram, no entanto, ao estudo petrográfico sectorial de que resultou uma análise intensiva e pormenorizada de cada unidade cujos resultados foram comparados em cada zona da bacia.

Na análise da composição petrográfica, a metodologia adoptada foi, fundamentalmente, a mesma para todos os carvões da bacia, embora nos sectores mais incarbonizados a análise de microlitótipos não tivesse sido, obviamente, possível. Para cada caso, foi feita uma análise quantitativa pormenorizada dos constituintes presentes (macerais+matéria mineral e/ou microlitótipos), sendo os resultados lançados em diagramas interpretativos criteriosamente escolhidos com vista à comparação dos carvões estudados e que possibilitaram a caracterização através da composição petrográfica e a análise de fácies para todas as camadas e unidades do mesmo sector. Simultaneamente, procedeu-se a uma análise estatística dos resultados (Análise Factorial e Discriminante) de forma a verificar se os critérios petrográficos (índices ou associação de constituintes) escolhidos, com base na observação microscópica, para a caracterização e individualização dos diferentes grupos de carvões, correspondiam, efectivamente, aos critérios com maior significado estatístico.

O grau de incarbonização foi, em todos os carvões, medido a partir dos valores médios do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) da vitrinite (telocolinite) cuja relação com as coordenadas geográficas das amostras foi analisada por regressão linear e, simultaneamente, evidenciada através de diagramas de variação.

Para cada sector calcularam-se mapas de iso-reflectância que permitem ter uma ideia da distribuição regional do grau de incarbonização. No sector ocidental, procedeu-se ainda ao estudo petrográfico dos coques naturais produzidos no contacto com rochas doleríticas localizadas na sua maioria na área ocupada pela Camada Cervantes.

Com base na composição petrográfica (análise maceral), grau de incarbonização e teor em cinzas das diferentes amostras foi, ainda, possível, utilizando a Classificação

Internacional para os Carvões em Camada da CEE-NU , classificar todas as camadas com maior significado na bacia e definir áreas de ocorrência preferencial de carvões com determinadas características.

Tendo em atenção todos os estudos efectuados acima referidos podemos tirar as seguintes **CONCLUSÕES**:

1. O estudo da Composição Petrográfica efectuado no Sector Ocidental da Bacia permitiu, em termos globais, retirar as seguintes conclusões:

(i) **As variações da composição petrográfica dependem, essencialmente, de oscilações nas percentagens de vitrinite e de matéria mineral que, por sua vez, representam os constituintes mais comuns. Todos os carvões, mesmo os que apresentam percentagens elevadas de matéria mineral, são extremamente ricos em vitrinite, nomeadamente em telocolinite, o que conduz a uma homogeneidade de composição que dificulta a individualização das diferentes camadas. A diferenciação só é possível com base nas percentagens relativas de inertinite e, dentro deste grupo, pela presença ou não de micrinite. Este critério só tem significado quando aplicado na mesma unidade, uma vez que, em diferentes níveis da sucessão estratigráfica e, nomeadamente, em unidades diferentes, existem carvões com composições muito semelhantes cuja comparação não pode ser efectuada de ânimo leve. A individualização de camadas pela Análise Discriminante, apesar de ser prejudicada pela variabilidade de composição evidenciada permitiu, de um modo geral, a distinção entre grupos de carvões com afinidades comuns.**

(ii) **No conjunto dos carvões do sector e, independentemente, das camadas ou unidades presentes, foram considerados três "tipos" petrográficos principais:**

T1-Carvões com micrinite e com percentagens de inertinite relativamente elevadas, representados pelas camadas Suelos e Intermédia Sur da Unidade S.Rafael nas Minas María e Cervantes e na Mina Rampa 3 W, respectivamente, pelos níveis N5 a N7 a tecto da Camada Cervantes e pela Unidade Pardo.

T2-Carvões sem micrinite ou com percentagens muito baixas deste constituinte e com percentagens de inertinite variáveis, representados pelas camadas Techo, S.Rafael, Intermédia Norte e Muro da Unidade S.Rafael nas Minas María e Cervantes e na Mina Rampa 3 W, respectivamente, e pela Unidade María.

T3-Carvões sem micrinite, com percentagens de inertinite muito reduzidas e essencialmente constituídos por vitrinite e matéria mineral singenética, representados pela Camada Cervantes, pelos níveis N1 a N4 a tecto desta camada e pela Unidade Mellizo.

(iii) Com base nas características apontadas em (ii) e em alguns dados de natureza geológica (estratigráficos e estruturais) foi possível efectuar as seguintes correlações:

A - Camada Suelos da Unidade S.Rafael situada nas minas María e Cervantes com a Camada Intermédia Sur localizada na Mina Rampa 3 W, o que conduziu à consequente correlação entre as camadas Techo e S.Rafael, da Unidade S.Rafael das minas María e Cervantes e as camadas Intermédia Norte e Muro da Mina Rampa 3W;

B - Unidade Mellizo situada na Mina María, com os níveis de carvão de N1 a N4 localizados a tecto da Camada Cervantes e da Unidade Pardo com os níveis de carvão de N5 a N7 situados a tecto da mesma camada.

(iv) A análise de fácies, efectuada com base na composição maceral (relação entre os índices de gelificação e de preservação de tecidos), mostra uma tendência geral para ambientes de tipo palustre, com condições de gelificação que aumentam, progressivamente, da Unidade S.Rafael para a Camada Cervantes e condições de preservação de tecidos muito variáveis em cada camada (Fig. 59). Nenhum dos carvões estudados apresenta características que permitam a sua relação com ambientes claramente lacustres, embora algumas camadas evidenciem, pontualmente, composições que podem ser interpretadas em relação com zonas lacustres marginais (Camada S.Rafael na Mina Rampa 3W e Camada Cervantes).

2. O estudo da Composição Petrográfica efectuado nos Sectores Central e Oriental da Bacia permitiu chegar às seguintes conclusões:

- (i) **A caracterização e individualização das camadas e intervalos de carvão destes sectores é possível, tanto por via estatística como petrográfica sendo, neste último caso, mais eficaz, conjugando os resultados da análise maceral com os obtidos na análise de microlitótipos. Os critérios distintivos baseiam-se, fundamentalmente, nas proporções de matéria mineral singenética e no tipo e quantidade de detritos orgânicos nela disseminados (percentagens relativas de carbominerite e minerite), na percentagem e natureza de liptinite e de inertinite presentes e, ainda, na proporção relativa de desmocolinite e de vitrodetrinite quando comparada com a percentagem dos microlitótipos onde mais frequentemente se integram (clarite e trimacerite).**
- (ii) **Com base nestes critérios foi possível considerar três "tipos" petrográficos fundamentais:**

T4- Carvões muito ricos em matéria mineral singenética, parcialmente associada, sob a forma de carbominerites, à desmocolinite e à vitrodetrinite, com percentagens de inertinite baixas e de liptinite variáveis e, onde, de um modo geral, a clarite domina sobre a trimacerite. Estes carvões são representados pela Unidade Las Muchachas e Intervalo da Camada 6 de Belmez, pela Camada 5 e, ainda, por parte da Camada 4 da Unidade Cabeza de Vaca.

T5- Carvões igualmente ricos em matéria mineral singenética que se associa a detritos orgânicos originários dos três grupos de macerais, com percentagens elevadas de liptinite, quase exclusivamente representada por esporinite, onde a inertode-trinite é significativa e, nos quais, a trimacerite é mais importante do que a clarite. Quando observados em fluorescência libertam, frequentemente, hidro-carbonetos. Estes carvões são exclusivamente representados pelo Intervalo Sucia.

T6- Carvões pobres em matéria mineral singenética, com inertinite e liptinite em percentagens variáveis mas tendencialmente elevadas, desmocolinite superior à vitrodetrinite e trimacerites e/ou clarites muito abundantes. Este grupo integra a Camadas 3bis e parte da Camada 1 da Unidade Cabeza de Vaca e a Camada Candelaria.

- (iii) As fácies petrográficas definidas com base na composição maceral, apontam para regimes essencialmente limno-telmáticos e telmáticos que indicam ambientes de deposição muito húmidos, com boas condições de gelificação mas onde a preservação de tecidos é variável (Figs. 65, 77 e 88). Estes ambientes, determinados, por sua vez, com base na composição em microlitótipos, distribuem-se entre os domínios associados a sistemas fluviais e de lagos confinados (Figs. 67, 68, 79, 80, 90 e 91). Nos carvões do "tipo" T4, a pobreza em inertinite, a natureza da matéria orgânica disseminada na matéria mineral, predominantemente vitrinite, e a presença frequente de resinas na telinite indicam ambientes muito redutores que podem ser relacionados com zonas palustres de floresta. Nos carvões do "tipo" T5, a variedade de detritos orgânicos associados a minerais da argila, as percentagens mais elevadas de inertinite e, principalmente, o elevado conteúdo em liptinite (esporinite) a par da facilidade com que libertam hidrocarbonetos quando observados em fluorescência, traduzem a presença de ambientes mais abertos provavelmente de tipo lacustre. Para os carvões do "tipo" T6 os ambientes são bastante mais confinados, com muita água e ótimas condições de gelificação e onde o aporte de matéria mineral é pouco significativo.
- (iv) Analisando o enquadramento de todas as camadas e unidades no contexto estratigráfico da Unidade Aurora verifica-se não existir uma tendência específica na distribuição dos tipos petrográficos acima definidos. As fácies petrográficas estabelecidas para as unidades integradas na mesossequência inferior indicam a ocidente, ou seja, na Unidade Las Muchachas, a presença de um ambiente palustre de floresta com muita água enquanto que a Unidade Cabeza de Vaca evolui, de muro para tecto, de ambientes marginais na Camada 1 para ambientes mais confinados na Camada 3bis passando, mais para o topo, a ambientes palustres de floresta que, na Camada 4, mostram ainda transições para ambientes confinados mas, na Camada 5, se relacionam, claramente, com sistemas fluviais. Na segunda mesossequência o Intervalo da Camada 6 de Belmez e a Camada Candelaria representam ambientes de sedimentação completamente distintos, no primeiro caso relacionados com pântanos de floresta e, no segundo, com ambientes subaquáticos confinados (pequenos lagos). O Intervalo Sucia mostra uma composição diferente das anteriores que traduz condições ambientais bastante mais dinâmicas e, possivelmente, relacionadas com zonas lacustres marginais. Tanto o Intervalo da

Camada 6 de Belmez como o Intervalo Sucia podem ainda ser interpretados como tendo resultado de sucessivas fases de incursão lacustre sobre zonas essencialmente pantanosas, no primeiro caso, e marginais, no segundo, em fases mais instáveis da história tectónica da bacia.

3. No que respeita ao estudo do Grau de Incarbonização, e tendo, neste caso, em consideração os resultados obtidos em toda a bacia, podemos destacar o seguinte:

- (i) A incarbonização é independente da posição estratigráfica ocupada pelas diferentes unidades e camadas, evidenciando, contudo, uma clara tendência para aumentar de oriente para ocidente da bacia, encontrando-se carvões cujo valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) da vitrinite varia entre 0,55% e 3,20%. Os valores máximos situam-se no sector ocidental e, nomeadamente, na zona da Mina María onde, o grau de incarbonização é, claramente, condicionado pela profundidade, sendo a anisotropia de reflexão máxima. Para ocidente e para oriente a incarbonização decresce, deixando de apresentar uma relação significativa com a profundidade, qualquer que seja o enquadramento geotectónico considerado.**
- (ii) O estudo petrográfico dos coques naturais produzidos no contacto do carvão com rochas doleríticas, preferencialmente localizados na zona oriental da Camada Cervantes, e, em particular, as proporções relativas das texturas isotrópicas (dominantes) e anisotrópicas (raras) e a forma e distribuição observadas nos poros de desvolatilização da vitrinite (elípticos e preferencialmente orientados paralelamente ao plano axial de microdobras), a par das relações estruturais observadas entre carvão, coque e rocha ígnea (dobradas em conjunto), permitiram salientar, no sector ocidental da bacia, uma fase de incarbonização ante-tectónica que teria conduzido a um grau de incarbonização equivalente a um valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) situado entre 0,70% e 0,85%.**
- (iii) Atendendo a todos os condicionalismos tectónicos e estratigráficos e aos aspectos referidos em (i) e (ii) foi possível fasear a incarbonização e inferir as temperaturas e os gradientes de incarbonização e paleogeotérmicos e, por integração de todos os resultados ao longo da bacia, definir as seguintes fases de evolução térmica da mesma:**

F1- Fase de incarbonização processada durante ou imediatamente após a sedimentação no sector ocidental da bacia em relação com um gradiente geotérmico anómalo (55°C/km), provavelmente devido à implantação de um corpo ígneo em profundidade e que conduziu à aquisição, por parte dos carvões deste sector, de um grau de incarbonização correspondente a um valor médio do poder reflector aleatório (\bar{R}_a) de cerca de 0,8%.

F2- Fase processada na sequência da primeira, de âmbito local e relacionada com a implantação de rochas doleríticas numa fase precoce da tectonização do sector ocidental e que poderá ser responsável por uma pré-antracitização.

F3- Fase claramente pós-tectónica associada, no sector ocidental, a um gradiente geotérmico extraordinariamente elevado (80°C/km a 90°C/km) provavelmente devido à implantação progressiva de um corpo ígneo em profundidade que veio a condicionar a incarbonização em toda a bacia tal como a podemos hoje reconhecer.

4. Considerando globalmente todos os estudos efectuados, entedemos destacar o seguinte quanto aos carvões da Bacia de Penãroya-Belmez-Espiel:

- 1 - *Cobrem uma gama de incarbonização que vai desde os Carvões Orto-Betuminosos (Carvões de Grau Médio C) às Orto-Antracites (Carvões de Grau Superior B), com um iato na zona dos Carvões Meta-Betuminosos (Carvões de Grau Médio B) provavelmente devido à ausência de amostragem no sector de Antolín.*
- 2 - *São muito ricos em vitrinite, essencialmente telocolinite e, por vezes, em matéria mineral singenética, apresentando, com frequência, percentagens de liptinite (esporinite e/ou resinite) bastante elevadas. A inertinite é, de um modo geral, o constituinte com valor percentual mais baixo, embora a sua natureza e proporção relativa se tenham revelado como fundamentais na caracterização e individualização dos carvões mais evoluídos.*
- 3 - *A sua deposição foi, essencialmente, processada em relação com com sistemas aluviais, em pântanos de floresta muito protegidos e com óptimas condições de gelificação e de preservação de tecidos e, mais raramente, em lagos confinados*

ou em zonas marginais. Os carvões situados na parte superior das sucessões estratigráficas (Unidade Aurora) reflectem uma variabilidade ambiental mais acentuada e uma maior instabilidade tectónica que se traduz por um aumento significativo da quantidade de matéria mineral singenética.

- 4 -** *A sua evolução por incarbonização está relacionada com a presença de anomalias térmicas importantes, claramente evidenciadas no sector ocidental da bacia, onde se definiram três fases sequenciais de incarbonização: a primeira, ante-tectónica, processada em relação com um gradiente geotérmico anómalo e responsável pelo aparecimento de Carvões Orto-Betuminosos; a segunda, de âmbito local, associada à implantação de rochas doleríticas e responsável por uma pré-antracitização; e a terceira, pós-tectónica, responsável pela antracitização do sector ocidental e provavelmente relacionada com a instalação progressiva de um corpo ígneo em profundidade que veio a condicionar toda a incarbonização dos sectores central e oriental da bacia.*

Referências

- ALPERN, B., 1967. Quelques applications géologiques du pouvoir réflecteur des charbons. Centre d'Études et Recherches des Charbonnages de France. Verneuil-en-Halatte. (Document intérieur CERCHAR N° 1768).
- ALPERN, B., 1969. Le pouvoir réflecteur des charbons français. Applications et répercussions sur la théorie de A.Duparque. *Ann. Soc. géol. Nord*, **89**, 2: 143-146.
- ALPERN, B., 1970. Classification pétrographique des constituants organiques fossiles des roches sédimentaires. *Rev. Inst. Franç. Pétr. Ann. Combust. liq.*, **25**, 11: 1233-1266.
- ALPERN, B., 1972. Pétrographie des charbons. Bilan des progrès acquis de 1967 à 1971. *C. R. Congr. internat. Stratigr. Géol. Carbonif.*, 7°, Krefeld, 1971. Vol. 1. p. 91-126. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen. Krefeld.
- ALPERN, B., 1979. Essai de classification des combustibles fossiles solides. *Publ. tech.*, **3**: 195-210. (Publication CERCHAR N°. 2810).
- ALPERN, B., 1980. Pétrographie du Kérogène. In: B.DURAND, Ed., *Kerogen. Insoluble organic matter from sedimentary rocks*. p. 339-383. Technip. Paris.
- ALPERN, B., 1981. Pour une classification synthétique universelle des combustibles solides. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, **5**, 2: 271-290. (Journ. "La Géologie des Charbons, des Schistes bitumineux et des Kérogènes", Pau, 1981).
- ALPERN, B., 1987. Applications de la pétrographie des organoclastes à l'histoire géologique et thermique des bassins sédimentaires carbonés. *Mém. Soc. géol. France*, N.S., **151**: 55-75.
- ALPERN, B., NAHUYS, J., SOUSA, M.J.L., PINHEIRO, H.J., MARQUES, M.M., FLORES, D., MOREIRA, V. & JORGE, A., 1988. The application of the "Alpern Scientific Classification of Solid Fossil Fuels" to qualify gondwana coals from different basins. *Publ. Mus. Labor. miner. geol. Fac. Ciênc. Porto*, N.S., **1**: 5-31.
- ALPERN, B. & SOUSA, M.J.L., 1970. Sur le pouvoir réflecteur de la vitrinite et de la fusinite des houilles. *C.R. hebd. Séanc. Acad. Sci.*, Sér. D, **271**: 956-959.

- ALPERN, B. & SOUSA, M.J.L., 1987. Project of an International Scientific Classification of Solid Fossil Fuels. *Commun. Internat. Congr. Carbonif. Stratigr. Geol., 11th, Beijing, 1987.*
- ALPERN, B., SOUSA, M.J.L. & FLORES, D., 1989. A progress report on the Alpern Coal Classification. *In: P. C. LYONS & B. ALPERN, Eds, Coal: Classification, Coalification, Mineralogy, Trace-element Chemistry, and Oil and Gas Potential. Internat. J. Coal Geol., 13, 1/4: 1-19.*
- ALPERN, B., SOUSA, M.J.L., PINHEIRO, H.J. & ZHU, X., 1992. Optical Morphology of Hydrocarbons and Oil Progenitors in Sedimentary Rocks - Relations with Geochemical Parameters. *Publ. Mus. Labor. miner. geol. Fac. Ciênc. Porto, N.S., 3: 1-52.*
- ANDREIS, R.R. & WAGNER, R H., 1983. Estudio de abanicos aluviales en el borde Norte de la cuenca Westfaliense B de Peñarroya-Belmez (Córdoba). *In: M.J.L. SOUSA, Ed., Contributions to the Carboniferous Geology and Palaeontology of the Iberian Peninsula. p. 171-227. Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Mineralogia e Geologia. Porto.*
- APALATEGUI, O., BORRERO, J.D., DELGADO, M., ROLDAN, F.J. & SANCHEZ CARRETERO, R., 1985a. Mapa Geológico de España, 1:50 000: Villaviciosa de Córdoba (901, 15-36). Mapa y Memoria. 66 pp. Instituto. Geológico y Minero de España. Madrid.
- APALATEGUI, O., GARROTE, A., ROLDAN, F.J. & SANCHEZ CARRETERO, R., 1985b. Mapa Geológico de España, 1:50 000: Peñarroya-Pueblonuevo (879, 14-35). Mapa y Memoria. 62 pp. Instituto. Geológico y Minero de España. Madrid.
- APALATEGUI, O., HIGUERAS, P., PÉREZ-LORENTE, F. & ROLDAN, F.J., 1985c. Mapa Geológico de España, 1:50 000: Espiel (880, 15-35). Mapa y Memoria. 58 pp. Instituto. Geológico y Minero de España. Madrid.
- AS 2617-1983 - Guide for the taking of samples from hard coal seams in situ. 12 pp. Standards Association of Australia. North Sydney. New South Wales. 1983.

- ASTM Designation: D4596-86 - Standard Practice for Collection of Chanel Samples of Coal in the Mine. In: *1992 Annual Book of ASTM Standards, Section 5, Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels, Vol. 05.05, Gaseous Fuels; Coal and Coke.* p. 407-408. American Society for Testing and Materials - ASTM. Philadelphia, Pa. 1992.
- ASTM Designation: D5192-91 - Standard Practice for Collection of Coal Samples from Core. In: *1992 Annual Book of ASTM Standards, Section 5, Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels, Vol. 05.05, Gaseous Fuels; Coal and Coke.* p. 465-468. American Society for Testing and Materials - ASTM. Philadelphia, Pa. 1992.
- BENEDICT, L.G., THOMPSON, R.R., SHIGO III, J.J., & AIKMAN, R.P., 1968. Pseudovitrinite in Appalachian coking coals. *Fuel*, **47**, 2: 125-143.
- BOSTICK, N. H., 1973. Time as a factor in thermal metamorphism of phytoclasts (coaly particles). *C. R. Congr. internat. Stratigr. Géol. Carbonif., 7^o, Krefeld, 1971.* Vol. 2. p. 183-193. Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen. Krefeld.
- BOSTICK, N.H., CASHMAN, S.M., McCULLOH, T.H. & WADDELL, C.T., 1979. Gradients of vitrinite reflectance and present temperature in the Los Angeles and Ventura Basins, California. In: D.F. OLTZ, Ed., *Low temperature metamorphism of Kerogen and clay minerals.* p. 65-96. Pacific Section S.E.P.M. Los Angeles, Ca.
- BROWN, H.R., COOK, A.C. & TAYLOR, G.H., 1964. Variations in the properties of vitrinite in isometamorphic coal. *Fuel*, **43**, 2: 111-124.
- BUNTEBARTH, G., 1983. Zur Paläogeothermie im Permokarbon der Saar-Nahe-Senke. *Z. Dt. geol. Ges.*, **134**: 211-223.
- BUNTEBARTH, G., GREBE, H., TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R., 1979. Inkohlungsuntersuchungen in der Forschungsbohrung URACH 3 und ihre geothermische Interpretation. *Fortschr. Geol. Rhein.- Westf.*, **27**: 183-199.
- BUNTEBARTH, G., KOPPE, I. & TEICHMÜLLER, M., 1982. Palaeogeothermics in the Ruhr Basin. In: V.C. FERMAK & R. HAENEL, Eds, *Geothermics and Geothermal Energy.* p. 45-53.

- BUNTEBARTH, G. & TEICHMÜLLER, M., 1982. Ancient Heat Flow Density Estimated from the Coalification of Organic Matter in the Borehole URACH 3 (SW-Germany). In: R. HAENEL, Ed., *The Urach Geothermal Project (Swabian Alb-Germany)*. p. 89-95. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). Stuttgart.
- COOK, A.C., MURCHISON, D.G. & SCOTT, E., 1972. Optically biaxial anthracitic vitrinites. *Fuel*, **51**: 180-184.
- COQUEL, R. & WAGNER, R.H., (in prep.). The early Westfalian intramontane basin of Peñarroya-Belmez-Espiel in Sierra Morena (SW Spain) and its microfloral assemblages.
- DAVIS, J.C., 1986. *Statistics and Data analysis in Geology*. 2nd Ed. 646 pp. John Wiley & Sons. New York, N.Y.
- DELATTRE, Ch. & MÉRIAUX, E., 1966. Sur un aspect particulier et sur une origine de la micrinite fine. *Ann. Soc. géol. Nord*, **86**: 187-188.
- DELGADO, F., JIMENEZ, A.J. & PÉREZ-LORENTE, F., 1980. Observaciones acerca del origen fluvio-glacial del conglomerado de Espiel (Namuriense-Westfaliense). Sierra Morena. España. In: *Temas Geológicos-Mineros (I Reun. Geol. Ossa-Morena, Bélmez (Córdoba), 1979)*. p. 101-120. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- DIESSEL, C.F.K., 1982. An Appraisal os Coal Facies Based on Maceral Characteristics. *Australian Coal Geol.*, **4**, 2: 474-483.
- DIESSEL, C.F.K., 1986. On the correlation between coal facies and depositional environments. In: *Sympos. Advance in the Study of the Sidney Basin Proc., 20th, Newcastle, 1986*. p. 19-22. The University of Newcastle, Department of Geology. Newcastle. (Publication N°. 246).
- FLORIN, R., 1936. On the structure of the pollen-grains in the Cordaitales. *Svensk Bot. Tidskrift*, **30**, 3: 624-651.
- GABALDÓN, V., GARROTE, A. & QUESADA, C., 1985. El Carbonífero Inferior del Norte de la Zona de Ossa-Morena (SW de España). *C.R. Congr. internat. Stratigr. Géol. Carbonif., 10^e, Madrid, 1983*. Vol. 3. p. 173-185. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

- GABALDÓN, V. & QUESADA, C., 1986. Exemples de bassins houillers limniques du Sud-Ouest de la Péninsule Ibérique: Évolution sédimentaire et contrôle structural. *Mém. Soc. géol. France*, N.S., **149**: 27-36.
- GARZA GOMEZ, A., 1982. La pétrographie des textures optiques des coques et ses applications. 117 pp. Université d'Orléans. Orléans. (Thèse).
- GOODARZI, F. & JERZYKIEWICZ, T., 1986. Petrology of a burning bituminous coal seam at Coalspur, Alberta. *Current Res.*, Part B: 421-427. (Geological Survey of Canada Paper 86-1B).
- GOODARZI, F., THOMAS, G. & BUSTIN, R.M., 1988. Reflectance and petrology profile of a partially combusted and coked bituminous coal seam from British Columbia. *Fuel*, **67**: 1218-1222.
- HACQUEBARD, P.A. & BARSS, M.S., 1970. Palaeogeography and facies aspects of the Minto Coal Seam, New Brunswick, Canada. *C.R. Congr. internat. Stratigr. Géol. Carbonif.*, 6^e Sheffield, 1967. Vol. 3. p. 861-872. Maastricht. Ernest van Aelst.
- HACQUEBARD, P.A. & DONALDSON, J.R., 1969. Carboniferous coal deposition associated with flood-plain and limnic environments in Nova Scotia. In: E.C. DAPPLES & M.E. HOPKINS, Eds, *Environments of Coal Deposition*. p. 143-191. The Geological Society of America. Boulder, Colo. (Special Paper N°. 114).
- HACQUEBARD, P.A., BIRMINGHAM, T.F. & DONALDSON, J.R., 1967. Petrography of Canadian Coals in Relation to Environment of Deposition. In: *Symposium on the Science and Technology of Coal, Ottawa, 1967*. p. 84-97. Department of Energy, Mines and Resources.
- HARVEY, R.D. & DILLON, J.W., 1985. Maceral distributions in Illinois coals and their paleoenvironmental implications. *Internat. J. Coal Geol.*, **5**: 141-165.
- HEVIA RODRIGUEZ, V., 1977. Le concept de la réflectivité moyenne statistique des substances anisotropes. Relations avec le rang des anthracites et de la matière organique dispersée dans les sédiments. In: R. CAMPOS & J. GOÑI, Eds, *Advances in Organic Geochemistry 1985*. (Actas Congr. internat. geoquím. orgán., 7^o. Madrid, 1985). p. 655-673. ENADIMSA. Madrid.

- HEVIA, V. & VIRGOS, J.M., 1977. The rank and anisotropy of anthracites: the indicating surface of reflectivity in uniaxial and biaxial substances. *J. Microsc.*, **109**, P. 1: 23-28.
- HILT, C., 1873. Des rapports existant entre la composition des charbons et leurs propriétés industrielles. *Ann. Assoc. Ing. Liège*, 5^a Sér., *Annexe 1*: 254-266. (Séance du 9 novembre).
- HOOD, A. & CASTANO, J.R., 1974. Organic metamorphism: Its relationship to petroleum generation and application to studies of authigenic minerals. *United Nations ESCAP, CCOP Techn. Bull.*, **8**: 85-118. (Committee for Co-ordination of Joint Prospecting for Mineral Resources in Asian Offshore Areas, December 1974).
- HOOD, A., GUTJAHR, C.C.M. & HEACOCK, R.L., 1975. Organic metamorphism and the generation of petroleum. *Amer. Assoc. Petr. Geolog. Bull.*, **59**, 6: 986-996.
- International Handbook of Coal Petrography. 2nd Ed. International Committee for Coal Petrology (ICCP). Centre National de la Recherche Scientifique. Academy of Sciences of the USSR. Paris, Moscow. 1963.
- International Handbook of Coal Petrography. Supplement to the 2nd Ed. International Committee for Coal Petrology (ICCP). Centre National de la Recherche Scientifique. Academy of Sciences of the USSR. Paris, Moscow. 1971.
- ISO 1988: 1975 - Hard coal - Sampling. 90 pp. International Organization for Standardization - ISO. Geneva. 1975.
- JIMÉNEZ, A.J., LEYVA, F., MARTÍN, L. & PÉREZ-LORENTE, F., 1980. Depósitos de ríos anastomosados en el Namuriense-Westfaliense de la cuenca carbonífera de Peñarroya-Bélmez-Espiel (Sector Bélmez-Espiel, Sierra-Morena, Córdoba). In: *Temas Geológico-Mineros (I Reun. Geol. Ossa-Morena, Bélmez (Córdoba), 1979)*. p. 71-98. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- KAEGI, D.D., 1981. Predicting coke stability from coal petrographic analyses. *Proc. Ironmaking Conf., 40th, Toronto Meet., 1981*. Vol. 40. p. 381-392. Ironmaking Division of the Iron & Steel Society, AIME. Warrendale, Penn.

- KAEGI, D.D., 1985. On the identification and origin of pseudovitrinite. *Internat. J. Coal Geol.*, 4, 4: 309-319.
- KALKREUTH, W.D. & LECKIE, D.A., 1989. Sedimentological and petrographical characteristics of Cretaceous strandplain coals: a model for coal accumulation from the North American Western Interior Seaway. In: P.C. LYONS & B. ALPERN, Eds, Coal: Classification, Coalification, Mineralogy, Trace-elements Chemistry, and Oil and Gas Potential. *Internat. J. Coal. Geol.*, 12, 1/4: 381-424.
- KALKREUTH, W.D., MARCHIONI, D.L., CALDER, J.H., LAMBERSON, M.N., NAYLOR, R.D. & PAUL, J., 1991. The relationship between coal petrography and depositional environments from selected coal basin in Canada. In: W. KALKREUTH, R.M. BUSTIN & A.R. CAMERON, Eds, Recent Advances in Organic Petrology and Geochemistry: a Symposium Honoring Dr. P. Hacquebard. *Internat. J. Coal Geol.*, 19, 1/4: 21-76.
- KARWEIL, J., 1956. Die Metamorphose der Kohlen vom Standpunkt der physikalischen Chemie. *Z. Dt. Geol. Ges.*, 107: 132-139.
- KARWEIL, J., 1975. The determination of paleotemperatures from the optical reflectance of coaly particles in sediments. In : B. ALPERN, Ed., *Colloq. internat. "Pétrographie de la Matière Organique des Sédiments, Relations avec Paléotempérature et le Potentiel Pétrolier"*, Paris, 1973. p. 195-203. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris.
- LAFFITTE, P., Ed., 1972. *Traité d'informatique géologique*. 624 pp. Masson. Paris.
- LEVINE, J.R., 1986. Deep burial of coal-bearing strata, Anthracite region, Pennsylvania: Sedimentation or tectonics? *Geology*, 14, 7: 577-580.
- LEVINE, J.R. & DAVIS, A., 1983. Tectonic history of coal-bearing sediments in eastern Pennsylvania using coal reflectance anisotropy. 314 pp. Coal Research Section, The Pennsylvania State University. University Park, Penn. (Special Research Report SR-118).
- LEVINE, J.R. & DAVIS, A., 1984. Optical anisotropy of coals as an indicator of tectonic deformation, Broad Top Coal Field, Pennsylvania. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 95, 1: 100-108.

- LEVINE, J.R. & DAVIS, A., 1989a. Reflectance anisotropy of Upper Carboniferous coals in the Appalachian foreland basin, Pennsylvania, U.S.A. *In*: P.C. LYONS & B. ALPERN, Eds, Coal: Classification, Coalification, Mineralogy, Trace-elements Chemistry, and Oil and Gas Potential. *Internat. J. Coal. Geol.*, **13**, 1/4: 341-373.
- LEVINE, J.R. & DAVIS, A., 1989b. The relationship of coal optical fabrics to Alleghanian tectonic deformation in the central Appalachian fold-and-thrust belt, Pennsylvania. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **101**: 1333-1347.
- LOPATIN, N., 1971. Temperature and geological time as factors in coalification. *Izvestija Akad. Nauk. SSSR, Ser., Geologicheskaya*, **3**: 95-106. (Traduzido por N.H. Bostick, Illinois State Geological Survey, February 1992).
- LOPATIN, N.V. & BOSTICK, N.H., 1974. The geologic factors in coal catagenesis. *In* : *Sympos. Nature of organic matter in recent and fossil sediments*. p. 79-90. "NauK" Press. Moscow. (Illinois State geological Survey, Reprint Series 1974/2).
- LUPPENS, J.A., WILSON, S. E. & STANTON, R.W., Eds, 1992. Manual on Drilling, Sampling, and Analysis of Coal. 61 pp. American Society for Testing and Materials - ASTM. Philadelphia, Pa. 1992.
- MARCHIONI, D. & KALKREUTH, W., 1991. Coal facies interpretations based on lithotype and maceral variations in Lower Cretaceous (Gates Formation) coals of Western Canada. *Internat. J. Coal Geol.*, **18**, 1/2: 125-162.
- MARTÍN, S.C. & SÚDRIA I TRIAY, C., 1987. El Carbón en España, 1770-1961. Una historia económica. 624 pp. Turner. Madrid.
- NAVALE, G.K. & MISRA, B.K., 1984. Significance of vitrinite/inertinite ratio in Lower Gondwana coals of Peninsular India. *In*: M.J.L. SOUSA, Ed., Symposium on Gondwana Coals, Lisbon, 1983. Proceedings and Papers. *Comun. Serv. geol. Portg*, **70**, 2: 257-263.
- NP 1011. 1989 - Combustíveis sólidos. Carvões. Determinação da humidade da amostra para análise. Método gravimétrico directo. Método ISO. 8 pp., Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1989.

- NP 1014. 1987 - Combustíveis sólidos. Carvões. Determinação da humidade da amostra para análise. Método volumétrico directo. 8 pp., Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1987.
- NP 1019. 1989 - Combustíveis sólidos. Carvões e coques. Determinação do teor em cinzas. Método ISO. 6 pp., Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1989.
- NP 3538-3. - Combustíveis sólidos. Carvões. Terminologia. Parte 3: Termos usados na determinação da composição petrográfica. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. Em publicação.
- NP 3539. 1987 - Combustíveis sólidos. Carvões e coques. Cálculo para as análises relativamente a diferentes bases. 11 pp., Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1987.
- NP 3605. 1992- Combustíveis sólidos. Carvões de grau médio e superior. Análise petrográfica. Determinação da composição em grupos de macerais. 10 pp., Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3606. 1992- Combustíveis sólidos. Carvões de grau médio e superior. Análise petrográfica. Determinação ao microscópio do poder reflector da vitrinite. 20 pp., Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3608. 1992 - Combustíveis sólidos. Carvões de grau médio e superior. Análise petrográfica. Preparação de amostras. 15 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3844. 1989 - Combustíveis sólidos. Carvões. Determinação da humidade total. Método ISO. 14 pp., Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1989.
- NP 3845. 1992 - Combustíveis sólidos. Carvões de grau médio e superior. Determinação da capacidade de retenção de humidade. Método ISO. 11 pp., Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- NP 3859 - Combustíveis sólidos. Carvões e coques. Determinação do poder calorífico superior pelo método da bomba calorimétrica e cálculo do poder calorífico inferior. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. Em publicação.

- NP 4218. 1992 - Combustíveis sólidos. Carvões de grau médio e superior. Análise petrográfica. Determinação da composição em microlitótipos, carbominerites e minerite. 15 pp. Instituto Português da Qualidade. Lisboa. 1992.
- ORTUÑO, M.G., 1970. Middle Westphalian strata in south-west Spain. *C.R. Congr. internat. Stratigr. Géol. Carbonif.*, 6°, Sheffield, 1967. Vol.3. p. 1275-1293. Maastricht. Ernest van Aelst.
- PARR, S.W., 1937. The Classification of Coals. *Fuel Sci. Pract.*, 16, 2: 52-58; 16,3: 72-85.
- QIU, H.G., 1983. La Microscopie optique quantifiée de la phase carboné des cokes. 111 pp. Université d'Orléans. Orléans. (Thèse).
- QUESADA, C., 1983. El Carbonífero de Sierra Morena. In: C. MARTÍNEZ DÍAZ, Coord., *Carbonífero y Pérmico de España*. p. 243-278. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. (10° Congr. internat. Estrat. Geol. Carboníf., Madrid, 1983).
- QUESADA, C. & GARROTE, A., 1983. Carboniferous geology of the Sierra Morena. Guidebook of Field Trip D. 104 pp. (Congr. internat. Stratigr. Géol. Carbonif., 10°, Madrid, 1983).
- QUESADA, C., ROBARDET, M. & GABALDON, V., 1990. Synorogenic Phase (Upper Devonian-Carboniferous-Lower Permian). In: R.D. DALLMEYER & E. MARTÍNEZ GARCÍA, Eds, *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. p. 273-279. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- RAYMOND, A.C. & MURCHISON, D.G., 1988. Development of organic maturation in the thermal aureoles of sills and its relation to sediment compaction. *Fuel*, 67, 12: 1599-1698.
- ROBERT, P., 1985. Histoire géothermique et diagenèse organique. 345 pp. Elf Aquitaine. Pau. (Bull. Centres Rech. Explor.- Prod. Elf-Aquitaine, Mémoire 8).
- SALIH, M.R. & LISLE, R.J., 1988. Optical fabrics of vitrinite and their relation to tectonic deformation at Ffos Las, South Wales Coalfield. *Ann. Tectonicae*, 2, 2: 98-106.

- SHIBAOKA, M., 1978. Micrinite and exudatinite in some Australian coals, and their relations to the generation of petroleum. *Fuel*, **57**: 73-78.
- SHIBAOKA, M., 1983. Genesis of micrinite in some Australian coals. *Fuel*, **62**: 639-644.
- SMITH, A.H.V., 1962. The Palaeoecology of Carboniferous Peats based on the Miospores and Petrography of Bituminous Coals. *Proc. Yorkshire geol. Soc.*, **33**, 4: 423-474.
- SMITH, A.H.V., 1968. Seam Profiles and Seam Characters. In : D. MURCHISON, & T.S. WESTOLL, Eds, *Coal and Coal-bearing strata*. p. 31-40. Oliver & Bloyd. Edinburg.
- SMYTH, M., 1984. Coal microlithotypes related to sedimentary environments in Cooper Basin, Australia. *Special Publication, Internat. Assoc. Sedimentol.*, **7**: 333-347.
- SOUSA, M.J.L., 1971. Sobre as primeiras medidas de poder reflector nas perantracites da Bacia Carbonífera do Douro (Minas de São Pedro da Cova-Gondomar-NW de Portugal). *Comun. Serv. geol. Portg.*, **55**: 181-220.
- SOUSA, M.J.L., 1977. Nota sobre a densidade das perantracites da Bacia Carbonífera do Douro (NW de Portugal). *Bol. Min.*, **14**, 1: 1-7.
- SOUSA, M.J.L., 1978a. Contribution à l'étude du Bassin Houiller du Douro (NW du Portugal). Atlas de micropétrographie des peranthracites. *Mem. Serv. geol. Portg.*, N.S., **26**: 3-92.
- SOUSA, M.J.L., 1978b. O grau de incarbonização («rang») dos carvões durienses e as consequências geológicas e estruturais que resultam do seu conhecimento. *Comun. Serv. geol. Portg.*, **63**: 179-365.
- SOUSA, M.J.L., 1979. Contribuição do estudo das perantracites durienses para o conhecimento das curvas gerais de incarbonização dos carvões norte-atlânticos. *Publ. Mus. Labor. miner. geol. Fac. Ciênc. Porto*, 4ª Sér., **91**: 253-265. (Reun. Geol. Oeste Peninsular, 6ª. Porto, 1979).
- SOUSA, M.J.L., 1985. Bases da classificação dos carvões fósseis. *Bol. Min.*, **22**, 3: 1-52.

- 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. *Publ. Mus. Labor. miner. geol. Fac. Ciênc. Porto*, N.S., 2: 1-61.
- SOUSA, M.J.L. & PINHEIRO, H.J., 1992. Os sistemas de Classificação e de Codificação dos carvões da Comissão Económica para a Europa (Nações Unidas)-Situação em 1992. *Publ. Mus. Labor. miner. geol. Fac. Ciênc. Porto*, N.S., 4.
- STACH, E., 1953. Der Inkohlungsprung im Ruhrkarbon. *Brennst.-Chem.*, 34: 353-355.
- STACH, E. & ALPERN, B., 1966. Inertodetrinit, Makrinit und Mikrinit. *Fortschr. Geol. Rhein.-Westf.*, 13, 2: 969-980.
- STACH, E., MACKOWSKY, M.-Th., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G., CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R., 1982. Stach's Textbook of Coal Petrology. 3th Ed. 535 pp. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.
- TAYLOR, G.H. & LIU, S.Y., 1987. Biodegradation in coals and other organic-rich rocks. *Fuel*, 66, 9: 1269-1273.
- TAYLOR, G.H. & LIU, S.Y., 1989. Micrinite - its nature, origin and significance. In: W. PICKHARDT, Ed., Erich Stach Memorial Issue. *Internat. J. Coal Geol.*, 14, 1/2: 29-46.
- TAYLOR, G.H., SHIBAOKA, M. & LIU, S., 1982. Characterization of huminite macerals. *Fuel*, 61, 12: 1197-1200.
- TEICHMÜLLER, M., 1974. Über neue Macerale der Liptinit-Gruppe und die Entstehung von Micrinit. *Fortschr. Geol. Rhein.- Westf.*, 24: 37-64. (Inkohlung und Erdöl. Beiträge der Kohlenpetrologie zur Prospektion auf Erdöl und Erdgas). (French translation in *Houillification et Pétrole. Contributions de la pétrologie des charbons à l'exploration de l'huile et du gaz naturel*. pp. 47-78. Traduction B.R.G.M. N° 5477).
- TEICHMÜLLER, M., 1989. The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology. In: P.C. LYONS & B. ALPERN, Eds, Coal: Classification, Coalification, Mineralogy, Trace-elements Chemistry, and Oil and Gas Potential. *Internat. J. Coal. Geol.*, 12, 1/4: 1-87.

- TEICHMÜLLER, M. & OTTENJANN, K., 1977. Liptinite und lipoide Stoffe in einem Erdölmuttergestein. Art und Diagenese von Liptiniten und lipoiden Stoffen in einem Erdölmuttergestein aufgrund fluoreszenz-mikroskopischer Untersuchungen. *Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochem. verein. Brennst.-Chem.*, **30**, 9: 387-398.
- TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R., 1981. The significance of coalification studies to geology - a review. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, **5**, 2: 491-534. (Journ. "La Géologie des Charbons, des Schistes bitumineux et des Kérogènes", Pau, 1981).
- TEICHMÜLLER, M. & WOLF, M., 1977. Application of fluorescence microscopy in coal petrology and oil exploration. *J. Microsc.*, **109**, P.1: 49-73.
- TISSOT, B. & ESPITALIE, J., 1975. L'évolution thermique de la matière organique des sédiments: Applications d'une simulation mathématique. Potentiel pétrolier des bassins sédimentaires et reconstitution de l'histoire thermique des sédiments. *Rev. Inst. Franç. Pétr.*, **30**: 743-777.
- WAGNER, R.H., 1983a. *Neuropteris guadiatensis*, a new species from the Westphalian B of the Peñarroya-Belmez Coalfield in the Province of Córdoba, S.W. Spain. In : M.J.L. SOUSA, Ed., *Contributions to the Carboniferous Geology and Palaeontology of the Iberian Peninsula*. p. 93-99. Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Mineralogia e Geologia. Porto.
- WAGNER, R.H., 1983b. The palaeogeographical and age relationships of the Portuguese Carboniferous floras with those of other parts of the western Iberian Peninsula. In : M.J.L. SOUSA & J.T. OLIVEIRA, Eds, *The Carboniferous of Portugal*. *Mem. Serv. geol. Portg.*, **29**: 153-177.
- WAGNER, R.H. & JURADO, J., 1988. Geología de la cuenca carbonífera de Peñarroya y exploración de antracitas escondidas en un lentejón tectónico. *Congr. internat. Minería y Metalurgia*, 8º, Oviedo (Asturias), 1988. Vol. 6. p. 225-241. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas de España.

WAGNER, R.H., REDONDO, E. & JURADO, J., 1984. Actualidad de la investigación geológico-minera en la Cuenca Carbonífera del Guadiato (Córdoba). *Congr. internat. Minería y Metalurgia*, 7º, Barcelona, 1984. Vol. 1- *Geología Aplicada*. p. 221-238.

WAGNER, R.H. (in collaboration with: ALVAREZ-VAZQUEZ, C., BROUTIN, J., COQUEL,R., SOUSA, M.J.L., MARQUES, M. & PELAEZ, J.I.), 1990. Field Trips. International Conference on Late Palaeozoic and Mesozoic Floristic Change, 16-20 April, 1990. 58 pp. Jardín Botánico de Córdoba, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, Universidade do Porto.