

Memórias Geológicas

do
Laboratório Nacional de Energia e Geologia

CARTOGRAFIA E CARACTERIZAÇÃO GEOLOGICA DOS RECURSOS EM CALCÁRIOS ORNAMENTAIS DO MACIÇO CALCÁRIO ESTREMENHO

Jorge Carvalho *

Número 36
Lisboa 2023

* Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP.

Índice

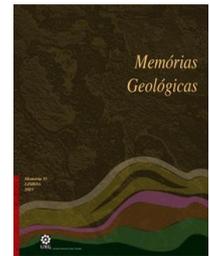
1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS E ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	8
3. ESTUDOS ANTERIORES	8
4. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	9
5. A ATIVIDADE EXTRATIVA NO MCE	11
5.1. AS ÁREAS ESTUDADAS NO CONTEXTO GEOLÓGICO DO MCE	13
6. METODOLOGIA	16
6.1. CARTOGRAFIA GEOLÓGICA EM PEDREIRAS	17
6.2. TERMINOLOGIA LOCAL	18
7. ESTUDOS GEOLÓGICOS DE PORMENOR DAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO	18
7.1. A ÁREA DE CODAÇAL	19
7.1.1. Litostratigrafia	19
7.1.1.1. Lajes e Vidraços	19
7.1.1.2. Calcários do Codaçal	19
7.1.1.3. Vidraços do Topo	23
7.1.2. Sondagens	24
7.1.3. Estrutura e modelo geológico	27
7.1.3.1. Falhas	28
7.2. A ÁREA DE PÉ DA PEDREIRA	29
7.2.1. Litostratigrafia	29
7.2.1.1. Vidraços da Base	29
7.2.1.2. Calcários Ornamentais da Base	29
7.2.1.3. Calcários Ornamentais	31
7.2.1.4. Vidraços Intermédios	33
7.2.1.5. Sardão ou Perlina	35
7.2.1.6. Vidraços do Topo	35
7.2.1.7. Jurássico Superior	37
7.2.1.8. Eluviões	37
7.2.2. Sondagens	37
7.2.3. Estrutura e modelo geológico	39
7.2.3.1. Falhas	39
7.3. A ÁREA DE CABEÇA VEADA	41
7.3.1. Litostratigrafia	41
7.3.1.1. Vidraços da Base	41
7.3.1.2. Calcários Ornamentais	41
7.3.1.3. Vidraços do Topo	42
7.3.1.4. Vidraços Escuros	42
7.3.2. Sondagens	43
7.3.3. Estrutura e modelo geológico	43
7.3.3.1. Falhas	44
7.4. A ÁREA DE PORTELA DAS SALGUEIRAS	45
7.4.1. Litostratigrafia	45
7.4.1.1. Margas de Dagorda	45
7.4.1.2. Vidraços da Base	45
7.4.1.3. Calcários Ornamentais	46

7.4.1. 4. Vidraços do Topo.....	48
7.4.1. 5. Calcários de Moleanos.....	48
7.4.1. 6. Vidraços Escuros	48
7.4.2. Sondagens.....	48
7.4.3. Estrutura e modelo geológico	48
7.4.3.1. Falhas.....	49
7.5. A ÁREA DE MOLEANOS.....	51
7.5.1. Litostratigrafia.....	51
7.5.1.1. Vidraços da Base	51
7.5.1.2. Calcários Ornamentais	51
7.5.1.3. Vidraços Intermédios	51
7.5.1.4. Vidraços do Topo.....	52
7.5.1.5. Resmo	53
7.5.2. Sondagens.....	54
7.5.3. Estrutura e modelo geológico	55
8. FRATURAÇÃO.....	55
8.1. O PROBLEMA DO ESPAÇAMENTO DA FRATURAÇÃO	55
8.2. PRINCIPAIS DIREÇÕES DE FRATURAÇÃO	57
9. ÁREAS DE APTIDÃO PARA A EXPLORAÇÃO DE CALCÁRIOS ORNAMENTAIS E AVALIAÇÃO DE RECURSOS	59
9.1. DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE APTIDÃO PARA CALCÁRIOS ORNAMENTAIS	59
9.1.1. Área de Codaçal	59
9.1.2. Área de Pé da Pedreira.....	59
9.1.3. Área de Cabeça Veada.....	60
9.1.4. Área de Portela das Salgueiras	60
9.1.5. Área de Moleanos.....	61
9.2. RECURSOS E RESERVAS	61
10. CONCLUSÕES	63
AGRADECIMENTOS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXO – LOGS DE SONDAgens.....	69

MATERIAL SUPLEMENTAR

Cartografia e caracterização geológica dos recursos em calcários ornamentais do Maciço Calcário Estremenho

Mapping and characterization of the ornamental limestone resources from Maciço Calcário Estremenho, Portugal



Jorge Carvalho¹

© 2023 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Resumo: Desde há cerca de 40 anos, desenvolve-se uma intensa atividade extrativa de calcários para fins ornamentais no Maciço Calcário Estremenho, o qual se encontra parcialmente abrangido pelo Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros. Tendo em vista a conciliação dessa atividade com os pressupostos de conservação da natureza e a sua integração nos instrumentos de ordenamento do território municipais, foram desenvolvidos estudos geológicos de pormenor sobre os cinco principais núcleos de exploração abrangidos pela área desse parque natural, designadamente os núcleos das áreas de Cabeça Veada, Codaçal, Moleanos Pé da Pedreira e Portela das Salgueiras. O presente trabalho relata os resultados alcançados por esses estudos geológicos que envolveram cartografia geológica a grande escala, levantamento de fraturação e sondagens. Os mesmos permitiram definir as áreas de aptidão para a produção de blocos para rocha ornamental em cada uma das áreas e estimar as seguintes Reservas Minerais Prováveis para cada uma das áreas: Cabeça Veada – 14,04 x 10⁶ t, Codaçal – 33,54 x 10⁶ t, Moleanos – 23,92 x 10⁶ t, Pé da Pedreira – 63,44 x 10⁶ t e Portela das Salgueiras – 17,16 x 10⁶ t.

Palavras-chave: MCE, calcários ornamentais, núcleos de exploração, reservas minerais.

Abstract: For about 40 years, there has been an intense extractive activity of limestone for ornamental purposes in the Maciço Calcário Estremenho, which is partially covered by the Serras de Aire e Candeeiros Natural Park. Aiming to reconcile this activity with nature conservation assumptions and its integration in the municipal spatial planning tools, geological studies have been carried out on the five main exploitation centres covered by the area of the natural park, namely: Cabeça Veada, Codaçal, Moleanos Pé da Pedreira and Portela das Salgueiras areas. This work reports the achieved results achieved by these geological studies involving large-scale geological mapping, fracturing surveys and drilling. They allowed to delimit suitable areas to produce ornamental stones and to evaluate the following Probable Mineral Reserves: Cabeça Veada – 14.04 x 10⁶ t, Codaçal – 33.54 x 10⁶ t, Moleanos – 23.92 x 10⁶ t, Pé da Pedreira – 63.44 x 10⁶ t and Portela das Salgueiras – 17.16 x 10⁶ t.

Keywords: MCE, ornamental limestones, exploitation centres, mineral reserves.

¹ Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Apartado 7586 – Alfragide, 2610-999 Amadora, Portugal.

*Corresponding author/Autor correspondente: jorge.carvalho@lneg.pt

1. INTRODUÇÃO

Portugal é um dos mais importantes produtores mundiais de rochas ornamentais (Montani, 2019), para o que muito contribui a produção de calcários provenientes do Maciço Calcário Estremenho (MCE). Com efeito, de acordo com os mais recentes dados estatísticos da Direção Geral de Geologia e Energia respeitantes ao ano de 2019, a produção de blocos de calcários provenientes deste maciço ascendeu a mais de 1

milhão de toneladas, cerca de um terço do total de produção nacional de rochas ornamentais, maioritariamente destinada a exportação.

Grande parte do MCE encontra-se sujeito a um regime de conservação da natureza que se traduz pelo facto de aí ter sido implementado o Parque Natural das Serras d'Aire e Candeeiros (PNSAC) que, por sua vez, tem correspondência com o Sítio de Importância Comunitária PTCON0015, da Rede Natura 2000. A maioria das dezenas de pedreiras que exploram blocos de calcário para fins ornamentais no MCE estão abrangidas pelo

PNSAC, o que conduziu a naturais situações de conflitualidade entre, por um lado, os interesses de desenvolvimento económico e social e, por outro, os de conservação da natureza inerentes àquela área protegida.

Tendo em vista o estabelecimento de equilíbrios na resolução dos conflitos existentes, verificou-se a necessidade de conhecer a efetiva aptidão do território nas áreas sujeitas a maior pressão de modo que o planeamento da sua exploração em moldes racionais pudesse ser devidamente enquadrado nos pressupostos da conservação da natureza e integrado nos instrumentos de ordenamento do território. Porém, embora os primeiros passos tivessem sido dados no início da década de 90 do século passado, por intermédio de uma colaboração entre o PNSAC e o extinto Instituto Geológico e Mineiro, de que resultou um conhecimento geológico pormenorizado dos principais núcleos de extração de blocos (Carvalho, 1996a; 1997; 1998; Quartau, 1998; 2000), essa integração só foi formalmente estabelecida, passados mais de dez anos, pela publicação do novo Plano de Ordenamento do PNSAC (POPNSAC), através da Resolução do Conselho de Ministros nº 57 de 2010. Parcialmente baseadas nos estudos geológicos realizados, neste plano demarcaram-se áreas envolvendo os principais núcleos de exploração de rochas ornamentais: as AIE – Áreas de Intervenção Específica para a indústria extrativa. Sobre elas preconizou-se a realização de intervenções que conduzissem ao seu ordenamento de pormenor, à conciliação de interesses e à sua integração nos planos municipais de ordenamento do território. Nesse sentido foi implementado o projeto denominado Exploração Sustentável de Recursos no Maciço Calcário Estremenho no âmbito do Projeto Âncora 2 – Sustentabilidade Ambiental da Indústria Extrativa, integrante do Programa de Ação do Cluster da Pedra Natural (CEVALOR, 2009). Foi promovido por uma parceria inédita entre a ASSIMAGRA – Associação Portuguesa dos Industriais de Mármore, Granitos e Ramos Afins e o ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, IP, com financiamento dos fundos estruturais europeus complementado com financiamento direto por parte do sector industrial.

A sua execução contou com a intervenção de várias entidades, públicas e privadas, tendo o Laboratório Nacional de Energia e Geologia ficado responsável pela realização de novos estudos geológicos de base que servissem de suporte a planos de lava integrada e a ações de conciliação de interesses nos principais núcleos de extração possibilitando, desse modo, a sua integração nos planos municipais de ordenamento do território por intermédio de planos de ordenamento de pormenor na tipologia de Planos de Intervenção no Espaço Rústico (MAOTE, 2015).

2. OBJETIVOS E ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho pretende dar a conhecer os resultados geológicos obtidos no projeto Exploração Sustentável de Recursos no Maciço Calcário Estremenho para os núcleos extrativos das áreas de Cabeça Veada, Codaçal, Moleanos, Pé da Pedreira e Portela das Salgueiras. Suporta-se nos relatórios elaborados no âmbito desse projeto (Carvalho *et al.*, 2014a b, c, d, e). Por sua vez, estes suportaram-se no conhecimento existente decorrente de estudos anteriores e que se abordam em capítulo próprio.

Após um breve enquadramento geológico do MCE e da indústria extrativa que nele se desenvolve, apresenta-se o enquadramento específico de cada uma das áreas estudadas e respetivas unidades litostratigráficas produtivas. Segue-se a

apresentação da abordagem metodológica seguida neste trabalho, em que se destacam as particularidades próprias da cartografia geológica a grande escala em áreas cujas formas de relevo estão bastante artificializadas devido à existência de pedreiras. Os trabalhos realizados em cada uma das áreas envolveram cartografia geológica, levantamentos de fraturação e sondagens, sendo apresentados os seus resultados. Por fim, constituindo o objetivo desses estudos, apresentam-se as áreas de aptidão definidas para a exploração de blocos de calcários ornamentais e respetiva avaliação de recursos.

No que respeita aos resultados da cartografia geológica de cada área, é apresentado um mapa simplificado e reduzido a partir da carta geológica de detalhe elaborada à escala 1/2 000. Uma carta de síntese de cada área à escala 1/5 000 é apresentada sob a forma de [material suplementar](#) a este trabalho, apenas online. Em cada uma delas consta a respetiva Área de Intervenção Específica (AIE) para a atividade extrativa, tal como definida no POPNSAC. Ainda como [material suplementar](#), apenas online, são apresentados os cortes geológicos elaborados para cada área. Os *logs* resultantes do estudo das sondagens são apresentados em anexo. Assim, o presente trabalho constitui, simultaneamente, a notícia explicativa dos mapas geológicos que agora se publicam. Por essa razão, o texto apresenta-se estruturado de modo que os capítulos correspondentes a cada uma das áreas estudadas valham, no essencial, por si só, a expensas de alguma repetição na descrição das unidades litostratigráficas presentes em cada uma.

3. ESTUDOS ANTERIORES

Desde há várias décadas que o MCE tem sido alvo de numerosos estudos geológicos abordando temáticas diversas e que constituíram suporte para o trabalho que agora se apresenta. No que respeita a estudos de âmbito regional assumem particular relevância os trabalhos de cartografia geológica à escala 1/25 000 que conduziram à elaboração das folhas da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 que abrangem o MCE, designadamente as folhas 26-B Alcobaça (Zbyszewski *et al.*, 1961), 26-D Caldas da Rainha (Zbyszewski e Matos, 1959), 27-A Vila Nova de Ourém, (Manuppella *et al.*, 1998) e 27-C Torres Novas (Manuppella *et al.*, 1998), bem como as respetivas notícias explicativas. A publicação da Folha 27-A foi precedida por um outro trabalho de geologia regional que inclui um primeiro mapa litostratigráfico do MCE (Manuppella *et al.*, 1985), o qual constituiu um ponto de viragem na abordagem cronoestratigráfica que vinha sendo seguida até então para esta região.

Merecem também referência os estudos de caracterização das fácies, dinâmicas sedimentares e paleogeografia que foram realizados por Azerêdo (1993, 1998) para o Jurássico Médio do MCE, de que fazem parte os calcários do presente estudo. Estes e outros da mesma autora (*e.g.* Azerêdo e Wright, 2004; Azerêdo, *et al.*, 2020), constituem referência para o conhecimento detalhado dessas fácies e seu significado. Da mesma autora, assume particular destaque a formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do MCE (Azerêdo, 2007), a qual foi aqui seguida. Em trabalho de doutoramento que decorreu simultaneamente ao agora apresentado (Carvalho, 2013), foi feita a caracterização dos padrões de fraturação que afetam o maciço.

Muitos outros estudos que contribuíram para o conhecimento atualmente existente sobre a geologia do MCE poderiam ser aqui mencionados. Porém, maioritariamente já se encontram referenciados nas obras atrás referidas.

No que respeita a trabalhos vocacionados para a caracterização dos recursos, importa referir os trabalhos de Manuppella e Moreira

(1974, 1984) respeitantes a uma avaliação regional das potencialidades industriais dos calcários do maciço e a obra Calcários Ornamentais do Maciço Calcário Estremenho de Costa, Moreira, *et al.*, (1988) que terá sido a primeira a abordar a temática das rochas ornamentais no MCE. Aí identificam-se e caracterizam-se sumariamente os diversos núcleos de exploração no que respeita às rochas exploradas e sistemas de fraturação que as afetam, dando-se também conta de uma campanha de sondagens realizadas especificamente para avaliação destes recursos. Este trabalho específico serviu de ponto de partida para os trabalhos de cartografia geológica de pormenor realizados entre meados da década de 1990 e o início do presente século sobre os principais núcleos de exploração de rochas ornamentais do MCE e que constituíram a base dos que agora se apresentam. Incidiram sobre as áreas de Moleanos (Carvalho, 1996a), Pé da Pedreira (Carvalho, 1997), Cabeça Veada (Quartau, 1998), Codaçal (Quartau, 2000) e Alvados (Carvalho, 1998), esta última não considerada no presente trabalho. Relativamente à área de Portela das Salgueiras importa referir que nunca havia sido alvo de cartografia geológica de pormenor.

Relativamente ao conhecimento adquirido sobre os recursos em calcários ornamentais do MCE, importa ainda registar dezenas de sondagens realizadas, ao abrigo de protocolos diversos, para os industriais que operam na região. Sendo do domínio privado, merecem a devida confidencialidade, mas os seus resultados encontram-se incorporados nos que agora se apresentam.

4. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O MCE (Fig. 1) foi definido por Martins (1949) enquanto unidade geomorfológica constituída essencialmente por rochas calcárias que se elevam acima da Bacia Terciária do Tejo, da Plataforma Litoral e da Bacia de Ourém. É parte integrante da região central da Bacia Lusitaniana, a qual corresponde a uma bacia que se desenvolveu numa margem de rift não vulcânica no bordo Oeste da microplaca ibérica. O seu desenvolvimento está associado ao período distensivo que levou à abertura do norte do Oceano Atlântico durante o Mesozoico. Está limitada por acidentes longitudinais herdados da Orogenia Varisca e apresenta-se compartimentada transversalmente por acidentes orientados NE-SW e W-E, também eles de herança varisca e cuja atuação se reflete ao nível da distribuição e espessura das fácies sedimentares. A partir do final do Cretácico, por colisão da microplaca ibérica com as placas africana e euroasiática, a sua evolução foi condicionada pela tectónica compressiva alpina cujos efeitos maiores se fizeram sentir durante o Miocénico (Wilson *et al.*, 1989; Ribeiro *et al.*, 1990; Srivastava *et al.*, 1990; Pinheiro *et al.*, 1996; Casas Sainz e Faccenna, 2001; De Vicente *et al.*, 2011; Pais *et al.*, 2012; Kullberg *et al.*, 2013). Este regime compressivo levou à reativação dos antigos acidentes, com efeitos na arquitetura atual do maciço onde se distinguem três unidades morfoestruturais elevadas que se encontram separadas por duas depressões alongadas:

- A serra dos Candeeiros, orientada NNE-SSW, encontra-se separada do Planalto de Santo António pela Depressão da Mendiga. Esta, também orientada segundo NNE-SSW, está associada à falha da Mendiga. Ao longo da serra dos Candeeiros, truncando o seu bordo oriental, distingue-se o alinhamento tectónico diapírico de Rio Maior – Porto de Mós.
- O Planalto de Santo António está separado do planalto de S. Mamede e serra de Aire por um alinhamento NW-SE

denunciado pelas depressões de Alvados e Minde, as quais estão condicionadas pelo sistema de falhas escalonadas com o mesmo nome. A serra de Aire, estruturalmente associada ao Planalto de S. Mamede, apresenta uma orientação NE-SW e constitui a região mais elevada de todo o MCE.

A morfologia do MCE está ainda condicionada pela natureza calcária das rochas que o compõem, refletindo o desenvolvimento de uma morfologia cársica bem característica e bastante diversificada (Ferreira *et al.*, 1988; Crispim, 1992; Rodrigues e Fonseca, 2010). As formas de exocarso mais frequentes e notórias são as depressões fechadas de tipo dolina ou uvala, os poljes, dos quais o de Minde é o mais representativo, os vales secos e os extensos campos de lapiás. A rede de drenagem superficial é praticamente inexistente, predominando a drenagem subterrânea. Esta realiza-se por uma também grande diversidade de formas, desde pequenas fissuras a largas galerias subterrâneas. As conhecidas grutas que ocorrem neste maciço, como por exemplo as Grutas de Santo António e as de Mira de Aire, são o testemunho de antigas galerias de escoamento. Atualmente, esse escoamento subterrâneo dá lugar a um reduzido número de nascentes principais na periferia do MCE, das quais se destacam os Olhos de Água do Alviela e do Almonda, as nascentes dos rios Lena e Liz e ainda as nascentes de Chiqueda. De realçar ainda as formas que testemunham paleo-relevos resultantes de períodos de erosão normal no MCE, como sejam os Vales Suspensos da serra dos Candeeiros (Martins, 1949), conforme ilustrado na figura 2.

A estratigrafia geral da Bacia Lusitaniana está bem estabelecida, tendo sido descrita por vários autores nas últimas décadas (Ribeiro *et al.*, 1979; Montecat *et al.*, 1988; Wilson, 1988; Cunha e Pena dos Reis, 1992; Soares e Duarte, 1995; Pinheiro *et al.*, 1996; Rocha *et al.*, 1996). Uma síntese mais recente foi feita por Kullberg *et al.* (2013). A maioria destes autores considera a existência de grandes sequências sedimentares limitadas por descontinuidades (*unconformity bounded sequences*), que refletem as sucessivas etapas evolutivas da bacia. Estas sequências sedimentares podem considerar-se subdivididas em dois grandes grupos: as que refletem o período distensivo (Triásico Superior – final do Cretácico), maioritariamente constituídas por rochas carbonatadas (Jurássico) e siliciclásticas (Cretácico), e as que refletem o período compressivo, constituídas essencialmente por rochas siliciclásticas. Este período compressivo que decorre desde o final do Cretácico até à atualidade, conduziu à inversão da Bacia Lusitaniana, justificando a atual exposição subaérea da sucessão de rochas carbonatadas do Jurássico. No que respeita ao MCE, o conhecimento atual da sua litostratigrafia resulta fundamentalmente dos trabalhos de Manuppella *et al.* (1985, 1998, 1999) e de Azerêdo (2007) que a formalizou relativamente ao Jurássico Inferior e Médio.

Os afloramentos datam do Hetangiano ao Pliocénico, mas a maioria corresponde a rochas carbonatadas do Jurássico Médio e Superior. As do Jurássico Médio afloram, sobretudo, nas unidades morfoestruturais elevadas e compreendem calcários de cores claras que se formaram em diferentes paleoambientes de um sistema deposicional em rampa carbonatada (Azerêdo, 1998, 2007). As do Jurássico Superior afloram nas regiões deprimidas e integram argilas, arenitos, margas e calcários de cores cinzentas a castanho-claras que se depositaram em ambientes continentais a marinhos pouco profundos sob condições de subsidência controlada por falhas (Alves *et al.*, 2003; Kullberg *et al.*, 2013).



Figura 2. Vales Suspensos na encosta ocidental da serra dos Candeeiros.
Figure 2. Suspended valleys on the western slope of Serra dos Candeeiros.

Apresenta-se, na figura 3, a litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do MCE de acordo com a formalização de Azerêdo (2007). Inclui também as unidades informais do Jurássico Superior cujos nomes se encontram consolidados na literatura, como é o caso da compilação de Kullberg *et al.* (2013) e que se utilizarão ao longo deste trabalho.

As ocorrências de rochas ígneas são pouco abundantes e estão dispersas por todo o Maciço, com exceção da serra de Aire e Planalto de São Mamede. Maioritariamente estão associadas a falhas de orientação NW-SE a WNW-ESE, mas são também de realçar as que ocorrem ao longo do acidente de Rio Maior – Porto de Mós segundo NNE-SSW (Fig. 1). Compreendem doleritos e gabro-dioritos alcalinos a subalcalinos que testemunham um episódio magmático na transição do Jurássico para o Cretácico (Martins *et al.*, 2010).

Os principais acidentes tectónicos que estruturam o MCE correspondem a falhas orientadas segundo três direções principais: NNE-SSW, NW-SE e NE-SW. Estiveram ativas durante o período distensivo jurássico e foram reativadas sob a forma de desligamentos e cavalgamentos durante os episódios de compressão Alpina (Kullberg *et al.*, 2013; Carvalho, 2018). Carvalho (2018) associa a instalação inicial das estruturas frágeis WNW-ESE a NW-SE a um episódio compressivo na passagem do Jurássico ao Cretácico.

5. A ATIVIDADE EXTRATIVA NO MCE

Para além de cerca de uma dezena de pedreiras que exploram ou exploraram agregados para fins industriais diversos (construção civil, indústria vidreira e produção de cal, entre outros), o cerne da atividade extrativa no MCE é a produção de rochas para fins ornamentais. Distinguem-se três tipos de pedreiras, consoante os produtos de exploração:

- 1) Grandes blocos que se destinam fundamentalmente à produção de chapas para fins ornamentais de revestimento e pavimento;
- 2) Cubos para calçada;
- 3) Lajes usadas tal e qual para revestimentos e pavimentos rústicos.

Os calcários utilizados para blocos de grandes dimensões e que são o tema deste trabalho, são explorados em cerca de uma centena de pedreiras. Porém, a maioria está agrupada em seis núcleos de exploração principais (Fig. 4): Cabeça Veada, Casal Farto, Codaçal, Moleanos, Pé da Pedreira e Portela das

Salgueiras. Destes, o núcleo de Casal Farto não foi objeto de estudos geológicos detalhados por não se encontrar abrangido pelo PNSAC. Para além destes núcleos de pedreiras existem outros, sendo que alguns dos representados na figura 4 correspondem, na realidade, apenas a uma pedreira, como é o caso de Boleiros e Vale da Cruz. Nem todas as pedreiras estão em atividade, sendo esse o caso das pedreiras que constituem os núcleos de Alcaria e Alvados, além de outras inseridas nos restantes núcleos. Estas situações de inatividade poderão corresponder a situações de abandono, lavra suspensa ou, ainda, exploração sazonal.

Na maioria das pedreiras, a lavra desenvolve-se em flanco de encosta e compreende um ou mais pisos de desmonte, totalizando alturas máximas na ordem dos 50 m (Fig. 5). Porém, devido ao desenvolvimento das explorações, muitas das que se iniciaram em flanco de encosta correspondem atualmente a cortas que avançam sobretudo em profundidade, incluindo tentativas de exploração subterrânea. Em Casal Farto e em Moleanos, a exploração desenvolve-se em poço.

Os blocos comercializados correspondem a prismas retangulares com dimensões na ordem de 2,8 m x 1,8 m x 1,5 m. Dependendo da litologia, mas também do modo como é feito o corte dos blocos em chapas, são muitas as variedades ornamentais provenientes do MCE: se o corte é feito paralelamente à estratificação ou laminação sedimentar (“corte a favor”), resulta uma variedade com um padrão textural diferente daquele que se obtém se o corte for realizado perpendicularmente (“corte ao contra”). Apesar disso e das muitas designações com que as rochas são comercializadas, a maioria pode ser englobada num número reduzido de variedades ornamentais principais (Fig. 6).

Cronoestratigrafia		Litoestratigrafia		
SUPERIOR	Titoniano	Formação de Lourinhã		
	Kimmeridgiano	Formação de Alcobaça		
	Oxfordiano	Formação de Montejunto		
		Formação de Cabaços		
MÉDIO	Caloviano			
	Batoniano	Formação de Serra de Aire		
	Bajociano	Formação de Chão de Pias		
	Aaleniano	Formação de Barranco do Zambujal		
	INFERIOR	Toarciano	Formação de Fórneia	
		Pliensbachiano	Formação de Coimbra	
Sinemuriano		Formação de Coimbra		
Hetangiano		Formação de Dagorda		

Figura 3. Litostratigrafia do Jurássico do MCE. Jurássico Médio e Inferior a partir de formalização em Azerêdo (2007); unidades informais do Jurássico Superior a partir de Kullberg *et al.* (2013).

Figure 3. Lithostratigraphy of the Jurassic of the MCE. Middle and Lower Jurassic from Azerêdo (2007); informal units of the Upper Jurassic from Kullberg *et al.* (2013).

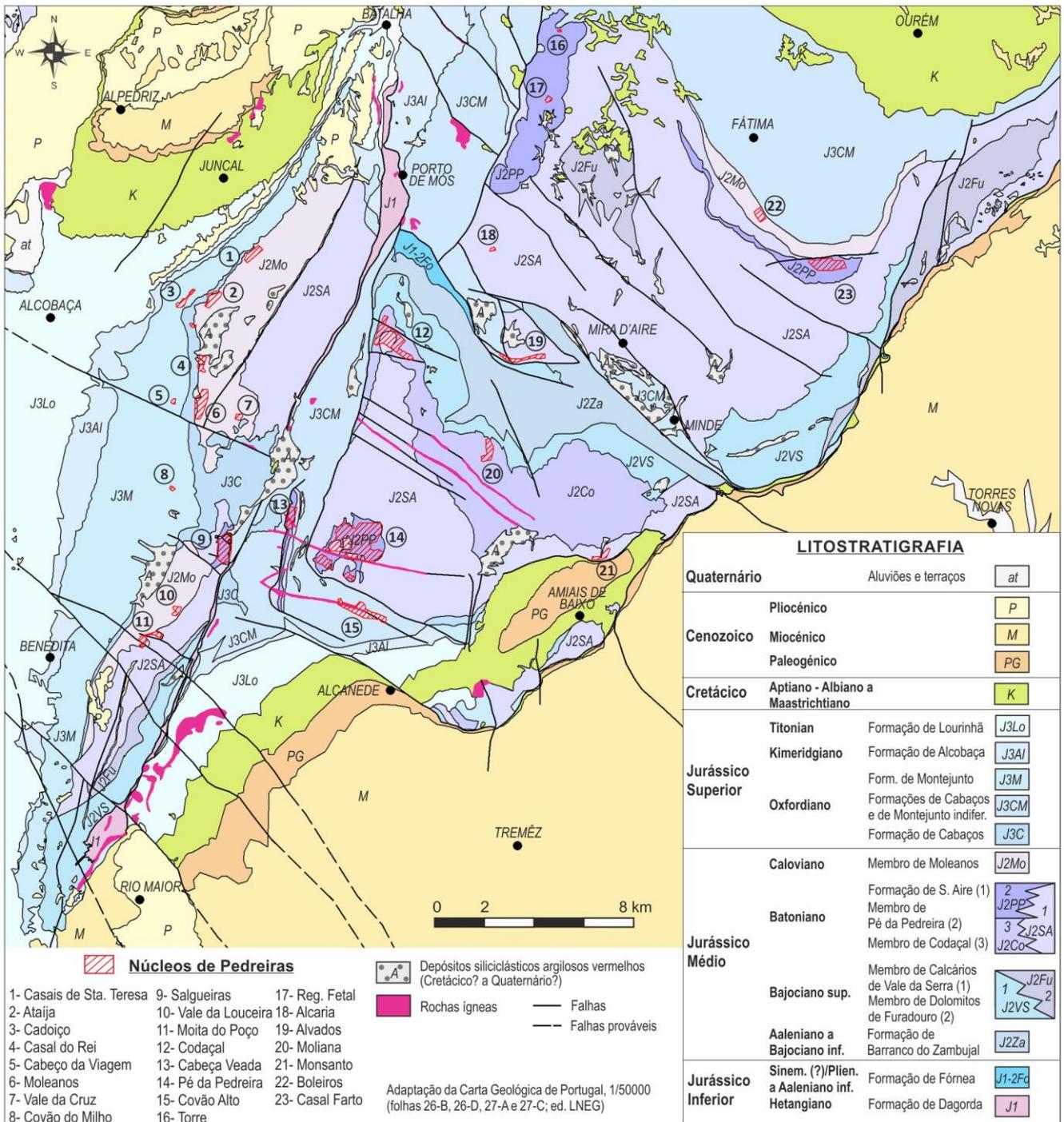


Figura 4. Mapa litostratigráfico simplificado do MCE com localização dos núcleos de exploração de blocos de calcários para fins ornamentais (adaptado de Carvalho (2013), com modificações na geologia).

Figure 4. Simplified lithostratigraphic map of the MCE with location of the quarrying sites of ornamental limestone blocks (adapted from Carvalho (2013), with changes in geology).

Maioritariamente, as pedreiras exploram calcários do Jurássico Médio em unidades litostratigráficas específicas, designadamente os membros de Codaçal, Pé da Pedreira e Moleanos, todos da Fm. de Santo António – Candeeiros, e a Fm. de Serra de Aire. No geral correspondem, numa designação genérica simplificada, a calcários calciclásticos de granulometria fina a grosseira, cor bege e marcados por vários tipos de laminações sedimentares. Excetuam-se casos particulares, como é

o caso da Brecha de Santo António que resulta de processos de dolomitização localizados que afetaram os calcários do Membro de Codaçal. Excetuam-se ainda os calcários explorados na Fm. de Serra de Aire que têm correspondência com níveis ou locais particulares dessa formação (vd. Carvalho, 1998). No Jurássico Superior são explorados calcários micríticos (localmente, também calcários calciclásticos) de cor cinzenta a bege, mais ou menos margosos, em níveis específicos da fm. de Montejunto ou da



Figura 5. Tipos de lavra nas pedreiras do MCE. a) pedreira no flanco ocidental do Cabeço Gordo no núcleo do Codaçal; b) pedreira em poço no núcleo de Moleanos.

Figure 5. Types of quarrying in the MCE. a) hillside quarry in Codaçal site; b) open-pit quarrying site.

unidade que integra esta mesma formação com a de Cabaços, como é o caso específico da variedade Azul de Valverde apresentada na figura 6.

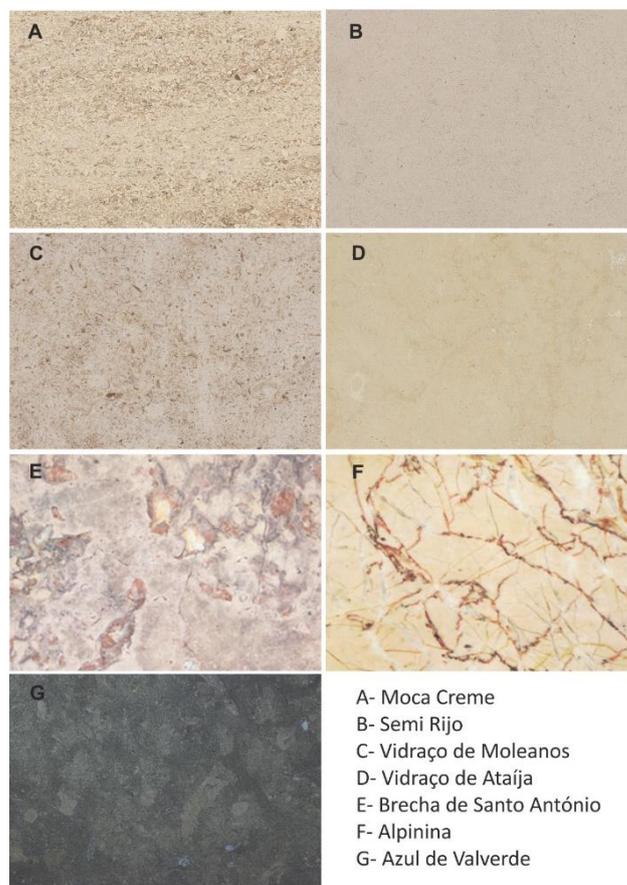
5.1. As áreas estudadas no contexto geológico do MCE

Das cinco áreas sujeitas a estudos de pormenor, duas delas localizam-se no Planalto de Santo António, designadamente as áreas do Codaçal e de Pé da Pedreira (Fig. 7). O Planalto de Santo António corresponde à região central do MCE. Os seus limites coincidem, quase na totalidade, com grandes falhas e nele afloram calcários do Jurássico Inferior ao Superior. A maior parte corresponde a calcários do Jurássico Médio, mais propriamente, do Aaleniano ao Batoniano. Os do Jurássico Inferior e Superior, afloram em áreas restritas, nomeadamente, nos extremos setentrional e meridional, respetivamente.

Os estratos sedimentares apresentam-se suavemente inclinados para sul, até 10°. Contudo, na proximidade de alguns acidentes tectónicos, apresentam-se fortemente inclinados por efeito de basculamentos induzidos pela movimentação inversa desses mesmos acidentes. É o caso particular dos estratos junto à falha do Arrife que limita o planalto de Santo António a sudeste, e junto às falhas de Vale da Canada e de Santo António, imediatamente a norte da povoação Serra de Santo António. A estrutura geral do planalto de Santo António está ainda marcada por alguns acidentes de orientação geral NW-SE que localmente

se apresentam intruídos por rochas doleríticas extremamente alteradas.

A **área do Codaçal** localiza-se na região setentrional do planalto, junto ao seu bordo ocidental (Fig. 7). Centra-se nos afloramentos do Mb. de Codaçal (Fig. 3) que informalmente também são conhecidos por Calcários bioclásticos do Codaçal (Manuppella *et al.*, 1998), ou simplesmente, Calcários do Codaçal. Os seus afloramentos distribuem-se desde a região em estudo até à região meridional do planalto, onde a área que ocupam é substancialmente maior. A ocidente, estes calcários estão truncados pela falha de Mendiga, que os coloca em contacto geométricamente normal com calcários do Jurássico Superior (não representados no mapa da figura 7). Apresentam orientação NW-SE com pendores muito ligeiros para sudoeste e são atravessados por duas falhas, uma orientada NW-SE e outra E-W. Tanto uma, como outra, integram a família de acidentes transversais que caracteriza o Planalto de Santo António. Ainda de acordo com Manuppella *et al.* (2000) e Azerêdo (2007), os calcários do Codaçal estão diacronicamente subjacentes a calcários micríticos da base da Fm. de Serra de Aire, com os quais se interdigitam. Sobrepoem-se a níveis dolomíticos e calcários micríticos laminares que constituem o topo do Mb. de Calcários de Vale da Serra. Estes, no extremo norte da área estudada, mais propriamente na encosta norte do chamado Cabeço Vedeiro, apresentam aptidão para a produção de lajes, razão pela qual também são alvo de exploração.



A- Moca Creme
B- Semi Rijo
C- Vidraço de Moleanos
D- Vidraço de Ataija
E- Brecha de Santo António
F- Alpinina
G- Azul de Valverde

Figura 6. Principais variedades ornamentais do MCE de acordo com a sua designação comercial.

Figure 6. Main ornamental varieties of MCE according to their commercial name.

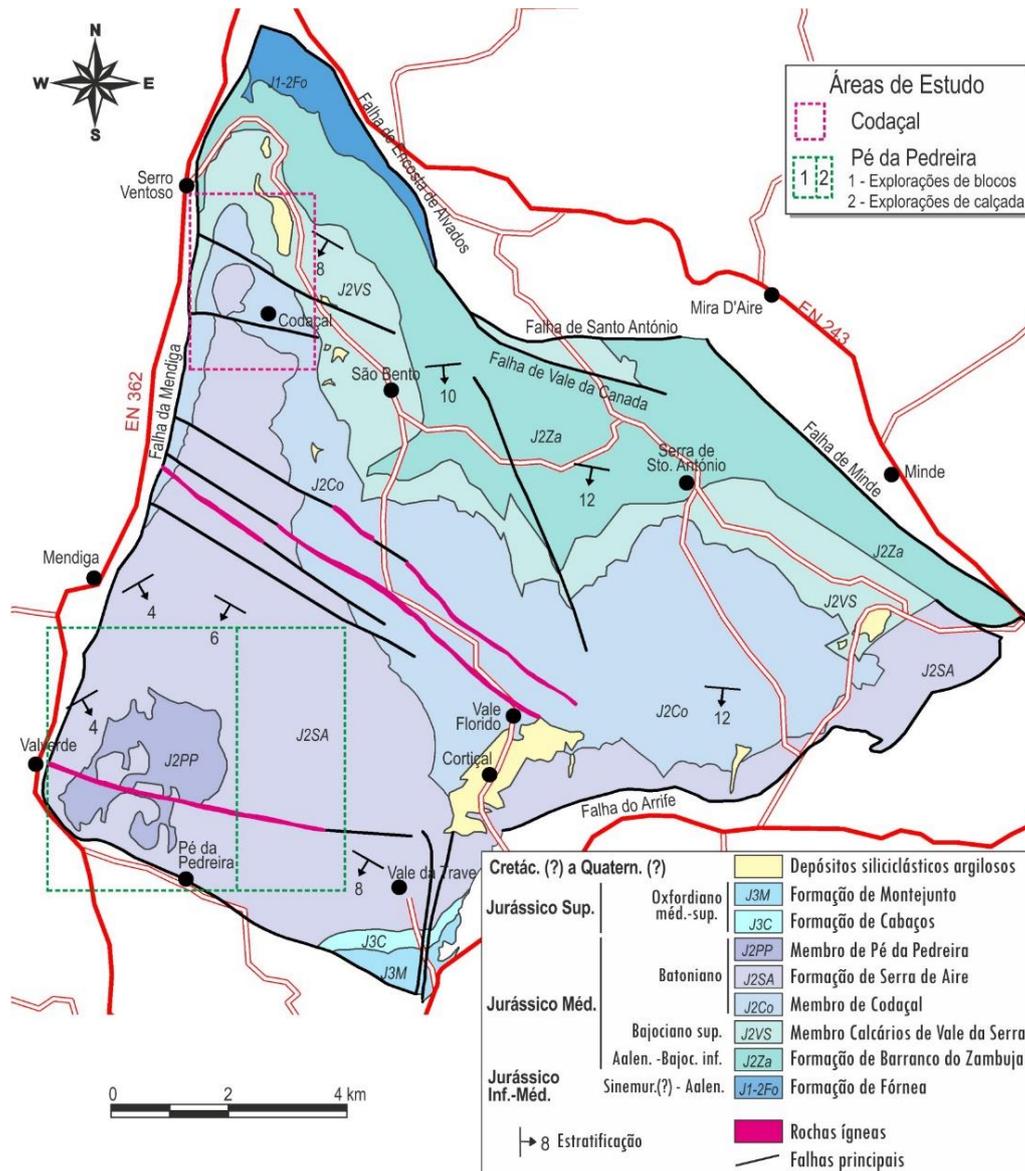


Figura 7. Enquadramento litostratigráfico das áreas do Codaçal e de Pé da Pedreira no Planalto de Santo António, MCE (adaptado de Mapa Litostratigráfico do MCE (Carvalho, 2013), a partir da cartografia 1/50 000 editada pelo LNEG).

Figure 7. Lithostratigraphic setting of the Codaçal and Pé da Pedreira areas in the Planalto de Santo António, MCE (adapted from MCE Lithostratigraphic Map (Carvalho, 2013), based on 1/50,000 geological maps published by LNEG).

No que respeita à **área de Pé da Pedreira**, esta localiza-se no extremo sudoeste do planalto de Santo António (Fig. 7), abrangendo a totalidade do Mb. de Pé da Pedreira neste planalto, bem como grande parte da Fm. de Serra de Aire (respetivamente, calcários de Pé da Pedreira e calcários micríticos de serra de Aire (Manuppella *et al.*, 1998). Os calcários aqui explorados para blocos (Mb. de Pé da Pedreira) interdigitam os calcários micríticos da Fm. de Serra de Aire, cujos afloramentos ocupam aproximadamente a metade sudoeste do Planalto de Santo António, apresentando-se regularmente dispostos segundo WNW-ESE com ligeiros pendores (2° a 10°) para SSW. Contudo, nas proximidades da falha da Mendiga que os trunca a oeste, apresentam-se orientados NE-SW com pendores também ligeiros, mas para SE. A sul estes calcários estão truncados pelo troço dessa falha que se apresenta orientado WNW-ESSE.

A área de Pé da Pedreira é atravessada por um filão dolerítico bastante alterado com orientação WNW-ESE e que é conhecido por Filão de Valverde. Nesta área, desenvolve-se uma intensa atividade extrativa de calcários para fins ornamentais (blocos e cubos para calçada) e para agregados destinados ao fabrico de cal. A indústria de blocos decorre na parte ocidental da área, numa zona centrada no Vale da Relvinha, sendo o alvo das explorações o Mb. Pé da Pedreira. Na parte meridional da área, imediatamente a noroeste da povoação de Pé da Pedreira, decorre a exploração de agregados em pedreiras de grandes dimensões e cujo destino é a produção de cal em duas fábricas existentes nas proximidades. Estas pedreiras tanto exploram o Mb. de Pé da Pedreira (nos níveis superiores), como a Fm. de Serra de Aire (nos níveis inferiores). Quanto às explorações de calçada, elas desenvolvem-se sobretudo na parte oriental da área, explorando níveis de calcários micríticos

da Fm. de Serra de Aire. Esta área oriental não é objeto de estudo no presente trabalho.

Em contexto diferente localizam-se as explorações da **área de Cabeça Veada**. Esta situa-se num bloco elevado da Depressão da Mendiga de natureza tectónica e onde afloram rochas do Jurássico Superior que contactam com rochas do Jurássico Médio por intermédio de duas falhas principais orientadas NNE-SSW (Fig. 8): a ocidente a falha de Rio Maior – Porto de Mós e a oriente a falha da Mendiga. O Jurássico Superior (formações de Cabaços e Montejunto indiferenciadas) denota atitudes variadas o que terá resultado de basculamentos e dobramentos induzidos pela movimentação daquelas falhas, particularmente durante os episódios de compressão Alpina. Estes também terão sido responsáveis pela estreita faixa de afloramentos do Jurássico Médio, paralelos às falhas principais mencionadas e onde e onde a área de Cabeça Veada se localiza concretamente.

Esta faixa contacta, a oeste, com as rochas do Jurássico Superior por intermédio de uma falha com a mesma orientação, conhecida por falha de Valverde e cuja movimentação mais recente terá sido em desligamento esquerdo com componente inversa, conduzindo ao cavalgamento do Jurássico Médio sobre o Superior e a fortes basculamentos das respetivas unidades litostratigráficas. A leste, o contacto com as rochas do Jurássico Superior corresponde à desconformidade de âmbito regional da passagem Jurássico Médio – Jurássico Superior (Azerêdo *et al.*, 2002; Kullberg *et al.*, 2013).

Para além das falhas referidas, estes calcários estão também afetados por rochas filonianas de natureza dolerítica que se apresentam orientadas transversalmente, segundo a direção WNW-ESSE.

Os afloramentos do Jurássico Médio sobre os quais se centra a área de Cabeça Veada integram a Fm. de Serra de Aire e o Mb. de Pé da Pedreira, sendo este o alvo das explorações, à semelhança do que se verifica na área anteriormente apresentada.

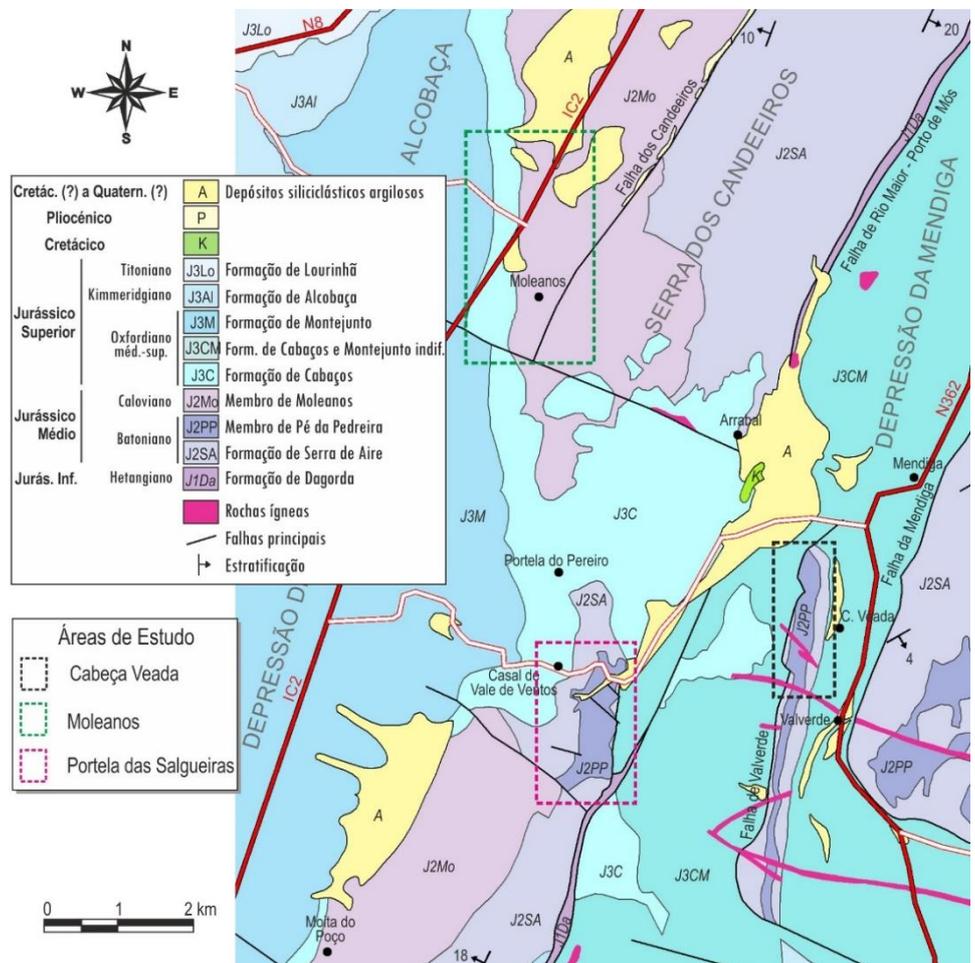
Também na área de **Portela das Salgueiras**, na região central da serra dos Candeeiros (Fig. 8), os calcários alvo de exploração pertencem ao Mb. de Pé da Pedreira. As pedreiras ocupam quase a totalidade dos afloramentos desta unidade e estão localizadas na vertente oriental da serra dos Candeeiros junto a uma depressão estreita relacionada com falha secundária orientada N-S associada à falha de Rio Maior – Porto de Mós.

Essa falha secundária, de ora em diante designada por falha de Salgueiras, estabelece o limite entre os afloramentos do Jurássico Médio da serra dos Candeeiros com calcários do Jurássico Superior a leste. Esta área de estudo também abrange calcários da Fm. de Serra de Aire que se interdigitam nos do Mb. de Pé da Pedreira.

Nos locais ainda abrangidos ou imediatamente adjacentes à área de Portela das Salgueiras afloram outras unidades litostratigráficas, sendo de destacar a fm. de Cabaços (Oxfordiano médio) que circunda a Fm. de Serra de Aire. De acordo com Azerêdo *et al.* (2002), esta formação corresponde, genericamente, a calcários e calcários argilosos de cor cinzenta que se sobrepõem

Figura 8. Enquadramento litostratigráfico das áreas de Cabeça Veada, Moleanos e Portela das Salgueiras (adaptado de Mapa Litostratigráfico do MCE (Carvalho, 2013), a partir da cartografia 1/50 000 editada pelo LNEG e de cartografia 1/25 000 ainda não editada).

Figure 8. Lithostratigraphic setting of the Cabeça Veada, Moleanos and Portela das Salgueiras areas (adapted from MCE Lithostratigraphic Map (Carvalho, 2013), based on 1/50,000 geological maps published by LNEG and 1/25,000 geological maps not yet edited).



a níveis de argilas, lenhites e conglomerados pedogénicos. Ainda de acordo com a mesma autora, na região em estudo apresenta uma espessura total a rondar os 40 m e assenta sobre os calcários micríticos da Fm. de Serra de Aire por intermédio da desconformidade de âmbito regional anteriormente referida e que está traduzida por pequena discordância angular e, sobretudo, por lacuna de sedimentação que abrange o topo do Caloviano e o Oxfordiano inferior. Essa desconformidade tem correspondência com superfície de erosão atapetada por depósitos ferruginosos.

No mapa da figura 8, os afloramentos do Jurássico Superior na zona leste da área de Portela das Salgueiras estão referenciados como fazendo parte das formações de Cabaços e de Montejuento indiferenciadas. Tal prende-se com o facto de que esse mapa abrange também a Folha 27-A Vila Nova de Ourém, onde, para esta região, não se procedeu à individualização daquelas formações.

Nesta região, as unidades litostratigráficas descritas estão enquadradas por duas falhas principais. A mais importante é a falha de Rio Maior – Porto de Mós que estabelece o limite entre os relevos da serra dos Candeeiros e a Depressão da Mendiga. Apresenta-se orientada NNE-SSW e corresponde a uma “Parede de Sal”, pois encontra-se intruída pelos depósitos argilo-carbonatados e salíferos da fm. de Dagorda, os quais são parcialmente abrangidos pela área de estudo, no seu extremo sudeste.

A sul, uma falha de orientação NW-SE coloca em contacto litologias de diferentes unidades do Jurássico Médio, limitando os afloramentos do Membro de Pé da Pedreira, os quais também estão afetados por acidentes menores com a mesma orientação.

A **área de Moleanos** localiza-se numa região aplanada correspondente ao sopé ocidental da serra dos Candeeiros (Fig. 8). Numa primeira abordagem, enquadra-se geomorfologicamente na Depressão de Alcobça, a qual é contígua ao MCE, fazendo-se o contacto entre ambas as unidades morfoestruturais por intermédio da falha dos Candeeiros. Esta depressão toma este nome porque, para além de se apresentar abatida relativamente ao MCE, presume-se que tenha origem tectónica controlada pela reativação distensiva de antigas falhas variscas durante os estádios iniciais de abertura da Bacia Lusitaniana, os quais terão correspondência atual com a estrutura diapírica de Caldas da Rainha e com a falha de Rio Maior – Porto de Mós (Carvalho, 2013). Essa movimentação distensiva ocorreu, de modo mais ou menos intenso, até ao final do Jurássico Superior, altura em que terá ocorrido a colmatação da bacia sedimentar criada. Por esta razão também é comum designar a Depressão de Alcobça por Bacia de Alcobça.

Neste contexto, a falha dos Candeeiros terá atuado como falha normal, controlando tectonicamente a depressão, mas apenas durante o Jurássico Médio, sendo essa a razão pela qual não se apresenta contínua ao longo do sopé da serra dos Candeeiros e não afeta o Jurássico Superior. Assim, nos locais em que a falha de Candeeiros não está presente, verifica-se continuidade entre o MCE e a Depressão de Alcobça, estabelecendo-se a fronteira aproximada entre estas morfoestruturas pelo contacto entre o Jurássico Médio e Superior. Assim, em última análise, estando a área de Moleanos localizada sobretudo em afloramentos do Jurássico Médio, pode dizer-se que também está integrada no MCE.

Ainda do ponto de vista geomorfológico, a aplanação característica da região é o resultado de ter sido invadida pelo mar durante o Pliocénico, constituindo uma plataforma de abrasão marinha, de que os retalhos de sedimentos com essa idade são o

testemunho (Carvalho, 1953). Por essa razão, também é comumente designada por Plataforma de Aljubarrota.

Do ponto de vista geológico, a Área de Moleanos centra-se sobre calcários do Mb. de Moleanos, sobre os quais se depositou a fm. de Cabaços, a qual aflora na região ocidental da área. Tanto esta formação como o Mb. de Moleanos estão orientados segundo N-S, com pendores entre 10° a 20° para oeste. Sobre estas unidades afloram retalhos de depósitos não consolidados, de natureza arenoargilosa a conglomerática que se pensa datarem do Holocénico, embora possam ser mais antigos (Carvalho, 2013).

6. METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi comum às 5 áreas em estudo e seguiu as diretrizes apontadas por Carvalho *et al.* (2008), que indicam que a aptidão ornamental intrínseca de um dado maciço rochoso depende de três critérios: Homogeneidade, Dimensionamento e Fraturação. Estes grupos combinam os diversos atributos geológicos usados por outros autores para estudos de avaliação de rochas ornamentais (*e.g.* Papertzian e Farrow, 1995; Reddy, 2002; Selonen *et al.*, 2000; Smith, 1999).

O critério Homogeneidade refere-se à cor e textura da rocha; o Dimensionamento refere-se à espessura, volume e disposição espacial da unidade produtiva; e a Fraturação avalia os aspetos qualitativos e quantitativos da rede de fraturas que afeta o maciço rochoso e que são relevantes do ponto de vista de produção de blocos com dimensões comercializáveis (morfologia, atitude, espaçamento, etc.). São critérios eliminatórios, porque o maciço rochoso não apresentará aptidão ornamental se um deles não for favorável.

Dois instrumentos geológicos são fundamentais para a avaliação destes critérios: a cartografia geológica e levantamentos de fraturação.

A cartografia geológica, com um forte suporte do conhecimento e das técnicas da geologia estrutural, é primordial para a aquisição de dados respeitantes às características cromáticas e texturais das rochas em estudo, sua espessura, volume e disposição estrutural, permitindo, assim, avaliar os critérios Homogeneidade e Dimensionamento. Por outras palavras, os conhecimentos obtidos através da cartografia geológica permitem a delimitação de volumes de um maciço rochoso com aptidão para a produção de rochas ornamentais, os quais têm correspondência com uma ou mais unidades geológicas (ou parte delas) homogéneas quanto à cor e textura e cuja espessura, volume e disposição permitem a produção de blocos com dimensões comercializáveis durante um determinado período de tempo.

Para o caso concreto em que as litologias estudadas correspondem a calcários, a sua caracterização teve como base a classificação textural de Dunham (1962), modificada por Embry e Klovan (1971), bem como a classificação composicional de Folk (1959), particularmente para as observações em lâmina delgada.

Porém, a aptidão ornamental depende ainda do estado de fraturação do maciço rochoso, pelo que levantamentos de fraturação com aquisição de dados quanto ao espaçamento das famílias de fraturas são fundamentais para validar o critério Fraturação. Esses levantamentos deverão ser realizados a escala compatível com a dimensão dos blocos usualmente comercializados.

O estudo das áreas em causa envolveu cartografia geológica à escala 1/2 000 e sondagens com recuperação de testemunho para validação das interpretações geológicas.

Estudos de fraturação foram realizados em trabalho anterior e independente, de maior envergadura (Carvalho, 2013). Envolveram uma avaliação preliminar de cada área por intermédio de fotointerpretação de fotografias aéreas à escala 1/26 000 e que foram obtidas num voo de 1958. A opção por fotografias tão antigas teve como objetivo permitir a observação de estruturas que hoje se encontrem mascaradas pelas pedreiras.

Embora em fotogeologia seja norma que as estruturas observadas sejam interpretadas genericamente como lineamentos, no presente caso foi possível a interpretação da grande maioria como sendo fraturas. Esta possibilidade decorre da existência de grandes áreas desprovidas de solos de cobertura e, conseqüentemente, desprovidas de vegetação. Estando as bancadas sedimentares a descoberto foi possível a identificação direta das fraturas que as afetam. É importante ter em atenção que a existência de locais nos quais não foram identificadas fraturas por este método não é sinónimo da sua inexistência. Podem corresponder a locais em que existe solo e vegetação densa, impossibilitando a sua deteção ou, ainda, a locais tão intensamente fraturados que a resolução do método não permite o discernimento individual das fraturas.

Para a validação dos resultados obtidos e para a obtenção de conhecimento direto sobre as características das famílias de fraturas observadas, realizaram-se estudos de fraturação *in-situ* pelo método de *scanline*: linha materializada nos afloramentos por uma fita métrica ao longo da qual se tomam os dados de todas as fraturas intersectadas. O seu estudo estatístico envolveu a normalização dos dados a um suporte de amostragem comum, quer em termos do comprimento da *scanline* (normalização para 1 m de comprimento), quer da espessura da bancada em que foi realizada (normalização para 1 m de espessura). Se a necessidade de normalizar a amostra ao comprimento da *scanline* é evidente, a normalização à espessura da bancada é necessária pelo facto da maioria das fraturas no MCE corresponderem a diaclasas (Carvalho, 2018) e ser conhecida, para bancadas sedimentares com espessura inferior a 1,5 m, uma proporcionalidade inversa entre a espessura e a frequência de diaclasamento (Ladeira e Price, 1981). Para a análise estatística procedeu-se ainda à correção do enviesamento das orientações (*orientation bias*), tendo-se para o efeito aplicado a chamada Correção de Terzaghi (Terzaghi, 1965; Hudson e Priest, 1983).

Verificou-se que estes levantamentos de fraturação *in-situ* não se revelaram eficazes para a determinação do espaçamento de cada uma das famílias de fraturas nas áreas estudadas devido a vários constrangimentos que serão alvo de discussão em capítulo próprio deste trabalho. Assim, os resultados obtidos quanto à aptidão de cada uma das áreas não tiveram em conta esse parâmetro.

6.1. Cartografia geológica em pedreiras

De um modo geral, a cartografia geológica realizada em áreas sujeitas a atividade extrativa por intermédio de pedreiras tem como objetivo dotar o setor industrial com dados acerca da qualidade e quantidade dos recursos sob exploração. Por esse motivo, é geralmente realizada a grande escala, na ordem de 1/5 000 ou maior. Para o caso concreto dos estudos agora apresentados, foi escolhida a escala 1/2 000 porque é essa a requerida pelas autoridades de ordenamento do território para a elaboração de planos de ordenamento de pormenor.

Tendo como objetivo que os resultados alcançados pudessem ser entendidos por diversos tipos de destinatários (autoridades

mineira e de ordenamento do território, corpo técnico do setor industrial e comunidade científica), prestou-se especial atenção a:

- Distinção das unidades litostratigráficas ou de litologias específicas de acordo com a sua aptidão ornamental;
- Necessidade de nomear as unidades geológicas de acordo com a terminologia usualmente utilizada pelo setor industrial;
- Integração ou correspondência entre as unidades geológicas nomeadas informalmente com as unidades litostratigráficas formais.

Cartografia geológica de tão grande detalhe requer topografia de base igualmente detalhada e que adequadamente represente as formas artificiais de relevo resultantes da atividade extrativa. Como estas formas de relevo artificiais estão em constante evolução, os mapas topográficos de base à escala 1/2 000 foram obtidos a partir de fotografias aéreas de um voo especialmente realizado para o efeito.

Adicionalmente, a fim de facilitar a cartografia geológica, as formas artificiais de relevo foram representadas por simbologia própria, designadamente no que respeita a frentes de pedra vertical e escombrelas. Assim, para o caso das frentes de pedra, em vez de serem representadas por uma diminuição abrupta do espaçamento entre as curvas de nível, a solução adotada foi a representação do limite superior das paredes verticais ou subverticais por intermédio de uma linha contra a qual terminam as curvas de nível. Idealmente, trata-se de uma linha composta como a representada na figura 9.

Para o caso das escombrelas, fez-se uso de uma trama preenchendo a área correspondente à sua base.

Sendo o padrão de afloramentos a base da interpretação de mapas geológicos, a sua compreensão pode revelar-se bastante difícil ou mesmo impossível quando implantados sobre tal tipo de mapas de base porque estes dão origem a padrões de afloramento anómalos (Fig. 9): frentes de pedra que interrompem contactos geológicos ou colocando lado a lado unidades geológicas que na realidade não contactam entre si. Para além disso, em áreas muito conturbadas, pode mesmo ser impossível determinar a espessura das unidades geológicas por simples interpretação do padrão de afloramentos. Portanto, a interpretação deste tipo de mapas geológicos requer particular atenção.

Para obviar estes constrangimentos, recorreu-se à elaboração sistemática de colunas litológicas muito simples em locais chave na maioria das frentes de pedra e sua implantação nos mapas

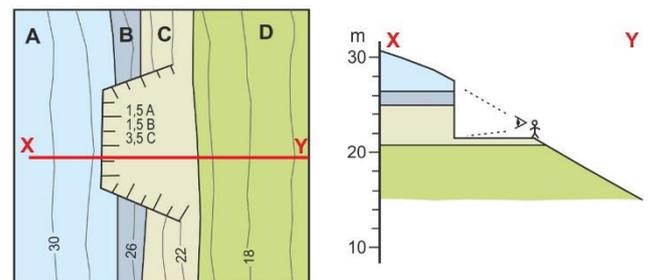


Figure 9. Esquema ilustrativo de padrões de afloramento anómalos resultantes das formas artificiais de relevo criadas pelas pedreiras (A, B, C e D representam quatro diferentes unidades geológicas, em que as três primeiras são intersectadas por uma frente de exploração) e de como a inclusão de colunas litológicas simples auxilia a interpretação geológica.

Figure 9. Sketch of anomalous outcrop patterns resulting from artificial relief forms originated by quarries (A, B, C and D represent four different geological units, in which the first three are intersected by a quarry) and how the inclusion of simple lithological columns aids geological interpretation.

geológicos, à semelhança do representado esquematicamente na figura 9. Aí, cada código é representado por um número que indica a espessura em metros da unidade geológica, sendo esta identificada por uma letra.

6.2. Terminologia local

Os calcários existentes nas áreas estudadas são comercializados sob diferentes designações, tal como Moca Creme e Semi Rijo, com variações que refletem a sua origem, como por exemplo, Semi Rijo do Codaçal e Semi Rijo de Cabeça Veada. Na realidade, no mercado das rochas ornamentais, estas não são identificadas pelas suas designações científicas, mas sim por nomes que de algum modo refletem uma ou combinação de várias das suas características técnicas (ex.: Moleanos Rijo), estéticas (ex.: Moca Creme Grão Médio, Figueiras Bege) e a sua proveniência (ex.: Creme de Fátima). Muitas vezes, trata-se de nomes bastante antigos que no mercado das rochas são mais credíveis do que o seu nome científico. Assim, os nomes comerciais atribuídos às diferentes variedades ornamentais fazem parte da linguagem da chamada indústria da pedra.

Por outro lado, por questões de *marketing*, há uma tendência entre os produtores para atribuir nomes diferentes a uma mesma variedade ornamental, apenas devido a pequenas variações relativamente à variedade padrão, ou apenas para a diferenciar daquela exatamente igual explorada nas pedreiras vizinhas. Por estas razões, o presente estudo inclui todas as litologias com aptidão ornamental sob a designação de Calcários Ornamentais. Em algumas situações específicas teve também em atenção o nome das variedades padrão, independentemente do nome pelo qual são comercializadas.

No âmbito da terminologia específica usada pelos produtores do MCE, uma designação muito comum é o termo “vidraço”. Este termo refere-se a calcários sem aptidão ornamental que apesar de algumas variações, correspondem a calcários micríticos (*mudstones* e *wackstones*) em bancadas com espessura desde alguns centímetros até 0,6 m, raramente alcançando 1 m. Outros nomes usados localmente serão explicados posteriormente, sempre que se justifique.

Tendo em conta a importância da textura das rochas nas suas características estéticas, a terminologia usada neste trabalho para a classificação dos calcários recorreu frequentemente à sua caracterização em termos granulométricos, designadamente grão fino (aloquímicos com

dimensões geralmente inferiores a 1 mm), grão médio (aloquímicos entre 1 mm a 2 mm) e grão grosso (> 3 mm).

7. ESTUDOS GEOLÓGICOS DE PORMENOR DAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO

Como se verá em detalhe mais à frente para cada uma das áreas estudadas, às unidades alvo de exploração foi atribuído o nome genérico de Calcários Ornamentais. Correspondem, total ou parcialmente, aos três membros que constituem a Fm. de Santo António – Candeeiros (vd. Fig. 3), cujas características se sintetizam na tabela 1.

Estes membros foram aprofundadamente estudados do ponto de vista sedimentológico e conteúdo paleontológico por Azerêdo (1993, 1998) que caracterizou e definiu as respetivas litofácies. Em conjunto com estudos anteriores (e.g. Manuppella *et al.*, 1985; Ruget, *et al.*, 1988; Watkinson, 1989; Soares *et al.*, 1993) e posteriores (Azerêdo *et al.*, 2003; Azerêdo e Wright, 2004), incluindo os respeitantes à cartografia geológica regional (Manuppella *et al.*, 1998, 1999, 2000, 2006), suportaram o trabalho da mesma autora em que procede à formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio (Azerêdo, 2007).

Tendo em conta os estudos mencionados e particularmente Azerêdo (2007), a distinção destes membros é feita, fundamentalmente, em função da sua idade, a qual é dada pelo seu conteúdo fossilífero. No essencial, estas unidades são constituídas por calcários oolíticos, bioclásticos e intraclásticos de tipo *grainstone*, *rudstone* e, mais raramente, *packstone*, sendo comum a ocorrência de níveis biostromáticos de coraliários, algas e muitos outros organismos. Os calcários apresentam cor bege com variações para tons mais claros ou escuros e neles diferenciam-se várias litofácies em função da proporcionalidade entre elementos aloquímicos e respetiva granulometria, mas também em função da sua estruturação interna marcada por diversos tipos de estruturas sedimentares, particularmente feixes de estratificação oblíqua e paralela organizados de diversos modos.

Assim, a Fm. de Santo António – Candeeiros é constituída por um conjunto de corpos arenosos calcários empilhados cujas características traduzem um sistema deposicional dominado por um elevado hidrodinamismo típico de um paleoambiente de ilhas-barreira (Azerêdo, 2007).

Porque se interdigita com a Fm. de Santo António – Candeeiros, importa também referenciar a Fm. de Serra de Aire,

Tabela 1. Características das unidades litostratigráficas exploradas nas áreas em estudo (adaptado de Azerêdo (2007); espessuras máximas e cor a partir deste trabalho).

Table 1. Characteristics of the lithostratigraphic units exploited in the study areas (adapted from Azerêdo (2007); maximum thickness and colour from this work).

Núcleo	Formação	Membro	Idade	Espeçura máxima	Fácies dominantes	Cor
Moleanos	Fm. de Santo António - Candeeiros	Membro de Moleanos	Caloviano	150 m	<i>Packstones</i> , <i>grainstones</i> e <i>rudstones</i> oobioclásticos, oncolíticos e intraclásticos	Bege
Cabeça Veda		Membro de Pé da Pedreira	Batoniano superior	130 m	<i>Grainstones</i> e <i>rudstones</i> bio/pel/intraclásticos, por vezes oolíticos	Bege
Pé da Pedreira				40 m		Bege escuro a bege claro
Portela das Salgueiras				100 m		Bege claro
Codaçal		Membro de Codaçal	Batoniano inferior	120 m	<i>Grainstones</i> e <i>rudstones</i> bioclásticos e oobioclásticos	Bege claro

seu equivalente lateral e cujo desenvolvimento ocorre sobretudo nas regiões orientais do MCE.

De acordo com Azerêdo (2007) e trabalhos anteriores aí mencionados, esta formação é maioritariamente constituída por calcários micríticos (*mudstones* e *wackestones*) frequentemente fenestrados e mais ou menos ricos em oncóides, pelóides e bioclastos. Apresentam cores de tom claro (branco, bege, rosado e cinzento) e dispõem-se em bancadas decimétricas, raramente ultrapassando 1 m. Estes calcários ter-se-ão depositado em paleoambientes de baixo hidrodinamismo, lagunares e perimareais, nas áreas ante barreira protegidas pelos depósitos da Fm. de Santo António – Candeeiros.

Independentemente dos estudos antes mencionados e que servem de referência para as litofácies presentes, seu conteúdo fossilífero, organização espacial e compreensão das condições paleoambientais em que se formaram, no presente trabalho procurou-se sublinhar o carácter ornamental dos membros da Fm. de Santo António – Candeeiros em função dos critérios anteriormente apontados no capítulo dedicado à metodologia, pelo que nos capítulos seguintes se procede à sua subdivisão em função desse mesmo carácter.

7.1. A área de Codaçal

7.1.1. Litostratigrafia

Como resultado da cartografia geológica da área do Codaçal à escala 1/2 000, apresenta-se na figura 10 uma versão simplificada e reduzida da carta geológica obtida a essa escala. Nesta área foram definidas as unidades litostratigráficas constantes da tabela 2.

Como mais à frente será detalhado, nos Calcários Ornamentais distinguem-se variedades que correspondem a variações laterais e verticais de fácies dentro dessa unidade. Por outro lado, essas variedades ornamentais, juntamente com a Unidade da Base e o Margaço, fazem parte da unidade regional Mb. de Codaçal, sendo o Margaço equivalente lateral das restantes, de acordo com a coluna litostratigráfica esquemática presente na figura 10. Nessa coluna é possível constatar a existência de uma outra fácies que se denominou Calcário Dolomitizado. Não corresponde a uma unidade litostratigráfica, mas antes a níveis das restantes unidades que sofreram dolomitização.

7.1.1.1. Lajes e Vidraços

O nome que aqui se atribui a esta unidade deriva do fato de alguns níveis serem explorados como rocha ornamental para utilização rústica (lajes), e outros apresentarem características compactas (por granularidade muito fina) e tenderem a estilhaçar quando percutidos (vidraços). Na área do Codaçal, só a parte superior da

unidade aflora, a qual, por efeito conjunto do relevo e estratos sub-horizontais, circunda a unidade suprajacente Calcários do Codaçal. O contato entre ambas as unidades, é brusco. As Lajes e Vidraços correspondem a *mudstones* e *packstones*, estes últimos de granularidade fina. Por vezes, são ligeiramente margosos e alguns níveis apresentam indícios de dolomitização.

Apresentam cores castanhas e cinzentas de tons claros. As bancadas são de espessura centimétrica a decimétrica. A possança da unidade Lajes e Vidraços não é determinável na área estudada, mas tendo em atenção as litofácies observadas nos testemunhos da sondagem MCE-111 (*cf. logs* em anexo), deverá rondar os 35 m de espessura. Azerêdo (2007) refere que a espessura será de 50 a 60 m. Não se investigou esta discrepância por não ser relevante para o objeto fundamental do estudo.

A exploração das lajes ocorre na região setentrional do Cabeço Vedeiro, em níveis correspondentes ao topo da unidade. São bancadas com reduzida espessura, entre 2 cm a 40 cm (Fig. 11) e, numa apreciação empírica, as mais frequentes apresentam espessura na ordem dos 5 cm. Para sul do Cabeço Vedeiro, e nos locais em que foi possível realizar observações, continua a verificar-se a ocorrência destas camadas pouco espessas. Contudo, as condições de afloramento não são propícias a verificar a sua continuidade, pois os declives são bastante acentuados e o coberto vegetal é relativamente denso. Por observação dos testemunhos da sondagem MCE-111, conclui-se que a ocorrência de tais níveis não é constante.

Observações em lâmina delgada de amostras desta unidade revelam uma grande variabilidade composicional e textural de bancada para bancada, também assinalada por Manuppella *et al.* (2000), desde micrites a intra-biointraparites; nestas, as menos frequentes, a dimensão do grão raramente ultrapassa 1 mm de diâmetro maior (Fig. 12).

7.1.1.2. Calcários do Codaçal

Tal como mencionado anteriormente, de modo genérico são calcários calciclásticos de granularidade fina a muito grosseira (*grainstones* e *rudstones*). A sua espessura máxima na área estudada ronda os 120 m. Compreendem 3 subunidades: Unidade da Base, Calcários Ornamentais e Margaço, sendo o conjunto formado pela Unidade da Base e pelos Calcários Ornamentais equivalente lateral do Margaço.

Unidade da Base

Trata-se de uma unidade faciologicamente variada, mas em termos genéricos é constituída por calcários calciclásticos de grão fino a médio, maioritariamente *packstones* e *grainstones*

Tabela 2. Unidades litostratigráficas na área do Codaçal.

Table 2. Lithostratigraphic units in the Codaçal area.

Unidades litostratigráficas	Nomenclatura formal		Outras designações	Idade
	Formação	Membro		
idraços do Topo	Serra de Aire	-	Calcários micríticos de Serra de Aire	Batoniano
Calcários do Codaçal	Margaço	Santo António - Candeeiros	Codaçal	Batoniano inferior.
	Calcários Ornamentais			
	Unidade da Base			
Lajes e Vidraços	Chão de Pias	Calcários de Vale da Serra	Calcários de Chão das Pias	Bajociano superior.

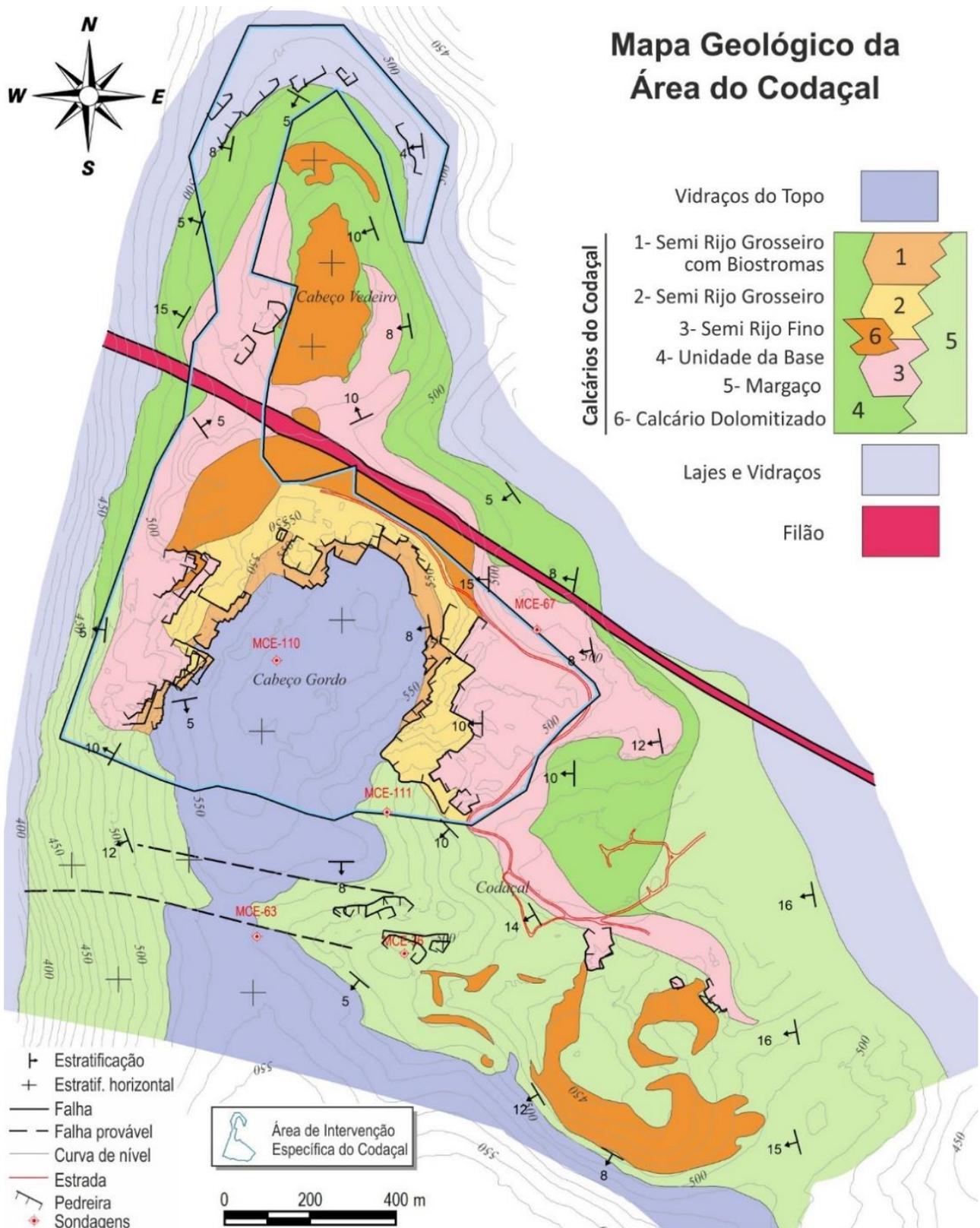


Figura 10. Mapa Geológico da área do Codaçal, simplificado e reduzido a partir de carta geológica original à escala 1/2 000.

Figure 10. Geological map of the Codaçal area simplified and reduced from the original geological map at scale 1/2,000.

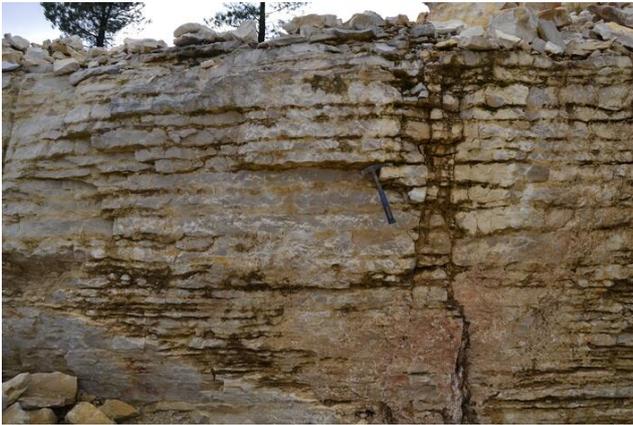


Figura 11. Pedreira de exploração de lajes em que é evidente a reduzida espessura dos estratos que constituem o topo da unidade Lajes e Vidraços (encosta oriental do Cabeço Vedeiro).

Figure 11. Slab extraction quarry in which the reduced thickness of strata from the top of the Lajes e Vidraços unit is clearly seen (eastern slope of Cabeço Vedeiro hill).

pelóidicos, mais ou menos bioclásticos e intraclásticos. Apresentam cor bege a cinzenta e as bancadas são de espessura decimétrica, raramente métrica. Em alguns afloramentos observam-se cores alaranjadas, de alteração, em amostras que se mostram extremamente porosas. É frequente a ocorrência de níveis dolomitizados, em particular nas imediações do filão que atravessa a área. A sua possança máxima ronda os 35 m.

Esta unidade desenvolve-se unicamente na região central e setentrional da área cartografada. Para sul passa, por variação lateral de fácies, a uma outra unidade (Margaço) que mais à frente será descrita.

O nome que lhe foi atribuído deriva do fato de estar subjacente às litofácies que compõem a unidade Calcários Ornamentais, sendo a passagem entre ambas gradual. Contudo, a norte do filão que atravessa transversalmente a área estudada, verifica-se um aumento da possança desta Unidade da Base em detrimento da possança dos Calcários Ornamentais, que biselam. Ou seja, também há variação lateral de fácies entre a Unidade da Base e os Calcários Ornamentais.

Observações em lâmina delgada de amostras desta unidade confirmam a sua heterogeneidade faciológica, quer em termos composicionais, quer granulométricos, predominando, no entanto, fácies de granulometria muito fina (Fig. 13). Permitem também constatar uma elevada porosidade intergranular por parte de algumas amostras.

Calcários Ornamentais

Nesta unidade raramente é possível a individualização de estratos sedimentares separados mecanicamente de estratos adjacentes, sendo constituída por corpos bastante espessos de calcários bioclásticos e ooboclásticos (*grainstones* e *rudstones*) de grão fino a grosseiro e cor bege de tonalidade bastante clara. Desenvolve-se, sobretudo, na região central da área. Para norte do filão não aflora na totalidade. Como atrás referido, situa-se acima e lateralmente à Unidade da Base, passando, para sul, também por variação lateral de fácies, a Margaço. A sua espessura máxima é de 80 m e a sua espessura média rondará os 55 m.

Alguns dos níveis desta subunidade apresentam-se dolomitizados, sobretudo nas imediações da estrutura filoniana,

onde a espessura desses níveis atingidos por dolomitização pode chegar aos 20 m.

Em função das suas particularidades texturais, da base para o topo distinguem-se as seguintes variedades: Semi Rijo Fino, Semi Rijo Grosseiro e Semi Rijo Grosseiro com Biostromas. Embora várias designações comerciais lhes possam ser atribuídas, correspondem a variações do padrão conhecido por Semi Rijo do Codaçal.

Semi Rijo Fino

Variedade correspondente a *grainstones* oolíticos com laminação sedimentar paralela ou ligeiramente oblíqua e organizada em feixes de espessura métrica. Esta laminação é, no geral, muito ténue. A cor é bege de tonalidade bastante clara. A figura 14 refere-se a amostra típica desta variedade ornamental que corresponde à variedade padrão comercializada sob a designação Semi Rijo do Codaçal.

Não se distinguem bancadas separadas mecanicamente, constituindo esta subunidade um corpo maciço com uma espessura média a rondar os 30 m, podendo alcançar os 45 m. Junto ao filão apresenta-se parcialmente dolomitizada na sua parte superior.

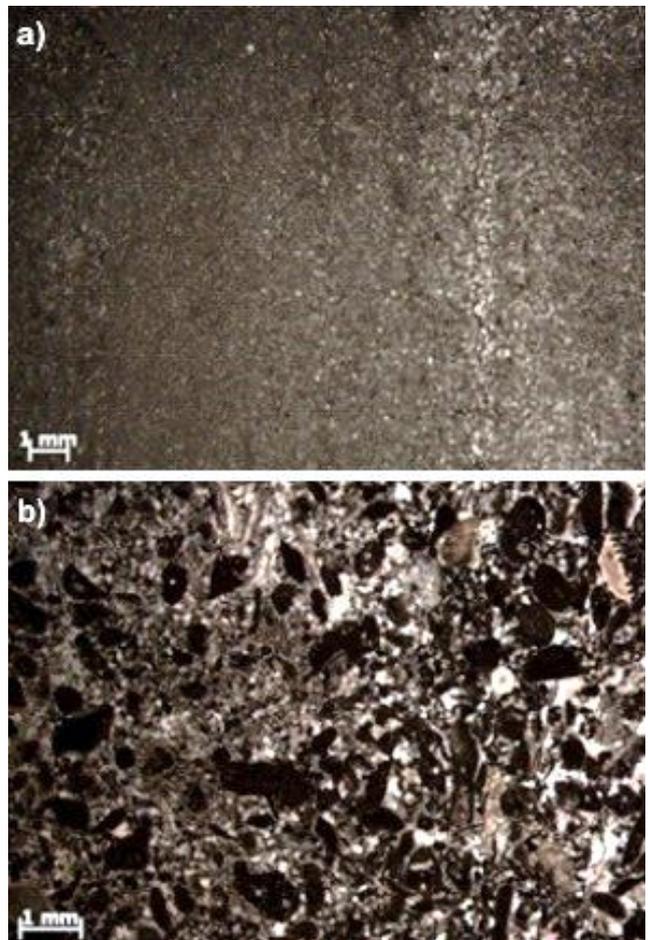


Figura 12. Microfotografias elucidativas da variação composicional e textural dos calcários da unidade Lajes e Vidraços. a) calcário micrítico; b) calcário biointraspartítico (luz polarizada, nicóis paralelos).

Figure 12. Microphotographs illustrating the compositional and textural variation of limestones from the Lajes e Vidraços unit. a) micritic limestone; b) biointraspartitic limestone (polarized light, parallel nicols).

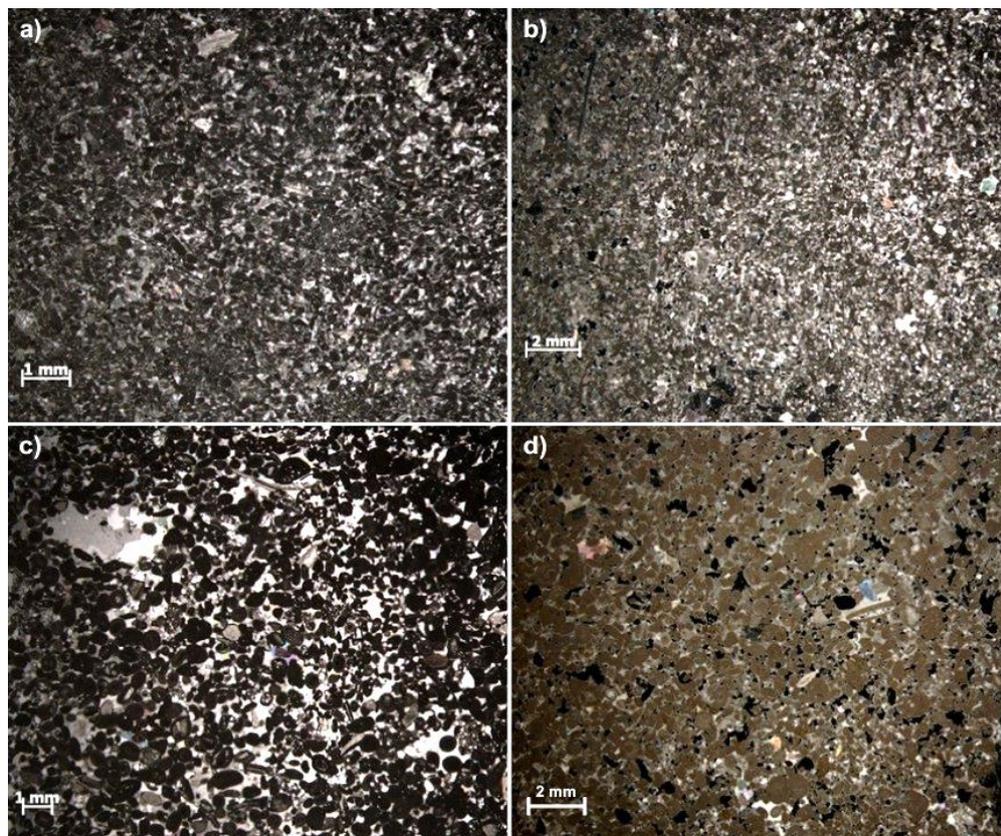


Figura 13. Microfotografias representativas da variabilidade faciológica dos calcários da Unidade da Base. a) intrapelmicrosparite (luz polarizada, nicóis paralelos); b) pelmicrosparite com porosidade interpartículas (luz polarizada, nicóis cruzados); c) oopelsparite (luz polarizada, nicóis paralelos); d) peloosparite com elevada porosidade interpartículas (luz polarizada, nicóis cruzados).

Figure 13. Representative microphotographs of the facies variability of limestones from the Base Unit. a) intrapelmicrosparite (polarized light, parallel nicols); b) pelmicrosparite with interparticle porosity (polarized light, crossed nicols); c) oopelsparite (polarized light, parallel nicols); d) peloosparite with high interparticle porosity (polarized light, crossed nicols).

Amostras de Semi Rijo Fino colhidas à superfície e nos testemunhos de sondagens mostram, por observação em lâmina delgada, que esta variedade é muito homogênea em termos composicionais e granulométricos. Essencialmente correspondem a *grainstones* oolíticos cujos elementos constituintes (maioritariamente oóides e, secundariamente, bioclastos e pelóides) apresentam dimensões inferiores a 0,5 mm (Fig. 15).

Semi Rijo Grosseiro

Trata-se de uma variedade correspondente a *grainstones* e *rudstones* bioclásticos e intraclásticos, mais ou menos oolíticos, de cor bege. Como o próprio nome indica, distingue-se da variedade subjacente essencialmente por apresentar granularidade mais grosseira. Também apresenta laminação sedimentar, mas agora melhor marcada e estando representada por vários tipos organizados em feixes de espessura centimétrica a métrica, conforme ilustrado na figura 16.

Constitui um corpo maciço, isto é, sem descontinuidades mecânicas de origem sedimentar, com uma espessura média a rondar os 15 m, mas alcançando um máximo de 65 m, tal como se prevê que aconteça no Cabeço Gordo, a leste do local onde foi realizada a sondagem MCE-110. Para sul bisela, dando lugar à unidade suprajacente.

A diferença de granularidade com a variedade Semi Rijo Fino está bem patente nas microfotografias da figura 17. Estas mostram que o Semi Rijo Grosseiro pode variar de pelintrasparites texturalmente homogêneas, bem calibradas em que os grãos apresentam diâmetro máximo a variar entre 0,3 mm e 1 mm, a pelbiosparites em que essa homogeneidade se perde à escala microscópica e mesoscópica por ocorrência das laminações sedimentares atrás mencionadas e que resultam,

para o caso da microfotografia da figura 17b), da alternância de bandas biosparíticas de granularidade grosseira (elementos com diâmetro de 1 a 5 mm) com bandas biopelsparíticas de granularidade mais fina (elementos com diâmetro máximo entre 0,5 e 1 mm).

Semi Rijo Grosseiro com Biostromas

Semelhante ao anterior, mas distingue-se pela ocorrência de níveis de espessura decimétrica ricos em macrofauna (Fig. 18), cuja identificação dos espécimes mais frequentes pode ser consultada em Azerêdo (1993). A diferenciação entre estas duas subunidades, de baixo para cima, faz-se pela ocorrência do primeiro nível de biostroma. A possança média ronda os 10 m, mas tende a espessar para sul, onde pode atingir 50 m à custa da diminuição dos níveis subjacentes.

Margaço

Este é o nome pelo qual é conhecida na região uma fácies de *rudstones* intrabioclásticos, oncolíticos e de cor bege a cinzenta-clara. Caracteristicamente, o Margaço apresenta granularidade muito grosseira (grãos com 2 a 10 mm de diâmetro máximo).

Localmente, contém níveis biostromáticos mais ou menos espessos e extensos e, em particular na região sudeste da área cartografada, apresenta níveis dolomitizados. A unidade ocorre apenas na região central e meridional da área cartografada, sendo que na região central (Cabeço Gordo) passa lateralmente, mas de modo brusco, à Unidade da Base e aos Calcários Ornamentais.

Admite-se que a possança máxima do Margaço ronde os 120 m, correspondendo, neste caso, à espessura total dos Calcários do Codaçal. No que respeita à espessura das bancadas, ela é de difícil



Figura 14. Amostra polida características da variedade Semi Rijo Fino (notar a homogeneidade textural e granulometria muito fina).

Figure 14. Polished sample characteristic of the Semi Rijo Fino variety (note the textural homogeneity and very fine grain size).

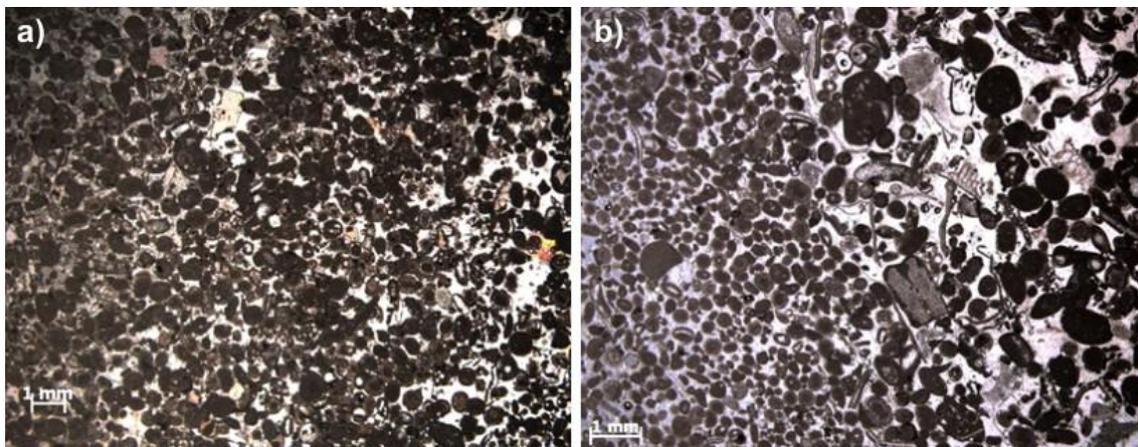


Figura 15. Microfotografias de lâminas delgadas de Semi Rijo Fino vistas sob luz polarizada com nicóis paralelos. a) grainstone oolítico de grão muito fino correspondente à composição e textura mais comum da variedade ornamental; b) grainstone pelóidico e intrabioclástico em que é possível observar laminação sedimentar denunciada por uma banda de grão muito fino de pelóides e uma banda de grão mais grosseiro (até 1 mm) de intraclastos, oóides e bioclastos.

Figure 15. Thin section microphotographs of Semi Rijo Fino under polarized light with parallel nicols. a) very fine-grained oolitic grainstone corresponding to the most common composition and texture of the ornamental variety; b) pelloidic and intrabioclastic grainstone in which it is possible to see sedimentary lamination denoted by a very fine-grained band of peloids and a coarser-grained band (up to 1 mm) of intraclasts, ooids and bioclasts.

apreciação, pois, tal como para as variedades ornamentais, o Margaço é constituído por corpos maciços empilhados. Porém, localmente, é possível apreciar termos de espessura decimétrica a métrica.

Observações em lâmina delgada confirmam as observações a olho nu. O Margaço corresponde a intra-bio-pelsparites com forte variação nas proporções entre cimento esparítico, aloquímicos grosseiros e aloquímicos finos (Fig. 19).

7.1.1.3. Vidraços do Topo

Esta unidade tem correspondência com a Fm. de Serra de Aire e na área cartografada apenas aflora a sua base, até uma possança de 40 m. Apresenta grande variabilidade faciológica, mas em termos gerais é composta por *mudstones*, *wackestones* e, menos frequentemente, *floatstones* mais ou menos espessos, tal como descrito por Azerêdo (1993; 1998). Localmente, junto à base, ocorrem espessos biostromas com bioclastos bastante grosseiros,



Figura 16. Exemplo de vários tipos de laminação sedimentar bem marcada que caracterizam o Semi Rijo Grosseiro. a) estratificação entrecruzada em feixes tabulares de espessura centimétrica; b) idem, mas em feixes decimétricos; c) laminação paralela e oblíqua, sendo de realçar o contato entre duas bancadas com litofácies bem distintas sem que a superfície de estratificação tenha correspondência com descontinuidade mecânica; d) feixe métrico de laminação paralela. Para detalhes sobre estas e outras estruturas e seu significado ver Azerêdo (1993) e Inês *et al.* (2020).

Figure 16. Example of several types of well-marked sedimentary laminations typical of Semi Rijo Grosseiro. a) Cross-stratification in centimetre-thick tabular sets; b) idem but in decimetre-thick sets; c) parallel and oblique lamination, highlighting the inexistence of a mechanical discontinuity between two beds with very distinct lithofacies; d) metric set of parallel lamination. For details on these and other structures and their meaning, see Azerêdo (1993) and Inês *et al.* (2020).

constituindo passagem gradual com as unidades subjacentes: a sul o Margaço e, no Cabeço Gordo, os Calcários Ornamentais (Fig. 20). Esses biostromas apresentam, por vezes, um aspeto muito cavernoso, resultado de carsificação intensa (Fig. 20b). Noutros locais a passagem entre o Semi Rijo Grosseiro com Biostromas e os Vidraços do Topo ocorre de modo brusco (Fig. 21).

Os Vidraços do Topo apresentam cor bege a cinzenta-claro. As bancadas são de espessura centimétrica a decimétrica, embora possam ocorrer níveis de espessura métrica, maciços, como os mencionados biostromas.

7.1.2. Sondagens

Na área do Codaçal realizaram-se 2 sondagens mecânicas com recuperação integral do testemunho, referenciadas por MCE-110 e MCE-111. Os *logs* que reportam detalhadamente as litologias interetadas por estas sondagens apresentam-se em anexo.

Tratando-se de sondagens de reconhecimento geral, tiveram como objetivo a validação do modelo geológico idealizado para esta região por intermédio dos resultados alcançados pela cartografia geológica de superfície. Especificamente visaram avaliar a espessura da cobertura estéril sobrejacente aos calcários ornamentais, ou seja, a espessura da unidade Vidraços do Topo,

avaliar a espessura e características dos Calcários Ornamentais, particularmente no que respeita às suas variações laterais de fácies, com influência direta na determinação da sua aptidão ornamental e, por fim, avaliar a espessura total do Membro de Codaçal.

Relativamente à avaliação da aptidão ornamental, em cada um dos *logs* é apresentada uma avaliação qualitativa dos troços atravessados. Dependendo do tipo litológico perfurado, o valor dessa avaliação é mais ou menos objetivo. Assim, para as litologias constituintes das unidades Vidraços do Topo e Lajes e Vidraços essa avaliação está suportada em parâmetros objetivos e com características regionais, nomeadamente, a espessura típica dos bancos das unidades em causa e a variação de fácies de estrato para estrato. Quando perfuradas as litologias dos Calcários do Codaçal, os parâmetros referidos não têm validade pois, no geral, esta unidade é constituída por corpos maciços em que raramente se distinguem estratos sedimentares individualizados. Por isso, a avaliação da aptidão dos troços dos testemunhos das sondagens baseia-se na maior ou menor homogeneidade textural e cromática dos diferentes feixes de laminações sedimentares, na espessura destes feixes e na existência de descontinuidades. Contudo, estes parâmetros, quando avaliados na reduzida superfície a que corresponde o

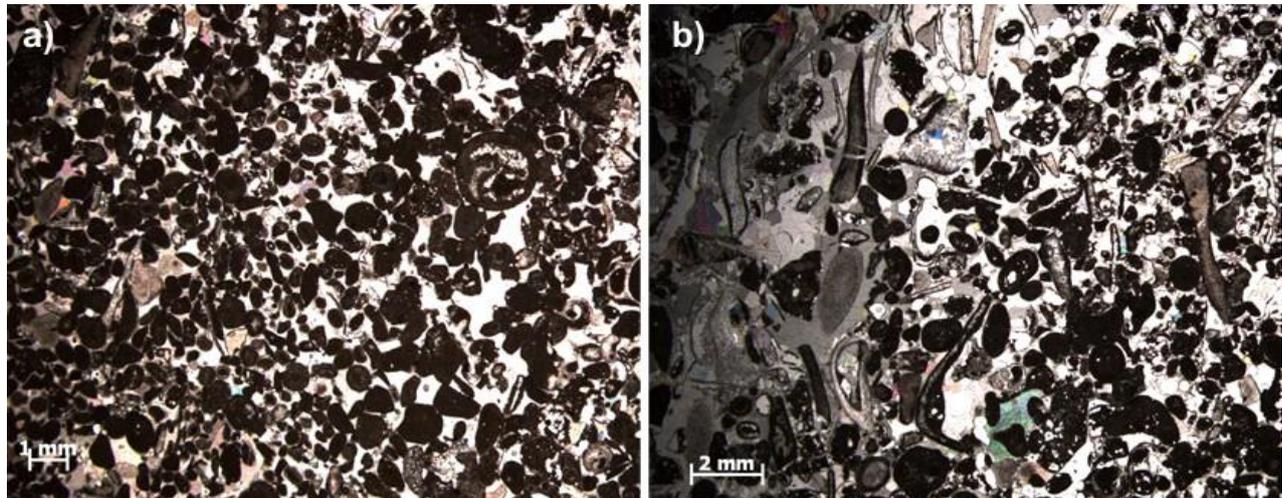


Figura 17- Microfotografias de lâminas delgadas de Semi Rijo Grosseiro (luz polarizada, nicóis paralelos). a) *grainstone* pelóidico e intraclástico texturalmente homogêneo; b) *grainstone* pelbioclástico com bandas de diferente granularidade.

Figure 17. Thin section microphotographs of Semi Rijo Grosseiro (polarized light, parallel nicols). a) texturally homogeneous pelintraclastic grainstone; b) pelbioclastic grainstone showing bands of different grain size.

testemunho de uma sondagem, têm apenas representatividade local.

A sondagem MCE-110, não alcançou a base da unidade Calcários do Codaçal por motivos técnicos. Terminou aos 134,43 m numa cavidade cársica que impossibilitou o seu prosseguimento. A MCE-111 prolongou-se muito para além da base dos Calcários do Codaçal com o objetivo de intersetar o nível freático. Terminou aos 173,87 m sem ter intersetado esse nível.

No mapa da figura 10 estão também referenciadas 3 outras sondagens, nomeadamente, MCE-36, MCE-63 e MCE-67.

Correspondem a sondagens realizadas em anteriores campanhas de estudos de âmbito regional (Costa *et al.*, 1988) e cujos dados também serviram o presente trabalho.

Sondagem MCE-110

A sondagem MCE-110, com um comprimento total de 134,43 m foi realizada no topo do Cabeço Gordo,

sensivelmente equidistante às diversas pedreiras que estão instaladas tanto no flanco ocidental como no oriental do dito cabeço.

Esta sondagem iniciou-se à cota de 572 m, em calcários da unidade Vidraços de Topo. Coordenam, genericamente, a *wackestones* e *packstones* de cor bege e por vezes com conteúdo bioclástico relevante, em particular dos 6,50 m aos 11,75 m. A partir dos 13,10 m estes calcários apresentam-se bastante alterados, cavernosos e mesmo freáveis e de tonalidade laranja nos últimos 2 m, os quais constituem uma passagem gradual às rochas subjacentes. Os Vidraços do Topo foram atravessados até aos 22,38 m e não apresentam aptidão ornamental. Constituem a carga estéril sobre os calcários ornamentais aos quais, como referido, passam de modo gradual.

A partir daí e até aos 37,75 m a sondagem atravessou calcários da unidade Semi Rijo Grosseiro com Biostromas. Correspondem a *grainstones* biointraclásticos, mais ou menos oolíticos, com uma matriz pelóidica. Apresentam granularidade fina a grosseira, mal

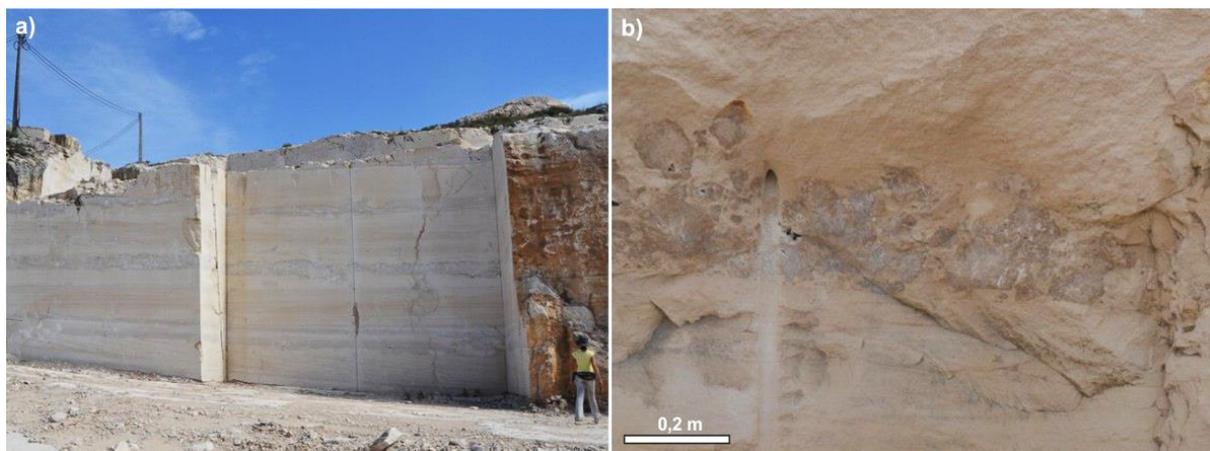


Figura 18. Semi Rijo Grosseiro com Biostromas. a) frente de exploração em que são visíveis três níveis biostromáticos; b) pormenor de um nível biostromático.

Figure 18. Semi Rijo Grosseiro com Biostromas. a) quarry front where three biostrome levels are visible; b) detail of a biostrome.

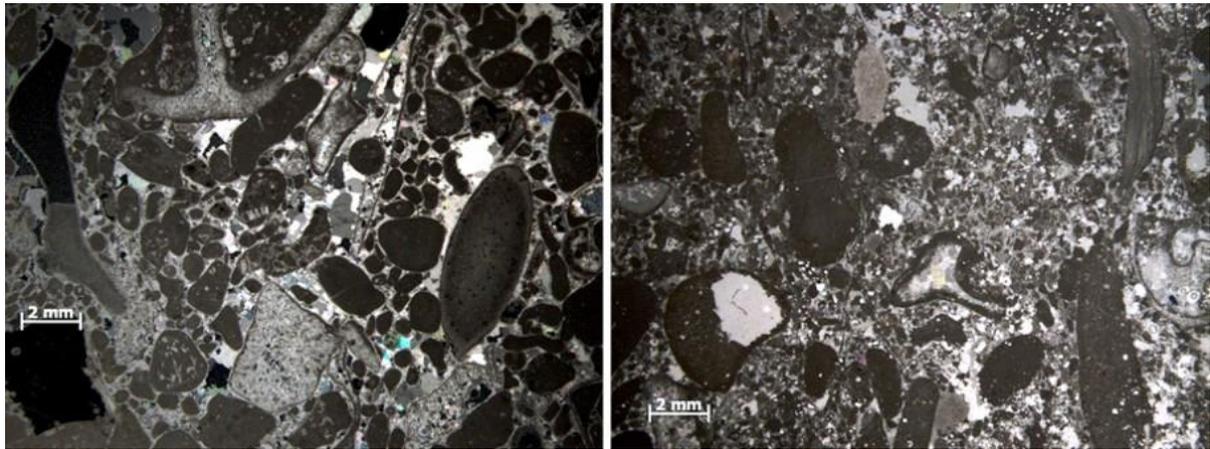


Figura 19. Microfotografias de Margaçó que mostram diferentes proporções entre pelóides e intraclastos e bioclastos de grandes dimensões (luz polarizada em ambas as fotografias; nicóis cruzados na fotografia da esquerda e paralelos na da direita).

Figure 19. Microphotographs of Margaçó showing different proportions between peloids and large intraclasts and bioclasts (polarized light in both photographs; crossed nicols in the left photograph and parallel in the right one).

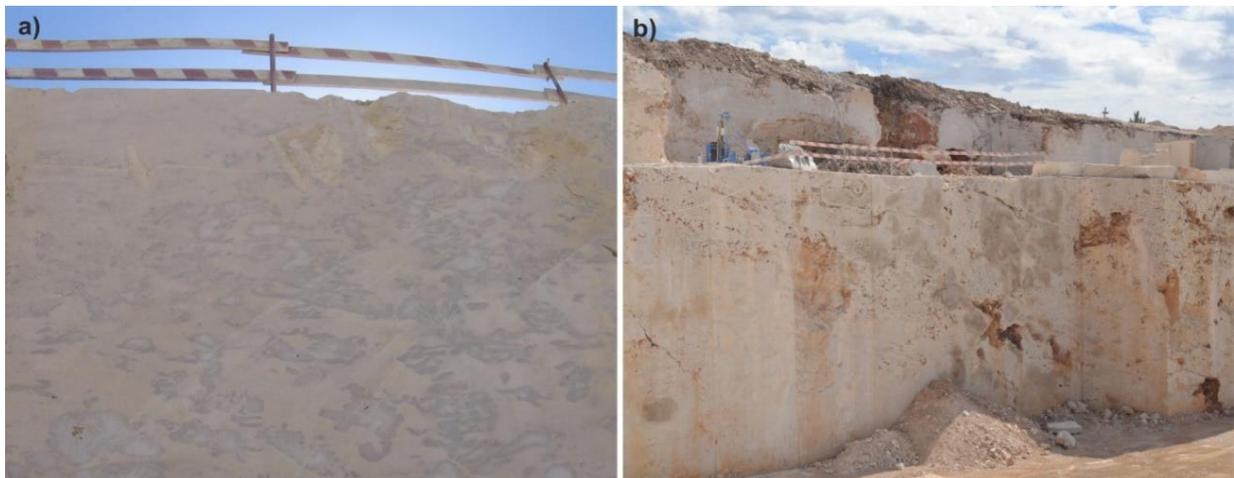


Figura 20. Aspeto de biostroma típico da passagem gradual entre Calcários Ornamentais e Vidraços do Topo no flanco ocidental do Cabeço Gordo (pedreira de M. Anastácio). a) não carsificado; b) carsificado.

Figure 20. Biostrome characterizing the transition between Calcários Ornamentais and Vidraços do Topo units on the western flank of the Cabeço Gordo hill (M. Anastácio quarry). a) non- karstified; b) karstified.

calibrada. Este fato, a par com a ocorrência de níveis biostromáticos de espessura decimétrica, confere-lhes uma reduzida homogeneidade textural. No que respeita à cor, apresentam-se beges, mas sarapintados de cinzento por efeito da ocorrência, mais ou menos frequente, de bioclastos grosseiros assim coloridos. Consideram-se estes calcários com média aptidão ornamental devido à referida baixa homogeneidade textural e cromática.

Dos 37,75 m aos 59,07 m a sondagem atravessou *grainstones* oolíticos de cor bege clara e granularidade fina bem calibrada, sem laminação sedimentar evidente e que tem correspondência com os calcários da unidade Semi Rijo Fino. Espaçadamente ocorrem níveis com 20 a 40 cm de espessura ricos em bioclastos e litoclastos que apresentam laminação sedimentar bem marcada. Para a base, a partir dos 50,56 m, surgem bioclastos cinzentos dispersos na matriz oolítica sem, contudo, condicionar a elevada homogeneidade textural que caracteriza globalmente estes troços, razão pela qual a aptidão ornamental se considera elevada.



Figura 21. Contato brusco entre Semi Rijo Grosseiro e Vidraços do Topo (flanco ocidental do Cabeço Gordo).

Figure 21. Abrupt contact between Semi Rijo Grosseiro and Vidraços do Topo units (western flank of Cabeço Gordo hill).

Dos 59,07 m aos 104,75 m atravessaram-se calcários da unidade Semi Rijo Grosseiro: *grainstones* pel-oolíticos de grão fino a médio com maior ou menor abundância de lâminas milimétricas ricas em bioclastos e litoclastos grosseiros que evidenciam laminação sedimentar bem marcada. A cor geral é bege. Até aos 84,50 m é frequente a ocorrência de planos estilólíticos sub-horizontais (“fios castanhos”). A sua aptidão ornamental é mediana devido à ocorrência dos referidos estilólitos e pela algo reduzida homogeneidade textural decorrente da alternância de feixes de laminação sedimentar.

A partir dos 104,75 m e até ao fim da sondagem, atravessaram-se calcários da Unidade da Base correspondentes a alternância litofácies com espessura decimétrica de *grainstones* grosseiros e *rudstones* pel-lito-bioclásticos muito mal calibrados. É frequente a ocorrência de níveis milimétricos e centimétricos de *wackestones* de cor cinzenta que sobressaem da cor bege geral da rocha. Contudo, a partir dos 117,40 a cor bege apresenta tons alaranjados devidos a alteração, a qual é bem evidente pela ocorrência de troços cavernosos. Devido à baixa homogeneidade textural e cromática e também devido à ocorrência frequente de estilólitos sub-horizontais (“fios castanhos”), a aptidão ornamental deste troço da Unidade da Base considera-se baixa.

Sondagem MCE-111

Esta sondagem iniciou-se em calcários calciclásticos muito grosseiros. Têm correspondência com a unidade Margaço. A sua aptidão ornamental é reduzida devido à grande variabilidade textural e cromática que exibem. Essa variabilidade resulta de alternâncias decimétricas de diferentes tipos de feixes de laminações sedimentares.

Bruscamente, a partir dos 38,60 m e até aos 47,47 m, a sondagem atravessou *grainstones* oolíticos de granularidade fina a média, nos quais se distinguem níveis com 20 a 30 cm de espessura de granularidade mais grosseira. Têm correspondência com a variedade Semi Rijo Fino. A sua aptidão ornamental está condicionada por troços de elevada porosidade e pela presença de bioclastos grosseiros (< 2 cm) e cor cinzenta, que ocorrem de modo disperso.

De modo gradual verifica-se uma passagem dos calcários anteriores a outros que se enquadram na unidade Semi Rijo Grosseiro e que foram atravessados até aos 83,40 m. São calcários calciclásticos cuja proporção dos elementos constituintes é muito variada em função da laminação sedimentar. Tendencialmente correspondem a *grainstones* de granularidade média a grosseira com mediana aptidão ornamental. Contudo, entre os 59,63 m e os 69,80 m, apresentam boa aptidão, o que se deve ao fato de apresentarem granularidade fina e relativamente elevada homogeneidade textural e cromática. Já a partir dos 69,80 m e até aos 83,40 m, voltam a apresentar-se granulometricamente grosseiros, pouco homogêneos e com abundantes “fios castanhos” sub-horizontais, donde a reduzida aptidão ornamental.

Dos 83,40 m aos 92,00 m a sondagem voltou a atravessar calcários de aspeto conglomerático que se atribuem à unidade Margaço. Não têm aptidão ornamental. Estes calcários passam gradualmente a *packstones* de cor bege escura, muito porosos e texturalmente pouco homogêneos, os quais foram intersetados até aos 101,20 m. São característicos da Unidade da Base, sendo a sua aptidão ornamental reduzida.

Dos 101,20 m até aos 135,08 m, a sondagem passa gradualmente a calcários cinzentos e bege acinzentados

correspondentes a alternâncias métricas de *packstones* e *wackestones* essencialmente pelóidicos e biointraclásticos, localmente com níveis de *grainstones* e de *mudstones*. Devido à grande variabilidade de fácies, não apresentam aptidão ornamental. Admite-se que estes calcários façam parte da unidade Lajes e Vidraços (Fm. de Chão de Pias), pese embora o fato de não se observarem algumas das características que tipicamente se verificam nesta unidade à superfície.

A partir dos 135,08 m até ao fim da sondagem, aos 173,87 m, verifica-se, de modo gradual, uma passagem a litologias completamente distintas e que correspondem a alternâncias decimétricas a métricas de níveis de *mudstones* e *wackestones* de cores cinzentas, mais ou menos margosos. Pelas suas características e pela profundidade a que ocorrem, admite-se que integrem a Fm. de Barranco do Zambujal, a qual não aflora na área de estudo.

7.1.3. Estrutura e modelo geológico

Pelo exposto anteriormente e ilustrado na figura 22, os Calcários Ornamentais correspondem a uma unidade maciça, com cerca de 55 m de espessura e cujo desenvolvimento se dá, sobretudo, na vertical com diferenciação de diferentes corpos sedimentares em função da sua granularidade, desde fina a muito grosseira. Essa diferenciação é, de modo geral, brusca na vertical, ao passo que lateralmente é gradual. Esses corpos apresentam geometria muito variável e só localmente podem ser considerados tabulares.

Os dados obtidos pelas sondagens mostram que não é possível estabelecer uma correspondência direta entre as sequências litológicas por elas atravessadas e a coluna da figura 22, obtida a partir dos dados de superfície. A título de exemplo, na sondagem MCE-110, imediatamente subjacentes aos calcários da unidade Semi Rijo Grosseiro com Biostromas, foram intersetados calcários que se incluem na unidade Semi Rijo Fino, quando se esperaria a unidade Semi Rijo Grosseiro. Este fato comprova, sobretudo, que as unidades referidas se interdigitam, correspondendo a variações laterais e verticais de fácies no interior da unidade maior que as engloba – os Calcários do Codaçal.

Na região setentrional da área cartografada, o conjunto dos corpos sedimentares que constituem os Calcários Ornamentais passa por variação lateral de fácies a uma unidade de granulometria muito mais fina e menos homogênea (Unidade da Base). Já na região meridional, passa lateralmente a uma unidade

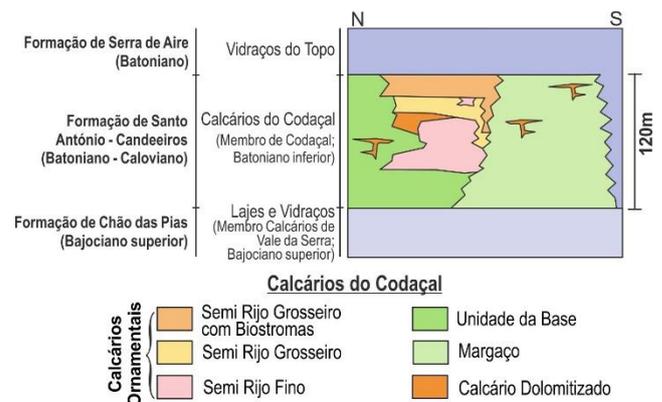


Figura 22. Coluna litostratigráfica da área do Codaçal.

Figure 22. Lithostratigraphic column of the Codaçal area.

de grão bem mais grosseiro, também maciça (até 120 m) e cuja textura só localmente se revela homogênea (Margaço).

Estes aspectos são relevantes na medida em que na maior parte da área de afloramento dos Calcários do Codaçal não se observam planos de descontinuidade mecânica equivalentes a planos de estratificação, devido ao caráter maciço dos corpos sedimentares que constituem essa unidade, em particular os correspondentes aos Calcários Ornamentais e ao Margaço. Assim, as estratificações medidas nessas subunidades e que se encontram representadas no mapa geológico da figura 10, correspondem, na realidade, à atitude dos feixes de laminações sedimentares que são uma das características desses corpos. Admite-se algum paralelismo entre a atitude desses feixes com a disposição estrutural dos corpos sedimentares, tanto mais que esse paralelismo é observado relativamente aos calcários que constituem a Unidade da Base onde já é possível individualizar mecanicamente bancadas sedimentares. Deste modo, é possível afirmar que os Calcários do Codaçal estão orientados segundo NW-SE e apresentam inclinações na ordem dos 10°S. Atitudes muito inclinadas ou discordantes relativamente à tendência geral são simples resultado de feixes com atitude anômala relativamente ao geral e, sobretudo, devido a biselamento das subunidades. Nas imediações do filão, podem também ser o resultado de basculamentos induzidos pelas falhas no qual ele se instalou.

Esta disposição estrutural dos Calcários do Codaçal está em concordância com a da unidade Lajes e Vidraços subjacente (Membro Calcários de Vale da Serra). Quanto à unidade suprajacente, os Vidraços do Topo, os planos de estratificação medidos mostram-se, maioritariamente, horizontais. Porém, no seu conjunto, a unidade apresenta-se em continuidade estrutural com os Calcários do Codaçal.

Na figura 23 apresentam-se dois cortes geológicos representativos do modelo geológico da área e que já incluem informação obtida pelas sondagens. Estão redimensionados a partir dos que constam em [material suplementar](#), apenas online.

7.1.3.1. Falhas

Um acidente tectónico principal corta transversalmente a região do Codaçal, segundo uma orientação NW-SE, entre o Cabeço Gordo e o Cabeço Vedeiro. Na realidade, a diferenciação entre estas duas zonas morfológicamente elevadas resulta de uma zona deprimida que tem correspondência com este acidente.

Esta descontinuidade integra-se na família dos acidentes com a mesma orientação que caracterizam o planalto de Santo António. No mapa geológico está representado por dois planos de falha que enquadram um filão. Porém, no campo, não se detetam rochas ígneas, mas apenas uma depressão bem delimitada por paredes abruptas e que se encontra atapetada por solo que suporta uma vegetação densa. Os calcários nessas paredes estão vitrificados, apresentam cor cinzenta-escuro e uma densa rede de filonetes de calcite. São dados indiretos que apontam para a existência de uma estrutura filoniana desmantelada à superfície ou, pelo menos, para a injeção de fluidos que conduziram ao metassomatismo dos calcários ao longo de um acidente preferencial (vd. Ribeiro *et al.*, 2019), sobre metassomatismo em calcários provocados por sistema hidrotermal a sul das pedreiras de Cabeça Veada).

Decorrente das condições de acessibilidade a esta estrutura, não foi possível a sua caracterização geométrica e cinemática, estando, por essa razão, representada como uma estrutura vertical no corte geológico longitudinal que se apresenta na figura 23. A realização dos cortes geológicos também não conduziu a considerações assertivas quanto à sua cinemática. Porém, o padrão

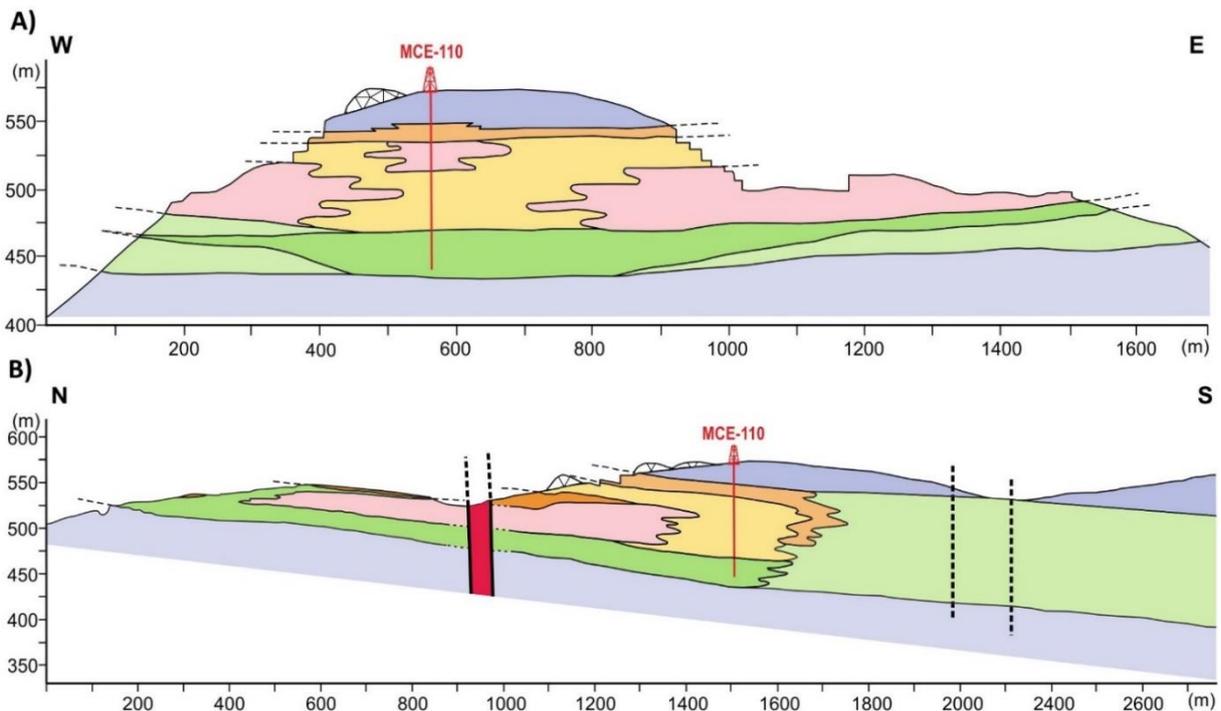


Figura 23. Cortes geológicos representativos da modelo geológico da área do Codaçal. A) corte transversal; B) corte longitudinal. Legenda de acordo com figura 10.

Figure 23. Geological sections representing the geological model of the Codaçal area. A) cross section; B) longitudinal section. Legend as per figure 10.

cartográfico denunciado pelos afloramentos dos Calcários do Codaçal de um e outro lado da falha, sugere que o bloco a norte tenha sofrido levantamento.

Na região meridional da área cartografada estão representadas duas falhas prováveis. A sua demarcação resulta unicamente do padrão cartográfico denunciado pelo contato entre os Vidraços do Topo e os Calcários do Codaçal, neste caso, o Margaço. Apresentam-se segundo W-E, têm correspondência com o acidente demarcado na Folha 27-C com a mesma orientação e que também está representado no mapa da figura 7.

Essas duas falhas prováveis limitam uma depressão relativamente estreita e com a mesma orientação. Quanto à sua cinemática, também apenas o padrão cartográfico permite a ilação de que elas estruturam um *horst*, pelo que estaremos perante uma provável situação de relevo invertido.

7.2. A área de Pé da Pedreira

7.2.1. Litostratigrafia

Para a área de Pé da Pedreira, a maior das estudadas, foi elaborado o mapa da figura 24, o qual apenas representa parte da área cartografada, designadamente a que se centra sobre a ocorrência de calcários explorados para blocos. Definiram-se as unidades que se apresentam na tabela 3. Tal como anteriormente referido e mais à frente será detalhado, os Calcários Ornamentais (Mb. de Pé da Pedreira) correspondem a uma unidade lenticular no seio dos calcários micríticos da Fm. de Serra de Aire. Porém, quer nesta formação, quer no Membro de Pé da Pedreira, foram definidas outras subunidades: os Calcários Ornamentais da Base no seio dos Vidraços da Base, o Sardão e os Vidraços Intermédios como intercalações nos Calcários Ornamentais.

Na área cartografada afloram também calcários mais ou menos margosos datados do Jurássico Superior e aos quais não foi atribuída nenhuma designação específica para além da nomenclatura cronostratigráfica da série de que fazem parte.

7.2.1.1. Vidraços da Base

Esta unidade corresponde à Fm. de Serra de Aire. É, portanto, a mesma que na área do Codaçal foi denominada Vidraços do Topo. Afloram em grande extensão da área cartografada, circundando os afloramentos dos Calcários Ornamentais suprajacentes (Fig. 24). A oeste e a sul estão limitados pela falha de Mendiga, que os coloca em contacto com os calcários mais recentes do Jurássico Superior.

À semelhança do que se verifica para a área do Codaçal, esta unidade é constituída por calcários micríticos (*mudstones*, *wackestones* e *floatstones*), mais ou menos pelóidicos, bioclásticos e oncolíticos, de cor bege com tons mais ou menos claros. Observações em lâmina delgada confirmam estas

características e mostram ainda que, embora raramente, também ocorrem *packstones* de grão muito fino (Fig. 25). As bancadas têm espessura centimétrica a decimétrica, com os termos mais comuns a apresentarem espessura a rondar 0,4 m. Localmente, ocorrem estratos que atingem os 2 m de espessura. Tipicamente, os estratos não estão soldados, apresentando-se as superfícies de estratificação bem individualizadas. Tal fato tem correspondência com a ocorrência, entre esses estratos, de níveis argilo-margosos de espessura milimétrica que à superfície raramente são observáveis devido à meteorização que sofreram.

Tal como referido anteriormente, esta unidade está truncada por uma falha, pelo que a sua espessura total não é apreciável nesta região.

7.2.1.2. Calcários Ornamentais da Base

Os Calcários Ornamentais da Base correspondem a intercalações lenticulares, mais ou menos espessas e mais ou menos extensas que ocorrem no seio dos Vidraços da Base. Conforme se pode constatar pelo mapa geológico da figura 24, os principais afloramentos ocorrem na região ocidental da área cartografada e no canto sudeste desse mapa, no local conhecido por Lombas. O padrão cartográfico evidenciado pelos afloramentos mais a ocidente, na encosta voltada para a chamada Depressão da Mendiga, demonstra o caráter lenticular dos níveis que aí ocorrem, diminuindo de espessura rapidamente para norte. A espessura média, empírica, de cada um desses níveis lenticulares não deverá ultrapassar os 10 m, mas podem alcançar valores na ordem dos 20 m. Apresentam-se rejeitados por diversos acidentes subparalelos às falhas transversais que atravessam toda a área cartografada e que estão associadas ao Filão de Valverde.

Quanto aos afloramentos no local conhecido por Lombas, a sua extensão lateral também é reduzida. Com efeito, o padrão cartográfico também evidencia o seu caráter lenticular e denuncia que esta unidade se interdígita com os Vidraços da Base. Neste local, a sua espessura máxima rondará os 15 m. Também estes afloramentos se apresentam cortados por falhas paralelas à estrutura de Valverde e que aí denunciam um pequeno *graben*.

A reduzida extensão lateral destes níveis de Calcários Ornamentais da Base é também posta em evidência pelos dados de subsuperfície obtidos através da realização de sondagens. Com efeito, nenhuma das sondagens de reconhecimento efetuadas alcançou qualquer destes níveis. Em particular, relativamente ao troço de afloramentos de Lombas que se localiza a norte do sistema de falhas do Filão de Valverde, verifica-se que não foi atravessado pela sondagem MCE-35 com 100 m de comprimento e que foi realizada a cerca de 500 m para noroeste.

Estes níveis lenticulares ocorrem em diversas posições estratigráficas junto ao topo dos Vidraços da Base. Os da encosta ocidental voltada para a Depressão da Mendiga ocorrem a cerca de 40 m do topo. Quanto ao nível que aflora em Lombas essa

Tabela 3. Unidades litostratigráficas na área de Pé da Pedreira.

Table 3. Lithostratigraphic units in the Pé da Pedreira area.

Unidades litostratigráficas	Nomenclatura formal		Outras designações	Idade
	Formação	Membro		
Vidraços do Topo	Serra de Aire	-	Calcários micríticos de Serra de Aire	Batoniano
Calcários Ornamentais	Santo António – Candeeiros	Pé da Pedreira	Calcários de Pé da Pedreira	Batoniano superior
Vidraços da Base	Serra de Aire	-	Calcários micríticos de Serra de Aire	Batoniano

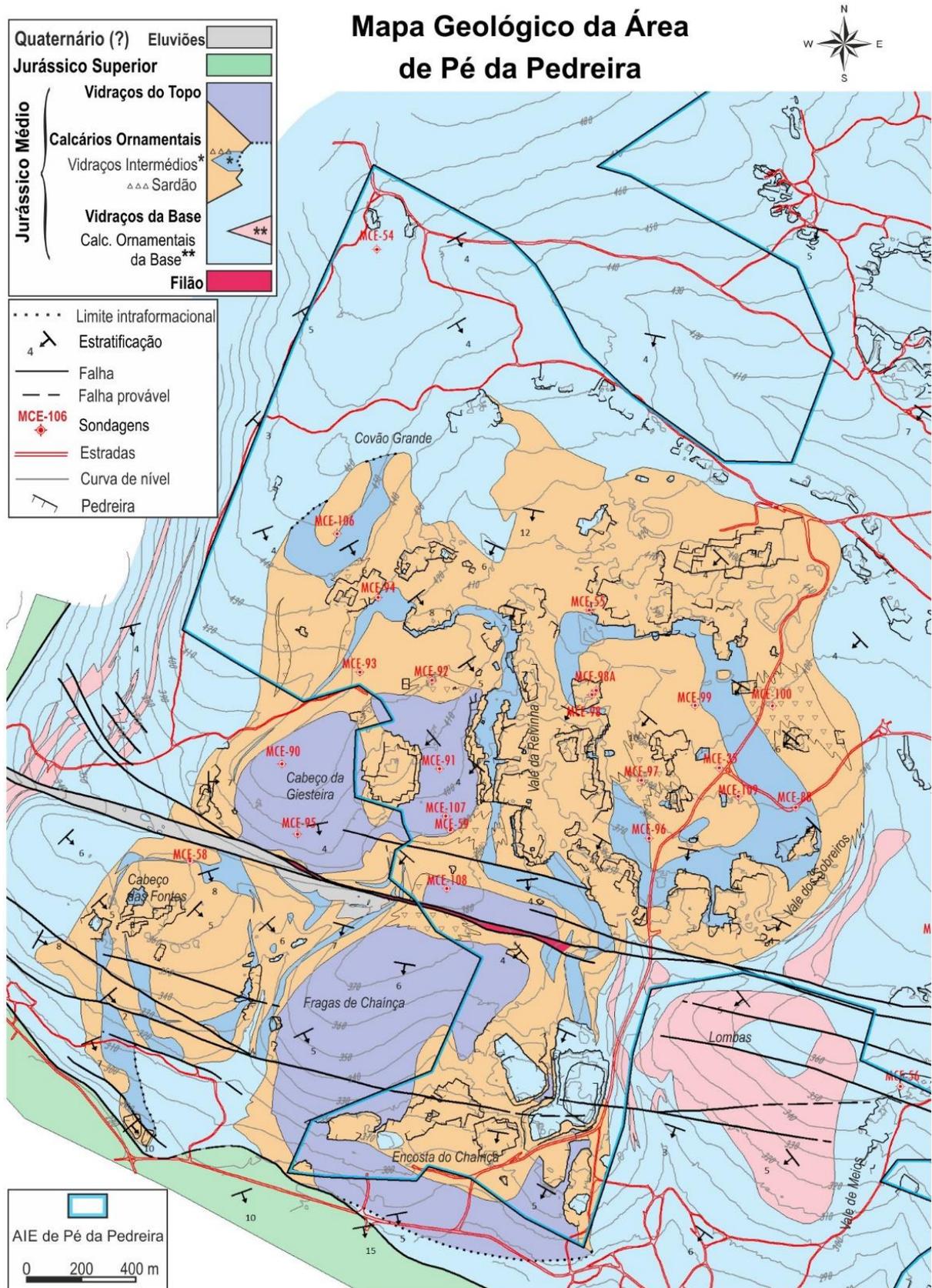


Figura 24. Mapa Geológico simplificado da área de Pé da Pedreira.

Figure 24. Simplified geological map of the Pé da Pedreira area.

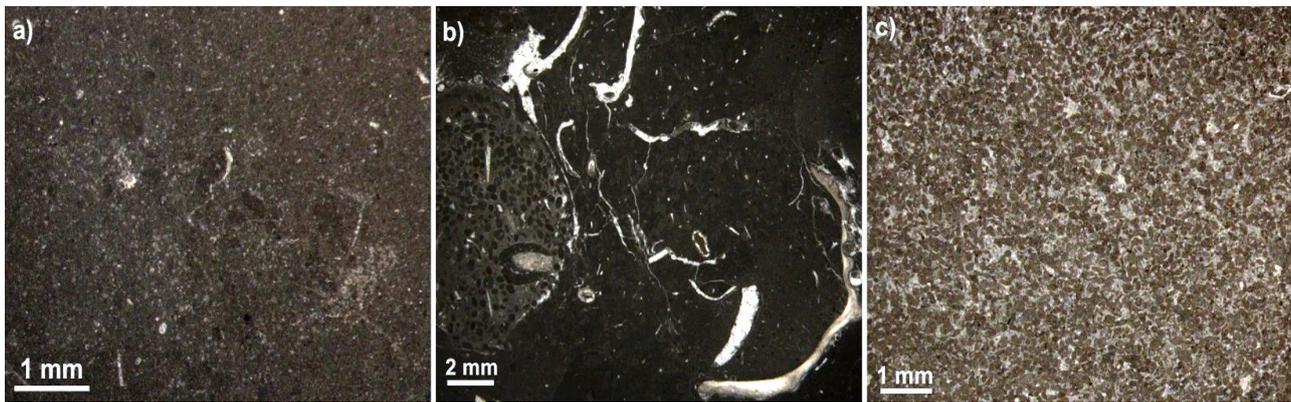


Figura 25. Microfotografias em lâmina delgada de calcários da unidade Vidraços da Base (luz polarizada, nicóis paralelos). a) *mudstone* com pelóides e bioclastos finos dispersos; b) *floatstone*; c) *packstone* pelóidico.

Figure 25. Thin section microphotographs of limestones from the Vidraços da Base unit (polarized light, parallel nicols). a) *mudstone* with disperse thin pelloids and bioclasts; b) *floatstone*; c) *pelloidic packstone*.

avaliação é difícil devido ao sistema de falhas que os afetam, contudo, não deverão estar a mais de 10 m do topo dos Vidraços da Base.

Na área estudada ocorrem ainda outros afloramentos da unidade Calcários Ornamentais da Base. Não estão representados no mapa da figura 24 mas apenas nos que se apresentam como [material suplementar](#), apenas online. Esses afloramentos localizam-se no extremo oriental da área de Pé da Pedreira, dum e doutro lado do Vale do Mar, desde cerca de 1 km a norte do Algar do Pena e prolongando-se até Pia Figueira. Também aqui estamos perante níveis lenticulares que se interdigitam com os Vidraços da Base. Contudo apresentam-se mais espessos, alcançando 40 m.

Em termos litológicos os calcários que constituem esta unidade variam desde *packstones* a *rudstones* intrabioclasticos e oncolíticos, mais ou menos oolíticos e pelóidico, cuja granulometria varia de fina a muito grosseira. Na figura 26 está representada a microfotografia de uma lâmina delgada dum exemplar desta unidade correspondente a um *rudstone* pelóidico e biointraclástico em que é notável uma grande variação na dimensão aloquímicos, o que é característico de alguns dos níveis desta unidade. Apresentam cor bege de tons claros a escuros.

Dispõem-se em bancadas lenticulares com espessura variável de 0,5 m a 3 m, predominando os termos a rondar 1,5 m. São frequentes as variações laterais de fácies e, em termos gerais, apresentam textura fortemente marcada por laminações sedimentares diversas resultantes de variações composicionais e granulométricas. Alguns níveis, nomeadamente os de granulometria mais grosseira, mostram-se texturalmente marcados pela ocorrência de oncóides de grandes dimensões.

Durante a década de 70 do século passado esta unidade foi alvo de pequenas explorações para blocos de calcário ornamental e que hoje se encontram abandonadas, designadamente os afloramentos de Lombas. Aí, ainda restam alguns blocos de pequena dimensão (1,0 m x 0,6 m x 0,6 m, aproximadamente), talhados de forma artesanal. Foram explorados, essencialmente, os termos de granulometria mais grosseira, oncolíticos, predominantes na base desta subunidade lenticular e que eram comercializados sob a designação Olho de Cabra.

Desde há cerca de 20 anos para cá, as restantes duas áreas de afloramento desta subunidade, na encosta voltada para a Depressão da Mendiga e na encosta ocidental do Vale do Mar, também têm sido alvo de tentativas esporádicas de exploração. Têm incidido sobre estratos com espessura superior a cerca de 1 m

e que apresentam laminações sedimentares com ângulo regular subhorizontal, granularidade em geral fina e cor de tom claro. Contudo, a extensão lateral de tais estratos tem-se mostrado reduzida, dando lugar a outras fácies com diferentes características texturais e cromáticas.

7.2.1.3. Calcários Ornamentais

Os Calcários Ornamentais assentam sobre os Vidraços da Base e o contato entre ambas as unidades é, em geral, brusco. Sobre eles assentam os Vidraços do Topo. No seu conjunto, a unidade corresponde a um corpo maciço de caráter lenticular em que só localmente se verificam planos de estratificação a individualizar bancadas sedimentares. Quando tal situação ocorre, as bancadas apresentam espessura de ordem métrica, em geral 3 m a 6 m. A possança total máxima da unidade é de 40 m.

O modo de afloramento está diretamente ligado ao seu caráter maciço. Assim, como documentado na figura 27, os afloramentos dos calcários ornamentais, quando não estão fraturados, caracterizam-se por superfícies mais ou menos extensas de contornos arredondados.

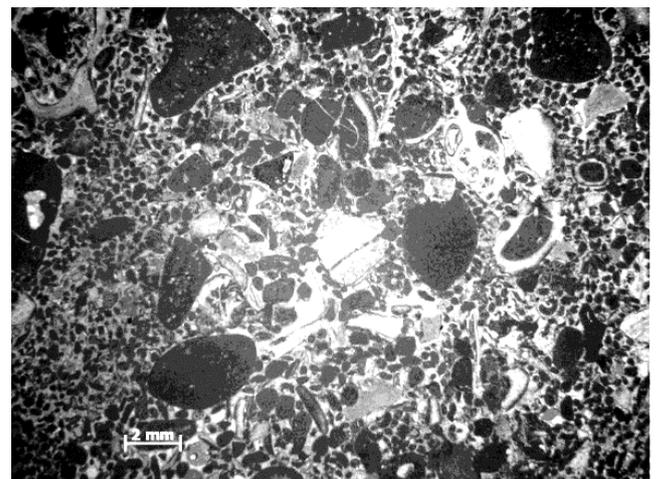


Figura 26. Microfotografia de lâmina delgada de calcário bio-intra-pelsparítico; unidade Calcários Ornamentais da Base (luz pol.; nicóis paralelos).

Figure 26. Thin section microphotograph of a bio-intra-pelsparitic limestone; Calcários Ornamentais da Base unit (pol. light; parallel nicols).



Figura 27. Modo de afloramento dos Calcários Ornamentais na área de Pé da Pedreira.

Figure 27. Typical outcrop of the Calcários Ornamentais unit in the Pé da Pedreira area.

As observações realizadas confirmam as de Azerêdo (1993), relativamente às fácies destes calcários: packstones, grainstones e rudstones biointraclásticos, pelóidicos e mais ou menos oolíticos (Fig. 28). Apresentam cor bege de tom mais ou menos claro e textura marcada por vários tipos de estruturas sedimentares mais ou menos evidentes. Por essa razão são muito variados texturalmente. Contudo, essas laminações estão organizadas em feixes e bancadas de espessura decimétrica e, frequentemente, métrica.

Localmente estes calcários apresentam cores cinzentas-azuladas mais ou menos intensas, como demonstrado pelas fotografias da figura 29. Essas situações verificam-se sobretudo em profundidade e normalmente correspondem a manchas isoladas de ocorrência aleatória no seio da cor bege geral. Terão resultado de fenômenos de alteração supergênica (Santos, 2017; Silva *et al.*, 2022).

As variedades ornamentais

As variedades ornamentais características da área de Pé da Pedreira são obtidas por corte perpendicular às laminações sedimentares.

Consoante o aspeto textural dos calcários, particularmente no que respeita à granulometria, é comum a distinção das seguintes variedades (Fig. 30): Moca Creme de Grão Grosso (ou Moca Creme Clássico), Moca Creme de Grão Médio, Moca Creme de Grão Fino e Relvinha. Esta última está praticamente esgotada e distingue-se do Moca Creme de Grão fino unicamente pelo fato de apresentar laminações muito finas e regulares. Por essa razão, hoje em dia tem pouca razão de ser o uso comercial deste nome, sendo preferível incluir todas as fácies de grão fino sob a designação Moca Creme de Grão Fino. A denominação Moca Creme de Grão Grosso tem vindo a ser utilizada comercialmente para também designar as variedades de grão médio, pois estas, em geral, também ostentam laminações de granulometria grosseiras. Assim, hoje em dia, também tem pouca razão de ser o uso da designação Moca Creme de Grão Médio, pelo que todas as fácies de grão médio a grosseiro deveriam ser comercializadas sob a designação de Moca Creme (ou Moca Creme de Grão Grosso ou, ainda, Moca Creme Clássico).

Em geral, estas variedades não têm correspondência com estratos sedimentares específicos. Correspondem a feixes de

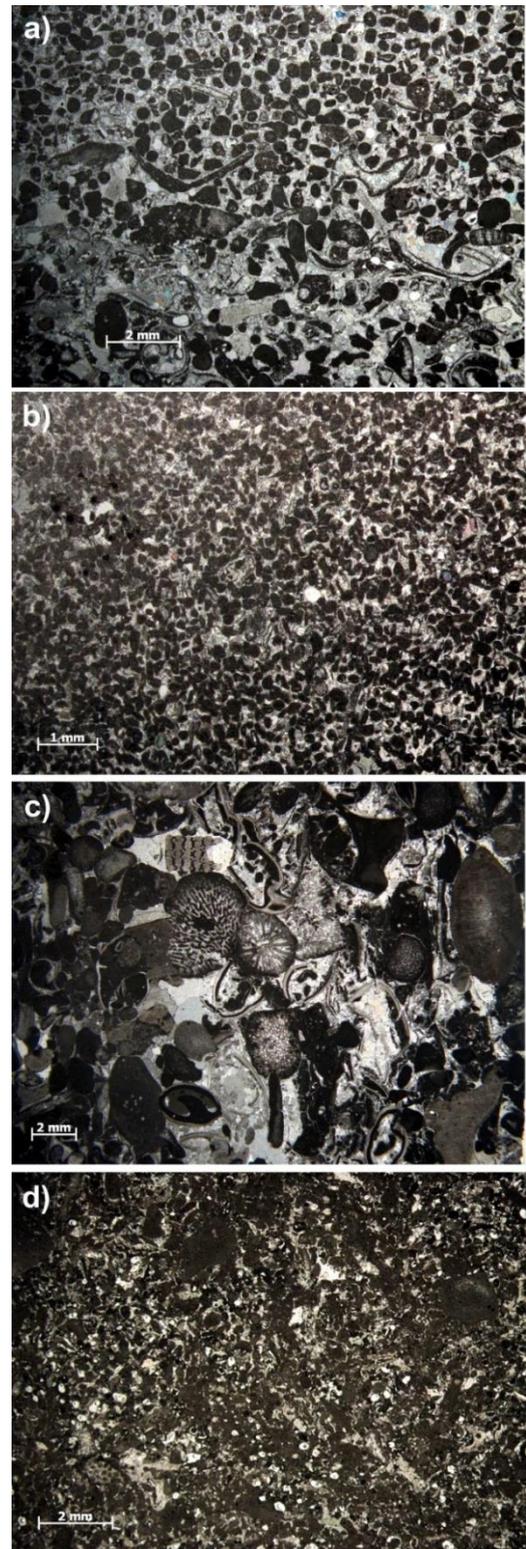


Figura 28. Microfotografias de lâminas delgadas dos Calcários Ornamentais da área de Pé da Pedreira (luz polarizada, nicóis paralelos). a) *grainstone* biointraclástico; b) *grainstone* pelóidico; c) *rudstone* intrabioclastico; d) *packstone* pelloblastico.

Figure 28. Thin section microphotographs of the Calcários Ornamentais unit in the Pé da Pedreira area (polarized light, parallel nicols). a) biointraclastic grainstone; b) pelloblastic grainstone; c) intrabioclastic rudstone; d) pelloblastic packstone.



Figura 29. Aspectos particulares de ocorrência das manchas de cor cinzenta azulada. Repare-se que as manchas correspondem a zonas centrais de blocos limitados por descontinuidades a partir das quais ocorre alteração supergênica.

Figure 29. Particular aspects of the bluish gray taints. Note that the bluish gray taints correspond to central areas of blocks limited by discontinuities from which supergene alteration occurs.

laminações sedimentares com espessura métrica, independentemente de constituírem ou não uma bancada individualizável por critérios sedimentológicos.

Moca Creme de Grão Grosso

O Moca Creme de Grão Grosso é a variedade que foi alvo das explorações iniciais na região de Pé da Pedreira e ocorre preferencialmente na base do Membro de Pé da Pedreira. Como o próprio nome indica, trata-se duma variedade de granularidade bastante grosseira, de aspecto microconglomerático e de “vergada” bem marcada devido às laminações sedimentares que o caracterizam e que resultam da alternância de níveis milimétricos de diferente granularidade e composição: intraclastos e bioclastos grosseiros (1 mm a 5 mm de diâmetro), com maior ou menor quantidade de pelóides, em cimento esparítico abundante.

Da alternância, ora de níveis ricos em intraclastos, ora de níveis ricos em bioclastos e nos quais a esparite é mais abundante, resulta a laminação (“vergada”) que caracteriza esta variedade ornamental (Fig. 31). A laminação sedimentar resulta também de alguma orientação preferencial por parte de grãos com formas planares estreitas ou alongadas e de alternância milimétrica de variações de tom da cor bege. Essas variações, para tons beges mais acinzentados, correspondem aos níveis mais ricos em esparite, sendo a translucidez desta a causa desse tom.

Moca Creme de Grão Médio

Para além de apresentar granularidade mais fina, o Moca Creme de Grão Médio distingue-se do de grão grosso por, tendencialmente apresentar cor bege de tom mais claro e, sobretudo, por apresentar laminação sedimentar bem marcada por alternância de lâminas de diferente granulometria (grãos submilimétricos a milimétricos) e composição, e por essas laminações se apresentarem com diferentes inclinações, conforme ilustrado na figura 30 b).

Em lâmina delgada (Fig. 32) é possível verificar que o Moca Creme de Grão Médio se apresenta com diversidade textural e composicional como resultado da variedade de feixes de laminações sedimentares: desde *rudstones* e *grainstones* intra-biosparíticos até *packstones* de bioclastos, intraclastos e pelóides.

Facto marcante nesta variedade é a existência de pelo menos duas classes granulométricas e a má calibragem dos aloquímicos. São essas diferentes classes granulométricas que, em conjunto com a maior ou menor abundância de cimento, com o tipo de cimento e com a orientação preferencial de grãos alongados, definem a laminação sedimentar.

Estudo detalhado destas variações texturais e composicionais, bem como o seu significado, pode ser consultado, como antes referido, em Azerêdo (1993; 1998) e Azerêdo *et al.* (2020), seja para esta variedade ornamental, ou para as restantes.

Moca Creme de Grão Fino

O Moca Creme de Grão Fino distingue-se dos restantes por se apresentar maioritariamente constituído por grãos muito finos, como o próprio nome indica. Decorrente desse fato, a laminação sedimentar que exhibe é também fina. Essa laminação pode apresentar-se muito bem marcada ou muito ténue. Quando bem marcada e muito regular em termos da espessura e continuidade das diferentes lâminas e do respetivo tom de cor bege, a esta variedade é usual atribuir o nome Relvinha. Contudo, tal como antes referido, está praticamente esgotada.

Ao contrário das duas variedades antes descritas, constituídas sobretudo por intraclastos e bioclastos mais ou menos grosseiros, o Moca Creme de Grão Fino apresenta-se constituído essencialmente por pellets (Fig. 33).

A laminação sedimentar resulta sobretudo de alinhamentos com 2 a 3 mm de espessura ricos em finos bioclastos planares e estreitos (Fig. 33b). Também é comum, sobretudo nas zonas de Cabeço das Fontes e de Covão Grande, que a laminação também seja também resultado da presença de níveis de micrite muito finos, cuja espessura, em geral, não ultrapassa 1 a 2 mm (Fig. 33a).

7.2.1.4. Vidraços Intermédios

No mapa da figura 24, o padrão de afloramento dos Vidraços Intermédios apresenta-se muito recortado, com contornos abruptos, por efeito dos seus limites terem correspondência com frentes de exploração das pedreiras de calcários ornamentais. Ocorrem sob a forma de níveis mais ou menos contínuos em mais do que uma posição estratigráfica no seio dos Calcários Ornamentais, mas o mais importante situa-se sensivelmente a meio daquela unidade, aflorando dum e doutro lado do Vale da Relvinha. Constituem importantes níveis de referência cartográfica.

Estes calcários apresentam fácies diversas: *mudstones*, *wackestones* e *floatstones*, estes últimos com caráter lumachélico, cujos elementos constituintes são essencialmente bioclastos finos a muito grosseiros e pelóides finos. Apresentam cor bege de tons tendencialmente mais claros que os dos Calcários Ornamentais, conforme é possível discernir nas fotografias da figura 34.

Tipicamente, as bancadas apresentam espessuras de ordem decimétrica. A possança total é muito variável, desde alguns centímetros a 15 m. Estas diferenças de espessura resultam das variações laterais de fácies, quer com os Calcários Ornamentais, quer com a unidade que se abordará de seguida e que se denominou Sardão.

Observações em lâmina delgada de vários exemplares de Vidraços Intermédios (Fig. 35) elucidam sobre a relativa diversidade faciológica referida.

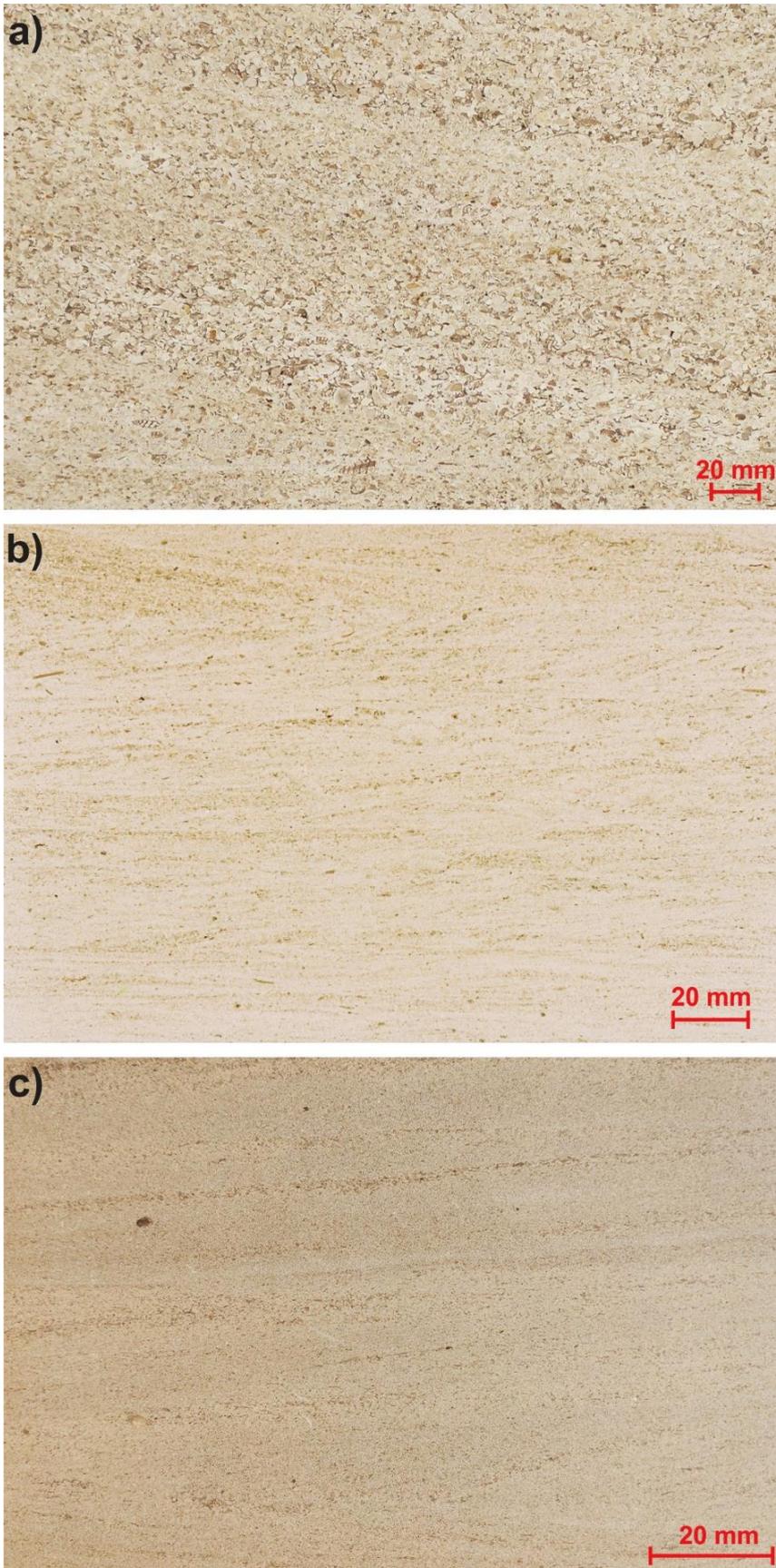


Figura 30. Variedades ornamentais da área de Pé da Pedreira. a) Moca Creme de Grão Grosso, b) Moca Creme de Grão Médio, c) Moca Creme de Grão Fino.

Figure 30. Ornamental varieties of the Pé da Pedreira area. a) Moca Creme de Grão Grosso, b) Moca Creme de Grão Médio, c) Moca Creme de Grão Fino.

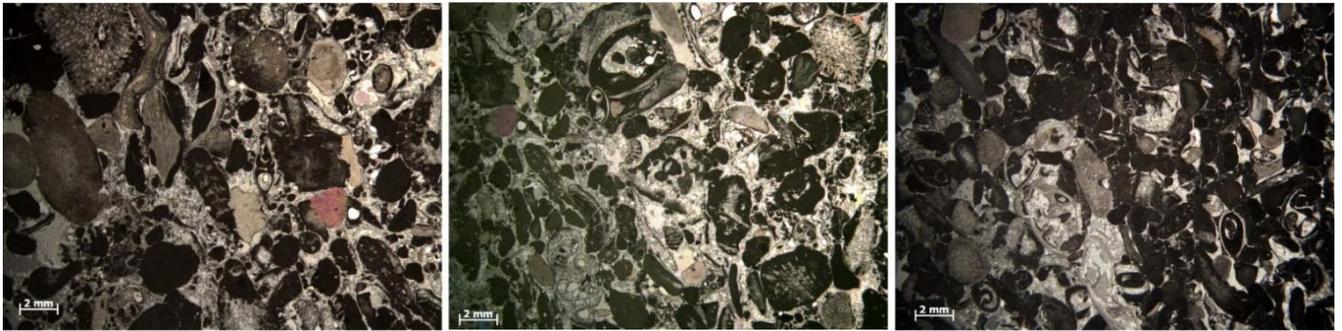


Figura 31. Microfotografias de lâminas delgadas de amostras de Moca Creme de Grão Grosso: *rudstones* biointraclásticos (luz polarizada; nicóis paralelos).
Figure 31. Thin section microphotographs of Moca Creme de Grão Grosso samples: biointraclastic rudstones (polarized light; parallel nicols).

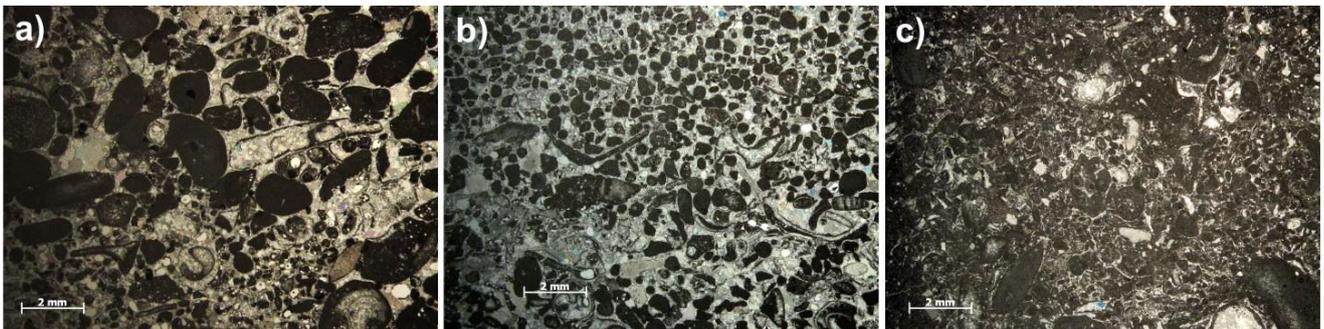


Figura 32. Microfotografias de lâminas delgadas de amostras de Moca Creme de Grão Médio (luz polarizada; nicóis paralelos). a) *rudstone* biointraclástico, b) *grainstone* biointraclástico, c) *packstone* pelbiointraclástico.

Figure 32. Thin section microphotographs of Moca Creme de Grão Médio (polarized light; parallel nicols). a) biointraclastic rudstone, b) biointraclastic grainstone, c) pelbiointraclastic packstone.

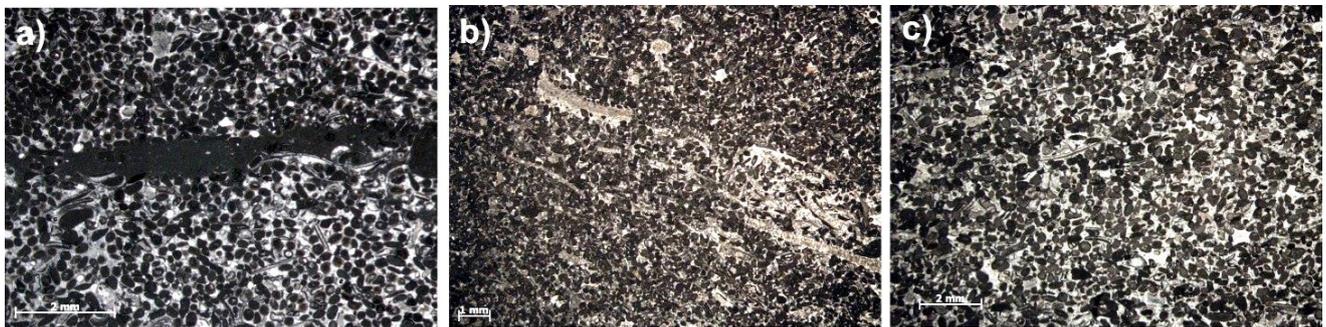


Figura 33. Microfotografias de lâminas delgadas de amostras de Moca Creme de Grão Fino (luz polarizada; nicóis paralelos). a) *grainstone* pelóidico com níveis micríticos, b) *grainstone* pelóidico com níveis bioclásticos, c) *grainstone* pelóidico.

Figure 33. Thin section microphotographs of Moca Creme de Grão Fino (polarized light; parallel nicols). a) pelloidic grainstone with micritic levels, b) pelloidic grainstone with bioclastic levels, c) pelloidic grainstone.

7.2.1.5. Sardão ou Perlina

Sardão ou Perlina são os nomes pelos quais os industriais locais designam biostromas: depósitos estratiformes resultantes da acumulação de restos biológicos, com particular destaque para macrofauna e, por vezes, parcialmente bioconstruídos (Fig. 36). Ocorrem em diversas posições estratigráficas no interior dos Calcários Ornamentais, muitas vezes em estreita associação com os Vidraços Intermediários, podendo atingir possanças na ordem dos 15 m. Tal como a espessura, a sua extensão lateral é muito variável, desde alguns metros até mais de 200 m. Na cartografia apenas foram representados os de

maiores dimensões e que se mostram bem individualizados das restantes fácies.

Faciologicamente estes calcários são muito diversos, mas, de um modo genérico, são constituídos por aloquímicos diversos mal calibrados de onde sobressaem macrofósseis de grandes dimensões, podendo atingir 0,3 m. Estes, normalmente, apresentam cor cinzenta (Fig. 36).

7.2.1.6. Vidraços do Topo

Os Vidraços do Topo assentam sobre os calcários ornamentais, sendo o contacto geralmente gradual. Afloram em 3 grandes



Figura 34. Vidraços Intermédios visíveis nas frentes de exploração. a) flanco ocidental do Vale da Relvinha onde é notável a diminuição para sul da espessura dos Vidraços Intermédios; b) afloramento de Vidraços Intermédios (tom mais claro) sobre os Calcários Ornamentais visível no topo de frente de exploração de pedra inativa.

Figure 34. Vidraços Intermédios unit visible on the quarrying walls. a) western flank of Vale da Relvinha where it is possible to see a decrease of the thickness of the Vidraços Intermédios unit towards the south; b) outcrop of the Vidraços Intermédios unit (lighter shade) over the Calcários Ornamentais unit, visible at the top of an inactive quarry.

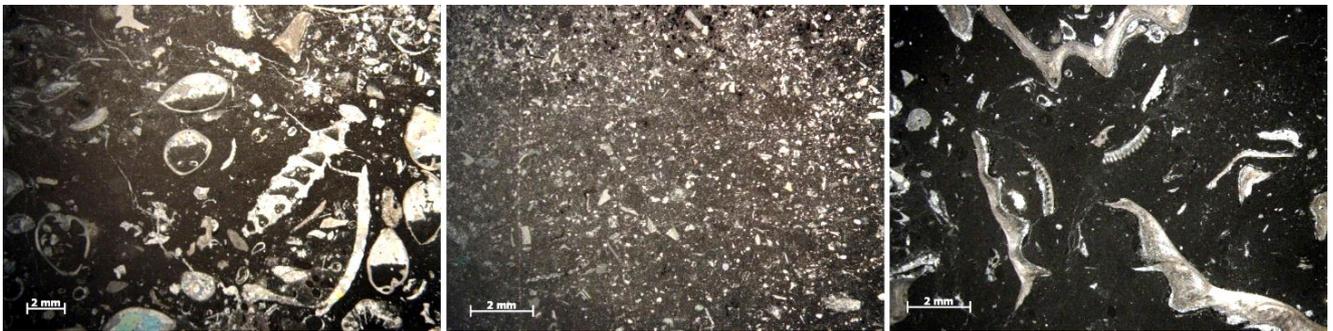


Figura 35. Microfotografias de lâminas delgadas de amostras de Vidraços Intermédios (luz polarizada, nicóis paralelos). a) *wackestone* bioclástico; b) *mudstone* vesicular com raros bioclastos; c) floatstone.

Figure 35. Thin section microphotographs of samples from Vidraços Intermédios unit (polarized light, parallel nicols). a) bioclastic wackestone; b) vesicular mudstone with few bioclasts; c) floatstone.

manchas: a norte do filão de Valverde ocupando o chamado Cabeço da Giesteira, a sudeste desse local uma outra mancha controlada por falhas, disposta paralelamente ao filão e a sul do filão, uma mancha que ocupa grande parte da zona conhecida por Fragas de Chainça e se prolonga pela Encosta do Chainça. Ocupando o topo das elevações mencionadas, alguns dos estratos mais compactos desta unidade dispõem-se em superfícies estruturais que se seguem bem na paisagem. Apresentam uma rede de fraturas que deu lugar à formação de um lapiás característico (Fig. 37).

As duas manchas de afloramento a norte do Filão de Valverde estão truncadas pelas falhas que enquadram esse filão. A mancha de afloramentos na Encosta do Chainça está truncada localmente pelo troço WNW-ESE da falha da Mendiga. Nesta zona sul da área de Pé da Pedreira, os Vidraços do Topo justapõem-se aos Vidraços da Base, tendo-se estabelecido esse contato como sendo um limite intraformacional. Este aspeto será mais à frente abordado aquando da discussão da estrutura da área de Pé da Pedreira. Com efeito, quer os Vidraços do Topo, quer os da Base e os Intermédios, correspondem a uma mesma unidade litostratigráfica formal, ou seja, a Fm. de Serra de Aire.



Figura 36. Sardão (ou Perlina) visível numa frente de exploração.
Figure 36. Sardão (or Perlina) unit visible on the wall of a quarry.



Figura 37. Modo de afloramento dos Vidraços do Topo.
Figure 37. Outcrop of the Vidraços do Topo unit.

Os estudos petrográficos confirmam a semelhança entre essas unidades, mas tal como as imagens da figura 38 pretendem documentar, verifica-se uma prevalência de *mudstones* nos Vidraços do Topo. Essa prevalência pode não ter significado regional dada a extensão e espessura total conhecida para a Fm. de Serra de Aire.

Em termos de possança, os estratos da unidade Vidraços do Topo também apresentam valores de ordem centimétrica e, sobretudo, decimétrica, em torno de 0,4 m. A possança máxima da unidade na área de Pé da Pedreira ronda os 20 m.

7.2.1.7. Jurássico Superior

Os calcários datados do Jurássico Superior fazem parte da fm. de Montejunto. Afloram a teto da falha de Mendiga, tanto no seu troço orientado NNE-SSW, na região ocidental da área cartografada, como no troço com orientação WNW-ESE, na região sul.

De modo muito genérico correspondem a *mudstones*, *wackestones* e *packstones* mais ou menos margosos e bioclásticos. Apresentam cores castanhas e cinzentas, por vezes muito escuras. Dispõem-se em bancadas de espessura centimétrica e decimétrica. É comum a ocorrência de bancadas argilosas, com espessura centimétrica, entre as bancadas de calcário.

7.2.1.8. Eluviões

Englobaram-se sob esta designação todos os depósitos de alteração que não sofreram transporte, entre eles os depósitos arenoargilosos de cor avermelhada (“terra rossa”) que preenchem a maioria das cavidades cársicas e atapetam o fundo de algumas depressões de origem também cársica. Porém, devido ao fato de prevalecerem por toda a área com espessura bastante reduzidas, optou-se por não proceder à sua delimitação cartografia, tanto mais que isso não acarretaria informação adicional.

Apenas se cartografaram eluviões em zona restrita limitada pelas falhas que enquadram o Filão de Valverde, devido à impossibilidade de determinar os tipos litológicos que cobrem. Compreendem os mencionados depósitos arenoargilosos avermelhados, mas também outros, granulosos e de cor castanha-escura, resultantes da alteração do filão.

7.2.2. Sondagens

No mapa da figura 24 estão referenciadas sondagens de campanhas anteriores (Costa *et al.*, 1988; Carvalho, 1996b), realizadas na área de Pé da Pedreira. As mais recentes permitiram validar o modelo geológico para esta área e que foi idealizado na altura da sua realização, pelo que os respetivos *logs* também são apresentados em anexo. Contudo, a fim de esclarecer dúvidas que restaram em locais específicos, particularmente no que respeita a variações laterais de fácies, foram realizadas 4 novas sondagens mecânicas com recuperação integral de testemunho: MCE-106, MCE-107, MCE-108 e MCE-109.

Sondagem MCE-106

A sondagem MCE-106, com um comprimento total de 16,94 m, foi implantada na zona NW da mancha de calcários ornamentais de Pé da Pedreira, no local de Covão Grande, mais concretamente a norte da pedreira aí existente. Esta sondagem teve como objetivo principal confirmar o modelo geológico estabelecido para o local em que, com base nos dados de superfície, se admite que a mancha de vidraços que surge entre duas manchas de Calcários Ornamentais corresponde aos Vidraços Intermédios e, portanto, inferiormente a eles ainda existem calcários com aptidão ornamental. A confirmar-se esta hipótese, tal como veio a acontecer, também se confirmaria que a unidade Calcários Ornamentais não termina por biselamento suave para

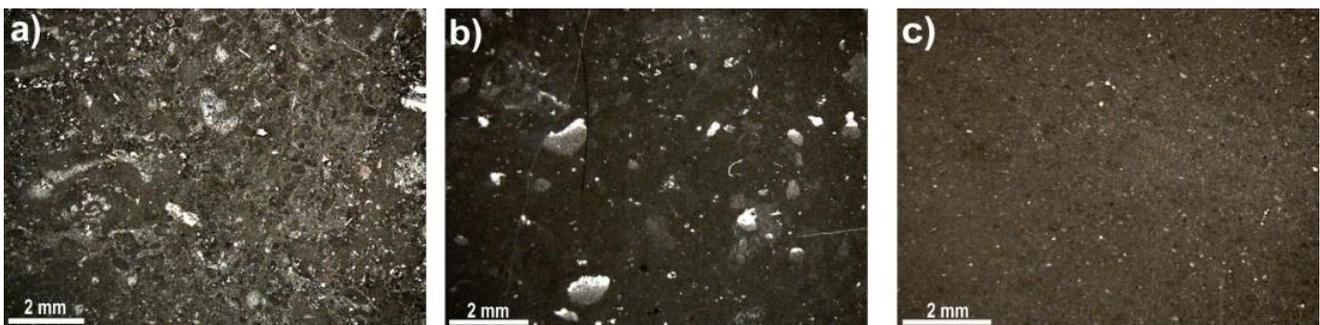


Figura 38. Microfotografias de lâminas delgadas de amostras de Vidraços do Topo (luz polarizada, nicóis paralelos). a) *wackestone* pelintraclástico; b) *mudstone* com vesículas de calcite; c) *mudstone*.

Figure 38. Thin section microphotographs of samples from Vidraços do Topo unit (polarized light, parallel nicols). a) pelintraclastic *wackestone*; b) *mudstone* with calcite vesicles; c) *mudstone*.

norte, mas sim por passagem lateral brusca aos Vidraços da Base, conforme referido em capítulo anterior.

Esta sondagem iniciou-se à cota de 448 m na unidade Calcários Ornamentais, que aqui se apresenta constituída por *rudstones* bioclásticos, intraclásticos e oncolíticos. Atravessou esta unidade apenas até aos 0,79 m, onde bruscamente passou a *mudstones* e *wackestones* ligeiramente bioclásticos, de cores beges a beges acinzentadas, que se interpretam como fazendo parte da unidade Vidraços Intermédios.

De seguida, por passagem gradual aos 6,80 m, o furo entrou novamente nos Calcários Ornamentais, os quais foram atravessados até aos 13,05 m. Este troço mostra-se constituído por *packstones* e *rudstones* bioclásticos e intraclásticos, mais ou menos oolíticos e de cores beges a beges escuras. Mostram aptidão ornamental.

Bruscamente, a partir dos 13,05 m, a sondagem cortou *mudstones* de cor bege claro da unidade Vidraços da Base, os quais se prolongaram até ao fim da sondagem aos 16,94 m.

Sondagem MCE-107

Esta sondagem, com um comprimento total de 60,26 m, foi efetuada a Oeste do Vale da Relvinha. Apesar da existência de sondagens mais antigas nas proximidades, a razão para a execução desta foi a tentativa de correlacionar os níveis de Vidraços Intermédios atravessados por essas sondagens mais antigas para melhor compreender a estruturação da unidade Calcários Ornamentais entre o Vale da Relvinha e o Cabeço da Giesteira.

Iniciando-se nos Vidraços do Topo à cota de 394 m, a sondagem atravessou os calcários desta unidade até aos 10,15 m de profundidade. Correspondem a *mudstones* e, localmente, *wackestones* com clastos muito finos dispersos, ambos de cor bege clara.

De seguida, através de uma passagem gradual, a sondagem entrou na unidade Calcários Ornamentais, até aos 24,22 m de profundidade. Correspondem maioritariamente a *rudstones* biointraclásticos, mais ou menos pelóidicos e oolíticos de cor bege.

Seguidamente e também de modo gradual foi intersetado um primeiro nível estreito de Vidraços Intermédios, mais concretamente dos 24,22 m aos 25,50 m. Correspondem a *mudstones* com muito raros e dispersos bioclastos e intraclastos, de cores beges de tonalidades acinzentadas.

A partir dessa cota e através de uma passagem brusca, a sondagem atravessou novamente a unidade Calcários Ornamentais até aos 26,60 m. Os calcários presentes neste troço caracterizam-se por serem *packstones* bioclásticos e intraclásticos de cor bege acinzentada, com heterogeneidades texturais.

Nova passagem gradual deu lugar a um segundo nível de Vidraços Intermédios, mais concretamente dos 26,60 aos 40,24 m e que se mostra idêntico ao primeiro, mas de cor bege mais clara.

Após este segundo nível de Vidraços Intermédios, a sondagem passou de modo brusco a novos Calcários Ornamentais constituídos por alternâncias de *grainstones* e *packstones* pelóidicos, intraclásticos e bioclásticos, mais ou menos oolíticos, de granularidade fina a grosseira e cor bege. A laminação sedimentar apresenta-se pouco marcada.

A partir dos 54,60 m de profundidade e até ao fim da sondagem (60,26 m) foram intercetados calcários, que se interpretam como pertencentes aos Vidraços da Base. A transição para esta unidade é dada por uma passagem brusca. É constituída por *mudstones* de cor bege clara a acinzentada, por vezes com bioclastos e oncólitos dispersos.

Sondagem MCE-108

A sondagem MCE-108, com um comprimento total de 65,95 m, foi efetuada cerca de 250 m a Sul da MCE-107, tendo objetivos idênticos.

Iniciou-se à cota de 384 m, na unidade Vidraços do Topo que se mostrou constituída por *wackestones* de cor bege clara, possuindo bioclastos dispersos na matriz. Esta unidade foi intercetada apenas até aos 1,70 m de profundidade. Gradualmente verifica-se uma passagem à unidade Calcários Ornamentais. Inicialmente é constituída por *packstones* de grão fino, pelóidicos e bioclásticos, alguns destes grosseiros, a que se seguem *grainstones* pelóidicos, intraclásticos e bioclásticos com aptidão ornamental. Estes calcários prolongam-se até aos 14,50 m, profundidade a que surge um nível de *wackestones* pelóidicos e intraclásticos, com bioclastos dispersos que se interpretam como pertencentes aos Vidraços Intermédios e se prolongam apenas até aos 16,65 m.

Por passagem brusca, a sondagem atravessou novamente Calcários Ornamentais até aos 28,07 m. Este troço inicia-se por quase 6 m de *grainstone* pelóidico e bioclástico de grão fino e laminação sedimentar pouco pronunciada, com muito boa aptidão ornamental. Seguem-se *rudstones* pelóidicos, bioclásticos e intraclásticos com fortes variações granulométricas, pelo que se consideram com média aptidão ornamental.

Dos 28,07 m aos 33,57 m, a sondagem entrou gradualmente em novo nível de Vidraços Intermédios. À semelhança do que se verificou na sondagem MCE-107, este segundo nível é mais espesso. Apresenta-se constituído por *mudstones* e, por vezes, *wackestones*, pelóidicos e intraclásticos de cor bege clara com bioclastos dispersos.

Por contato brusco, a sondagem atravessou novamente os Calcários Ornamentais. A este troço correspondem alternâncias de níveis com diferentes espessuras de *grainstones* e *rudstones* pelóidicos, bioclásticos e intraclásticos, por vezes também oolíticos. Apresentam aptidão ornamental, mas na última dezena de metros essa aptidão diminui por apresentarem cor acinzentada e, sobretudo, pela ocorrência de níveis milimétricos de micrite.

Aos 51,60 m estes calcários assentam de modo brusco sobre *mudstones* e *wackestones*, levemente bioclásticos e intraclásticos, de cores beges de tonalidades claras que integram a unidade Vidraços da Base. Prolongam-se até ao fim da sondagem aos 65,95 m.

Sondagem MCE-109

A sondagem MCE-109, com um comprimento total de 32,91 m, foi realizada a leste do Vale da Relvinha e teve como objetivos determinar a espessura dos Vidraços Intermédios e a qualidade dos Calcários Ornamentais subjacentes.

Iniciou-se à cota de 391 m, na unidade dos Calcários Ornamentais como esperado. O troço atravessado prolongou-se apenas até 0,85 m de profundidade, sendo constituído por *grainstones* de pellets e intraclastos finos, mas em que sobressaem frequentes bioclastos e oncólitos grosseiros dispersos, mas frequentes, de cor bege-clara.

Aos 0,85 m, de modo gradual, a sondagem intercetou *mudstones* e *wackestones* oncolíticos e intraclásticos de cor bege claro, que se interpretam como fazendo parte da Unidade Vidraços Intermédios. Foram intersetados até aos 6,30 m.

A essa profundidade e prolongando-se até aos 23,78 m, foram novamente intersetados Calcários Ornamentais. A passagem superior ocorre também de modo gradual. São constituídos por *packstones*, *grainstones* e *rudstones* de cor bege, por vezes acinzentada, de granularidade fina a grosseira,

pelóidicos, e bioclásticos e intraclásticos. Apresentam, de um modo geral, boa aptidão ornamental.

Por passagem gradual, dos 23,78 m e até ao fim da sondagem, aos 32,91 m, foram intersetados *mudstones* que fazem parte dos Vidraços da Base.

7.2.3. Estrutura e modelo geológico

Os Calcários Ornamentais na área de Pé da Pedreira correspondem a um corpo lenticular com uma espessura máxima próxima de 40 m e uma extensão lateral a rondar os 2800 m. Têm correspondência direta com o Membro de Pé da Pedreira da Fm. de Santo António – Candeeiros e intercalam-se com os calcários micríticos (vidraços) da Fm. de Serra de Aire. Porém, a cartografia geológica e os dados obtidos pelas sondagens permitiram discernir que, na realidade, este corpo não assume a forma tradicional de uma lenticula cuja espessura vai diminuindo de modo mais ou menos gradual para os bordos. Com efeito, embora haja algum biselamento, a passagem lateral para os calcários micríticos da Fm. de Serra de Aire ocorre de modo relativamente abrupto. De tal modo assim é que, nas áreas envolventes ao contato entre ambas as unidades, os Calcários Ornamentais estão lado a lado com os da Fm. de Serra de Aire ao longo duma zona planar relativamente estreita e tendencialmente muito inclinada para o interior dos calcários ornamentais (Fig. 39).

A subdivisão da Fm. de Serra de Aire nas unidades temáticas Vidraços do Topo, Vidraços Intermédios e Vidraços da Base deve ser entendida apenas a nível local e teve como objetivo a elaboração de um modelo geológico de suporte à atividade extrativa que decorre na área de Pé da Pedreira. Com efeito, a nível local e tal como demonstrado anteriormente, é possível a individualização de um conjunto de estratos sedimentares da Fm. de Serra de Aire que estão subjacentes aos Calcários Ornamentais (os Vidraços da Base), de um outro conjunto que integra níveis descontínuos no interior dos Calcários Ornamentais (os Vidraços Intermédios) e ainda de um outro conjunto que assenta sobre esses mesmos Calcários Ornamentais (os Vidraços do Topo).

Esta subdivisão da Fm. de Serra de Aire coloca problemas de interpretação cartográfica nos locais em que as subunidades temáticas de vidraços contactam entre si por inexistência dos Calcários Ornamentais. É o caso concreto do contato entre Vidraços Intermédios e Vidraços da Base na região de Covão Grande e na região a sul do Cabeço das Fontes (Fig. 24). É também o caso do contato entre os Vidraços da Base e os Vidraços do Topo na zona da Encosta do Chainça. Na realidade, tal contato geológico é fictício pois as litologias de uma e outra unidade temática são similares. Por essa razão, nesses locais o limite entre essas unidades litostratigráficas temáticas foi designado por limite intraformacional.

Tal como ilustrado pelo corte longitudinal apresentado na figura 40, os dois níveis de Vidraços Intermédios na região a ocidente do Vale da Relvinha apresentam fortes variações na sua espessura que ocorrem a par com a perda do caráter planar, fazendo com que ocorram a profundidades diferentes das esperadas se mantivessem esse caráter. Tal poderá ser justificado por abruptas variações laterais de fácies associadas à dinâmica sedimentar característica dos paleoambientes lagunares e peritidais de deposição destas rochas (*cf.* Azerêdo, 1998), ou pela existência de mais do que dois níveis de Vidraços Intermédios. Como os dados de superfície mostram a existência de falhas paralelas ao Filão de Valverde, admite-se que os ressaltos que se verificam à profundidade de ocorrência destes níveis

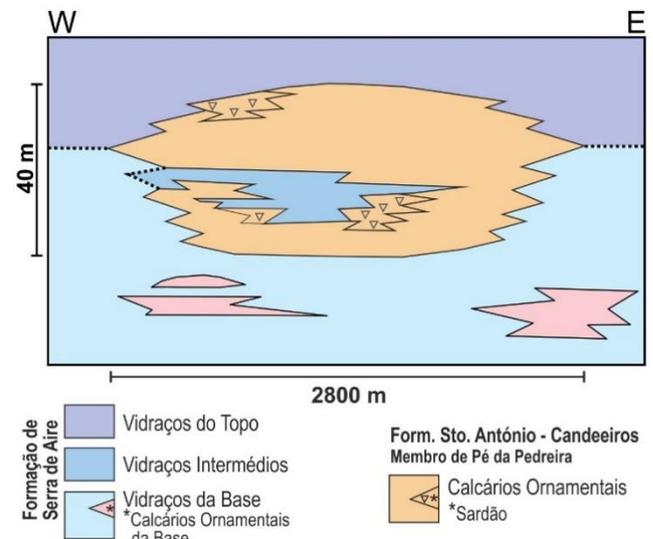


Figura 39. Coluna litológica esquemática da área de Pé da Pedreira.

Figure 39. Schematic lithologic column of the Pé da Pedreira area.

estejam relacionados com abruptas variações laterais de fácies e com a movimentação dessas falhas. Partindo do pressuposto que elas estão inclinadas para sul (à semelhança do troço WNW-ESE da falha de Mendiga), a sua movimentação mais recente terá sido inversa. Outra hipótese, igualmente plausível, mas não considerada nos cortes geológicos, é que essas falhas estejam inclinadas para norte. Nessa situação, denunciariam uma geometria normal e, por consequência, a região onde foi implantada a sondagem MCE-108 corresponderia a um *horst* limitado a sul pela falha onde se instalou o Filão de Valverde.

Em termos de disposição estrutural, as unidades presentes na área de Pé da Pedreira definem uma dobra sinclinal muito ampla. O seu eixo, de difícil definição, estará orientado NNE-SSW, ligeiramente mergulhante para SSW e localizar-se-á sensivelmente entre o Vale da Relvinha e o Cabeço da Giesteira. Assim, nas regiões para ocidente dessa zona, as bancadas apresentam-se orientadas segundo NE-SW, com inclinações na ordem dos 4° a 6° para SE. Na região axial, abrangendo ainda parcialmente o Vale da Relvinha, as bancadas dispõem-se segundo E-W, com pendores de 2° a 4° para sul. Para leste desta região os estratos estão orientados NW-SE e inclinam 4° a 8° para SW.

7.2.3.1. Falhas

No que respeita a falhas, destaca-se a falha da Mendiga e as falhas que enquadram o Filão de Valverde.

O troço NNE-SSW da falha de Mendiga constitui o limite ocidental da área estudada. Apresenta uma geometria de falha normal, pondo em contato os calcários da Fm. de Serra de Aire do Jurássico Médio com os calcários da fm. de Montejunto do Jurássico Superior.

O troço WNW-ESE desta falha constitui o limite meridional da área e, do mesmo modo, apresenta geometria de falha normal. Está inclinado cerca de 50° para SSW e também coloca em contato o Jurássico Médio com o Superior. A muro, nos calcários do Jurássico Médio, desenvolvem-se falhas paralelas cuja movimentação, por intermédio de pequenos rejeitos, estará associada à movimentação da falha principal. Pela sua extensão, atitude subvertical e ausência de sinais de esmagamento das rochas

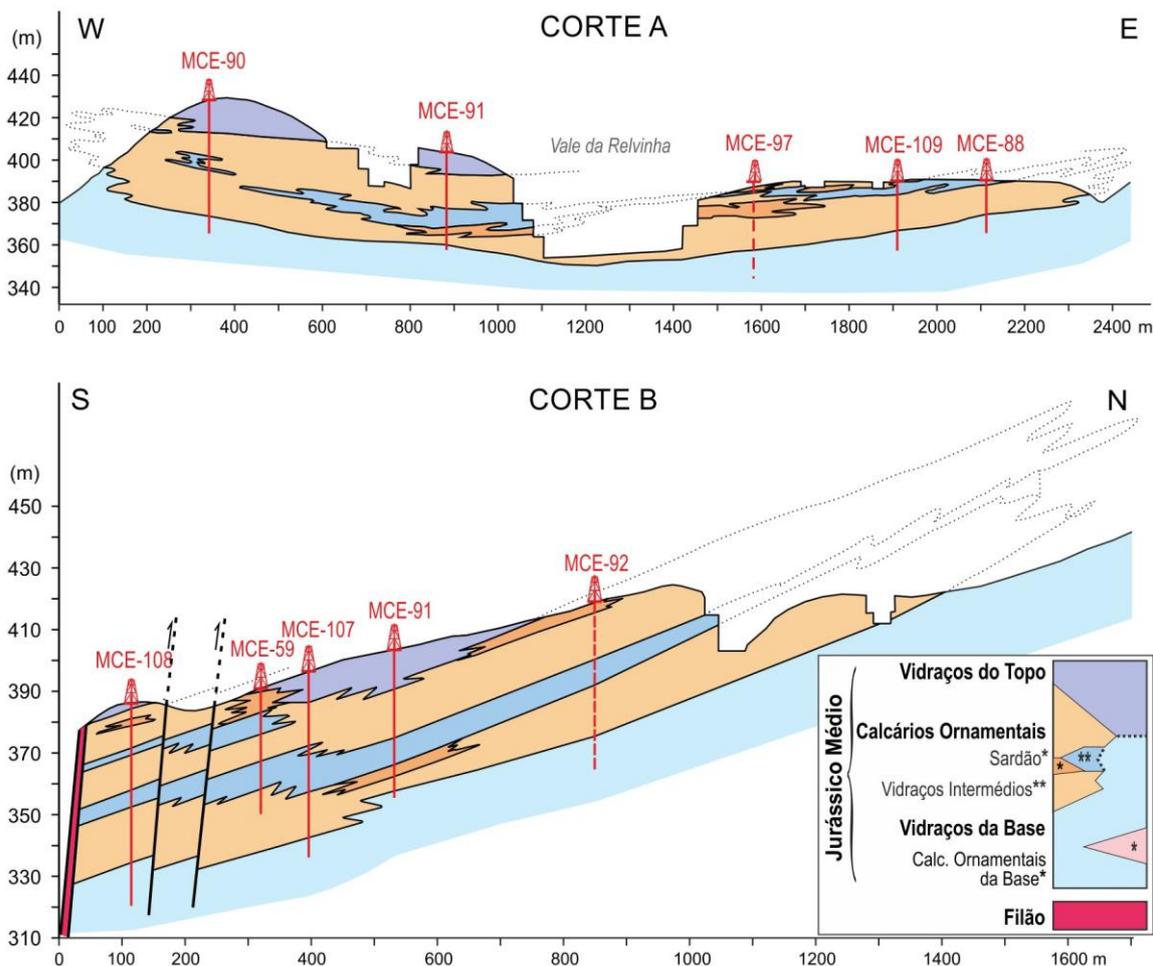


Figura 40. Cortes geológicos representativos da área Pé da Pedreira. Corte A: transversal; Corte B: longitudinal.

Figure 40. Geological sections of the Pé da Pedreira area. Section A: transverse; Section B: longitudinal.

encaixantes, essas falhas deverão ter correspondência com reativação de antigas diaclases.

No que respeita às falhas que enquadram o Filão de Valverde, apresentam-se subverticais e paralelas ao traço WNW-ESE da Falha de Mendiga. A sua movimentação mais recente terá conduzido a um abatimento generalizado do bloco norte, o que tanto poderá ser resultado de movimentação inversa, como normal, tal como referido anteriormente. Como o MCE se encontra submetido a um regime generalizado de inversão tectónica, é plausível que a movimentação mais recente da maioria destes acidentes possa ter ocorrido de modo inverso sob a influência desse regime.

Para sudeste do Cabeço da Giesteira desenvolvem-se falhas paralelas às do Filão de Valverde cuja movimentação deverá estar associada. Deverão também corresponder à reativação inversa de antigas diaclases. Para sudoeste do mesmo cabeço desenvolvem-se outras falhas que foram postas em evidência unicamente pelos rejeitos que causam nos níveis lenticulares do Calcários Ornamentais da Base. Também deverão corresponder a antigas diaclases reativadas, não conduzindo ao esmagamento das rochas encaixantes. Já não se apresentam paralelas ao Filão de Valverde, mas sim segundo NW-SE.

Na zona de Lombas, a sul do Filão, desenvolvem-se novamente falhas paralelas a ele e também correspondentes a diaclases reativadas. Conduziram a uma estruturação em graben por parte dos Calcários Ornamentais da Base.

Relativamente ao Filão de Valverde propriamente dito, ele aflora apenas em local restrito a norte de Fragas de Chainça. Admite-se ainda a sua existência junto à superfície para ocidente do local onde aflora até à falha de Mendiga, estando coberto por eluviões que resultam da sua alteração in situ. Para leste, as evidências reportam-se unicamente ao fato dos calcários no encosto com as falhas se apresentarem escurecidos o que será o resultado de metassomatismo associado à existência do filão em profundidade. Sobre a provável continuação deste filão para ocidente da falha da Mendiga, veja-se Mateus *et al.* (2019).

Amostra colhida neste filão na zona do Vale Cachorro, a sudoeste da sondagem MCE 108, mostra que se trata de um dolerito de textura porfírica com passagens locais a poecilítica, composta por grãos eudíricos a subdúricos de plagioclase (> 60%), clinopiroxena (provavelmente augite) intersticial e ortopiroxena (> 25%) com epidoto, clorite e olivina acessória (Fig. 41).

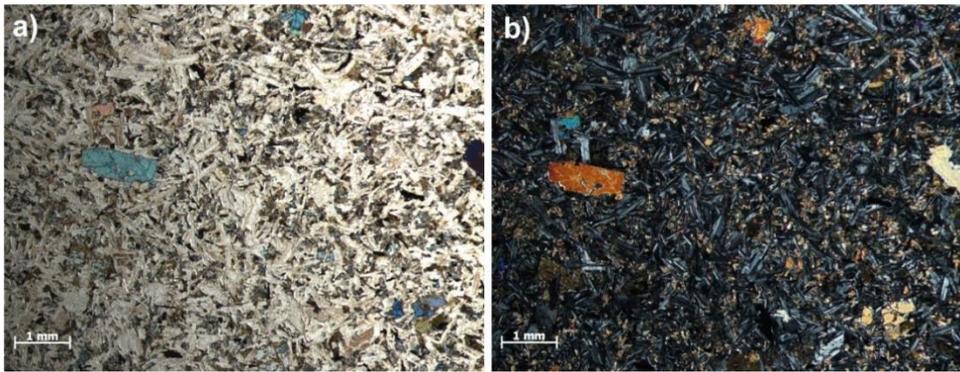


Figura 41. Microfotografias de lâmina delgada de amostra de Filão de Valverde (luz polarizada; a) nicóis paralelos, b) nicóis cruzados.

Figure 41. Thin section microphotographs of sample from Valverde Dike (polarized light; a) parallel nicols, b) crossed nicols).

7.3. A área de Cabeça Veada

7.3.1. Litostratigrafia

Na tabela 4 apresentam-se as unidades litostratigráficas definidas na área de Cabeça Veada e o mapa da figura 42 apresenta a sua distribuição espacial.

7.3.1.1. Vidraços da Base

Esta unidade é a mesma que foi definida para a área de Pé da Pedreira com a mesma designação, correspondendo, portanto, à Fm. de Serra de Aire. Aflora em área restrita na região sudoeste da área cartografada. A ocidentabente está limitada por uma falha orientada NNE-SSW (falha de Valverde) que a coloca em contacto com as rochas do Jurássico Superior (Vidraços Escuros). A leste contacta com a unidade Calcários Ornamentais que se lhe sobrepõe.

Os calcários constituintes desta unidade, em bancadas de espessura centimétrica a decimétrica, são idênticos aos que foram definidos para as áreas antes abordadas. Contudo, tendencialmente apresentam cor bege mais escura. Aqui, diferenciaram-se também níveis lenticulares de calcários mais ou menos dolomitizados. Por se encontrarem nas imediações de vários acidentes que recortam a região, deverão ser o resultado da circulação de fluidos ricos em magnésio ao longo de calcários mais suscetíveis a este tipo de alteração. A espessura de alguns destes níveis de calcários dolomitizados poderá alcançar os 20 m. Observações ao microscópio de lâmina delgada de amostra destes calcários dolomitizados revelam uma textura em mosaico representativa da substituição total da calcite por dolomite (Fig. 43).

7.3.1.2. Calcários Ornamentais

Esta unidade corresponde ao Membro de Pé da Pedreira já anteriormente descrito. Está limitada a oeste pelos Vidraços da

Base subjacentes e pela falha de Valverde que os coloca em contato direto com os calcários do Jurássico Superior. A sul também contacta com o Jurássico Superior por intermédio de uma outra falha, esta orientada WNW-ESE. A leste contacta com os Vidraços do Topo suprajacentes.

Os Calcários Ornamentais nesta região são *grainstones* e *rudstones* oolíticos e bioclásticos, mais ou menos pelóidicos e intraclásticos, grão fino a grosseiro. Apresentam cor bege de tom mais ou menos claro e textura marcada por laminações paralelas e oblíquas, mais ou menos evidentes e organizadas em feixes de espessura decimétrica a métrica.

A variedade comercial proveniente desta área é o Semi Rijo de Cabeça Veada (Fig. 44). O seu corte final é normalmente realizado “a favor”, ou seja, paralelamente à laminação sedimentar porque esta mostra-se pouco regular, quer em termos das próprias laminações, quer em termos da espessura dos feixes em que se organiza. Quando a laminação se mostra mais regular e em feixes espessos também se corta “ao contra”, possibilitando a comercialização sob a designação de Moca Creme Grão Médio.

A espessura das bancadas é de difícil apreciação pela dificuldade de destrinçar, em paredes verticais a que não se tem acesso, descontinuidades correspondentes a superfícies de estratificação. Na realidade, também aqui os Calcários Ornamentais não parecem estar estruturados em camadas sedimentares mecanicamente descontínuas. Em termos económicos, são os feixes de laminações sedimentares de dimensão métrica que condicionam a dimensão dos blocos. A posança total da unidade ronda os 130 m.

Azerêdo (1993) e Quartau (1998) diferenciaram no interior desta unidade um nível biostromático (“Sardão”) com espessura constante próxima de 1 m. Na cartografia agora realizada, optou-se por não proceder à sua individualização porque não constitui um fator condicionador da exploração. Para além disso, dado o grande desenvolvimento que, entretanto, as pedreiras tiveram, só localmente é possível proceder à sua cartografia.

Tabela 4. Unidades litostratigráficas na área de Cabeça Veada.

Table 4. Lithostratigraphic units in the Cabeça Veada area.

Unidades litostratigráficas	Nomenclatura formal		Outras designações	Idade
	Formação	Membro		
Vidraços Escuros	–	–	Formação de Montejunto / Camadas de Montejunto	Oxfordiano superior
Vidraços do Topo	Serra de Aire	–	Calcários micríticos de Serra de Aire	Batoniano
Calcários Ornamentais	Santo António – Candeeiros	Pé da Pedreira	Calcários de Pé da Pedreira	Batoniano superior
Vidraços da Base	Serra de Aire	–	Calcários micríticos de Serra de Aire	Batoniano

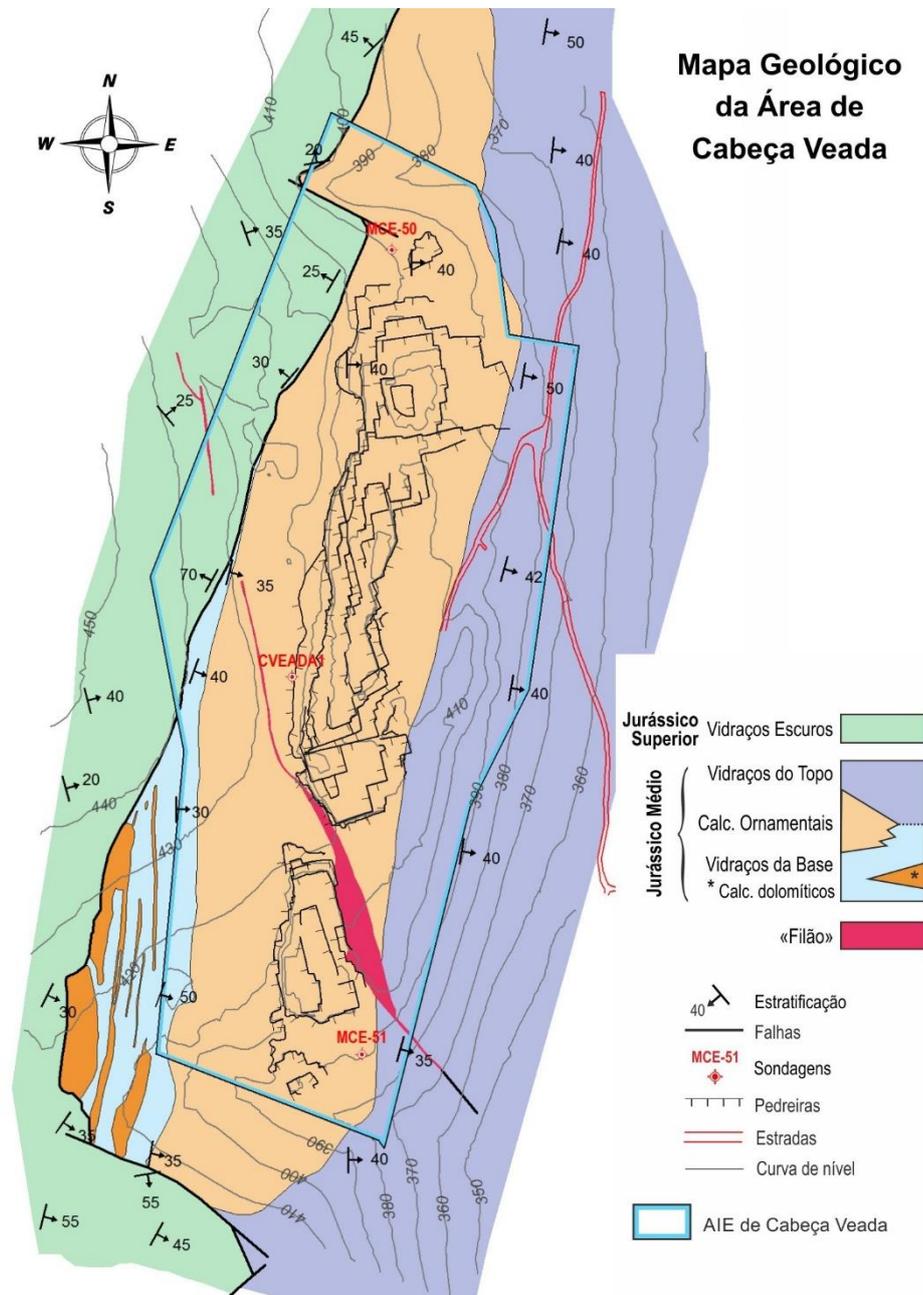


Figura 42. Mapa Geológico simplificado da área de Cabeça Veada.

Figure 42. Simplified geological map of the Cabeça Veada area.

Observações em lâmina delgada de amostras desta unidade (Fig. 45) ilustram a heterogeneidade granulométrica associada à laminação sedimentar: lâminas essencialmente constituídas por elementos finos (oólitos e pelóides) e outras em que também ocorrem elementos grosseiros (bioclastos).

7.3.1.3. Vidraços do Topo

Os Vidraços do Topo são idênticos aos Vidraços da Base, fazendo parte, do ponto de vista regional, da mesma unidade litoestratigráfica, a Fm. de Serra de Aire. Distinguem-se aqui por se apresentarem suprajacentes à unidade ornamental.

Devido à disposição estrutural dos estratos nesta área, com orientação NNE-SSW e inclinando cerca de 40° para leste, os Vidraços do Topo afloram em toda a área cartografada para leste dos Calcários Ornamentais.

7.3.1.4. Vidraços Escuros

Os Vidraços Escuros correspondem aos calcários datados do Oxfordiano que integram a chamada fm. de Montejunto (Kullberg *et al.*, 2013); anteriormente designada por Camadas de Montejunto na Folha 27-C da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 (Manuppella *et al.*, 2006). Na figura 8 estes calcários estão

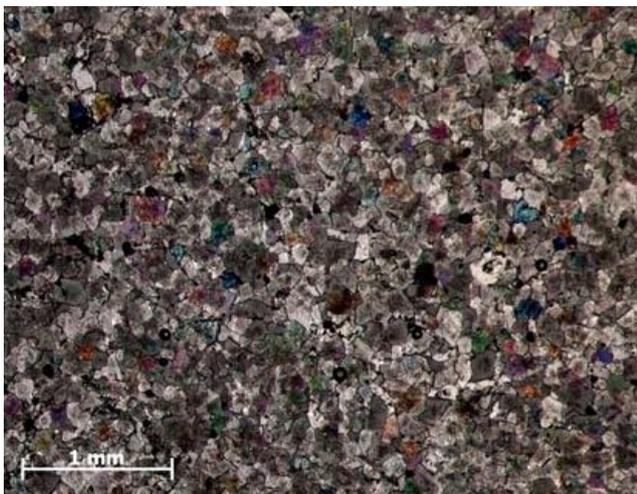


Figura 43. Microfotografia de amostra de dolomito intercalado nos Vidraços da Base (luz polarizada, nicóis paralelos).

Figure 43. Microphotograph of a dolomite sample from the Vidraços da Base unit (polarized light, parallel nicols).

representados como integrando as formações de Cabaços e Montejunto indiferenciadas, o que se deve ao facto destas formações não terem sido diferenciadas na Folha 27-A, imediatamente a norte.

Esta unidade aflora nas regiões oeste e sul da área cartografada e integra calcários micríticos mais ou menos margosos e mais ou menos bioclásticos (*mudstones a packstones*) de cor cinzenta tendencialmente escura. Ocorrem em bancadas de espessura centimétrica a decimétrica. A figura 46 mostra duas fotografias de

lâminas delgadas de amostras de calcários micríticos característicos desta unidade.

7.3.2. Sondagens

Na região de Cabeça Veada foram realizadas sondagens em campanhas de prospeção anteriores reportadas em Costa *et al.* (1988) e Quartau (1998), designadamente as referenciadas por MCE-50, MCE-51 e CVeada1. Não se justificou a realização de outras sondagens.

As sondagens referidas iniciaram-se sobre a unidade dos Calcários Ornamentais. A MCE-50 e a MCE-51 terminaram ainda dentro desta unidade, tendo intersetado diferentes fácies com maior ou menor aptidão ornamental. A sondagem CVeada1, cujo log se apresenta em anexo, foi realizada no fundo de uma das pedreiras com uma inclinação de 45° para oeste. Após intersetar cerca de 47 m de calcários ornamentais, alcançou os Vidraços da Base. Esta interseção permitiu confirmar que a espessura da unidade Calcários Ornamentais nesta região é de 130 m.

7.3.3. Estrutura e modelo geológico

Estruturalmente, a área de Cabeça Veada pode considerar-se dividida em duas regiões separadas pela falha NNE-SSW que coloca em contato os calcários do Jurássico Superior (Vidraços Escuros) com os calcários do Jurássico Médio (Vidraços da Base, do Topo e Calcários Ornamentais). Essa falha é conhecida por falha de Valverde.

Assim, para ocidente da falha de Valverde, os Vidraços Escuros apresentam-se tendencialmente orientados segundo NNW-SSE com inclinações na ordem dos 25° para ENE. Porém, junto à referida



Figura 44. Variedade ornamental Semi Rijo de Cabeça Veada.

Figure 44. Ornamental variety Semi Rijo de Cabeça Veada.

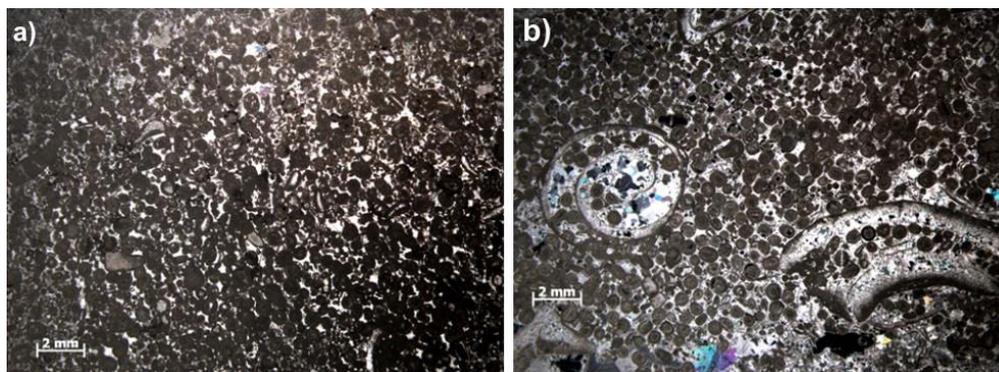


Figura 45. Microfotografias de Semi Rijo de Cabeça Veada. a) *grainstone* oolítico (luz polarizada, nicóis paralelos); b) *grainstone* oobioclástico (luz polarizada, nicóis cruzados).

Figure 45. Thin section microphotographs of Semi Rijo de Cabeça Veada. a) oolitic grainstone (polarized light, parallel nicols); b) poorly sorted oobioclastic grainstone (polarized light, crossed nicols).

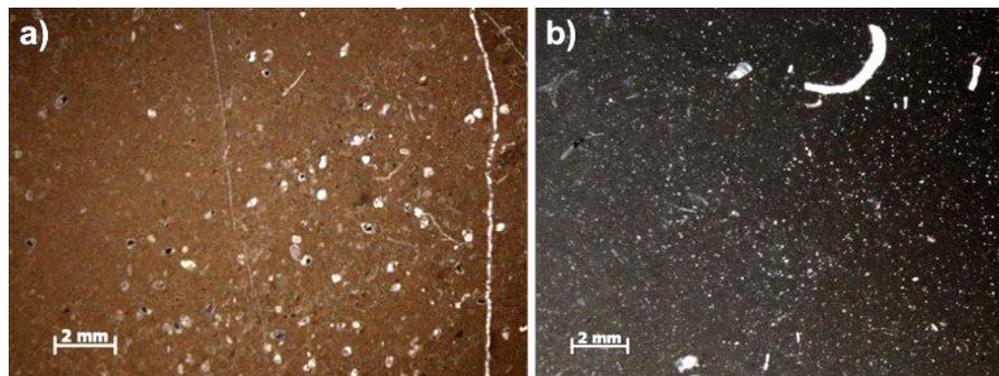


Figura 46. Microfotografias características dos Vidraços Escuros. a) biomicrite (luz polarizada, nicóis cruzados); b) micrite (luz polarizada, nicóis paralelos).

Figure 46. Characteristic thin section microphotographs of the Vidraços Escuros unit. a) biomicrite (polarized light, crossed nicols); b) micrite (polarized light, parallel nicols).

falha, apresentam-se paralelos a ela e com inclinações até 70° para WNW, o que certamente tem correspondência com dobramentos de arraste pela movimentação da falha.

Para leste da falha de Valverde, os calcários do Jurássico Médio apresentam-se regularmente orientados segundo NNE-SSW, paralelamente à falha, com inclinações na ordem dos 40° para ESE. Estas atitudes são verificáveis sobretudo nos Vidraços da Base e nos Vidraços do Topo. Contudo, nos Calcários Ornamentais, verifica-se esta mesma disposição estrutural para a maioria dos feixes de laminações sedimentares, conforme elucidado pela figura 47.

O corte geológico transversal que se apresenta na figura 48 é elucidativo desta disposição em monoclinal inclinado cerca de 40° para leste por parte das unidades a leste da falha de Valverde. Esta disposição tem grande influência no rendimento da exploração dos Calcários Ornamentais. Com efeito, embora estes apresentem essas inclinações, a metodologia de exploração empregue não acompanha tal andamento, fazendo-se regularmente por pisos direitos, conforme ilustrado na figura 49.

Tendo ainda presente o corte geológico, a exploração dos Calcários Ornamentais está limitada a ocidente pelos Vidraços da Base ou pela falha de Valverde que os coloca em contato com os Vidraços Escuros. Os Vidraços da Base também limitam a sua exploração em profundidade. A oriente, os Calcários Ornamentais estão limitados, superficialmente, pelos Vidraços do Topo e a norte a possança disponível para exploração diminui devido ao truncamento pela falha de Valverde.

7.3.3.1. Falhas

A falha de Valverde é o principal acidente tectónico na AIE de Cabeça Veada, atravessando-a longitudinalmente e colocando em contato os calcários do Jurássico Superior com os do Jurássico Médio, como tem vindo a ser referido. A sua expressão no terreno é pouco evidente, limitando-se a pequena crista em que os calcários se apresentam endurecidos e bastante mineralizados por veios de calcite (Fig. 50).

A cinemática da falha de Valverde é de difícil apreciação. Pela sua orientação admite-se que corresponda a uma falha normal associada aos episódios distensivos Jurássicos. Porém, dados indiretos, como seja a existência de planos de estratificação cinemáticos e os já mencionados dobramentos de arraste nos calcários do Jurássico Superior, apontam que a sua movimentação mais recente terá sido em desligamento esquerdo com componente cavalgante (do Jurássico Médio sobre o Superior). Contudo, outras evidências levam a admitir que a a movimentação mais recente da falha de Valverde esteja relacionada com um episódio compressivo transiente e precoce durante a transição Jurássico – Cretácico (Carvalho, 2013, 2018): a falha está truncada por complexo sistema de falhas que na área cartografada limita, a sul, os Calcários Ornamentais e que se mostra paralelo a um filão (cerca de 2 km a sul) que também a corta. Não existem evidências que apontem para a sua movimentação durante as fases compressivas da orogenia Alpina.



Figura 47. Feixes tabulares de laminações sedimentares paralelas inclinadas para leste (vista de norte para sul).

Figure 47. Parallel sedimentary lamination in tabular sets dipping east (viewed from north to south).

Na zona central da área de estudo está cartografado um filão. Porém, na realidade, a estrutura no terreno não corresponde a um filão. Corresponde, sim, a um corredor em que os calcários se apresentam fraturados, em maior ou menor grau, chegando mesmo a apresentar-se brechificados e que caracteristicamente

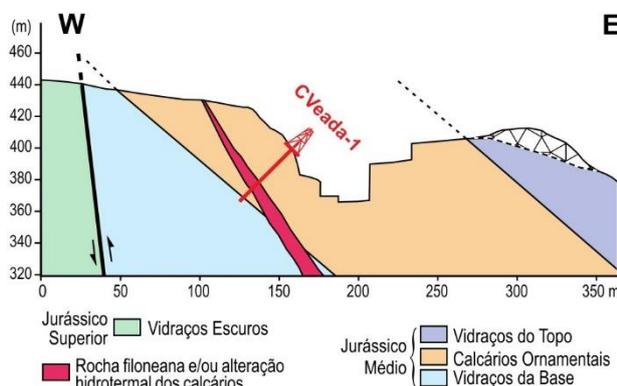


Figura 48. Corte geológico representativo da área de Cabeça Veada.

Figure 48. Representative geological cross section of Cabeça Veada area.

apresentam cor negra. Não correspondendo diretamente a um filão, o fato dos calcários se apresentarem negros é o resultado de metassomatismo que poderá ter correspondência com estrutura filoniana em profundidade ou, mais provavelmente, com estrutura hidrotermal similar, mas incipiente, à descrita por Ribeiro *et al.* (2019), a qual se apresenta orientada WNW-ESE e limita os Calcários Ornamentais cerca de 500 m a sul. Para simplificação, continua a denominar-se a estrutura em causa por filão, tal como na Folha 27-C (Manuppella *et al.*, 1999).

Evidências semelhantes referem-se ao fato de muitas das fraturas que afetam os Calcários Ornamentais apresentarem uma auréola de cor negra com alguns centímetros de espessura que terá resultado da circulação de fluidos hidrotermais (Fig. 51).

7.4. A Área de Portela das Salgueiras

7.4.1. Litostratigrafia

Na região envolvente ao núcleo de pedreiras de Portela das Salgueiras afloram as unidades litostratigráficas, que constam da tabela 5. Na figura 52 é apresentada uma versão redimensionada do primeiro mapa geológico detalhado alguma vez realizado para esta região e que consta em [material suplementar](#), apenas online.

7.4.1.1. Margas de Dagorda

As Margas de Dagorda nesta região afloram apenas em local restrito, na região SW da área cartografada, onde se encontra limitadas por troço da falha de Rio Maior – Porto de Mós. Superficialmente, os afloramentos apresentam-se completamente destruídos por efeito da intervenção humana, no seu uso como terrenos agrícolas.

7.4.1.2. Vidraços da Base

Os Vidraços da Base afloram em região restrita no extremo sul da área de Portela das Salgueiras. A leste estão limitados pela falha de Rio Maior – Porto de Mós que os coloca em contacto com as Margas de Dagorda. A norte e a oeste, contactam de modo brusco com os calcários da Unidade da Base, relativamente aos quais estão subjacentes.

Tal como nas áreas anteriores, esta unidade é constituída por calcários micríticos mais ou menos bioclásticos e oncolíticos (*mudstones* e *wackestones*). Apresentam cor bege a cinzenta-clara e, localmente, cor castanha franca. Algumas bancadas mostram-se

Tabela 5. Unidades litostratigráficas na área de Portela das Salgueiras.

Table 5. Lithostratigraphic units in the Portela das Salgueiras area.

Unidades litostratigráficas	Nomenclatura formal		Outras designações	Idade
	Formação	Membro		
Vidraços Escuros	–	–	Formação de Cabaços / Camadas de Cabaços	Oxfordiano médio
Calcários de Moleanos	Santo António – Candeeiros	Moleanos	Calcários de Moleanos	Caloviano
Vidraços do Topo	Serra de Aire	–	Calcários micríticos de Serra de Aire	Batoniano
Calcários Ornamentais	Semi Rijo	Santo António – Candeeiros	Calcários de Pé da Pedreira	Batoniano superior
	Unidade da Base			
Vidraços da Base	Serra de Aire	–	Calcários micríticos de Serra de Aire	Batoniano
Margas de Dagorda	–	–	Formação de Dagorda / Margas de Dagorda	Hetangiano



Figura 49. Vista parcial para sul do núcleo de Cabeça Veada: frentes de exploração verticais, realçando-se o forte pendor para leste por parte dos Calcários Ornamentais.
Figure 49. Partial view to the south of the Cabeça Veada quarrying site: vertical quarry walls, highlighting the eastward dip of the Calcários Ornamentais unit.

ricas em vesículas de calcite. As bancadas são de espessura centimétrica a decimétrica.

7.4.1.3. Calcários Ornamentais

Esta unidade corresponde, tal como nas áreas de Pé da Pedreira e de Cabeça Veada, ao Membro de Pé da Pedreira. Na Portela das Salgueiras subdividiu-se em Unidade da Base e Semi Rijo.

Unidade da Base

A Unidade da Base aflora unicamente na região meridional da área cartografada, limitada por falhas, onde apresenta uma espessura próxima de 30 m. Na região central, sob o Semi Rijo, a possança alcança os 40 m e volta a diminuir para valores na ordem



Figura 50. Expressão morfológica da falha de Valverde.
Figure 50. Morphological expression of the Valverde fault.



Figura 51. Fina fratura com auréola de cor negra resultante de metassomatismo.
Figure 51. Thin fracture with a black halo resulting from metassomatism.

dos 30 m a norte. A passagem ao Semi Rijo suprajacente ocorre de modo gradual.

Esta unidade é constituída por calcários texturalmente variados, de *wackestone* a *rudstone*, com diferentes proporções de aloquímicos (pelóides, oncóides, intraclastos e bioclastos). Estão dispostos em bancadas de espessura variável, desde alguns decímetros a metros. Na base, predominam *packstones* oncolíticos de cor cinzenta com abundantes estilólitos sub-horizontais, tanto abertos como fechados, e que por vezes se apresentam preenchidos por material argilobetuminoso de cor escura. Estes planos estilolíticos mimetizam, frequentemente, superfícies de estratificação.

Por passagem gradual, os calcários na parte superior da unidade correspondem essencialmente a *wackestones* de pelóides granulometricamente muito finos. Exibem cor bege amarelada e

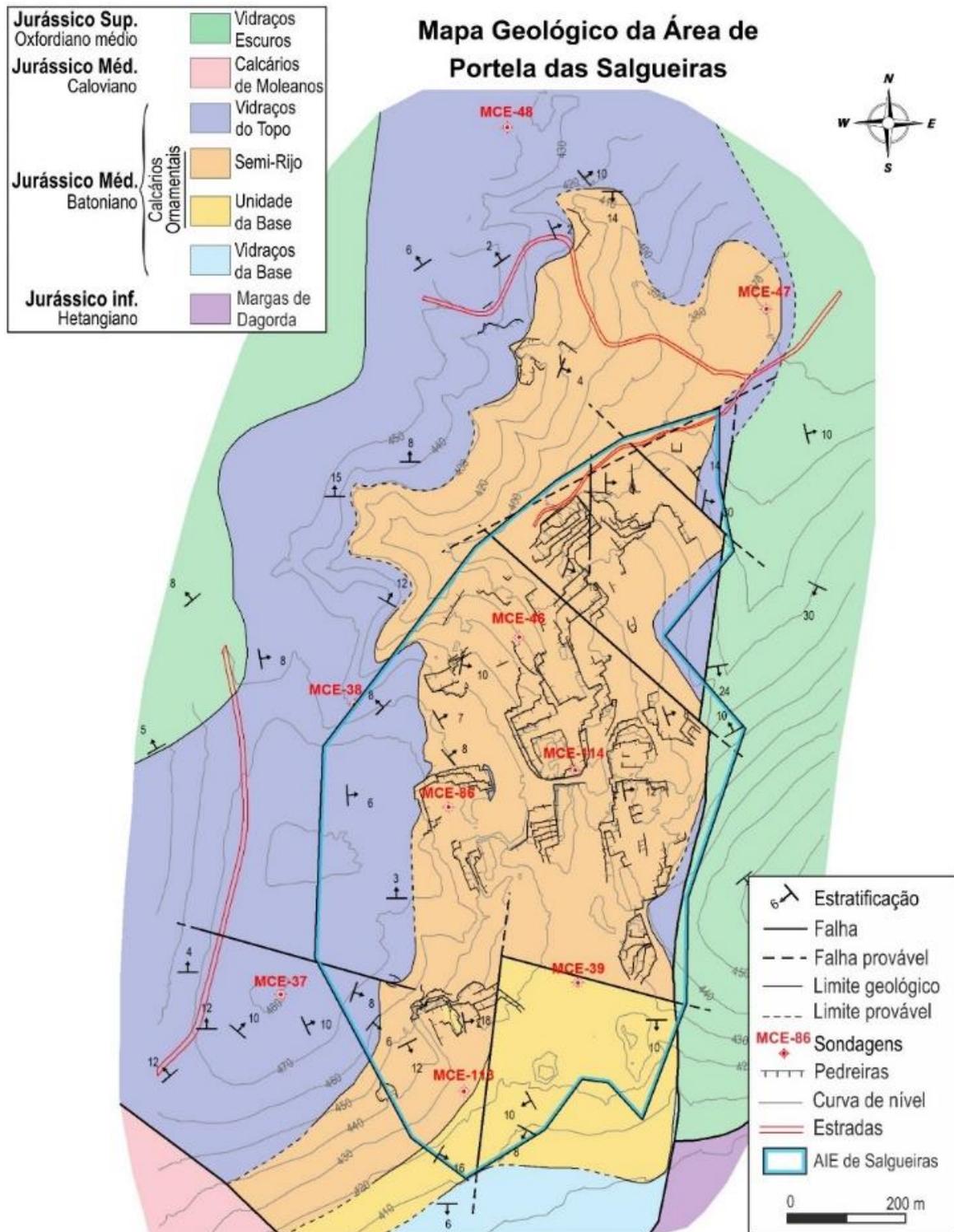


Figura 52. Mapa geológico simplificado da área de Portela das Salgueiras.

Figure 52. Simplified geological map of the Portela das Salgueiras area.

igualmente estão afetados por abundantes planos estilolíticos que mimetizam as superfícies de estratificação.

Semi Rijo

O nome atribuído a esta unidade advém do nome genérico pelo qual é conhecida a variedade ornamental proveniente deste núcleo de exploração: Semi Rijo do Arrimal ou Branco do Mar (Fig. 53).

O Semi Rijo ocupa a região central da área cartografada, estando limitado, em quase toda a sua extensão de afloramento, pela unidade suprajacente dos Vidraços do Topo. Apenas na região meridional os afloramentos de Semi Rijo dão lugar aos da Unidade da Base e, localmente, na região oriental da área, contactam com os Vidraços Escuros por intermédio duma falha orientada segundo N-S, que se denominou por falha de Salgueiras. A irregularidade do padrão de afloramento desta unidade, sobretudo nas regiões norte e oeste da área cartografada, resulta de bruscas variações laterais de fácies com os Vidraços do Topo.

Esta unidade é constituída por *packstones* e *grainstones* pelóidicos e biointraclásticos, tendencialmente de granulometria fina a média. Apresentam cor bege de tom claro e textura marcada por laminações paralelas, que em geral são pouco pronunciadas. Estes calcários ocorrem sob a forma de um corpo maciço no qual não se distinguem descontinuidades mecânicas correspondentes a planos de estratificação. Distinguem-se níveis de granularidade grosseira, biostromáticos, de espessura decimétrica, os quais são mais frequentes para o topo da unidade.

A espessura da unidade é superior a 65 m, correspondendo este valor à possança máxima disponível na zona central do afloramento. A sua espessura média rondará 30 m.

A passagem à unidade a teto (Vidraços do Topo) faz-se de modo brusco, mas acompanhada lateralmente de fortes variações de fácies, como anteriormente referido.

7.4.1.4. Vidraços do Topo

Os Vidraços do Topo afloram sobretudo nas regiões setentrional e ocidental da área cartografada. Na região ocidental estão limitados pelos afloramentos dos Vidraços Escuros que se lhes sobrepõem. Afloram também ao logo de faixa estreita na região oriental, onde estão limitados pela falha de Salgueiras que os põe em contato tectónico com os Vidraços Escuros.

Tal como os Vidraços da Base, os do topo têm correspondência com a Fm. de Serra de Aire, sendo litologicamente semelhantes. A sua distinção em duas unidades, tal como em Pé da Pedreira e Cabeça Veada, tem unicamente a ver com a sua posição estratigráfica local, acima ou abaixo da unidade lenticular dos Calcários Ornamentais. A espessura máxima alcançada pelos Vidraços do Topo na área cartografada é de 60 m.

7.4.1.5. Calcários de Moleanos

Estes calcários afloram em pequena região no extremo sudoeste da área. Correspondem ao Membro de Moleanos, de idade Caloviano que integra a Fm. de Santo António – Candeeiros. Estão referenciados na Folha 27-A Vila Nova de Ourém por Calcários de Moleanos, designação que aqui se adota.

Correspondem a *grainstones* e *rudstones* pelóidicos e bioclásticos com níveis de *mudstones* e *wackestones*. Dada a reduzida extensão do afloramento abrangido pela área de estudo, não foi possível um maior detalhe na sua caracterização.

O contato destes calcários com os das restantes unidades cartografadas é tectónico, por intermédio de uma falha orientada NW-SE.

7.4.1.6. Vidraços Escuros

Na região em estudo, esta unidade é a mais recente da sequência estratigráfica, aflorando nos seus extremos ocidental e oriental onde contacta com a unidade subjacente dos Vidraços do Topo. Os seus limites estendem-se para fora da área cartografada, razão pela qual não se conhece a sua espessura total.

É constituída, genericamente, por calcários e calcários argilosos (*mudstones*, *wackestones* e *packstones*), de cores cinzentas e beges, mais ou menos escuras, em bancadas de espessura centimétrica a decimétrica. As condições de afloramento não permitem verificar as litologias imediatamente em contato com os Vidraços do Topo.

7.4.2. Sondagens

Na região de Portela das Salgueiras foram realizadas sondagens em campanhas de prospeção anteriores e que estão reportadas em Costa *et al.* (1988). Após revisão dos respetivos testemunhos, os dados obtidos mostraram-se insuficientes para a compreensão do modelo geológico da área, bem como para a compreensão das variações de fácies litológicas em profundidade, razão pela qual se procedeu à execução de novas sondagens de reconhecimento. Estão referenciadas no mapa da figura 52 por MCE-113 e MCE-114.

Sondagem MCE-113

Esta sondagem foi realizada na região sul e visou determinar a profundidade de ocorrência dos Vidraços da Base, a fim de avaliar a espessura da unidade ornamental.

Iniciou-se na unidade Calcários Ornamentais que interseitou apenas até aos 2,64 m, entrando de seguida em calcários da Unidade da Base que demonstram fraca aptidão ornamental. Aos 40,10 m a sondagem interseitou a Unidade Vidraços da Base, tendo terminado aos 40,77 m.

Sondagem MCE-114

Foi implantada na região central da AIE e teve também como objetivo determinar a espessura dos Calcários Ornamentais.

Iniciou-se em calcários com mediana aptidão ornamental da unidade Calcários Ornamentais, os quais foram intersetados até aos 14,22 m de profundidade, entrando em calcários de fraca aptidão ornamental da Unidade da Base. Aos 55,80 m foram intersetados os Vidraços da Base, tendo-se parado a sondagem aos 59,44 m.

7.4.3. Estrutura e modelo geológico

Embora tal não seja perceptível em termos imediatos, a partir dum reconhecimento expedito, a estrutura geológica da área de Portela das Salgueiras é relativamente simples, dispondo-se as unidades de modo tabular e sub-horizontal (Fig. 54).

As unidades Vidraços do Topo e Calcários Ornamentais apresentam-se genericamente orientadas segundo N-S com suaves pendores para leste, na ordem dos 4° a 8°. Contudo, tendo em atenção o mapa apresentado na figura 52, é frequente a observação de camadas com diferentes orientações e pendores mais elevados



Figura 53. Variedade Semi Rijo do Arrimal explorada no núcleo de Portela das Salgueiras.

Figure 53. Semi-Rijo do Arrimal ornamental variety extracted in the Portela das Salgueiras quarrying site.

que resultam de causas diversas. Efetivamente, tal como já referenciado para as anteriores áreas de estudo, nos Calcários Ornamentais os valores de atitude medidos correspondem, não a superfícies de estratificação, mas sim a laminações sedimentares. Estas normalmente apresentam-se sub-horizontais, mas por vezes apresentam inclinações acentuadas e diferente orientação. Já nos Vidraços do Topo, as atitudes medidas correspondem a planos de estratificação. As diferenças registadas nas atitudes parecem resultar de situações diversas. Por um lado, frequentes biselamentos associados às fortes variações laterais de fácies com a unidade ornamental, por outro, suaves ondulações e ainda por outro, suaves basculamentos induzidos pelas fraturas que os afetam.

Relativamente à unidade Vidraços Escuros (formação de Cabaços), na região ocidental apresenta-se orientada NE-SW com pendores suaves para NW. Na região oriental apresenta atitudes diversas, o que se crê devido à proximidade com a Falha de Salgueiras e com a falha de Rio Maior – Porto de Mós.

Também aqui se comprova que os Calcários Ornamentais constituem um corpo lenticular espesso e assimétrico intercalado na Fm. de Serra de Aire, com a qual se interdigita (Fig. 55).

7.4.3.1. Falhas

Como tem vindo a ser referido, algumas falhas afetam a área estudada, destacando-se a falha de Rio Maior – Porto de Mós, a falha de Salgueiras e a falha NW-SE no extremo meridional da área.

A falha de Rio Maior – Porto de Mós, orientada NNE-SSW, apenas é intersetada no extremo SE da área cartografada, razão pela qual no núcleo de exploração não se encontram evidências diretas da sua atuação.

A falha de Salgueiras apresenta-se segundo N-S. Na região meridional da área termina de encontro à falha de Rio Maior – Porto de Mós. Na região setentrional perde-se na unidade Vidraços

do Topo, numa área em que os afloramentos são escassos e estão cobertos por depósitos de cobertura recentes. Não foi possível caracterizá-la, nem geométrica, nem cinematicamente. Com efeito, a sua demarcação resulta de evidências indiretas, nomeadamente:

- A falha coincide parcialmente com uma pequena linha de água N-S onde ocorre, de modo brusco, o contato dos Vidraços do Topo com os Vidraços Escuros;
- Sabendo-se que tal contato corresponde a uma descontinuidade de âmbito regional a que estão associados níveis argilocarbonosos e conglomerados, tais litologias não se verificam ao longo do contato identificado segundo N-S;
- Localmente, os calcários junto ao contato estão bastante tectonizados por inúmeros veios de calcite e endurecidos, formando pequenas cristas com cerca de 1 m de altura, mas que se destacam relativamente ao encaixante.

Estas evidências contribuem para se admitir que esta falha tenha atuado em regime de inversão tectónica. Pela relação angular com a falha de Rio Maior – Porto de Mós, poderá corresponder a acidente conjugado em desligamento direito com alguma componente inversa.

Na área foram ainda identificadas outras falhas com a mesma orientação N-S, e que afetam apenas os Calcários Ornamentais, nomeadamente uma na grande pedreira que lavra a norte e outra na região meridional da área. Relativamente à primeira, foi possível verificar que apresenta uma inclinação de 45° para oeste e que levou ao abatimento do bloco ocidental em regime de movimentação normal (Fig. 56). Esta falha de pequenas dimensões não se prolonga para além do que está representado cartograficamente. Relativamente à falha N-S da região meridional da área, ela estabelece o contato tectónico entre a Unidade da Base e o Semi Rijo, presumivelmente também em movimentação normal.

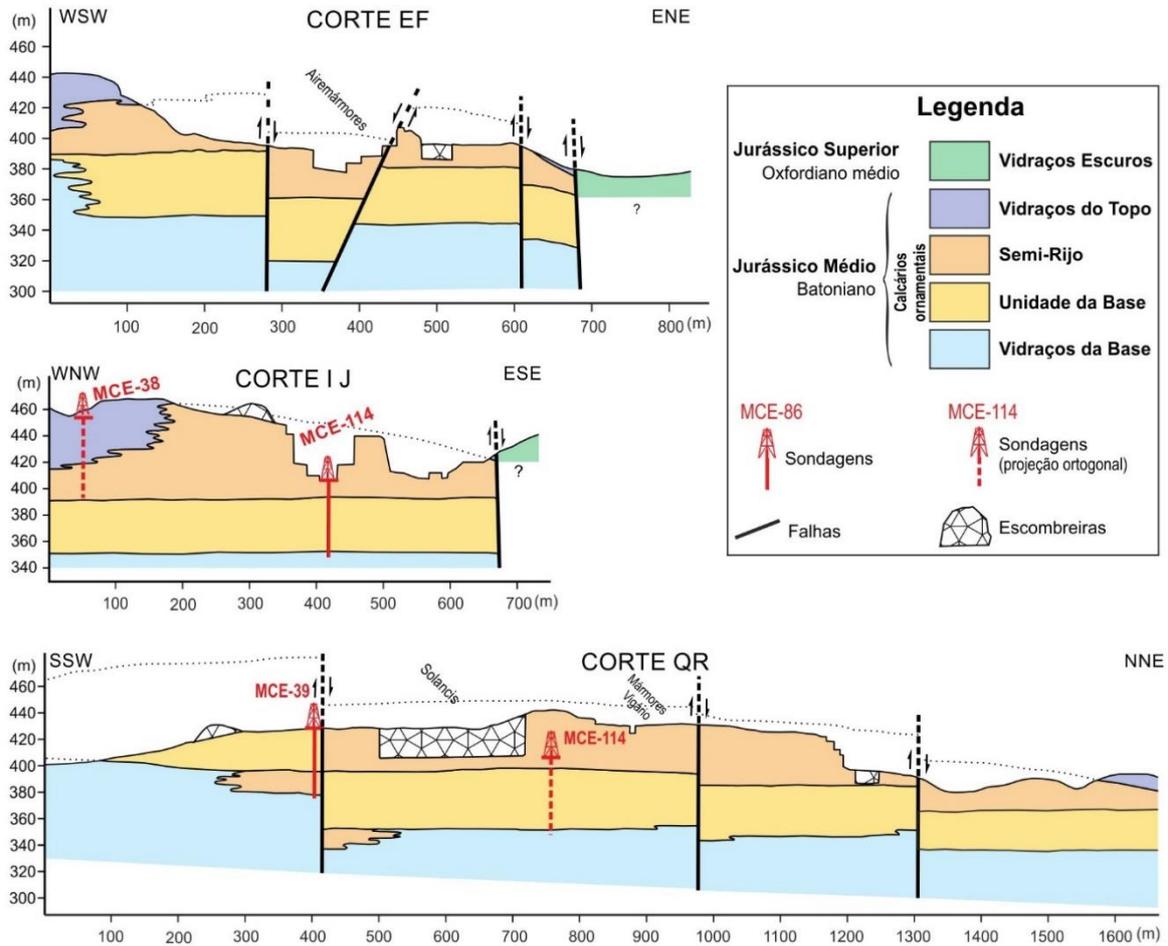


Figura 54. Cortes geológicos representativos da área de Portela das Salgueiras. Cortes EF e IJ são transversais à estrutura na região central da área; corte QR é longitudinal.

Figure 54. Representative cross sections of the Portela das Salgueiras area. EF and IJ are transversal cross sections in the central region of the area; QR cross section is longitudinal.

Relativamente à falha orientada NW-SE no extremo sul da área cartografada, ela limita os afloramentos de Calcários Ornamentais, os quais não voltam a aflorar. Como já foi anteriormente referido, esta falha integra uma família de acidentamentos com a mesma orientação cuja instalação inicial terá ocorrido na passagem do Jurássico ao Cretácico, à semelhança do que se verifica para uma outra família de acidentamentos regionais, subparalelos (WNW-ESE). Com efeito, crê-se que a instalação destes acidentamentos NW-SE e WNW-ESE seja coeva e resulte de oscilações na orientação de um campo de tensões em regime compressivo com compressão máxima orientada WNW-ESE naquele período de tempo (Carvalho, 2013, 2018). A sua movimentação mais recente terá ocorrido em deslizamento esquerdo.

Em Portela das Salgueiras identificaram-se outras falhas com essas orientações. Duas, segundo orientação NW – SE, localizam-se na região central e afetam os Calcários Ornamentais, os Vidraços do Topo e os Vidraços Escuros. Outra, na região meridional, apresenta-se segundo WNW-ESE e afeta os Calcários Ornamentais e os Vidraços do Topo, parecendo não afetar os Vidraços Escuros. Embora o padrão cartográfico denuncie movimentação em deslizamento esquerdo para os dois primeiros acidentamentos e em deslizamento direito para o localizado na região sul, admite-se que essa movimentação seja essencialmente normal, pois não foram encontradas evidências de esmagamento das

rochas. Tal como os cortes geológicos demonstram, induzem rejeitos verticais na unidade dos Calcários Ornamentais.

Importa também destacar que os Calcários Ornamentais estão localmente afetados por inúmeras falhas de características sinsedimentares, cuja atitude não foi possível avaliar com rigor

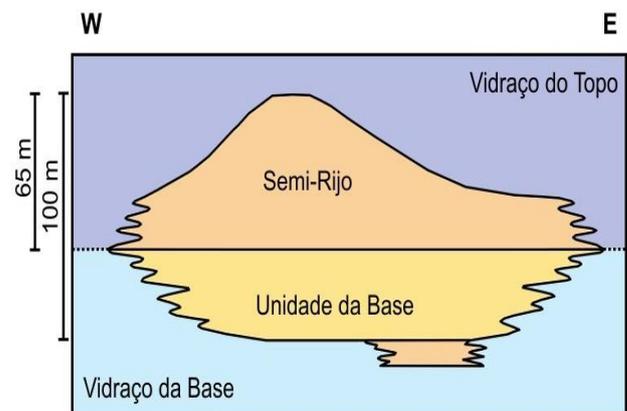


Figura 55. Coluna litológica esquemática da área de Portela das Salgueiras.

Figure 55. Schematic lithological column of the Portela das Salgueiras area.

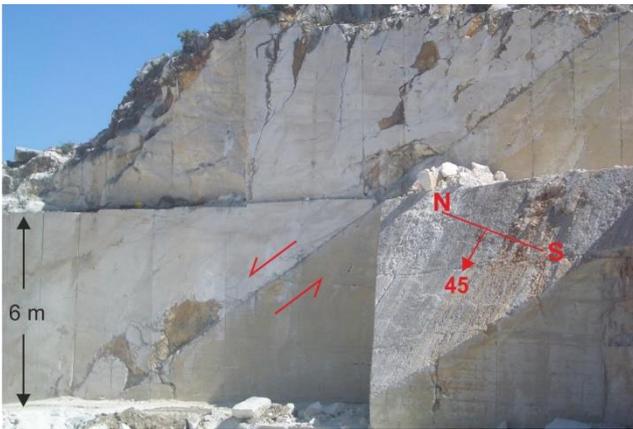


Figura 56. Falha de direcção N-S na região norte da área de Portela das Salgueiras.
Figure 56. N-S oriented fault in the northern region of the Portela das Salgueiras area.

pois apenas são dados a observar os seus traços de intersecção com as frentes de exploração verticais (Fig. 57).

De realçar que Montenat *et al.* (1988) referem a existência de falhas sinsedimentares segundo NW-SE nos calcários do Jurássico Médio e seladas pelos depósitos do Oxfordiano na zona do Cabeço Gordo, cerca de 6 km a norte. Estas falhas, com movimentação normal e rejeitos de amplitude centimétrica a decimétrica, parecem constituir corredores de fraturação de largura métrica. Maioritariamente, não configuram descontinuidades mecânicas e afetam espessura reduzida da unidade ornamental, na ordem dos 10 m.

7.5. A Área de Moleanos

7.5.1. Litostratigrafia

Na área de Moleanos (Fig. 58), definiram-se as unidades litostratigráficas indicadas na tabela 6, sendo que relativamente à unidade Calcários Ornamentais foi definida uma subunidade que se denominou Vidraços Intermédios.

7.5.1.1. Vidraços da Base

Ao contrário do registado para as três últimas áreas apresentadas, a unidade Vidraços da Base em Moleanos integra-se no Membro de Moleanos da Fm. de Santo António – Candeeiros, o qual está datado do Caloviano. Atribui-se-lhe esta mesma designação porque corresponde à unidade subjacente à que mostra aptidão para fins ornamentais.

Os Vidraços da Base afloram na região oriental da área cartografada, correspondente à vertente ocidental da serra dos Candeeiros (Fig. 58). Embora não se conheça a sua base na área estudada, a possança deverá ser da ordem das dezenas de metros. O contacto entre os Vidraços da Base e os Calcários Ornamentais apresenta-se aproximadamente segundo N-S, mas está representado como limite geológico provável porque não há certeza quanto à localização exata desse limite. Encontra-se mascarado por depósito de vertente da serra dos Candeeiros em que abundam abundantes blocos de calcários micríticos que se presumem dos Vidraços da Base. Com efeito, esta unidade é constituída essencialmente por calcários micríticos (*mudstones*, *wackestones* e *floatstones*), de cor bege clara, por vezes acinzentada ou acastanhada, em bancadas de espessura

decimétrica. Comumente, apresentam uma densa rede de finos veios de calcite e, quando percutidos, tendem a estilhaçar.

7.5.1.2. Calcários Ornamentais

Esta unidade está limitada a leste pelos Vidraços da Base subjacentes e a oeste pelos Vidraços do Topo que se lhe sobrepõem. É constituída por calcários pelóidicos, bioclásticos e intraclásticos, mais ou menos oolíticos, de granularidade tendencialmente grosseira (*packstones*, *grainstones* e *rudstones*). A cor geral é bege, mas em áreas restritas, sobretudo em profundidade, ocorrem massas decamétricas de calcários de coloração cinzento-azulada, tal como verificado, noutras áreas do MCE (Santos, 2017; Silva *et al.*, 2022). A textura é caracterizada por laminações sedimentares paralelas e oblíquas, mais ou menos bem marcadas e organizadas em feixes de espessura decimétrica a métrica.

Em geral, as bancadas são espessas, mas de difícil quantificação pela dificuldade de as distinguir dos feixes de laminações sedimentares (Fig. 59). Com efeito, a maioria das observações é feita à distância por inacessibilidade às frentes de exploração muito altas e verticais. É comum a ocorrência de planos estilolíticos sub-horizontais. Quanto à espessura da unidade, ela ultrapassa os 100 m.

Neste núcleo de exploração são produzidas variedades ornamentais que tomam o nome genérico de Vidraço de Moleanos ou simplesmente Moleanos (Fig. 60). Ao contrário do que tem vindo a ser referido neste trabalho, a designação “Vidraço” aqui atribuída a esta variedade ornamental não tem a equivalência com calcários micríticos. Quando apresentam cor de tom cinzento-azulado, estes calcários são comercializados sob a designação Azul de Moleanos. Ambas as variedades são obtidas por corte das chapas segundo o “corrume”, ou seja, paralelamente às laminações sedimentares. Observações em lâmina delgada de exemplares destas variedades (Fig. 61) confirmam as observações macroscópicas.

7.5.1.3. Vidraços Intermédios

No interior dos Calcários Ornamentais, próximo da base, diferencia-se um nível de calcários micríticos pelóidicos, mais ou menos bioclásticos e oncolíticos (*wackestones* e *floatstones*), de

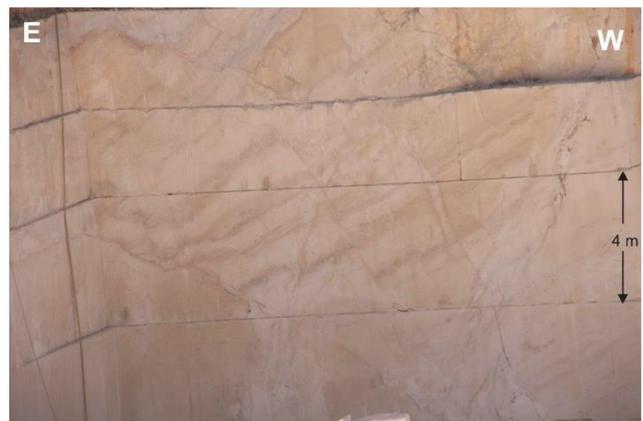


Figura 57. Falhas sinsedimentares subverticais que terminam de encontro a falha inclinada cerca de 45° para oeste (vista em frente de pedra vertical).
Figure 57. Subvertical syndimentary faults ending against a fault dipping about 45° to the west (viewed in a vertical quarry wall).

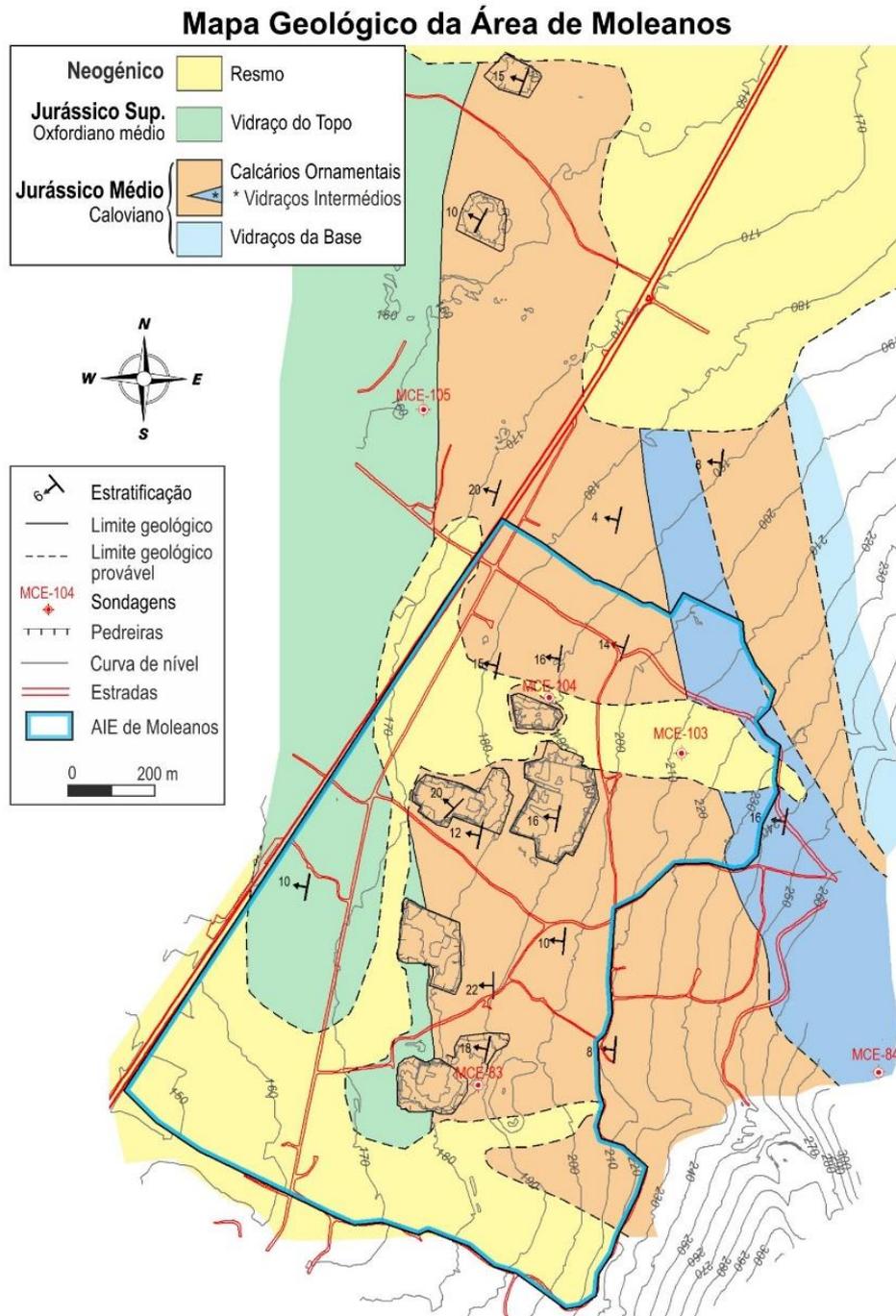


Figura 58. Mapa geológico simplificado da área de Moleanos.

Figure 58. Simplified geological map of the Moleanos area.

cor bege, castanho-claro ou cinzenta-clara. Denominou-se por Vidraços Intermediários.

Trata-se duma unidade lenticular cuja espessura, de aproximadamente 30 m, diminui progressivamente para ocidente, conforme comprovado por sondagem. As bancadas apresentam espessura variável de alguns centímetros a 1,5 m, sendo comum a ocorrência de finos veios de calcite, não muito extensos e com orientações variadas. Algumas das bancadas de maior espessura e

texturalmente homogêneas foram alvo de exploração para blocos. Disso é testemunho pequena pedreira há muito abandonada, a oriente da sondagem MCE-84, já fora da área cartografada.

7.5.1.4. Vidraços do Topo

A unidade que se definiu como Vidraços do Topo na área de Moleanos corresponde à fm. de Cabaços. Aflora na região

Tabela 6. Unidades litostratigráficas na área de Moleanos.

Table 6. Lithostratigraphic units in the Moleanos area.

Unidades litostratigráficas	Nomenclatura formal		Outras designações	Idade
	Formação	Membro		
Resmo				Neogénico
Vidraços do Topo	–	–	Formação de Cabaços / Camadas de Cabaços	Oxfordiano médio
Calcários Ornamentais	Santo António – Candeeiros	Moleanos	Calcários de Moleanos	Caloviano
Vidraços da Base	Santo António – Candeeiros	Moleanos	Calcários de Moleanos	Caloviano



Figura 59. Vista parcial de pedra onde é notável o aspeto maciço dos Calcários Ornamentais e a sua estruturação em feixes de laminações sedimentares com várias atitudes.

Figure 59. Partial view of a quarry where the massive appearance of the Calcários Ornamentais unit is remarkable, as well as its structuring in cross bedding sets.

ocidental da área cartografada e assenta sobre os Calcários Ornamentais por intermédio da descontinuidade regional que marca a passagem do Jurássico Médio ao Superior. A essa descontinuidade está associado paleocarso conforme ilustrado pela figura 62.

Nos afloramentos a que é possível ter acesso, na imediação das pedreiras à superfície, os Vidraços do Topo mostram-se constituídos por *mudstones* e *wackestones*, mais ou menos margosos. Apresentam cores cinzentas e castanhas com tons escuros. As bancadas têm espessura decimétrica e estão separadas umas das outras por níveis argilcarbonatados (Fig. 62). Não se reconheceu toda a unidade, mas na área em estudo a sua espessura ultrapassa os 20 m.

7.5.1.5. Resmo

Resmo é o nome pelo qual são conhecidos na área de Moleanos os depósitos do tipo cascalheira mal consolidada que assentam discordantemente sobre as unidades anteriores. São depósitos recentes, mas não existem indicações mais precisas quanto à sua idade. Os afloramentos distribuem-se por três grandes manchas que se prolongam para fora dos limites da área. As manchas de afloramentos central e meridional estão alongadas WNW-ESSE,



Figura 60. Principal variedade ornamental do núcleo de Moleanos: Vidraço de Moleanos.

Figure 60. Main ornamental variety from the Moleanos quarries: Vidraço de Moleanos.

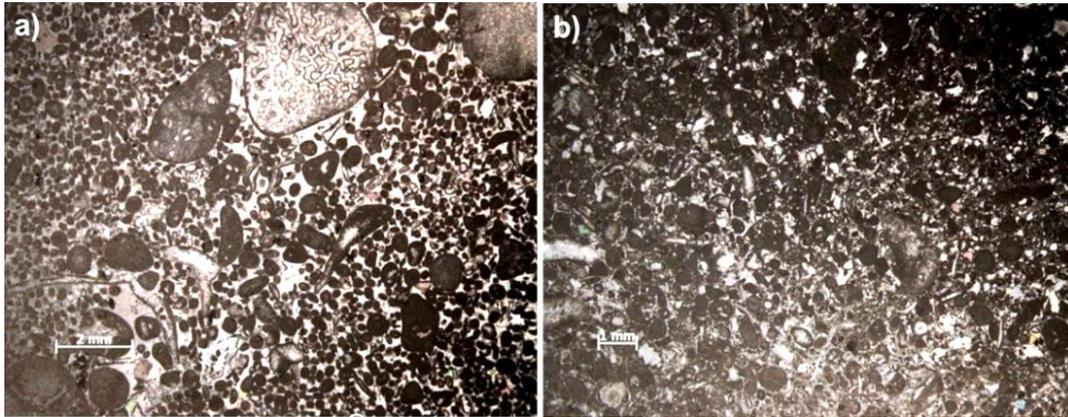


Figura 61. Microfotografias de variedades ornamentais de Moleanos. a) Exemplar de Vidraço de Moleanos correspondente a *grainstone* pelóidico com nível grosseiro biointraclástico (luz polarizada, nicóis paralelos); b) Exemplar de Azul Moleanos correspondente a *packstone* pelintraclástico (luz polarizada, nicóis paralelos).

Figure 61. Microphotographs of Moleanos ornamental varieties. a) Sample of Vidraço de Moleanos, which corresponds to a pellicoidal grainstone with a coarse grained biohercynitic level (polarized light, parallel nicols); b) Azul Moleanos sample corresponding to a pellicynitic packstone (polarized light, parallel nicols).

paralelamente à direção de acidentes regionais, nos quais se inclui a falha de Moleanos (*cf.* Fig. 1), a qual aqui se encontra coberta pelo depósito meridional.

A sua composição varia muito de local para local, mas genericamente, são constituídos por litoclastos angulosos de calcários micríticos, com dimensões centimétricas, envoltos numa matriz mais ou menos abundante de natureza argilocarbonatada (Fig. 63a). É comum a ocorrência de crostas superficiais melhor consolidadas devido à precipitação de calcite entre os calhaus de calcário. A sua espessura é variável, entre alguns centímetros à dezena de metros. Deverão corresponder a depósitos de vertente acumulados em paleodepressões durante períodos de chuvas torrenciais.

Este tipo de depósitos ocorre muitas vezes associado a outros, também superficiais, de natureza argiloarenosa e cor avermelhada a que vulgarmente é atribuída a designação de *terra rossa* (Fig. 63b), certamente mais antigos e poligenéticos. Contudo, não se mostrando relevante a sua distinção, foram ambos englobados numa única unidade.

7.5.2. Sondagens

Na região de Moleanos foram realizadas sondagens numa campanha de prospeção anterior reportadas em Costa *et al.* (1988). Numa outra campanha mais recente foram realizadas três novas sondagens (MCE-103 a MCE-105), cujos dados apenas constam em relatório técnico de Carvalho (1996). Por essa razão, descrevem-se aqui sucintamente e apresentam-se os respetivos *logs* em anexo.

A revisão dos respetivos testemunhos forneceu dados que se mostraram suficientes para a compreensão do modelo geológico da área, bem como para a compreensão das variações de fácies litológicas em profundidade, razão pela qual não realizaram novas sondagens de reconhecimento.

Sondagem MCE-83

Esta sondagem foi realizada num local que atualmente corresponde a uma pedreira de grandes dimensões. Iniciou-se em depósito argiloso que se prolongou até à profundidade de 2,5 m. De seguida e até ao fim da sondagem aos 40,71 m, foram atravessados calcários biointraclásticos mais ou menos

oncolíticos em níveis alternantes de diferente granulometria. Correspondem à unidade Calcários Ornamentais.

Sondagem MCE-84

Foi implantada na unidade Vidraços Intermédios os quais foram atravessados até aos 6 m de profundidade. A esses calcários micríticos seguiram-se Calcários Ornamentais, com melhor ou pior aptidão, até ao fim da sondagem aos 40,61 m.

Sondagem MCE-103

Foi implantada nos depósitos de tipo Resmo que atravessou até aos 3,83 m. De seguida a sondagem atravessou a unidade Calcários Ornamentais até aos 15,20 m, altura em que intersejou um espesso troço de calcários micríticos com correspondência na unidade Vidraços Intermédios, os quais se prolongaram até aos 31,30 m de profundidade. A esse nível de Vidraços Intermédios com mais de 16 m de espessura seguiu-se nova interseção de



Figura 62. Vidraços do Topo sobre Calcários Ornamentais na pedreira “Sousa & Catarino”, realçando-se a vermelho o paleocarso desenvolvido entre estas unidades.

Figure 62. Vidraços do Topo unit over the Calcários Ornamentais unit in the “Sousa & Catarino” quarry, being red-highlighted the paleokarst developed between these units.

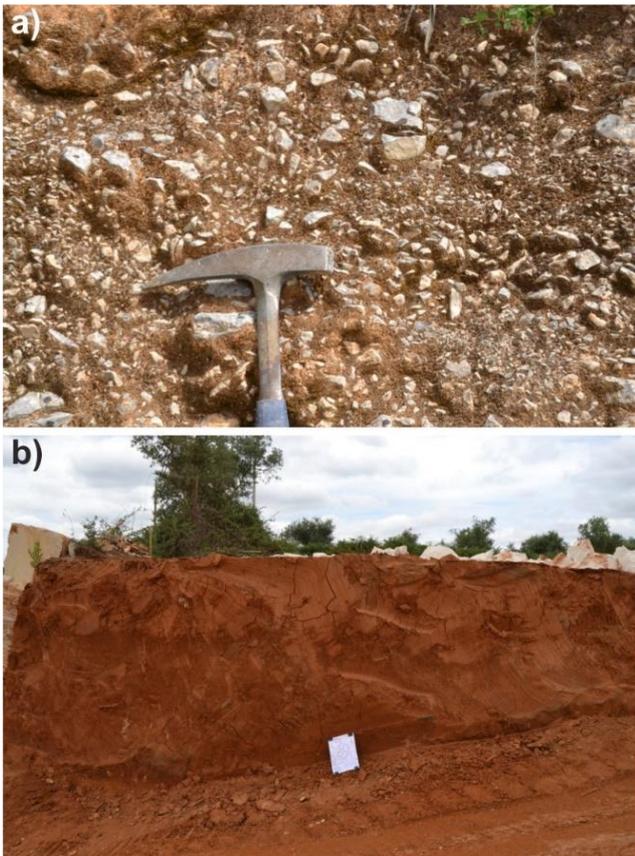


Figura 63. Aspeto típico dos depósitos de cobertura recente. a) resmo; b) terra rossa.
Figure 63. Typical aspect of recent covering deposits. a) "resmo"; b) terra rossa.

Calcários Ornamentais até aos 37,60 m. A esta profundidade a sondagem cortou novo nível de calcários micríticos, mas que agora se presumem fazer parte dos Vidraços da Base. A sondagem terminou nesta unidade aos 40,83 m.

Sondagem MCE-104

O local de implantação desta sondagem também foi sobre os depósitos de Resmo, mas apenas foram atravessados 0,75 m desta unidade, o que revela a variabilidade da sua espessura, já que a região se mostra bastante plana e sub-horizontal. A eles seguiram-se os Calcários Ornamentais num troço de muito boa qualidade ornamental até aos 7,10 m. Seguiu-se um nível de Vidraços Intermédios até aos 17,23m, o qual se interpreta como um nível lenticular bastante restrito por não aflorar e não ser intersetado por nenhuma outra sondagem a cota compatível com a inclinação da unidade. De modo gradual, estes vidraços passam a calcários ornamentais que se prolongam até aos 70,50 m. Contudo, os últimos 2,5 m não apresentam aptidão ornamental por corresponderem a calcários com caráter biostromático.

Dos 70,50 m aos 72,50 m a sondagem atravessou novo nível de Vidraços Intermédios.

Destaca-se que esta sondagem está alinhada com a MCE-103 segundo um corte transversal à orientação das unidades aflorantes na área. Nessa MCE-103, o nível de Vidraços Intermédios apresenta uma espessura de 16 m, ou seja, demonstra-se forte variação de espessura por parte dos Vidraços

Intermédios, permitindo deduzir que essa diminuição ocorre para oeste.

Após os Vidraços Intermédios a sondagem atravessou novamente os Calcários Ornamentais até aos 82,10 m de profundidade a que se seguiram os Vidraços da Base até aos 88,38 m, onde terminou a sondagem.

Sondagem MCE-105

Foi realizada a poente do IC2, a meia distância entre o núcleo de pedreiras de Moleanos e o pequeno núcleo de Casal do Rei.

Até aos 2,13 m atravessou alternâncias de argilas e calcários margosos de cor cinzenta-escuro. Este conjunto interpreta-se como correspondendo à unidade Vidraços do Topo, do Jurássico superior. A eles, seguiu-se a unidade Calcários Ornamentais até aos 44,07 m de profundidade, onde foram intersetados calcários da Unidade Vidraços Intermédios. Estes prolongam-se até aos 55,20 m, ou seja, apresentam uma espessura próxima de 11 m. Seguiram-se novamente Calcários Ornamentais, por vezes de cor cinzenta-azulada. Por razões técnicas, a sondagem terminou aos 61,68 m ainda nos calcários desta unidade ornamental.

7.5.3. Estrutura e modelo geológico

A área de Moleanos apresenta uma estrutura geológica simples, em monoclinal suavemente basculado para oeste (Fig. 64). As unidades litostratigráficas apresentam-se orientadas aproximadamente segundo N-S, com pendores para oeste variáveis entre os 10° e os 20°. Porém, uma análise mais atenta mostra que os menores valores de inclinação das bancadas foram medidos sobre os Vidraços do Topo, na ordem dos 10°, ao passo que nos Calcários Ornamentais se mediram pendores que alcançam os 20°. Mesmo tendo em atenção que estes valores mais elevados poderão corresponder, não à inclinação geral da unidade, mas à de alguns feixes de laminações sedimentares mais inclinados, parece existir uma diferença angular próxima de 10° entre os Vidraços do Topo e os Calcários Ornamentais. Essa diferença corresponderá, portanto, à discordância angular entre o Jurássico Superior e o Médio reportada anteriormente por outros autores (e.g. Montenat *et al.*, 1988; Azerêdo *et al.*, 2002).

A cartografia geológica realizada não permitiu a identificação direta de falhas na área de estudo. Contudo, pelos mapas das figuras 1 e 8, constata-se que ela abrange as falhas de Candeeiros e de Moleanos. A primeira não foi detetada porque provavelmente terá pouca expressão na região estudada, a segunda porque está coberta pelo Resmo.

8. FRATURAÇÃO

8.1. O problema do espaçamento da fraturação

Quanto à natureza da fraturação que afeta o MCE, os dados obtidos por medição direta em afloramentos permitem discernir que a maioria corresponde a diaclases subverticais (Carvalho, 2018), o que justifica que subsequentes análises se centrem neste tipo de estruturas. Sob a designação de diaclases incluem-se as diaclases propriamente ditas, veios de calcite e diaclases reativadas em cisalhamento. Estas últimas, mantendo a atitude da diaclase original, distinguem-se de falhas por raramente apresentarem indícios de esmagamento e apresentarem razões muito elevadas entre comprimento e abertura. Os levantamentos de campo também permitiram discernir que as fraturas fotointerpretadas correspondem a diaclases cuja grande abertura e comprimento são

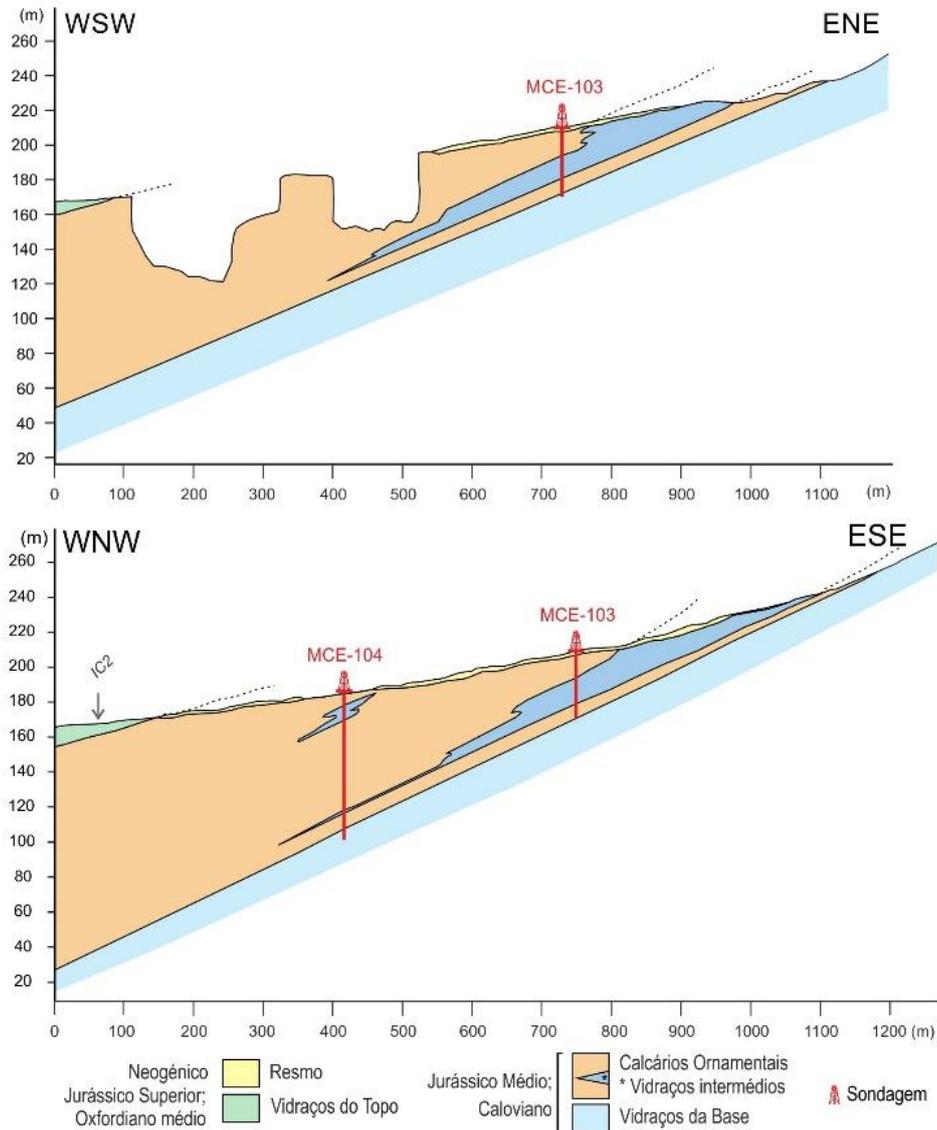


Figura 64. Cortes geológicos representativo da área de Moleanos.

Figure 64. Representative geological cross sections of the Moleanos area.

resultado de episódios de reativação tectónica e de processos de alteração química próprios da fenomenologia cársica.

O modo como o diaclasamento de um maciço rochoso afeta a sua aptidão para a produção de rochas ornamentais não depende apenas do número de famílias de diaclases e respetiva orientação. Depende, sobretudo, do espaçamento característico de cada uma das famílias, sendo que o espaçamento é a distância medida na perpendicular entre duas fraturas consecutivas da mesma família sistemática.

Para efeitos de considerações geodinâmicas teóricas, uma família sistemática é constituída por diaclases planares que numa extensa área se apresentam paralelas entre si, com espaçamento regular e que resultam de um episódio de deformação tectónica preciso. Outras características das diaclases, como a abertura e o tipo de preenchimento, são auxiliares quanto à distinção de famílias sistemáticas que partilham a mesma orientação. No caso concreto do MCE, tais situações verificam-se, ou seja, existem conjuntos de diaclases

com a mesma orientação que albergam mais do que uma família sistemática, o que é resultado da sobreposição de episódios tectónicos de deformação (Carvalho, 2018). Portanto, esses conjuntos com a mesma orientação não podem ser consideradas famílias sistemáticas com um espaçamento próprio regular; apenas podem ser considerados como famílias direcionais, sem espaçamento característico (Carvalho, 2013).

Assim, para efeitos de aplicação prática à indústria extrativa de rochas ornamentais é necessário subdividir essas famílias direcionais nas famílias sistemáticas que as constituem e, então, determinar os respetivos espaçamentos. Porém, para o caso concreto dos núcleos de exploração estudados, tal não foi possível pelas razões que de seguida se expõem.

Em primeiro lugar, razões que revertem nos conceitos teóricos sobre os processos mecânicos que regem a instalação de diaclases em rochas sedimentares nas quais as bancadas estejam limitadas por superfícies de estratificação correspondentes a descontinuidades mecânicas, e de como esses processos

condicionam o seu espaçamento. Importa sobretudo reter que o espaçamento numa família sistemática é diretamente proporcional à espessura de cada uma das bancadas sedimentares em que se instala e que essa proporcionalidade se verifica para bancadas com espessura inferior ao valor empírico de 1,5 m (Ladeira e Price, 1981). Para bancadas (ou conjunto de estratos sem descontinuidades mecânicas sedimentares) mais espessas que 1,5 m, como é o caso das unidades de calcários ornamentais do MCE, perde-se essa proporcionalidade, verificando-se que as bancadas se apresentam intensamente fraturadas. Embora esta grande intensidade de fraturação não seja perceptível à primeira vista, pois é comum observar nas frentes de exploração das pedreiras diaclases espaçadas entre si 2 m, 3 m ou mesmo mais, na realidade esses valores correspondem, em termos de análise teórica, a grande intensidade de fraturação. Com efeito, se tomarmos como exemplo uma bancada sedimentar com 10 m de espessura afetada por diaclases espaçadas de 2 m, essa bancada está mais fraturada que outra com 0,2 m de espessura em que as diaclases se apresentem espaçadas 0,4 m. A manter-se a regra da proporcionalidade e normalizando para a espessura unitária, à situação da bancada espessa corresponde um espaçamento de 0,2 m (5 fraturas por metro), ao passo que para a bancada estreita corresponderá um espaçamento de 2 m (0,5 fraturas por metro).

Os mecanismos que regem o espaçamento das famílias sistemáticas de diaclases instaladas em estratos sedimentares de elevada espessura ainda não são bem conhecidos, o que impossibilita o estabelecimento de modelos de diaclasamento para esse tipo de estratos e, portanto, também impossibilita previsões quanto à frequência de ocorrência de diaclases de uma determinada família sistemática (Carvalho, 2013).

Em segundo lugar, há a considerar razões que se prendem com a metodologia de trabalho adotada para o levantamento das diaclases. Esse levantamento foi realizado nos locais de melhor exposição, ou seja, nas frentes de desmonte das pedreiras. Mais concretamente, como em muitas situações as frentes de desmonte apresentavam raras fraturas, a fim de obter o maior número de dados para tornar relevante a sua análise estatística, a amostragem foi executada essencialmente nos locais dessas pedreiras que se apresentavam mais fraturados. Por essa razão, a amostra obtida sofre de enviesamentos: os valores de espaçamento poderão estar subvalorizados e algumas famílias de diaclases com espaçamento muito elevado poderão estar deficientemente representadas.

Porém, mesmo nessas condições de amostragem, a quantidade de dados obtidos não se mostrou relevante a nível estatístico, de

tal modo que não foi possível a destriça precisa de famílias sistemáticas de diaclasamento (Carvalho, 2013).

Assim, tanto pela impossibilidade de estabelecimento de modelos de espaçamento de diaclases adaptados a estratos sedimentares muito espessos, como pelas dificuldades na destriça de famílias sistemáticas de diaclases, a definição das zonas de melhor aptidão para a produção de calcários ornamentais nas áreas estudadas não teve em conta o critério Fraturação. Porém, é possível e pertinente caracterizar as áreas estudadas no que respeita às principais direções de fraturação, pois elas condicionam a orientação preferencial para as frentes de desmonte.

8.2. Principais direções de fraturação

Na figura 65 apresentam-se extratos do mapa litostratigráfico simplificado do MCE, onde se implantaram as fraturas interpretadas em fotografia aérea e rosetas respeitantes à orientação de diaclases medidas em afloramentos (maioritariamente em frentes de pedreiras). Essas rosetas reportam-se a estações correspondentes a uma posição central aos diferentes locais de realização das scanlines e não a um ponto preciso de colheita de dados.

Na tabela 7 apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos pelos dois métodos. Permite verificar uma concordância genérica entre os resultados da fotointerpretação e os levantamentos de campo, possibilitando a extrapolação destes para toda a área estudada. Assim, as orientações patenteadas pelas principais famílias de diaclases em cada área são as que condicionam e condicionarão a lavra de calcários ornamentais.

Importa discutir algumas situações particulares, nomeadamente para as áreas de Pé da Pedreira (Fig. 65a), Codaçal (Fig. 65b) e Moleanos (Fig. 65c).

No que respeita à área de Pé da Pedreira, é notável uma especificidade na distribuição espacial dos sistemas de diaclasamento. Enquanto que para norte do Filão de Valverde o diaclasamento é caracterizado por um sistema ortogonal constituído pelas famílias WSW-ENE e NNW-SSE, sendo a primeira francamente dominante, para sul do filão que se apresenta orientado WNW-ESE, predomina uma família que lhe é paralela (estação 7).

Ainda relativamente à área de Pé da Pedreira, mas também aplicável à de Cabeça Veada, é notável que os sistemas de diaclasamento diferem consoante a unidade litostratigráfica, conforme evidenciado pelos diagramas da figura 66. As razões

Tabela 7. Principais direções de fraturação que afetam os Calcários Ornamentais nas áreas estudadas.

Table 7. Main fracturing directions in the Calcários Ornamentais unit of the studied areas.

Área	Fraturas fotointerpretadas		Levantamentos de campo	
	Principal	Secundárias	Principal	Secundárias
Codaçal	NE-SW	E-W	NE-SW WNW-ESE WSW-ENE	NNE-SSW
Pé da Pedreira	NNW-SSE	WSW-ENE WNW-ESE	WSW-ENE	NNW-SSE WNW-ESE
Cabeça Veada	WSW-ENE		WSW-ENE	
Portela das Salgueiras	NW-SE	NNW-SSE N-S	WNW-ESE	NW-SE N-S
Moleanos	WNW-ESE	NNE-SSW	WNW-ESE	N-S

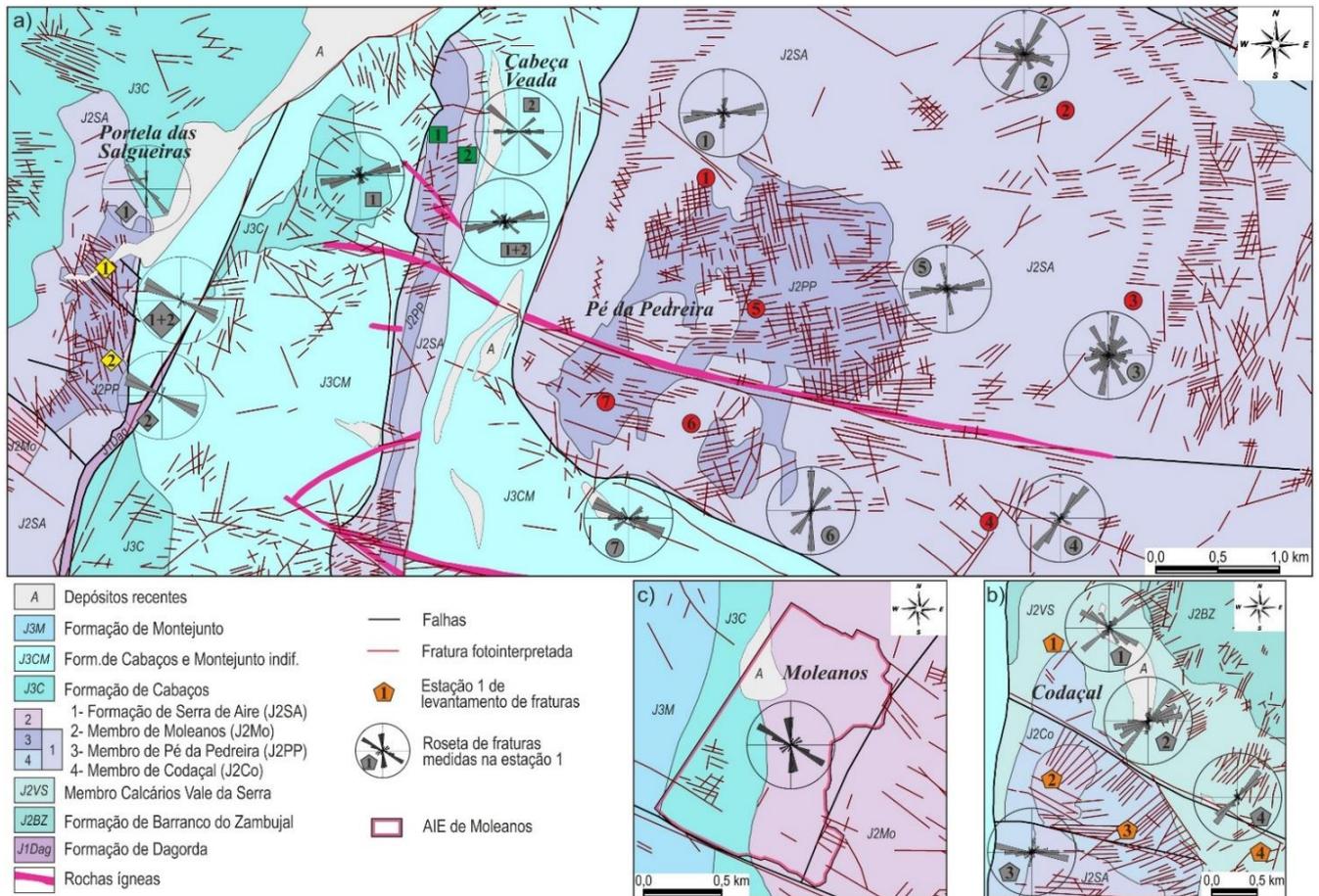


Figura 65. Extratos do mapa litoestratigráfico simplificado do MCE com implantação das fraturas fotointerpretadas e de diagramas de rosa respeitantes a diaclases medidas em afloramentos relativamente às áreas de a) Cabeça Veada, Pé da Pedreira e Portela das Salgueiras; b) Codaçal; c) Moleanos.

Figure 65. Excerpts of the simplified lithostratigraphic map of the MCE with photo-interpreted fractures and rose diagrams concerning joints measured in outcrops in the areas of a) Cabeça Veada, Pé da Pedreira and Portela das Salgueiras; b) Codaçal; c) Moleanos.

subjacentes a estas diferenciações prendem-se com a idade dos episódios de fraturação (Carvalho, 2018) e que estão também na base da discrepância que se verifica na área de Portela das Salgueiras entre a família dominante nas fraturas fotointerpretadas (francamente NW-SE) e a dominante nos resultados obtidos em afloramentos (WNW-ESE).

Relativamente à área de Codaçal é notória a existência de duas direções preferenciais de fraturas fotointerpretadas, designadamente NE-SW e E-W. Porém, os locais de ocorrência de cada família direcional parecem ser exclusivos dessa mesma família, não havendo uma distribuição espacial uniforme. Esta falta de uniformidade também se verifica ao nível dos dados de diaclasamento obtidos diretamente sobre os Calcários Ornamentais. Esses dados apresentam-se repartidos pelas estações 2 e 3 relativas a esta área, sendo que a estação 2 está representada sobre a Fm. de Serra de Aire, mas refere-se a *scanlines* realizadas no Membro de Codaçal, nos afloramentos que ladeiam aquela formação. Constata-se que nesta estação 2 predomina um diaclasamento segundo NE-SW, tal como também determinado em fotografia aérea. Porém, é notória a existência de uma outra importante direção de diaclasamento que, embora com alguma dispersão, parece centrada em WSW-ENE. Já na estação 3 verifica-se um sistema ortogonal de diaclasamento dominado pela família WNW-ESSE e que está

mal representado na fotointerpretação. Contudo, há coincidência notável de orientação entre esta família e a falha que se localiza na proximidade.

Em suma, na região do Codaçal e mais concretamente no que respeita aos Calcários do Codaçal, verifica-se uma distribuição não uniforme das direções de diaclasamento: na zona do Cabeço Gordo (estação 2) predominam as diaclases orientadas segundo NE-SW e WSW-ENE, ao passo que a sudeste, na estação 3, predomina o diaclasamento segundo WNW-ESE.

Em Moleanos, importa destacar a ausência de fraturas fotointerpretadas no Membro de Moleanos. Tal é certamente resultado da escassez de afloramentos de grande dimensão nessa unidade e, portanto, ausência de fraturas resolúveis em fotografia aérea. Com efeito, no terreno, verifica-se que os afloramentos são de pequena dimensão e escassos, existindo entre eles depósitos de cobertura que apenas foram cartografados quando ocupavam extensão assinalável.

Concluindo este capítulo respeitante às direções de fraturação que condicionam a lavra, as situações mais propícias à exploração são as correspondentes à existência de apenas uma direção de fraturação preferencial, como é o caso do que se verifica na área de Cabeça Veada (prevalência de fraturas segundo WSW-ENE) e na região a sul do Filão de Valverde na área de Pé da Pedreira onde dominam as fraturas orientadas segundo WNW-ESE. Em segundo

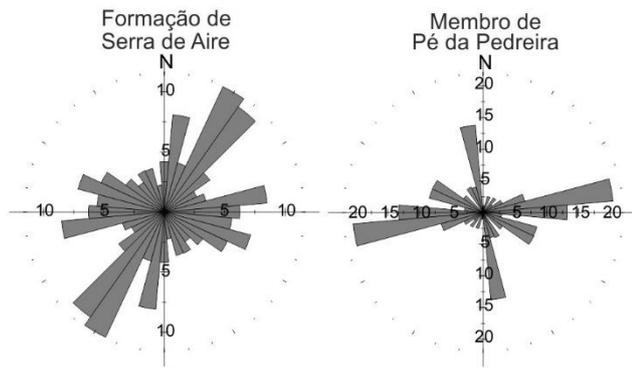


Figura 66. Orientação das diaclases na área de Pé da Pedreira segundo as unidades litostratigráficas que afetam.

Figure 66. Orientation of joints in the Pé da Pedreira area according to the lithostratigraphic units they cut.

lugar, estarão as situações correspondentes à presença de um sistema ortogonal de fraturas. Está nesta condição a região sudeste da área do Codaçal (estação 3 da Fig. 65b), com o sistema ortogonal dominado pela família WNW-ESE, mas com a ressalva de que provavelmente existirá uma outra direção preferencial importante segundo NE-SE que não foi captada pelos levantamentos de campo devido às dificuldades inerentes à amostragem nas pedreiras daquela região. Está também nesta condição a região a norte do Filão de Valverde na área de Pé da Pedreira onde prevalece o sistema ortogonal dominado pela família WSW-ENE.

9. ÁREAS DE APTIDÃO PARA A EXPLORAÇÃO DE CALCÁRIOS ORNAMENTAIS E AVALIAÇÃO DE RECURSOS

9.1. Delimitação de áreas de aptidão para calcários ornamentais

Tendo em conta o exposto anteriormente, a metodologia seguida para a determinação das áreas de melhor aptidão para calcários ornamentais assentou na avaliação das características respeitantes à homogeneidade litológica, dimensão e disposição espacial. A avaliação da homogeneidade litológica resultou sobretudo da observação das extensas superfícies a que correspondem as frentes de exploração existentes nos núcleos extrativos, por permitirem uma apreciação global das variações texturais e cromáticas das unidades exploradas. A observação dos testemunhos das sondagens também contribuiu para essa apreciação, sobretudo pelas conclusões que permitiram obter quanto à confirmação do modelo geológico de cada área estudada e particularmente quanto à estruturação das unidades denominadas Calcários Ornamentais em áreas não diretamente abrangidas pelas frentes de exploração.

Perante os resultados obtidos, optou-se por considerar com aptidão ornamental a globalidade das unidades Calcários Ornamentais de cada área. Portanto, não se atribuiu importância a locais restritos em que os afloramentos não evidenciam aptidão ornamental, pois é grande a variabilidade de fácies nessas unidades. Só uma malha extremamente apertada de sondagens permitiria avaliar com maior precisão a extensão desses locais. Também não se consideraram locais restritos em que os afloramentos se apresentam muito fraturados pela impossibilidade

de implementação de metodologia adequada à modelação da fraturação. Ambas as situações foram devidamente tidas em consideração na avaliação de recursos.

Essas áreas de aptidão para a exploração de blocos de calcários ornamentais estão representadas nos mapas da figura 67. Neles estão também representados os limites das Áreas de Intervenção Específica (AIE) e dos projetos de exploração integrada. Estes nem sempre coincidem com as AIE, porque houve que proceder a adaptações pontuais à realidade do terreno. Estão ainda representadas áreas nas quais afloram unidades sem aptidão ornamental sobre os Calcários Ornamentais. A sua eventual extração é também abordada no capítulo dedicado à avaliação de recursos.

9.1.1. Área de Codaçal

Na área de Codaçal, as unidades Semi Rijo Fino e Semi Rijo Grosso foram consideradas com aptidão ornamental elevada. Tal justifica-se por se apresentarem sob a forma de corpos sedimentares espessos sem superfícies de estratificação a atuarem como descontinuidades mecânicas. Para além disso, apresentam textura regular ao nível de feixes de laminações sedimentares com espessura métrica. Já a unidade Semi Rijo Grosso com Biostromas detém aptidão ornamental moderada, pois os níveis biostromáticos condicionam a espessura das massas de Semi Rijo com textura e cor homogêneas.

Relativamente aos Calcários Dolomitizados desta área, eles apresentam-se bastante cavernosos, pelo que não têm aptidão ornamental. Embora ocupem uma extensão relativamente elevada à superfície, o mesmo não se verifica em profundidade, razão pela qual se optou pela sua integração na área de aptidão.

O Margaço, de um modo geral, não apresenta aptidão ornamental, pois a espessura dos feixes de laminações sedimentares com diferentes aspetos texturais e cromáticos, nem sempre é de ordem métrica. Só localmente poderão ocorrer níveis espessos que revelem homogeneidade de características. Porém, a determinação da ocorrência desses níveis implicaria a realização de uma cartografia geológica ainda mais detalhada que a que foi realizada e uma campanha de sondagens em malha apertada. Não se teve em consideração esta hipótese de trabalho porque a maioria da área de afloramento de Margaço está fora da AIE.

Relativamente à Unidade da Base, por apresentar variabilidade de fácies que se traduz em grande variabilidade textural e cromática, por se apresentar bastante porosa (porosidade intergranular e mesmo porosidade por ablação mecânica de elementos granulares) e por frequentemente se apresentar afetada por abundantes planos estilolíticos sub-horizontais (“fios castanhos”), foi considerada sem aptidão ornamental para a produção de blocos.

Também os Vidraços do Topo não apresentam aptidão ornamental devido à variabilidade textural que mostram de bancada para bancada, sendo que a espessura destas é, maioritariamente, inferior a 1 m, rondando frequentemente os 0,4m. No mapa da área de Codaçal (Fig. 67), a área de afloramento dos Vidraços do Topo surge identificada como “Área com recurso para blocos sob vidraços”. Efetivamente, sob esta unidade surgem os Calcários Ornamentais, pelo que há que proceder a uma análise da viabilidade económica da retirada dessa carga estéril.

9.1.2. Área de Pé da Pedreira

Toda a área de afloramento da unidade Calcários Ornamentais foi considerada como área de aptidão para a exploração de blocos

(Fig. 67). Os calcários que constituem a unidade apresentam-se organizados em feixes de laminações sedimentares que alcançam espessura métrica. Estes feixes revelam homogeneidade do ponto de vista textural e cromático. Consoante a textura (granulometria, disposição e tipo das laminações sedimentares), são produzidas diferentes variedades ornamentais. A ocorrência de massas biostromáticas diminui fortemente a aptidão da unidade. Contudo, essas ocorrências são de extensão muito variável, pelo que não se fez a sua distinção da unidade ornamental em termos de aptidão ornamental.

Relativamente à unidade Calcários Ornamentais da Base, os estudos realizados sobre os afloramentos desta unidade mostraram que, em termos gerais, ela é constituída por calcários pouco homogêneos em termos texturais e cromáticos, razão pela qual se considera que não detêm aptidão ornamental. Isso não invalida que alguns dos corpos lenticulares mais espessos que constituem esta unidade revelem localmente alguma aptidão, por neles ocorrerem níveis textural e cromaticamente homogêneos. Na região abrangida pelo projeto integrado de exploração da área de Pé da Pedreira os calcários desta unidade correspondem a estreito nível que pelas razões apontadas e reduzida espessura, não se considera com aptidão ornamental.

Os Vidraços Intermédios e os Vidraços do Topo constituem carga estéril. A sua remoção carece de um balanço económico que permita determinar a viabilidade da exploração dos Calcários Ornamentais subjacentes ou mesmo, em casos específicos,

desenvolver exploração subterrânea. Em locais específicos, particularmente nas pedreiras do Vale da Relvinha, tem sido retirada uma carga de Vidraços Intermédios com mais de uma dezena de metros de espessura, a fim de aproveitar os calcários ornamentais supra e subjacentes.

9.1.3. Área de Cabeça Veada

À semelhança das áreas anteriores, toda a área de afloramento de Calcários Ornamentais abrangida pela AIE de Cabeça Veada foi considerada com aptidão. Tal resulta da elevada espessura da maioria dos feixes de laminações sedimentares, os quais se apresentam homogêneos em termos texturais e cromáticos, bem como da elevada espessura da unidade, a rondar os 130 m.

As restantes unidades litostratigráficas aflorantes na área em estudo não apresentam aptidão, seja pela reduzida espessura das bancadas, seja pela ausência de homogeneidade textural e cromática. Porém, sobre os Calcários Ornamentais existe uma carga estéril de Vidraços do Topo para a qual foi definida uma área em que se preconiza avaliar a viabilidade da sua extração a fim de alcançar os Calcários Ornamentais.

9.1.4. Área de Portela das Salgueiras

Nesta área, o Semi Rijo foi considerado como sendo a unidade com aptidão ornamental. Tal deve-se à homogeneidade textural que denota em termos cromáticos e granulométricos, ao fato de se

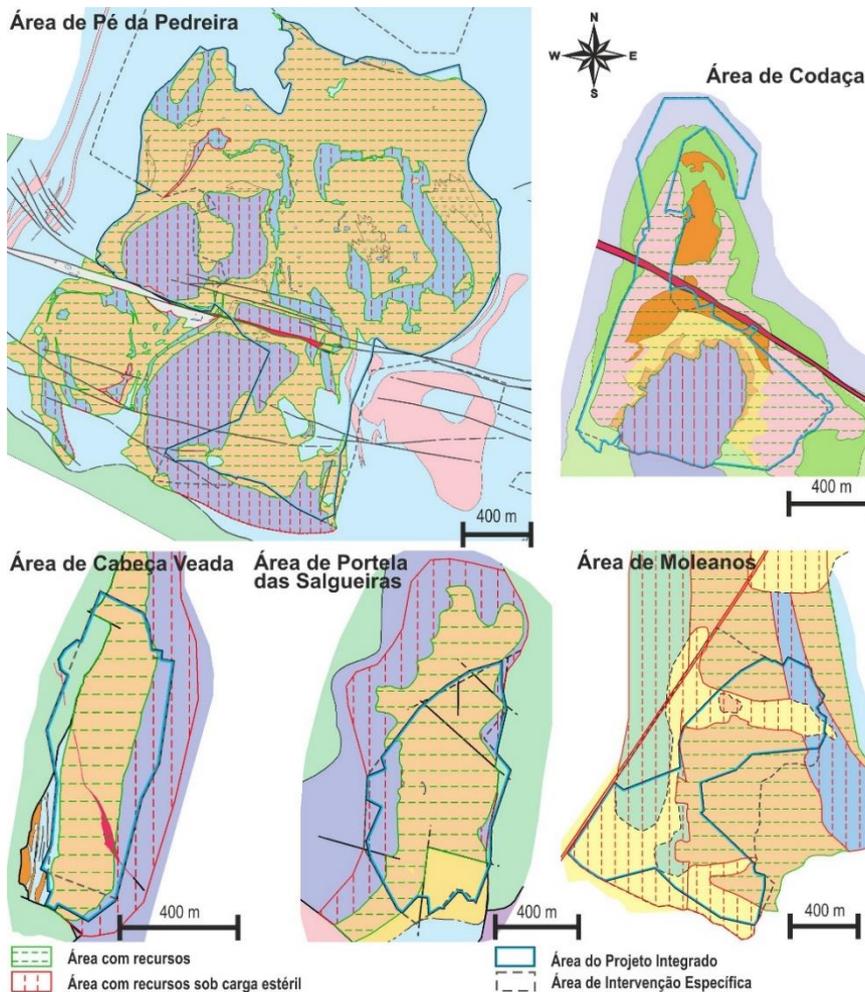


Figura 67. Áreas de aptidão para a exploração de blocos de calcários ornamentais. Litostratigrafia de acordo com a da legenda dos mapas geológicos das áreas representadas.

Figure 67. Suitable areas for the extraction of ornamental limestone. Lithostratigraphy according to the already presented respective geological maps.

apresentar como um corpo maciço bastante espesso. Contudo, particularmente no topo deste corpo maciço, distinguem-se subunidades tabulares de características biostromáticas e espessura decimétrica que não apresentam aptidão. Também localmente, o Semi Rijo apresenta abundantes falhas sinsedimentares que embora na maioria dos casos não constituam descontinuidades mecânicas, acabam por conduzir a heterogeneidades texturais. Tratando-se de ocorrências restritas, não foram individualizadas, tanto mais que a exploração do restante maciço obriga à sua extração.

No que respeita à Unidade da Base, ela foi considerada de má aptidão para fins ornamentais devido à abundância de planos estilolíticos sub-horizontais com espaçamentos inferiores a 0,5 m e à variabilidade textural. Não invalida que localmente estes calcários não possam ser explorados, nomeadamente em locais restritos em que o espaçamento referido seja superior a 1 m e se verifique homogeneidade textural.

As restantes unidades abrangidas pela área de estudo não apresentam aptidão para a produção de blocos, designadamente os Vidraços do Topo e os Vidraços Escuros. Ocorrem sob a forma de estratos pouco espessos e bem individualizados mecanicamente, grande variabilidade textural e cromática de bancada para bancada e, para o caso concreto dos Vidraços Escuros, ainda se verifica a ocorrência de níveis argilosos.

Nos Vidraços do Topo também foi definida uma área cuja extração carece de um estudo de viabilidade a fim de avaliar a possibilidade de explorar o Semi Rijo subjacente.

9.1.5. Área de Moleanos

Em Moleanos é a unidade Calcários Ornamentais a que apresenta aptidão ornamental elevada, razão que presidiu à designação que lhe foi atribuída. Tal aptidão deriva da elevada espessura da unidade, na ordem dos 100 m e da homogeneidade textural e cromática das fácies presentes, tendo em atenção que o corte é feito “a favor”. Variações para fácies não homogêneas em termos de textura ou cor podem levar à ocorrência localizada de massas rochosas sem aptidão ornamental.

Os Vidraços Intermédios não apresentam aptidão ornamental porque os respetivos estratos apresentam normalmente espessuras reduzidas e com variações composicionais e granulométricas de estrato para estrato. Tal reverte numa ausência de homogeneidade textural, mesmo que em termos de cor essa homogeneidade se verifique. Localmente, alguns bancos apresentam espessuras até 1,5 m. Contudo, são raros e tendem a biselar. A área de afloramento desta unidade foi considerada como “Área com recurso para blocos sob Vidraços” (Fig. 67).

Os Vidraços do Topo também não apresentam aptidão ornamental porque as bancadas apresentam espessura reduzida e entre elas ocorrem finos níveis argilcarbonatados freáveis. A fim de alcançar os Calcários Ornamentais subjacentes, a sua extração também será viável, razão pela qual também se definiu neles uma área específica para o efeito, o que já se verifica na maioria das pedreiras. O mesmo se passa relativamente aos depósitos superficiais de Resmo, cuja remoção não se afigura economicamente problemática por não se apresentarem consolidados e raramente alcançarem espessuras métricas.

9.2. Recursos e Reservas

No que respeita a recursos e reservas minerais, importa tecer algumas considerações prévias sobre a aplicação destes conceitos ao setor das rochas ornamentais.

Só muito recentemente as rochas ornamentais começaram a merecer a atenção por parte das comissões internacionais responsáveis pela padronização e recomendações ao modo de relatar os resultados de exploração, recursos e reservas minerais. É o caso do PERC – *Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee* e do CRIRSCO – *Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards*, através de um apêndice específico para as rochas ornamentais nos respetivos modelos de comunicação de resultados (PERC, 2017; CRIRSCO, 2019).

Para que recursos minerais possam ser convertidos em reservas minerais (a porção dos recursos para os quais se demonstra a viabilidade económica da sua exploração), estes modelos preconizam a aplicação dos chamados Fatores Modificadores. Tratam-se de fatores extrínsecos ao depósito mineral e correspondem a considerações de âmbito mineiro, processamento, metalúrgico, económico, mercantil, legal, ambiental, social e governamental (CRIRSCO, 2019). Para efeitos de comunicação pública de resultados, essa conversão carece da realização de pelo menos um estudo preliminar de viabilidade económica em que todos esses fatores sejam considerados (CRIRSCO, 2019).

As diretrizes apresentadas para o relato de resultados respeitantes às rochas ornamentais mostram-se ainda incipientes e pouco consistentes com os objetivos de harmonização pretendidos, sobretudo, no que respeita ao modo de qualificação e quantificação de recursos. Com efeito, atendendo-se à bibliografia existente (e.g. Smith, 1999; Selonen *et al.*, 2000; Akkoyun, 2012; Nasir *et al.*, 2015; Yarahmadi *et al.*, 2019), é grande a diversidade de fatores a ter em consideração. Desde variações de cor, textura, dimensão dos grãos, composição química e mineralógica, até às características físico-mecânicas e atratividade estética, entre outras, tomadas em grupo ou individualmente. Há mesmo autores que referem a fraturação como fator determinante da qualidade do maciço rochoso, pois dela depende a dimensão dos blocos, relegando para segundo lugar os restantes aspetos (Ferrero *et al.*, 2006; Taboada *et al.*, 2008). Visando contribuir para a harmonização no âmbito dos esquemas internacionais de classificação de recursos e reservas, alguns autores (e.g. Cusi, 2015) consideram que a avaliação de recursos em rochas ornamentais deve ter em atenção as características estéticas e técnicas das rochas a fim de qualificar e quantificar os diversos graus de qualidade.

No caso presente, a metodologia aplicada para a qualificação e quantificação dos recursos teve como pressuposto a avaliação global da aptidão do maciço rochoso para a produção de blocos, independentemente da maior ou menor qualidade das rochas. Essa qualidade depende das suas características estéticas e técnicas.

As características estéticas constituem um fator inerentemente subjetivo, logo não deverá ser tomada como critério de avaliação, exceto no que respeita à consistência dessas mesmas características ao longo do maciço rochoso, razão subjacente ao critério da homogeneidade textural e cromática que presidiu ao método de avaliação utilizado neste trabalho. Já no que respeita às características técnicas das rochas, elas apenas determinam o âmbito da sua aplicação. Uma determinada rocha pode não ser adequada para uma determinada aplicação (ex.: em pisos para os quais se prevê um elevado tráfego pedonal), mas não deixa de ter aptidão ornamental, pois poderá ser utilizada noutras aplicações (ex.: em revestimento de fachadas).

Assim, a metodologia aplicada à avaliação dos recursos disponíveis para exploração e que foi comum a todas as áreas

estudadas, teve como base os critérios Homogeneidade e Dimensão, os quais presidiram à definição das respetivas áreas de aptidão.

Partindo das bases topográficas, da geologia e das áreas de aptidão constantes nos mapas da figura 67, foi elaborado um modelo tridimensional da Área de Intervenção Específica de cada uma das áreas através de um *software* específico para o efeito: *Surpac 6.5.1*. Este permitiu o cálculo automático dos seguintes volumes de recursos disponíveis em calcários para blocos de rocha ornamental nas áreas definidas para os projetos de exploração integrada:

- Codaçal: 29,7 x 106 m³;
- Pé da Pedreira: 54,9 x 106 m³;
- Cabeça Veada: 22,1 x 106 m³;
- Portela das Salgueiras: 19,2 x 106 m³;
- Moleanos: 129,7 x 106 m³.

Tal como referido anteriormente, importa notar que os limites das áreas definidas para os projetos de exploração integrada (um único plano de lavra aglutinador de todas as escavações) diferem ligeiramente da Área de Intervenção Específica de cada uma das áreas estudadas. Tal é o resultado de uma afinação dos limites das áreas intervencionadas e sua extensão para fora das Áreas de Intervenção Específica, mas em locais para os quais o POPNSAC prevê compatibilidade do uso do solo com a indústria extrativa, sendo o caso mais flagrante o que se verifica na região oeste da área de Pé da Pedreira. Já em Moleanos, devido à estrutura urbana existente, há uma redução significativa da área do projeto integrado relativamente à da Área de Intervenção Específica.

Tendo em conta o grau de certeza resultante da cartografia geológica a grande escala e as sondagens realizadas, mas também o cariz de reconhecimento geral dessas sondagens e as incertezas decorrentes da ausência de estudos de fraturação que permitissem avaliar devidamente os espaçamentos entre famílias sistemáticas, os recursos apontados podem ser considerados como Recursos Minerai Indicados.

Estando a viabilidade económica geral já amplamente demonstrada pelas várias pedreiras que operam nas AIE, resta por avaliar a viabilidade da exploração nas situações correspondentes à ocorrência de estéreis sobre os calcários ornamentais. Para esse efeito foi considerada a relação económica Estéril/Minério, determinada com base nas receitas e nos custos expectáveis da atividade de produção do calcário ornamental (minério) e de remoção das camadas de cobertura sem aptidão ornamental (estéril). Essa relação traduz a relação máxima admissível entre a espessura da carga estéril e a espessura da massa de calcários ornamentais que será possível explorar em condições economicamente rentáveis, sendo dada pela seguinte expressão (Meira, 2014):

$$REM = \frac{(\text{Receita} - \text{Custo da Atividade}) \times \text{Rendimento}}{\text{Custo da Remoção do Estéril}}$$

Em que:

- REM: relação económica estéril/minério;
- Receita: receita esperada da venda de blocos (€/m³);
- Custo da Atividade: custo de toda a atividade de produção, excetuando a remoção da cobertura estéril (€/m³);
- Rendimento: rendimento esperado na produção de blocos (%);

- Custo de Remoção do Estéril: custo de remoção da camada de cobertura estéril (€/m³).

Dada a diversidade de situações entre diferentes núcleos de exploração (variedade ornamental explorada, método de desmonte, acessibilidade, etc.) e entre diferentes pedreiras de um mesmo núcleo, foram adotados valores médios a partir dos disponibilizados pela Direção Geral de Energia e Geologia, conjugados com informação recolhida em inquéritos realizados junto das empresas.

A aplicação da fórmula permitiu determinar os seguintes valores de REM representativos de cada um dos núcleos de exploração:

- Área de Codaçal; taxa de rendimento de 50%: REM = 2, ou seja, será possível extrair o dobro da espessura de estéril relativamente à do calcário ornamental (Bastos *et al.*, 2014a);
- Área de Pé da Pedreira; taxa de rendimento de 50%: REM = 0,65, ou seja, será economicamente viável remover carga estéril com espessura até 65% da espessura dos calcários ornamentais subjacentes (Bastos *et al.*, 2014b);
- Área de Cabeça Veada; taxa de rendimento de 45%: REM = 2, ou seja, será possível extrair o dobro da espessura de estéril relativamente à do calcário ornamental (Bastos *et al.*, 2014c);
- Área de Portela das Salgueiras; taxa de rendimento de 40%: REM = 0,7, possibilitando a remoção de carga estéril com espessura até 70% da dos calcários ornamentais subjacentes (Bastos *et al.*, 2014d);
- Área de Moleanos; taxa de rendimento de 50%: REM = 1,3, possibilitando que a cobertura de estéril a remover possa ser superior em 30% a espessura dos calcários ornamentais (Bastos *et al.*, 2014e).

Um fator determinante nesta avaliação da viabilidade de remoção da carga estéril e que também muito influencia a determinação das reservas minerais é o rendimento de produção adotado para cada uma das áreas. O valor desse rendimento resulta do não aproveitamento de calcários da unidade ornamental por não mostrarem qualidade em termos de homogeneidade litológica (como é o caso típico dos níveis biostromáticos) ou por se apresentarem afetados por fraturas que impossibilitam a obtenção de blocos com dimensões comerciais. Portanto, a taxa de rendimento característica de cada núcleo de exploração incorpora as incertezas geológicas decorrentes da não delimitação rigorosa dos locais do maciço rochoso que não cumprem os critérios Homogeneidade e Fraturação.

Definida a área de potencial mineiro, ou seja, onde a exploração do recurso mineral apresenta viabilidade económica, como resultado das condicionantes geológicas e mineiras (onde impera a taxa de rendimento específica de cada área), a sua extensão foi limitada por fatores modificadores respeitantes ao ordenamento do território, ambiente e aspetos legais. De entre eles, realce para a subtração de áreas consideradas relevantes para a conservação da natureza (habitats e património geológico) e de áreas de defesa legalmente previstas.

Assumindo-se o valor 2,6 para a densidade dos calcários explorados, por intermédio da aplicação informática anteriormente mencionada calcularam-se automaticamente as seguintes Reservas Minerai Prováveis:

- Codaçal: 33,54 x 10⁶ t;
- Pé da Pedreira: 63,44 x 10⁶ t;
- Cabeça Veada: 14,04 x 10⁶ t;
- Portela das Salgueiras: 17,16 x 10⁶ t;
- Moleanos: 23,92 x 10⁶ t.

O reduzido valor de reservas para o projeto integrado de Moleanos face ao volume de recursos disponíveis, relaciona-se com os numerosos constrangimentos existentes na área, particularmente os relacionados com a existência de um agregado urbano disperso.

Tendo em conta os valores de produção média anual obtidos junto da Direção Geral de Energia e Geologia e das empresas relativamente a cada um dos núcleos de exploração, é possível estimar os períodos para a exploração integral das reservas existentes em cada um desses núcleos:

- Codaçal, 100 000 m³/ano, 129 anos;
- Pé da Pedreira, 330 000 m³/ano, 74 anos;
- Cabeça Veada, 55 000 m³/ano, 98 anos;
- Portela das Salgueiras, 80 000 m³/ano, 82 anos;
- Projeto integrado de Moleanos, 80 000 m³/ano, 115 anos.

É evidente que os referidos períodos são meramente indicativos, pois estão sujeitos a fatores adicionais, dos quais se destacam as condições de mercado e a aceitação social sobre a manutenção dos núcleos de exploração.

10. CONCLUSÕES

A cartografia geológica de detalhe realizada nas cinco áreas estudadas permitiu caracterizar as unidades litostratigráficas aí aflorantes, em particular no que respeita às características que condicionam a sua aptidão para a produção de blocos de rochas ornamental, sendo essa aptidão dependente da homogeneidade cromática e textural, da dimensão e disposição estrutural das massas rochosas e da intensidade de fraturação que as afeta. Não tendo sido possível avaliar este último parâmetro e estando as áreas estudadas sob intensa atividade extrativa, ele foi incorporado na taxa de rendimento característica de cada uma dessas áreas para efeitos de avaliação das reservas disponíveis. Assim, a aptidão ornamental foi determinada unicamente com base nos dois primeiros grupos de critérios. Considerando apenas as respetivas litofácies, as unidades definidas para cada área foram correlacionadas com a litostratigrafia formalizada para o MCE (Tab. 8), permitindo constatar que as unidades que revelam aptidão ornamental e que por isso mesmo se designaram por Calcários Ornamentais, distribuem-se pelos membros de Codaçal, Pé da Pedreira e Moleanos da Fm. de Santo António – Candeeiros.

Essas unidades com aptidão ornamental correspondem a corpos maciços de calcários biointraclásticos, mais ou menos oolíticos e pelóidicos, com cimento predominantemente esparítico (*grainstones*, *rudstones* e, menos frequentemente, *packstones*). Raramente se individualizam em estratos sedimentares mecanicamente desligados dos adjacentes e quando tal acontece, também apresentam elevadas espessuras, entre 1 a 6 m. A cor destes calcários é bege com variações para tons mais claros ou escuros. Apresentam-se estruturados em feixes de laminações sedimentares paralelas e oblíquas de vários tipos e cuja espessura é frequentemente métrica. No geral, as variedades ornamentais produzidas têm correspondência com diferentes feixes. Distinguem-se, então, pelo tipo de laminação e pela granularidade, desde fina a grosseira.

Estes calcários estão dispostos em posição sub-horizontal. Excetua-se os que afloram na área de Cabeça Veada que, por efeito de movimentações tectónicas, estão basculados 40° para Este.

Na área de Codaçal, os corpos maciços que foram individualizados como unidade Calcários Ornamentais alcançam uma espessura máxima total de 80 m. Contudo, por bruscas

variações laterais e verticais de fácies, passam a unidades sem aptidão ornamental que foram denominadas Unidade da Base e Margaço, pelo que a sua espessura média rondará os 55 m. No seu conjunto, estas três unidades constituem o Mb. de Codaçal que assenta sobre calcários do Mb. de Calcários de Vale da Serra da Fm. de Chão de Pias e está subjacente a calcários micríticos da Fm. de Serra de Aire com os quais se interdigitam.

As unidades Calcários Ornamentais nas áreas de Pé da Pedreira, Cabeça Veada e Portela das Salgueiras atingem possanças de 40 m, 130 m e 95 m, respetivamente. Correspondem ao Mb. de Pé da Pedreira da Fm. de Santo António – Candeeiros. Formam corpos de caráter lenticular intercalados nos calcários micríticos da Fm. de Serra de Aire, com os quais se interdigitam de modo muito brusco. A nível local, estes calcários micríticos a que se atribuiu a designação informal de Vidraços, distinguem-se em função da posição estratigráfica relativamente aos Calcários Ornamentais: Vidraços da Base, Vidraços Intermédios (apenas na área de Pé da Pedreira) e Vidraços do Topo. Para o caso específico da área de Portela das Salgueiras, os Calcários Ornamentais foram subdivididos em duas subunidades: uma superior denominada Semi Rijo e uma inferior denominada Unidade da Base. Esta última apresenta menor aptidão ornamental que o Semi Rijo, o qual, na região central da área cartografada apresenta uma espessura máxima na ordem dos 65 m.

Em Moleanos a unidade Calcários Ornamentais corresponde ao Mb. de Moleanos da Fm. de Santo António – Candeeiros e a sua possança na área estudada é superior a 100 m. Estão truncados superiormente pela fm. de Cabaços e assentam sobre calcários micríticos, os quais deverão constituir uma unidade lenticular no seio do Mb. de Moleanos. Do mesmo modo que em Pé da Pedreira, em Moleanos também se distingue um nível de Vidraços Intermédios.

Em cada uma das regiões estudadas já se encontrava definida uma AIE para a indústria extrativa, em acordo com o Programa de Ordenamento do Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros. A cada uma dessas AIE corresponde, integral ou parcialmente, um projeto de exploração integrada que visa a exploração racional dos recursos no respeito pelos normativos legais e tendo em conta os constrangimentos associados à conservação de património natural relevante. Para o espaço territorial correspondente a cada um dos projetos integrados calcularam-se os recursos e reservas disponíveis para a produção de blocos de calcários ornamentais, bem como os períodos de vida útil para cada um dos projetos tendo em conta o volume de produção média atual (Tab. 9).

Os recursos avaliados não correspondem à globalidade dos recursos para blocos de calcários ornamentais disponíveis no MCE. Existem outros núcleos de exploração não considerados neste estudo, dos quais se destaca, pela sua dimensão, o núcleo de Casal Farto, perto de Fátima, mas não abrangido pela área do PNSAC. Para além disso, importa considerar as potencialidades existentes em outros locais do MCE que ascendem a 5500 milhões de metros cúbicos em recursos hipotéticos, conforme descrito em Carvalho e Lisboa (2018). Estes dados contribuem para afirmar a importância mundial do MCE para a produção de calcários ornamentais.

AGRADECIMENTOS

Ao Rui Sardinha e à Cátia Prazeres pelo trabalho de campo na revisão da cartografia geológica das áreas de Codaçal, Pé da Pedreira, Cabeça Veada e Moleanos e pela colaboração na cartografia inédita de Portela das Salgueiras. Ao João Meira da

Tabela 8. Correlação entre as unidades litostratigráficas de cada uma das áreas estudadas com as unidades litostratigráficas formalizadas para o MCE.
Table 8. Correlation between the lithostratigraphic units of each of the studied areas with the formal lithostratigraphic units of the MCE.

Idade	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS					Nomenclatura formal		Outras designações (França e Zbyszewski, 1963; Manuppella <i>et al.</i> , 2000, 2006; Kullberg <i>et al.</i> , 2013)
	ÁREA DE CODAÇAL	ÁREA DE PÉ DA PEDREIRA	ÁREA DE CABEÇA VEADA	ÁREA DE PORTELA DAS SALGUEIRAS	ÁREA DE MOLEANOS	Formação	Membro	
Neogénico					Resmo			Formações detriticas e de <i>terra rossa</i>
Oxfordiano superior		Vidraços Escuros						Formação de Montejuento / Camadas de Montejuento
Oxfordiano médio			Vidraços Escuros		Vidraços do Topo			Formação de Cabaços / Camadas de Cabaços
Caloviano				Calcários de Moleanos	Calcários Ornamentais Vidraços da Base		Moleanos	Calcários de Moleanos
Batoniano		Vidraços do Topo	Vidraços do Topo	Vidraços do Topo		Serra de Aire	-	Calcários micríticos de Serra de Aire
Batoniano superior		Calcários Ornamentais	Calcários Ornamentais	Semi Rijo Unidade da Base		Santo António - Candeeiros	Pé da Pedreira	Calcários de Pé da Pedreira
Batoniano	Vidraços do Topo	Vidraços da Base	Vidraços da Base	Vidraços da Base		Serra de Aire	-	Calcários micríticos de Serra de Aire
Batoniano inferior	Calcários do Codaçal					Santo António - Candeeiros	Codaçal	Calcários bioclásticos do Codaçal
Bajociano superior	Lajes e Vidraços					Santo António - Candeeiros	Calcários de Vale da Serra	Calcários de Chão das Pias
Hetangiano			Margas de Dagorda					Formação de Dagorda / Margas de Dagorda

Tabela 9. Recursos e reservas disponíveis em calcários ornamentais nas áreas estudadas.

Table 9. Available resources and reserves of ornamental limestones in the studied areas.

Projeto Integrado	Recursos Minerais Indicados (m ³)	Reservas Minerais Prováveis (t)	Produção (m ³ /ano)	Vida útil (anos)
Codaçal	29,7 x 10 ⁶	33,54 x 10 ⁶	100000	129
Pé da Pedreira	54,9 x 10 ⁶	63,44 x 10 ⁶	330000	74
Cabeça Veada	22,1 x 10 ⁶	14,04 x 10 ⁶	55000	98
Portela das Salgueiras	19,2 x 10 ⁶	17,16 x 10 ⁶	80000	82
Moleanos	129,7 x 10 ⁶	23,92 x 10 ⁶	80000	115
TOTAL	255,6 x 10 ⁶	152,1 x 10 ⁶	645000	-

empresa Visa Consultores, SA, pelos cálculos de recursos e reservas e ao Daniel Oliveira pela descrição de amostras do Filão de Valverde em lâmina delgada. À ASSIMAGRA – Associação Portuguesa da Indústria dos Recursos Minerais, agradece-se a possibilidade de disponibilizar publicamente os mapas em grande formato produzidos no âmbito do Projeto Sustentabilidade da Indústria Extrativa no Maciço Calcário Estremenho e que constam em [Material Suplementar](#), apenas online. Agradecimento final aos revisores pelos pertinentes comentários e alterações sugeridas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akkoyun, O., 2012. Simulation-based investment appraisal and risk analysis of natural building stone deposits. *Construction and Building Materials*, **31**: 326-333. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.01.003>.
- Alves, T. M., Manuppella, G., Gawthorpe, R. L., Hunt, D. W., Monteiro, J. H., 2003. The depositional evolution of diapir- and fault-bounded rift basins: Examples from the Lusitanian Basin of West Iberia. *Sedimentary Geology*, **162**: 273-303. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(03\)00155-6](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(03)00155-6).
- Azerêdo, A. C., 1993. *Jurássico Médio do Maciço Calcário Estremenho, Bacia Lusitânica: Análise de fácies, micropaleontologia, paleogeografia*. Tese de Doutoramento. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 366, 36 ests.
- Azerêdo, A. C., 1998. Geometry and facies dynamics of Middle Jurassic carbonate ramp sandbodies, West-Central Portugal. Em V. P. Wright & T. P. Burchette (Eds.), *Geological Society Special Publication*, **149**: 281-314.
- Azerêdo, A. C., 2007. Formalização da litoestratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica). *Comunicações Geológicas*, **94**: 29-51.
- Azerêdo, A. C., Duarte, L. V., Henriques, M. H., Manuppella, G., 2003. *Da dinâmica continental no Triássico aos mares do Jurássico Inferior e Médio*. Instituto Geológico e Mineiro, 43, 7 ests.
- Azerêdo, A. C., Inês, N., Bizarro, P., 2020. Carbonate reservoir outcrop analogues with a glance at pore-scale (Middle Jurassic, Lusitanian Basin, Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, **111**: 815-851. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.08.034>
- Azerêdo, A. C., Wright, V. P., 2004. Multi-scale signatures and events in carbonate systems (Middle to early Upper Jurassic, Lusitanian Basin). In: L. V. Duarte, M. H. Henriques (Eds.), *Carboniferous and Jurassic Carbonate Platforms of Iberia*. 23rd IAS Meeting of Sedimentology, Field Trip GuideBook, **1**: 73-91.
- Azerêdo, A. C., Wright, V. P., Ramalho, M. M., 2002. The Middle-Late Jurassic forced regression and disconformity in central Portugal: Eustatic, tectonic and climatic effects on a carbonate ramp system. *Sedimentology*, **49**(6): 1339-1370.
- Bastos, M., Meira, J., Sobreiro, S., Franco, S., Guerreiro, H., Calvo, V., 2014a. *Projeto integrado—Núcleo de exploração de pedreiras do Codaçal—Serro Ventoso—Porto de Mós* (E.142309.02A.003.jm). Visa Consultores, SA, DGEG, AssimagraVisa Consultores, SA, DGEG, Assimagra, 192.
- Bastos, M., Meira, J., Sobreiro, S., Franco, S., Guerreiro, H., Calvo, V., 2014b. *Projeto integrado—Núcleo de exploração de pedreiras do Pé da Pedreira—Santarém—Porto de Mós* (E.142309.02B.003.jm). Visa Consultores, SA, DGEG, Assimagra, 198.
- Bastos, M., Meira, J., Sobreiro, S., Franco, S., Guerreiro, H., Calvo, V., 2014c. *Projeto integrado—Núcleo de exploração de pedreiras da Cabeça Veada—Porto de Mós—Santarém* (E.142309.02D.003.jm). Visa Consultores, SA, DGEG, Assimagra, 176.
- Bastos, M., Meira, J., Sobreiro, S., Franco, S., Guerreiro, H., Calvo, V., 2014d. *Projeto integrado—Núcleo de exploração de pedreiras da Portela das Salgueiras—Porto de Mós—Rio Maior* (E.142309.02E.003.jm). Visa Consultores, SA, DGEG, Assimagra, 178.
- Bastos, M., Meira, J., Sobreiro, S., Franco, S., Guerreiro, H., Calvo, V., 2014e. *Projeto integrado—Núcleo de exploração de Moleanos—Alcobaça* (E.142309.02C.003.jm). Visa Consultores, SA, DGEG, Assimagra, 174.
- Carvalho, G. S., 1953. A sedimentologia dos depósitos detríticos plio-quadernários e a morfologia da região entre a Serra dos Candeeiros e o Oceano Atlântico. *Memórias e Notícias do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra*, **34**: 29-46.
- Carvalho, J. M. F., 1996a. *Área de Moleanos (Maciço Calcário Estremenho): Litologia temática e sondagens*. Instituto Geológico e Mineiro, 20.
- Carvalho, J. M. F., 1996b. *Relatório Final da Área de Pé da Pedreira (MCE). Litoestratigrafia, sondagens e Carta de Aptidão*. Instituto Geológico e Mineiro, 47.
- Carvalho, J. M. F., 1997. Calcários Ornamentais e Industriais da Área de Pé da Pedreira (Maciço Calcário Estremenho) - Carta de Aptidão. *Estudos, Notas e Trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro*, **39**: 71-89.
- Carvalho, J. M. F., 1998. O Alpinina: Variedade de Calcário Ornamental da Região de Alvados (Maciço Calcário Estremenho—Portugal). *Estudos, Notas e Trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro*, **40**: 51-57.
- Carvalho, J. M. F., 2013. *Tectónica e caracterização da fraturação do Maciço Calcário Estremenho, Bacia Lusitânica. Contributo para a prospeção de rochas ornamentais e ordenamento da atividade extrativa*. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, 442.
- Carvalho, J. M. F., 2018. Jointing patterns and tectonic evolution of the Maciço Calcário Estremenho, Lusitanian Basin, Portugal. *Journal of Structural Geology*, **110**: 155-171. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2018.03.004>.
- Carvalho, J. M. F., Henriques, P., Falé, P., Luís, G., 2008. Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, **45**: 1306-1319. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmm.2008.01.005>.
- Carvalho, J. M. F., Lisboa, J. V. V., 2018. Ornamental stone potential areas for land use planning: A case study in a limestone massif from Portugal. *Environmental Earth Sciences*, **77**(5). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7382-x>.
- Carvalho, J. M. F., Sampaio, J., Machado, S., Midões, C., Prazeres, C., Sardinha, R., 2014a. *Caracterização e valorização da área de intervenção específica de Cabeça Veada* (Projeto Âncora 2 – Sustentabilidade Ambiental da Indústria Extrativa) [Relatório interno do Cluster da Pedra Natural – COMPETE/QREN]. LNEG e CEVALOR, 111.
- Carvalho, J. M. F., Sampaio, J., Machado, S., Midões, C., Prazeres, C., Sardinha, R., 2014b. *Caracterização e valorização da área de intervenção específica de Moleanos* (Projeto Âncora 2 – Sustentabilidade Ambiental da Indústria Extrativa) [Relatório interno do Cluster da Pedra Natural – COMPETE/QREN]. LNEG e CEVALOR, 115.
- Carvalho, J. M. F., Sampaio, J., Machado, S., Midões, C., Prazeres, C., Sardinha, R., 2014c. *Caracterização e valorização da área de intervenção específica de Pé da Pedreira* (Projeto Âncora 2 – Sustentabilidade Ambiental da Indústria Extrativa) [Relatório interno do Cluster da Pedra Natural – COMPETE/QREN]. LNEG e CEVALOR, 237.
- Carvalho, J. M. F., Sampaio, J., Machado, S., Midões, C., Prazeres, C., Sardinha, R., 2014d. *Caracterização e valorização da área de intervenção específica de Portela das Salgueiras* (Projeto Âncora 2 – Sustentabilidade Ambiental da Indústria Extrativa) [Relatório interno do Cluster da Pedra Natural – COMPETE/QREN]. LNEG e CEVALOR, 109.
- Carvalho, J. M. F., Sampaio, J., Machado, S., Midões, C., Prazeres, C., Sardinha, R., 2014e. *Caracterização e valorização da área de intervenção específica do Codaçal* (Projeto Âncora 2 – Sustentabilidade Ambiental da Indústria Extrativa) [Relatório interno do Cluster da Pedra Natural – COMPETE/QREN]. LNEG e CEVALOR, 159.
- Casas Sainz, A. M., Faccenna, C., 2001. Tertiary compressional deformation of the Iberian plate. *Terra Nova*, **13**: 284-288.
- CEVALOR, 2009. *Cluster da Pedra Natural—Reformulação do programa de acção*. COMPETE – Programa Operacional Factores de Competitividade, 112. http://www.pofc.qren.pt/ResourcesUser/2012/PCT/Cluster_Pedra_Natural_ProgAcao.pdf.

- Cosi, M., 2015. The dimension stone sector: New perspectives on the global market and on the reporting of international mining standards. *European Geologist*, **39**: 24-30.
- Costa, J. G., Moreira, J. B., Manuppella, G., 1988. Calcários Ornamentais do Maciço Calcário Estremenho. *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*, **30**: 51-88.
- CRIRSCO, 2019. *International Reporting Template for the public reporting of Exploration Targets, Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves*. Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards, International Council on Mining & Metals, 78.
- Crispim, J. A., 1992. Características cársicas das rochas carbonatadas da região central do Maciço Calcário Estremenho (Portugal). *Algar – Boletim da Sociedade Portuguesa de Espeleologia*, **3**: 9-18.
- Cunha, P. P., Pena dos Reis, R., 1992. Síntese da evolução geodinâmica e paleogeográfica do sector Norte da Bacia Lusitânica durante o Cretácico e Terciário. *III Congresso Geológico de Espanha e VIII Congresso Latinoamericano de Geologia*, **1**: 107-112.
- De Vicente, G., Cloetingh, S., Van Wees, J. D., Cunha, P. P., 2011. Tectonic classification of Cenozoic Iberian foreland basins. *Tectonophysics*, **502**(1-2): 38-61. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.02.007>.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. Em: W. E. Ham (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks—A Symposium*. American Association of Petroleum Geologists, **1**: 108-121.
- Embry, A. F., Klován, J. E., 1971. A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, N. W. T. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, **19**(4): 730-781. <https://doi.org/10.35767/gscpgbull.19.4.730>
- Ferreira, A. B., Rodrigues, M. L., Zézere, J. L., 1988. Problemas da evolução geomorfológica do Maciço Calcário Estremenho. *Finisterra*, **XXIII**(45): 5-28.
- Ferrero, A., Monteserín, V., Baltuille, J. M., Gumiel, P., Bellido, F., 2006. The cartography of industrial qualities of ornamental rocks in the optimisation of granite exploitations: Application to the deposits of «Rosa Porriño». *Lithos*, **86**. <https://www.litosonline.com/en/articles/en/86/cartography-industrial-qualities-ornamental-rocks-optimisation-granite-exploitat>.
- Folk, R. L., 1959. Practical Petrographic Classification of Limestones. *AAPG Bulletin*, **43**(1): 1-38. <https://doi.org/10.1306/0BDA5C36-16BD-11D7-8645000102C1865D>.
- França, J. C., Zbyszewski, G., 1963. *Notícia Explicativa da Folha 26-B Alcobça da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000* (1ª ed.). Serviços Geológicos de Portugal, 51.
- Hudson, J. A., Priest, S. D., 1983. Discontinuity frequency in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **20**(2): 73-89.
- Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Azerêdo, A. C., Callapez, P., Duarte, L. V., Kullberg, M. C., Martins, L., Miranda, J. R., Alves, C., Mata, J., Madeira, J., Mateus, O., Moreira, M., Nogueira, C. R., 2013. A Bacia Lusitânica: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In: Dias, R., Araújo, A. A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (Eds.), *Geologia de Portugal, Vol. II - Geologia Mesozoica de Portugal*, Escolar Editora, **II**: 195-348.
- Ladeira, F. L., Price, N. J., 1981. Relationship between fracture spacing and bed thickness. *Journal of Structural Geology*, **3**(2): 179-183.
- Manuppella, G., Antunes, M. T., Almeida, C., Azerêdo, A. C., Barbosa, B., Cardoso, J. L., Crispim, J. A., Duarte, L. V., Martins, L. T., Ramalho, M. M., Santos, V. F., Terrinha, P., 2000. *Notícia Explicativa da Folha 27-A Vila Nova de Ourém da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000* (2ª ed.). Instituto Geológico e Mineiro, 155.
- Manuppella, G., Barbosa, B., Azerêdo, A. C., Carvalho, J., Crispim, J., Machado, S., Sampaio, J., 1999. *Folha 27-C Torres Novas* (2ª ed.). Instituto Geológico e Mineiro.
- Manuppella, G., Barbosa, B., Azerêdo, A. C., Carvalho, J., Crispim, J., Machado, S., Sampaio, J., 2006. *Notícia Explicativa da Folha 27-C Torres Novas da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000* (2ª Ed.). Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 79.
- Manuppella, G., Barbosa, B., Machado, S., Carvalho, J., 1998. *Folha 27-A Vila Nova de Ourém* (2ª Ed.). Instituto Geológico e Mineiro.
- Manuppella, G., Moreira, J. C. B., 1974. Calcários e dolomitos da Serra dos Candeeiros—1ª parte (Geologia e caracterização química das formações aflorantes). *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*, **23**: 5-34.
- Manuppella, G., Moreira, J. C. B., 1984. Calcários e dolomitos da Serra dos Candeeiros – 2ª parte (sondagens e cálculo de reservas). *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*, **26**: 5-20.
- Manuppella, G., Moreira, J. C. B., Costa, J. R. G., Crispim, J. A., 1985. Calcários e Dolomitos do Maciço Calcário Estremenho. *Estudos, Notas e Trabalhos do Laboratório e Serviço de Fomento Mineiro*, **27**: 3-48.
- MAOTE, 2015. Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial, Decreto-Lei n.º 80/2015 de 14 de maio, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.
- Martins, A. F., 1949. *Maciço Calcário Estremenho. Contribuição para um Estudo de Geografia Física*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra, 248.
- Martins, L., Miranda, R., Alves, C., Mata, J., Madeira, J., Munhá, J., Terrinha, P., Youbi, N., Bensalah, K., 2010. *Mesozoic magmatism at the West Iberian Margins: Timing and geochemistry*. **3**: 172-175.
- Meira, J., 2014. *Projeto de sustentabilidade da indústria extrativa no Maciço Calcário Estremenho—Apresentação das propostas dos projetos integrados para as 5 AIE*. Seminário «Plan&Arte indústria extrativa», 11 de julho, Cineteatro de Porto de Mós.
- Montani, C., 2019. *XXX World Marble and Stones Report 2019*. Aldus - Casa di Edizioni in Carrara.
- Montenat, C., Guery, F., Jamet, M., Berthou, P. Y., 1988. Mesozoic evolution of the Lusitanian basin: Comparison with the adjacent margin. Em: G. Boilot & E. L. Winterer (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **103**: 757-775.
- Nasir, S., Sankaran, R., Ghali, M. E., Hosni, T., Elzebedeh, K., Al-Rawas, G., 2015. Geotechnical Assessment of Dimension stone Resources in Oman. *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences*, **3**(6): 439-443. <http://www.isaet.org/images/extraimages/P1215038.pdf>.
- Pais, J., Cunha, P. P., Pereira, D., Legoinha, P., Dias, R., Moura, D., Silveira, A. B., Kullberg, J. C., González-Delgado, J. A., 2012. *The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal): A Cenozoic Record in the European Atlantic Domain*. Springer Berlin Heidelberg, 138.
- Papertzian, C., Farrow, D., 1995. *Dimension Stone: A Guide to Prospecting and Developing* [Open File Report]. Ontario Geological Survey, 82.
- PERC, 2017. *Pan-European standard for reporting of exploration results, mineral resources and reserves—The PERC Reporting Standard 2017*". Pan-European Reserves + Resources Reporting Committee, 94. <http://www.vmine.net/PERC/documents/PERC%20REPORTING%20STANDARD%202017.pdf>.
- Pinheiro, L. M., Wilson, R. C. L., Pena Dos Reis, R., Whitmarsh, R. B., Ribeiro, A., 1996. The western Iberia margin: A geophysical and geological overview. In: Pinheiro, L. M., Wilson, R. C. L., Pena Dos Reis, R., Whitmarsh, R. B., Ribeiro A. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* **149**: 1-23.
- Quartau, R., 1998. Calcários Ornamentais e Industriais do Maciço Calcário Estremenho—A variedade Semi Rijo de Cabeça Veada. *Estudos, Notas e Trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro*, **40**: 81-88.
- Quartau, R., 2000. *Calcários ornamentais do Maciço Calcário Estremenho—A variedade Semi-Rijo do Codaçal*. Instituto Geológico e Mineiro, 27.
- Reddy, D. V., 2002. Evaluation of Natural Defects in Commercial Decorative Rock Deposits in Karnataka, India. *Gondwana Research*, **5**(2): 557-560. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70744-9](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70744-9).
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D., Monteiro, J. H., 1979. *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, 114.
- Ribeiro, A., Kullberg, M. C., Kullberg, J. C., Manuppella, G., Phipps, S., 1990. A review of Alpine tectonics in Portugal: Foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, **184**(3-4): 357-366.
- Ribeiro, F., Mateus, A., Azerêdo, A. C., 2019. Fault-controlled magnetite-rich breccias in Jurassic limestones: Evidence for concealed epigenetic ore systems in the Lusitanian Basin (Portugal)? *Ore Geology Reviews*, **114**: 103-125. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103125>.

- Rocha, R. B., Marques, B. L., Kullberg, J. C., Caetano, P. C., Lopes, C., Soares, A. F., Duarte, L. V., Marques, J. F., Gomes, C. R., 1996. *The 1st and 2nd rifting phases of the Lusitanian Basin: Stratigraphic, sequence analysis and sedimentary evolution* (C E C. Project MILUPOBAS, Contract n° JOU2-CT94-0348).
- Rodrigues, M. L., Fonseca, A., 2010. Geoheritage assessment based on large-scale geomorphological mapping: Contributions from a Portuguese limestone massif example. *Geomorphologie-Relief Processus Environnement*, **2**: 189-198.
- Ruget, C., Thierry, J., Rocha, R. B., Delance, J. H., Laurin, B., Mouterde, R., Tintant, H., 1988. Stratigraphie du Dogger et crise lusitanienne dans la Serra de Candeeiros. *Ciências da Terra, Universidade Nova de Lisboa*, **9**: 55-62.
- Santos, M., 2017. *Mecanismos de descoloração dos calcários "azuis" do Maciço Calcário Estremenho* [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa]. Repositório da Universidade de Lisboa, 57. https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/31564/1/ulfc121631_tm_Miguel_Santos.pdf.
- Selonen, O., Luodes, H., Ehlers, C., 2000. Exploration for dimensional stone—Implications and examples from the Precambrian of southern Finland. *Engineering Geology*, **56**(3-4): 275-291. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00091-5).
- Silva, T. P., Oliveira, D. P. S., Veiga, J. P., Lisboa, J., Carvalho, J., Barreiros, M. A., Coutinho, M. L., Salas-Colera, E., Vigário, R., 2022. Contribution to the Understanding of the Colour Change in Bluish-Grey Limestones. *Heritage*, **5**: 1479-1503. <https://doi.org/10.3390/heritage5030078>.
- Smith, M. R. (Ed.), 1999. *Stone: Building stone, rock fill and armourstone in construction*. Geological Society, **16**.
- Soares, A. F., Duarte, L. V. P., 1995. A Organização da Bacia Lusitaniana. O Ciclo Trias-Caloviano e o Espectro das Influências Tectónicas e Eustáticas. In: Sodrê Borges, F., Marques, M. M. (Eds.), *IV Congresso Nacional de Geologia*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, **4**: 139-142.
- Soares, A. F., Rocha, R., Elmi, S., Henriques, M. H., Mouterde, R., Ruget, C., Marques, J., Duarte, L. V., Carapito, M. C., Kullberg, J. C., 1993. Le sous-bassin nord lusitanien (Portugal) du Trias au Jurassique moyen: Histoire d'un «rift avorté». *Comptes Rendus Acad. Sciences Paris*, **317**(II): 1659-1666.
- Srivastava, S. P., Roest, W. R., Kovacs, L. C., Oakey, G., Lévesque, S., Verhoef, J., Macnab, R., 1990. Motion of Iberia since the Late Jurassic: Results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophysics*, **184**(3-4): 229-260. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90442-b](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90442-b).
- Taboada, J., Rivas, T., Saavedra, A., Ordóñez, C., Bastante, F., Giráldez, E., 2008. Evaluation of the reserve of a granite deposit by fuzzy kriging. *Engineering Geology*, **99**(1-2): 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.02.001>.
- Terzaghi, R. D., 1965. Sources of Error in Joint Surveys. *Géotechnique*, **15**(3): 287-304. <https://doi.org/10.1680/geot.1965.15.3.287>.
- Watkinson, M., 1989. *Triassic to Middle Jurassic sequences from the Lusitanian Basin Portugal, and their equivalents in other North Atlantic margin basins*. [PhD Thesis]. Open University, Milton Keys, UK, 390.
- Wilson, R. C. L., 1988. Mesozoic development of the Lusitanian Basin, Portugal. *Revista de la Sociedad Geologica de España*, **1**(3-4): 395-406.
- Wilson, R. C. L., Hiscott, R. N., Willis, M. G., Gradstein, F. M., 1989. The Lusitanian Basin of west-central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic, and subsidence history. In: Tankard, A. J., Balkwill, H. R. (Eds.), *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins* (341-361).
- Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Taherian, S.-G., Sousa, L. M. O., 2019. A new quality factor for the building stone industry: A case study of stone blocks, slabs, and tiles. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **78**(1): 533-542. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1040-5>.
- Zbyszewski, G., França, J. C., Ferreira, O. V., 1961. *Folha 26-B Alcobaca* (1ª ed.) [Map]. Serviços Geológicos de Portugal.
- Zbyszewski, G., Matos, R., 1959. *Folha 26-D Caldas da Rainha* (1ª ed.). Serviços Geológicos de Portugal.

ANEXO – LOGS DE SONDAGENS

Legenda de abreviaturas:

CO: Calcários Ornamentais

COB: Calcários Ornamentais da Base

FCPias: Fm. de Chão de Pias (Unidade Lajes e Vidraços)

FZamb: Fm. de Barranco do Zambujal

MRG: Margaço

SR: Sardão

SRGB: Semi Rijo grosseiro e biostromas

SRG: Semi Rijo grosseiro

SRF: Semi Rijo fino

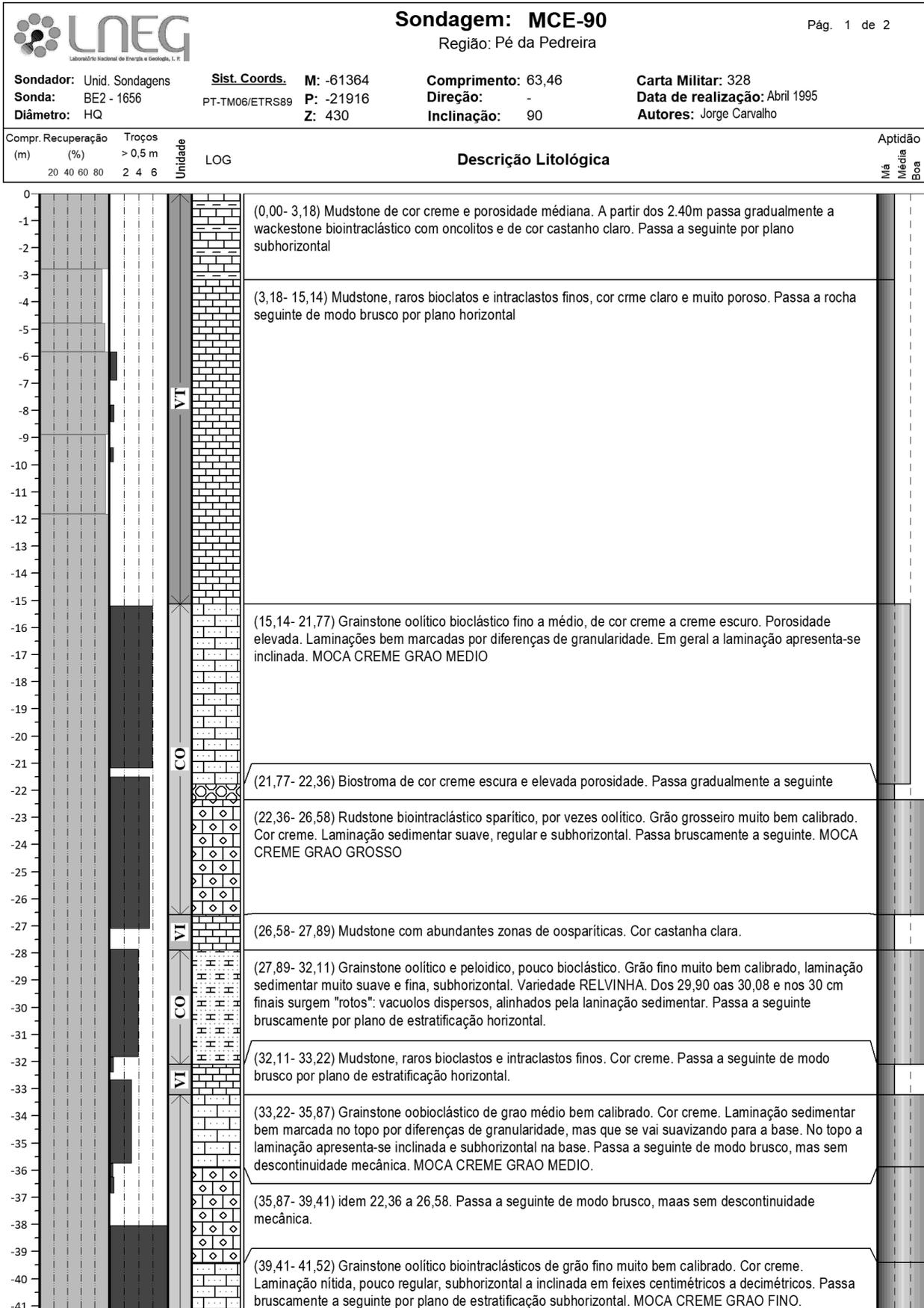
UB: Unidade da base

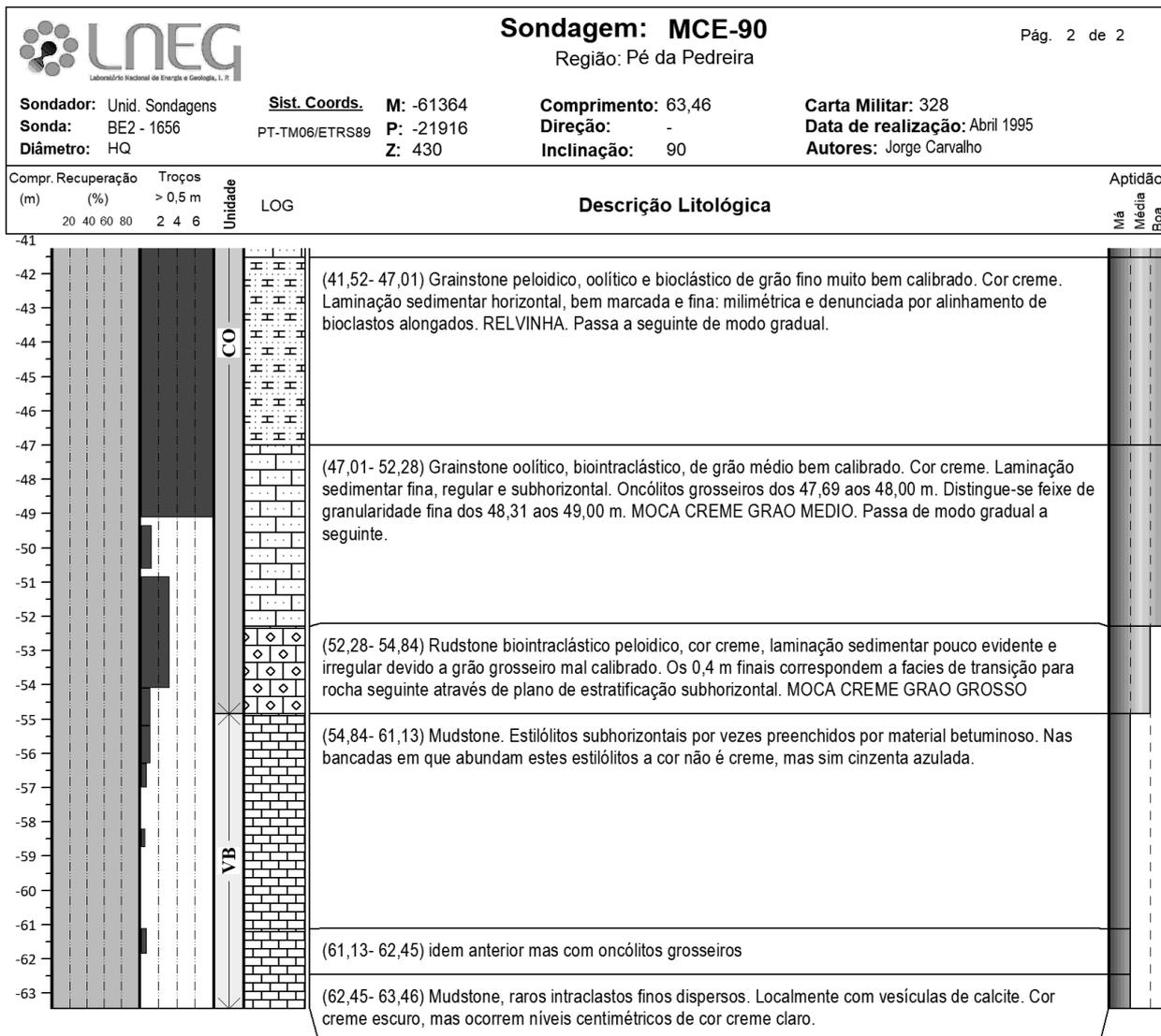
VB: Vidraços da Base

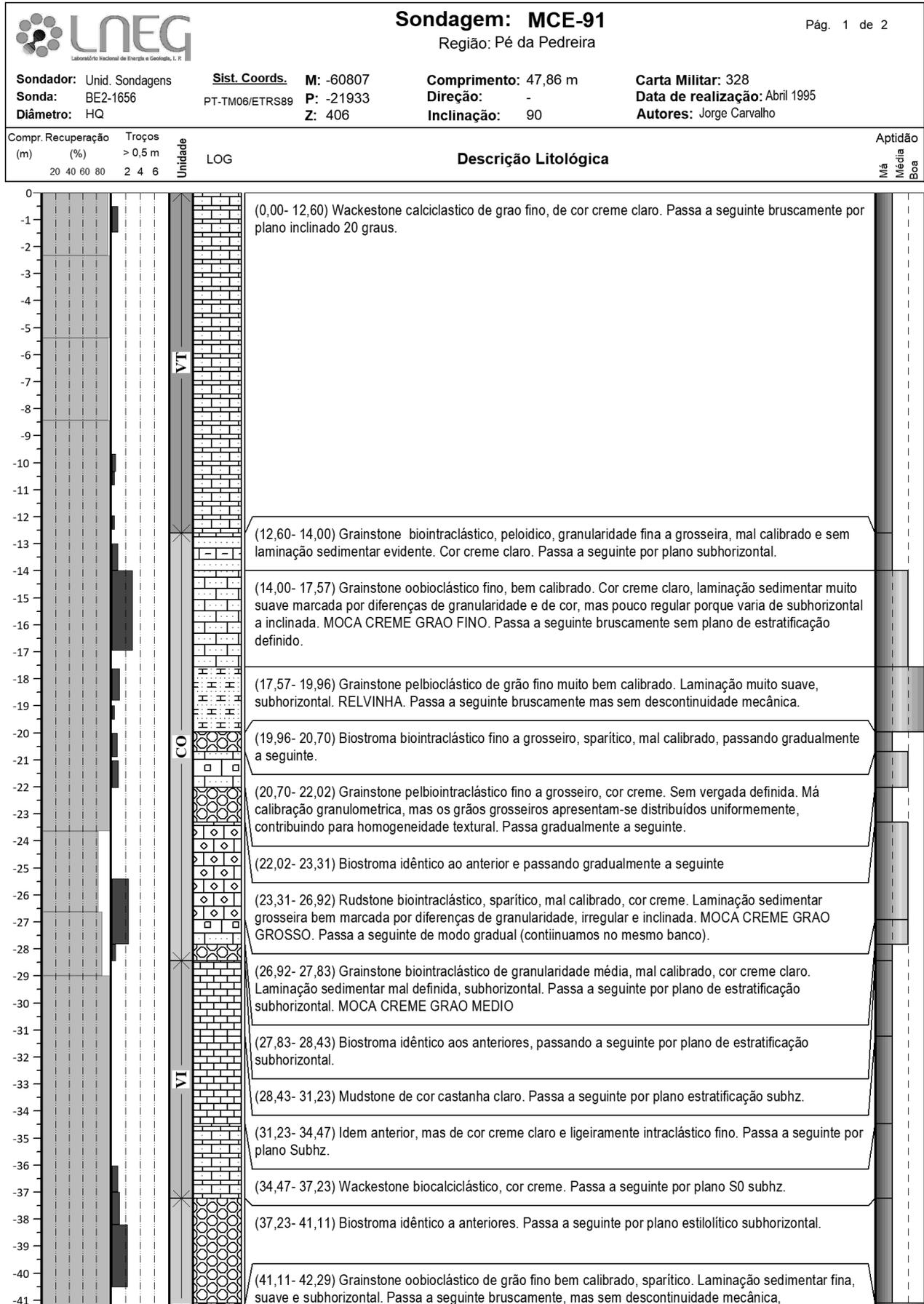
VI: Vidraços Intermédios

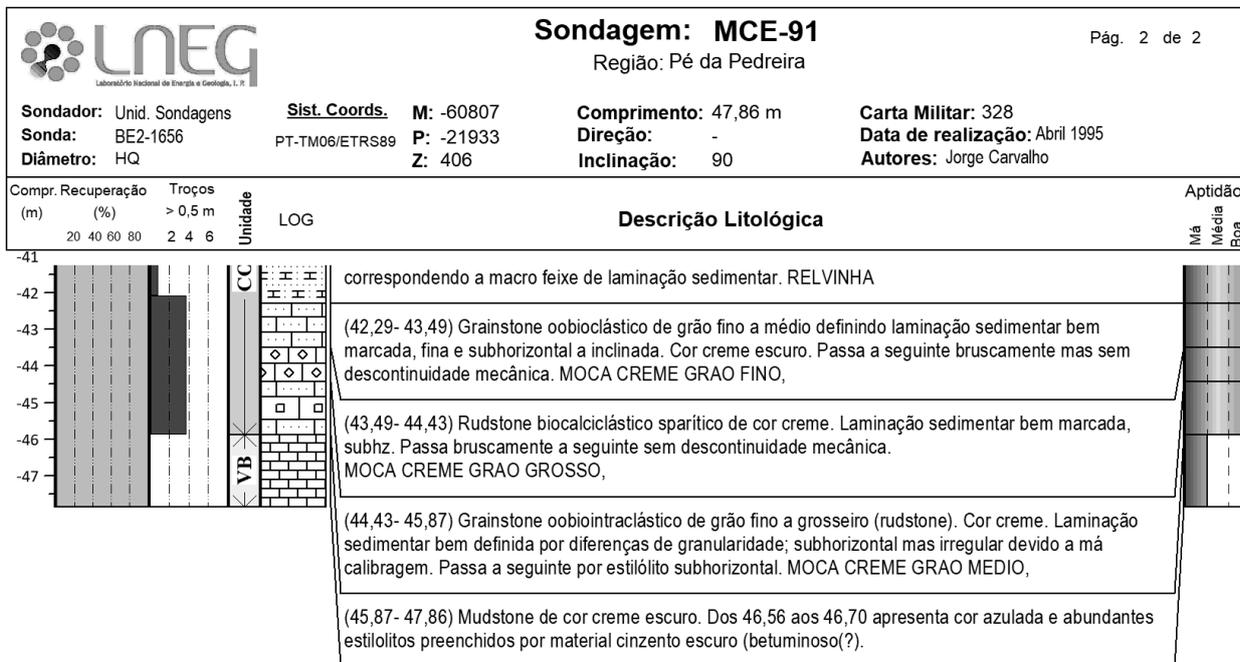
VT: Vidraços de topo

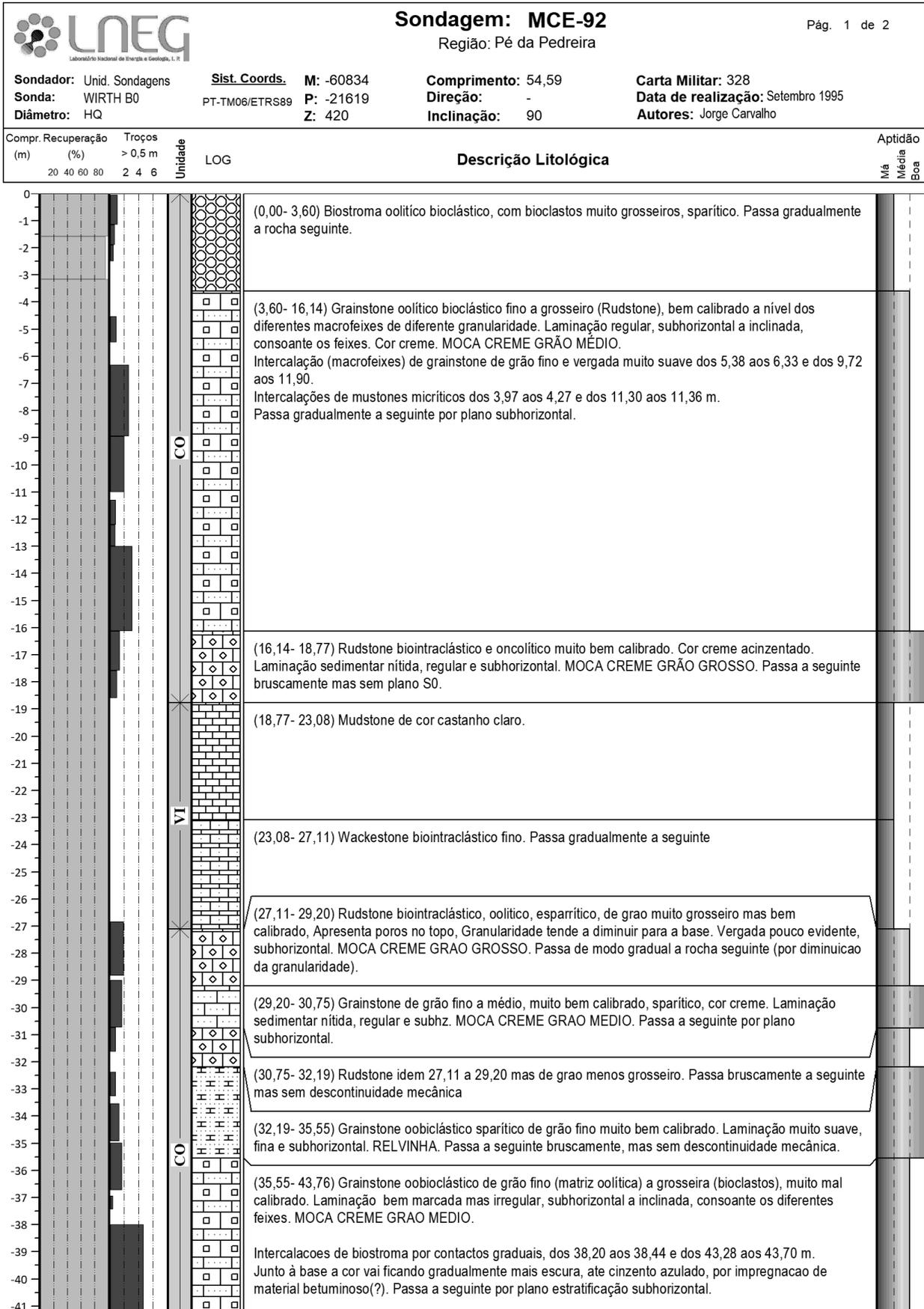
ÁREA DE PÉ DA PEDREIRA

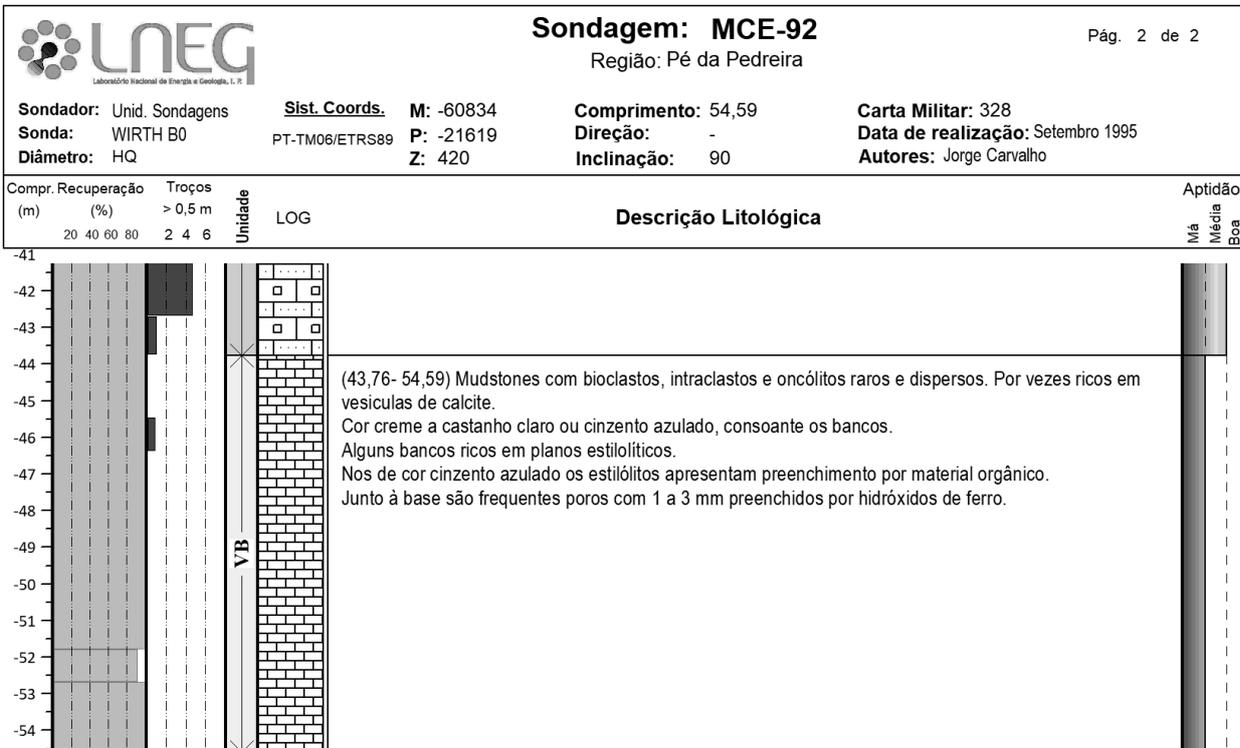


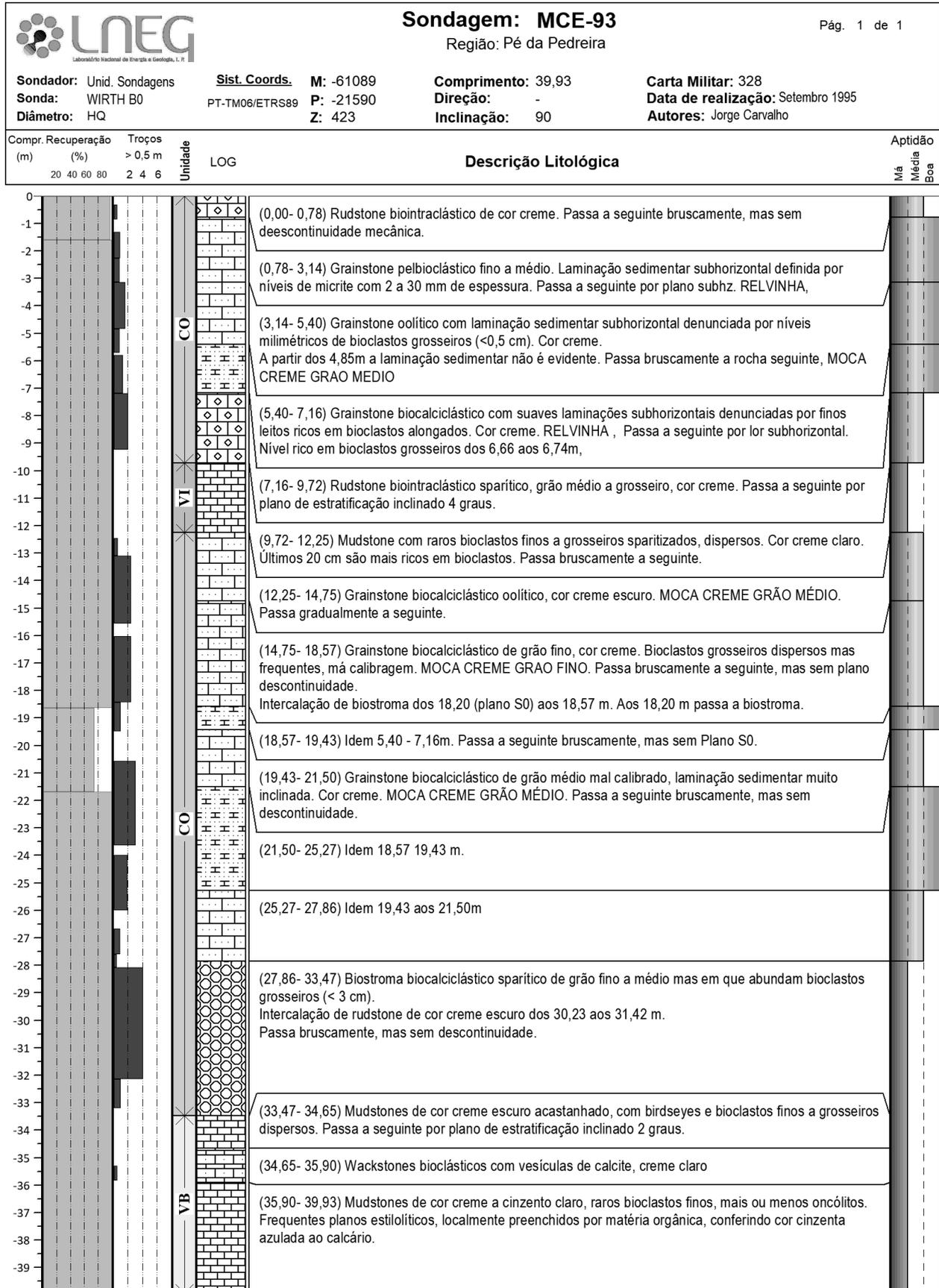


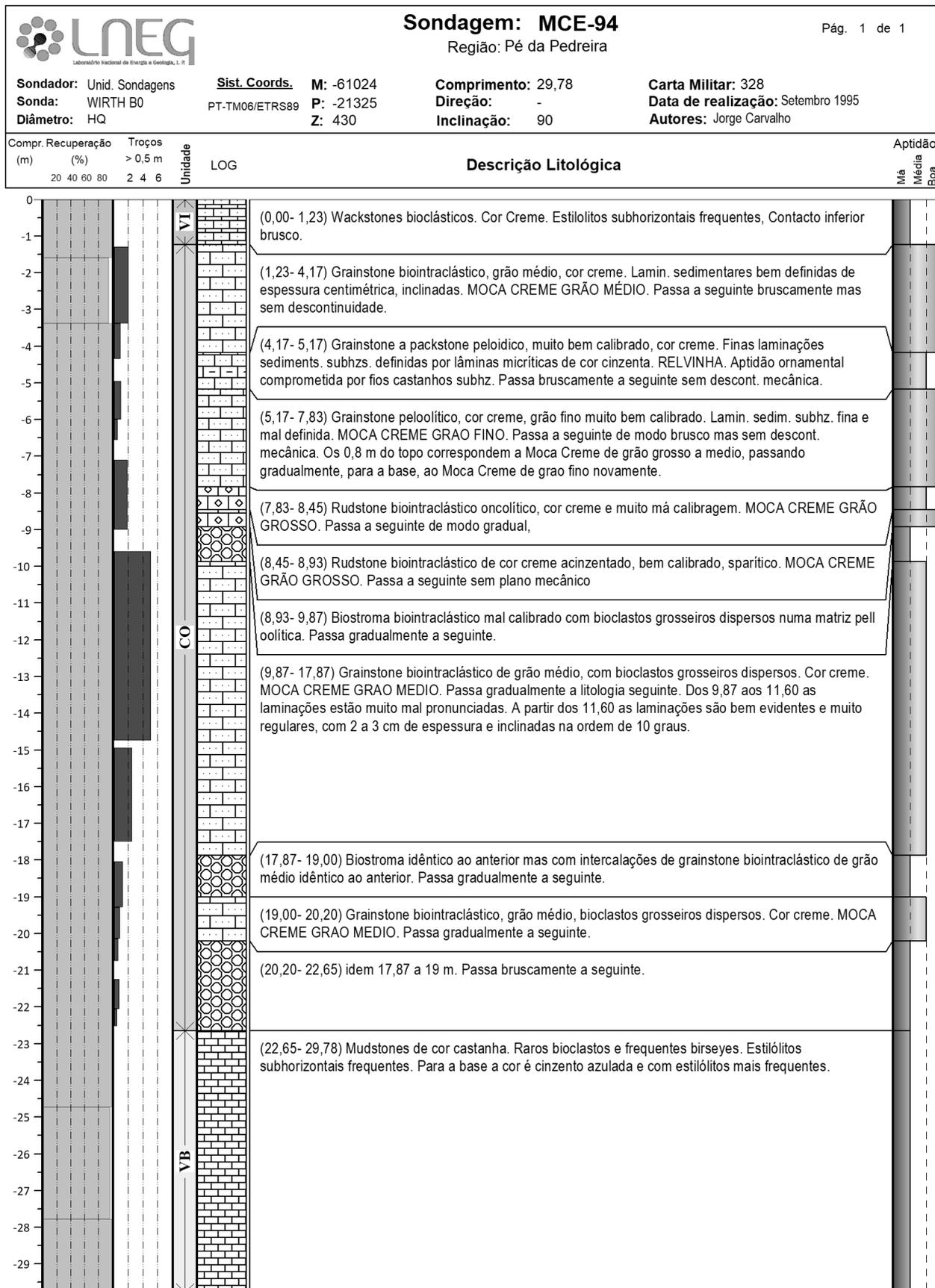


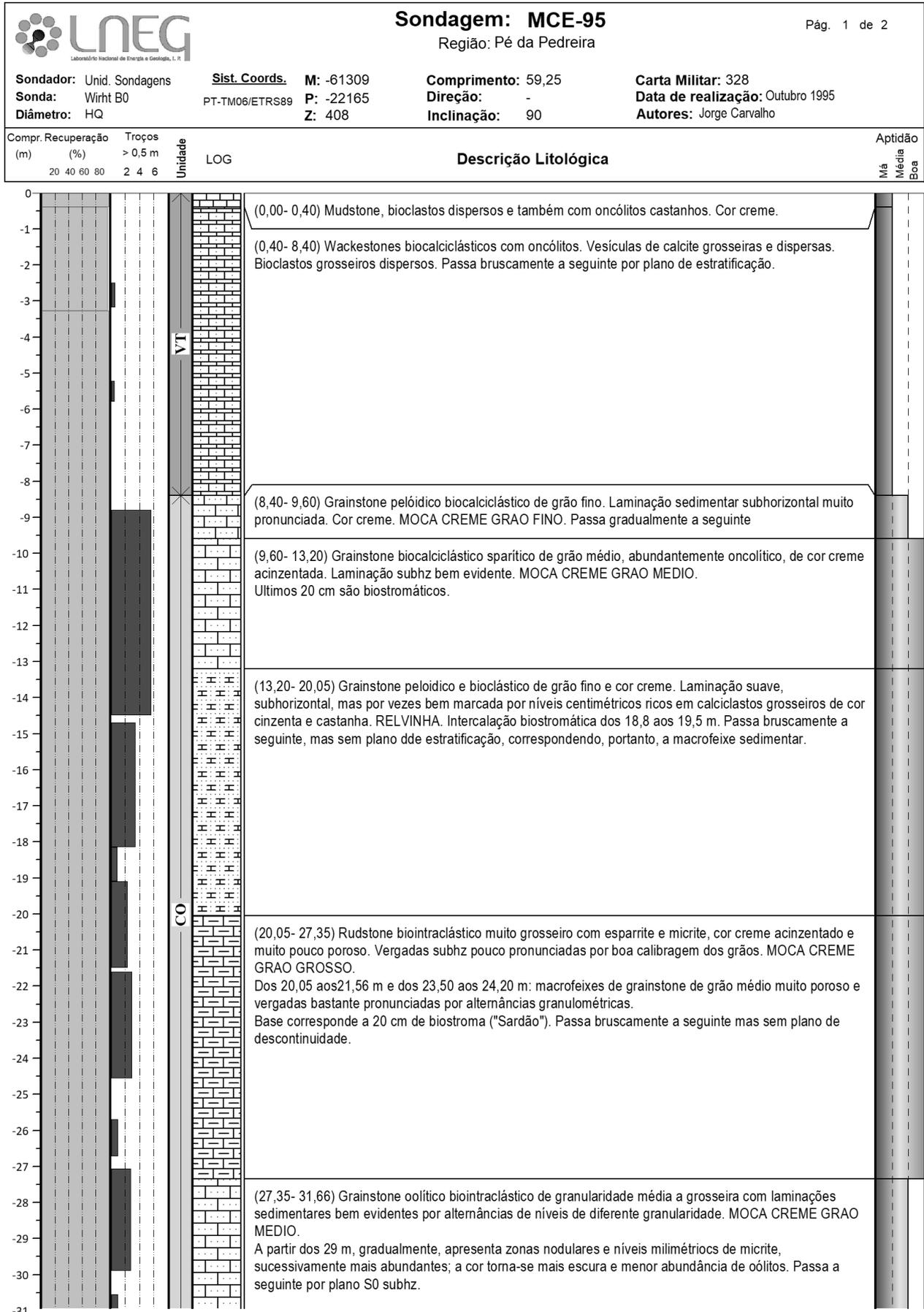


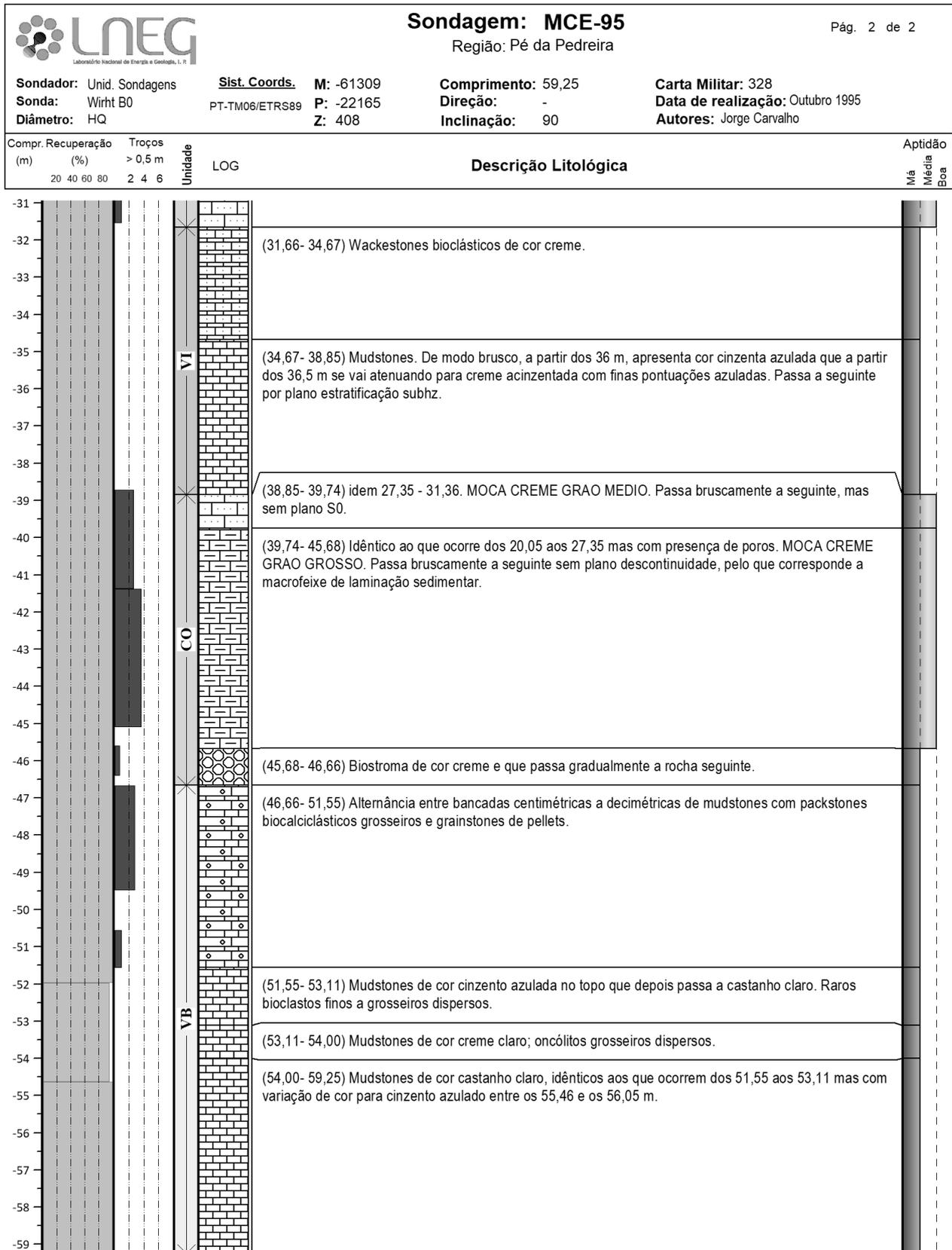


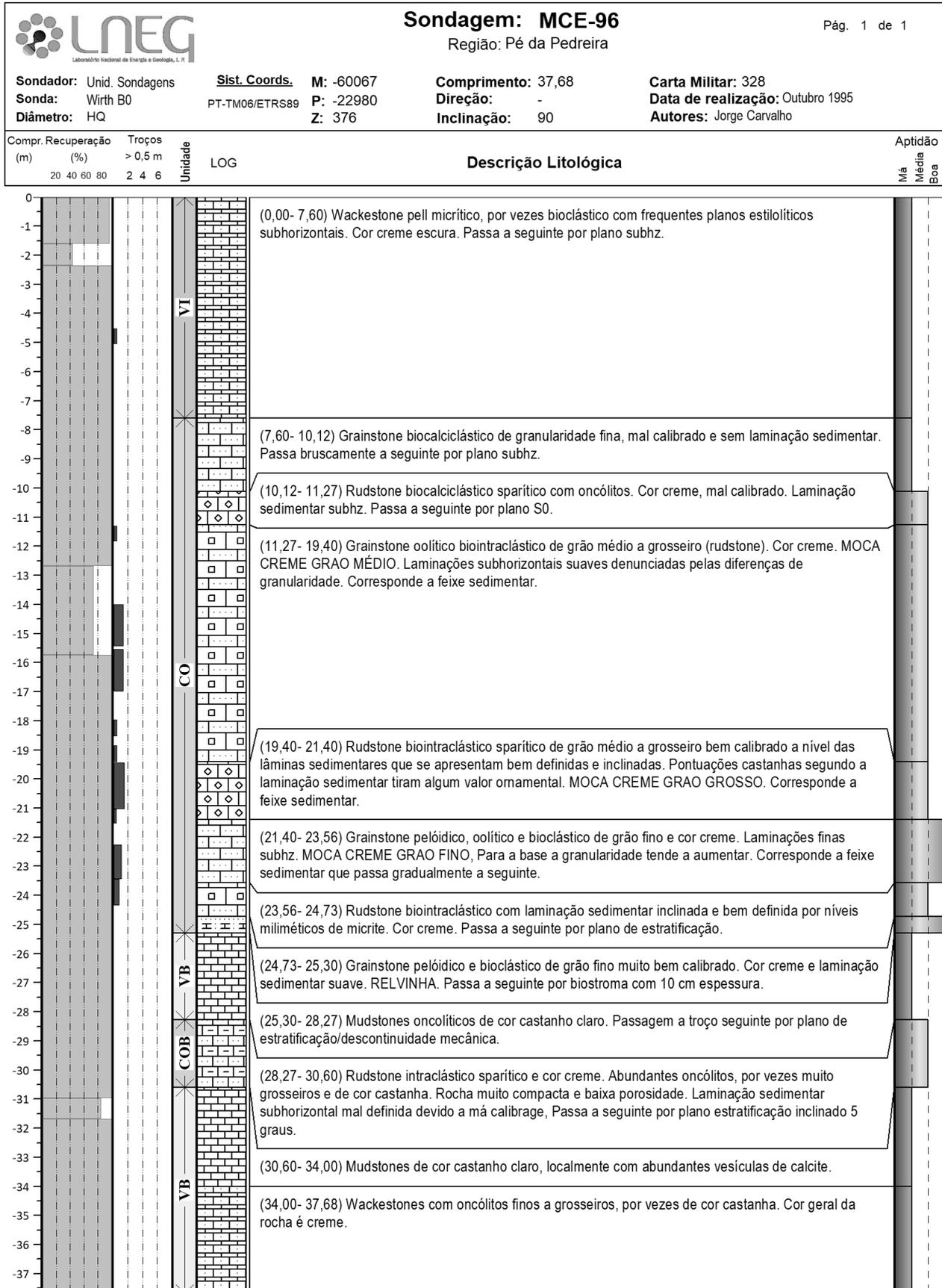


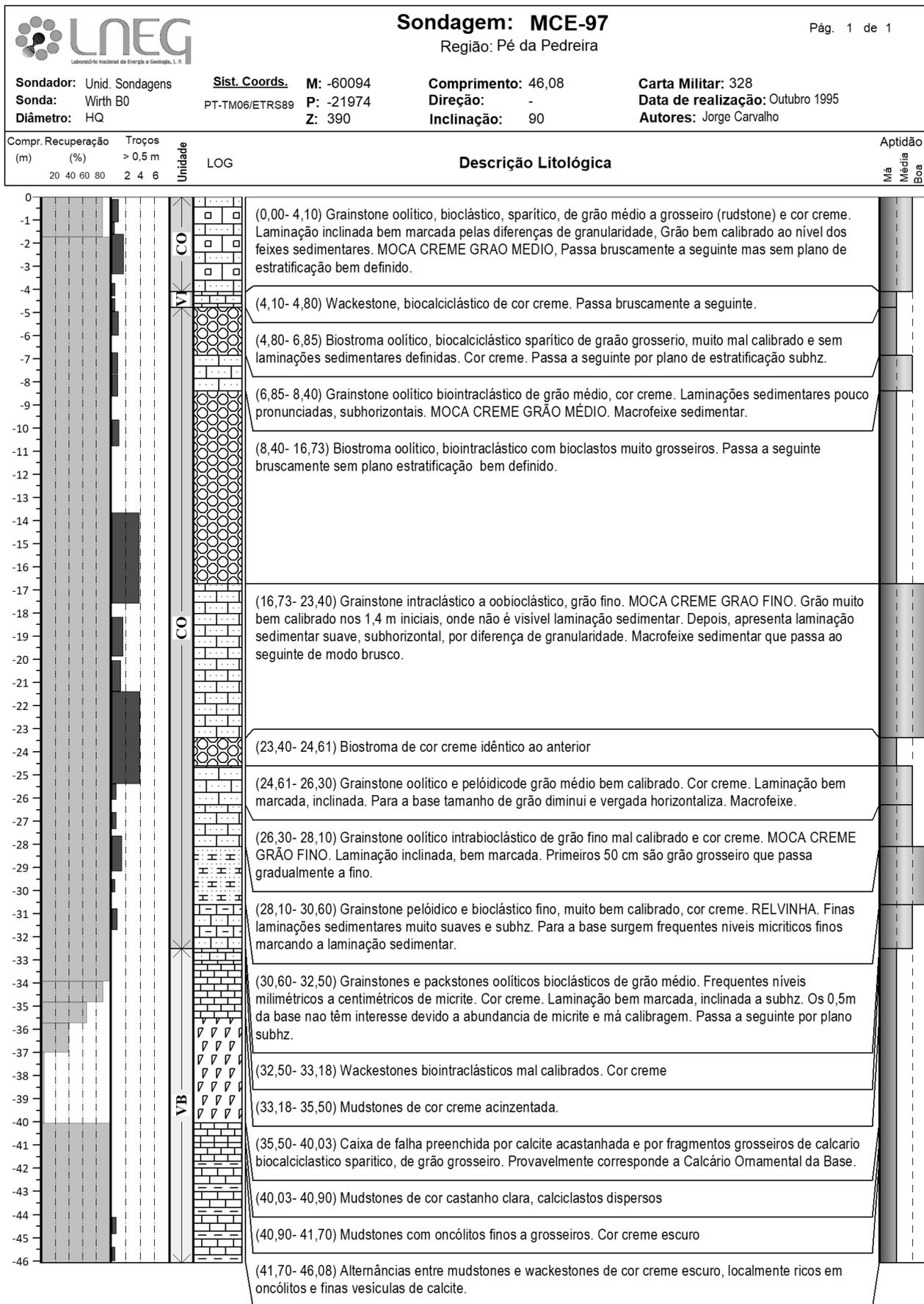


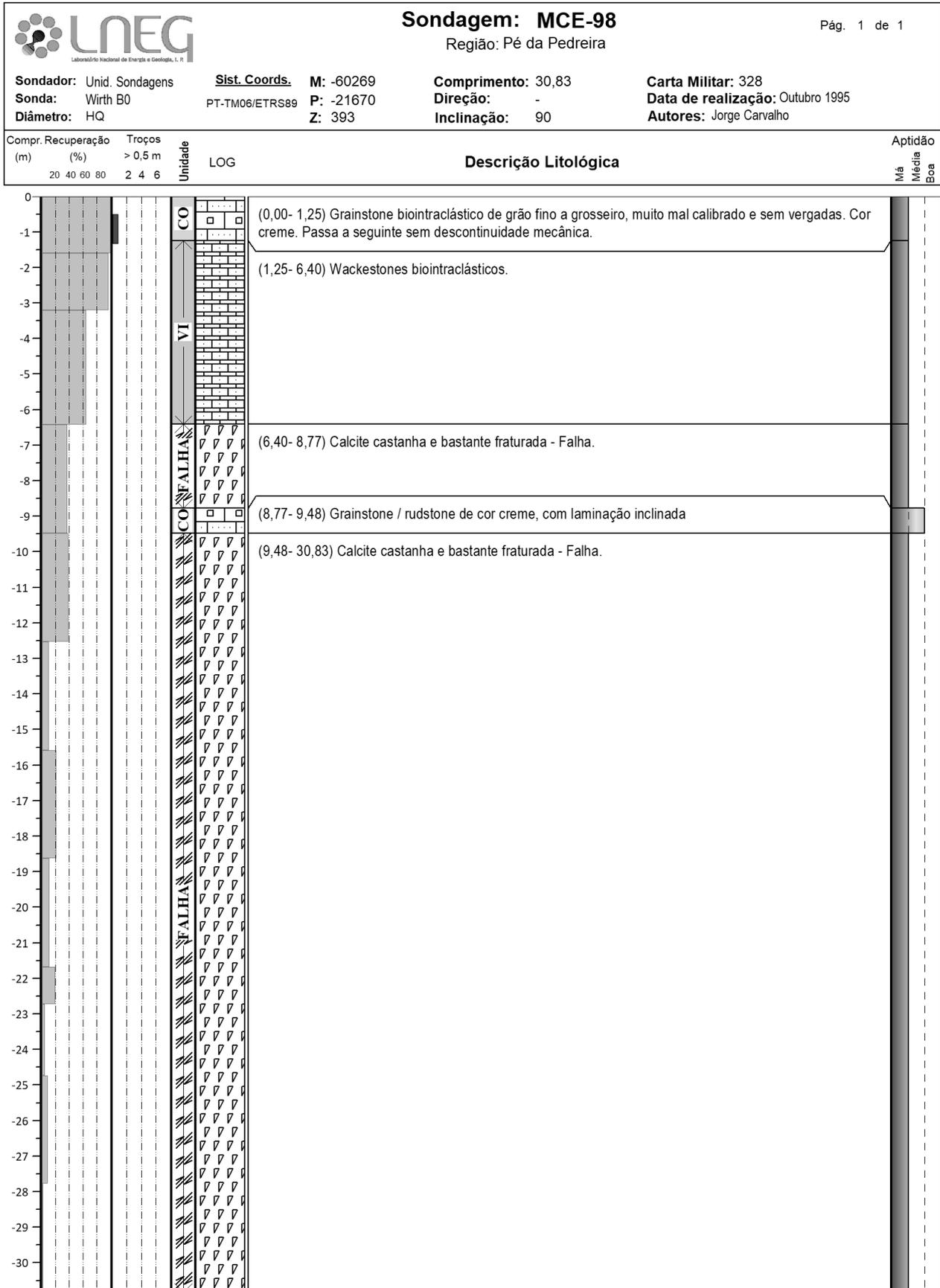


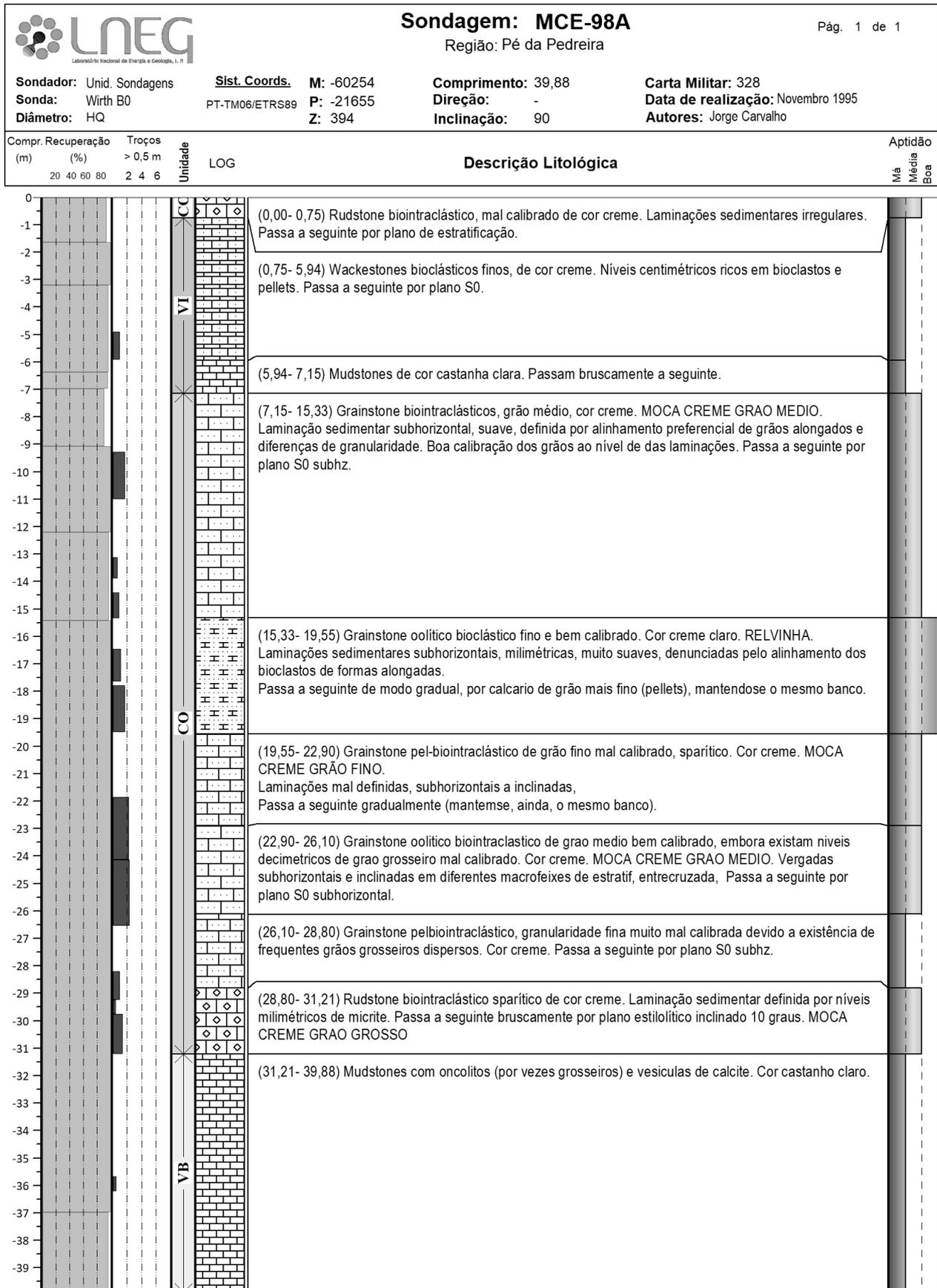


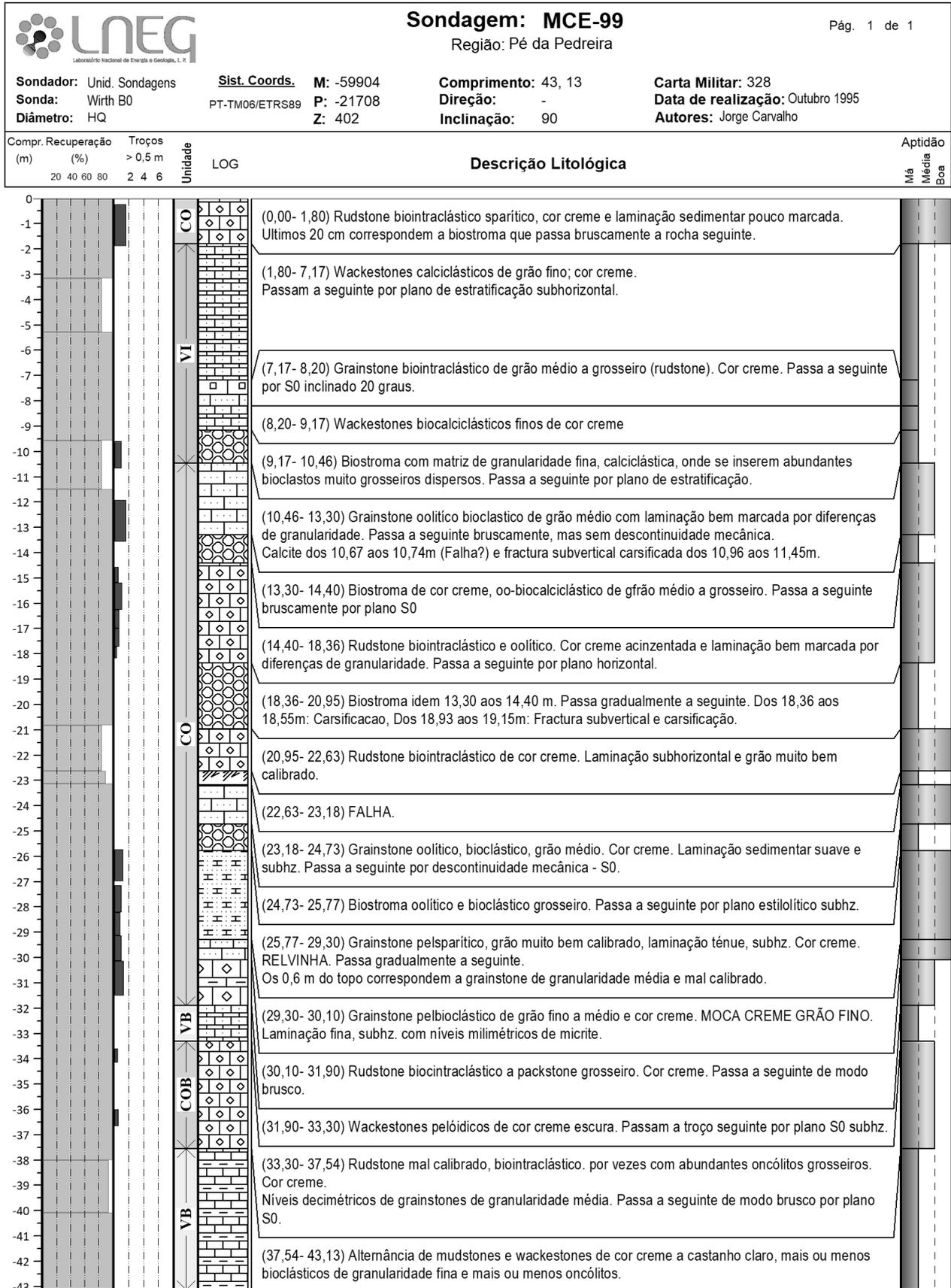


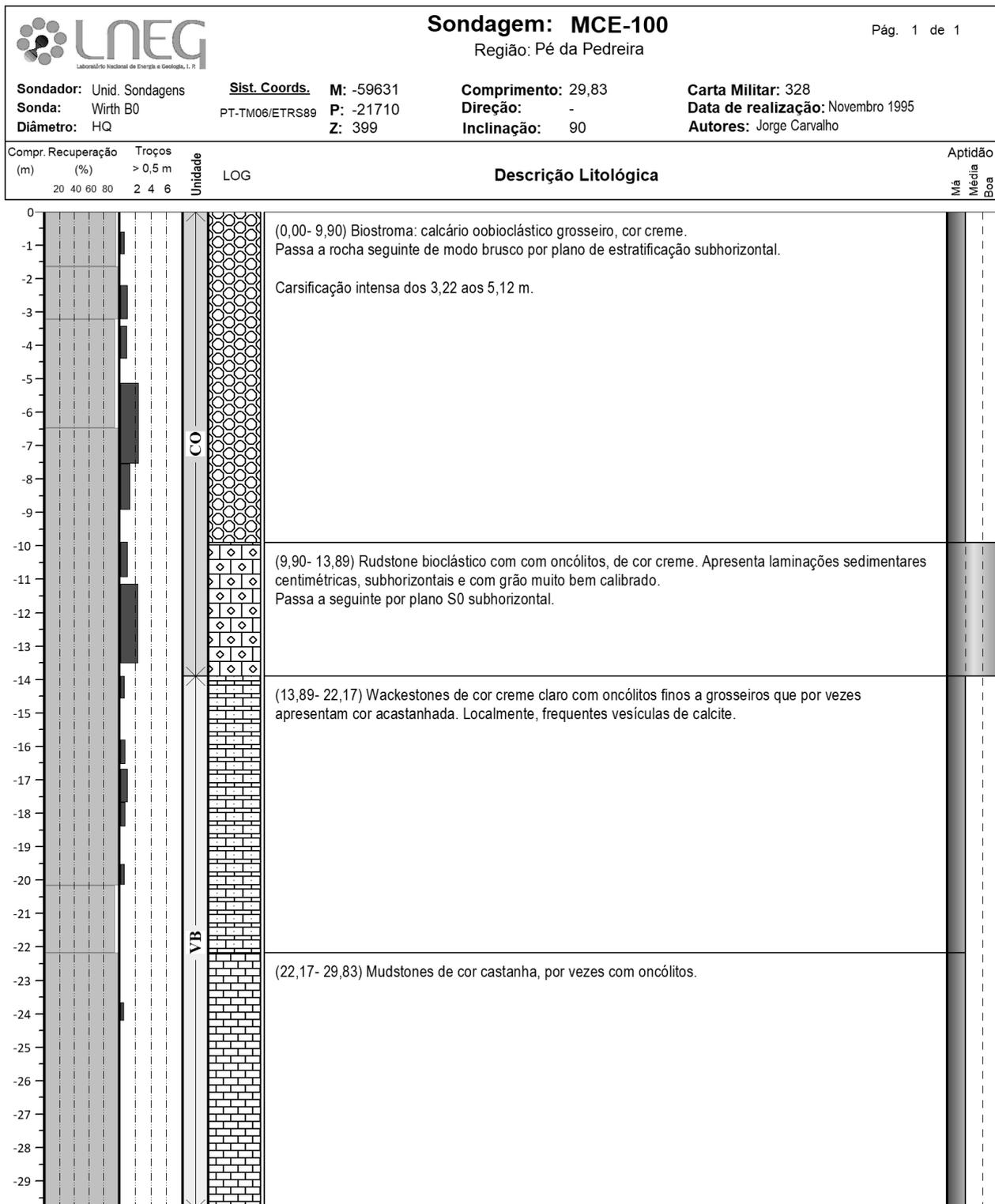


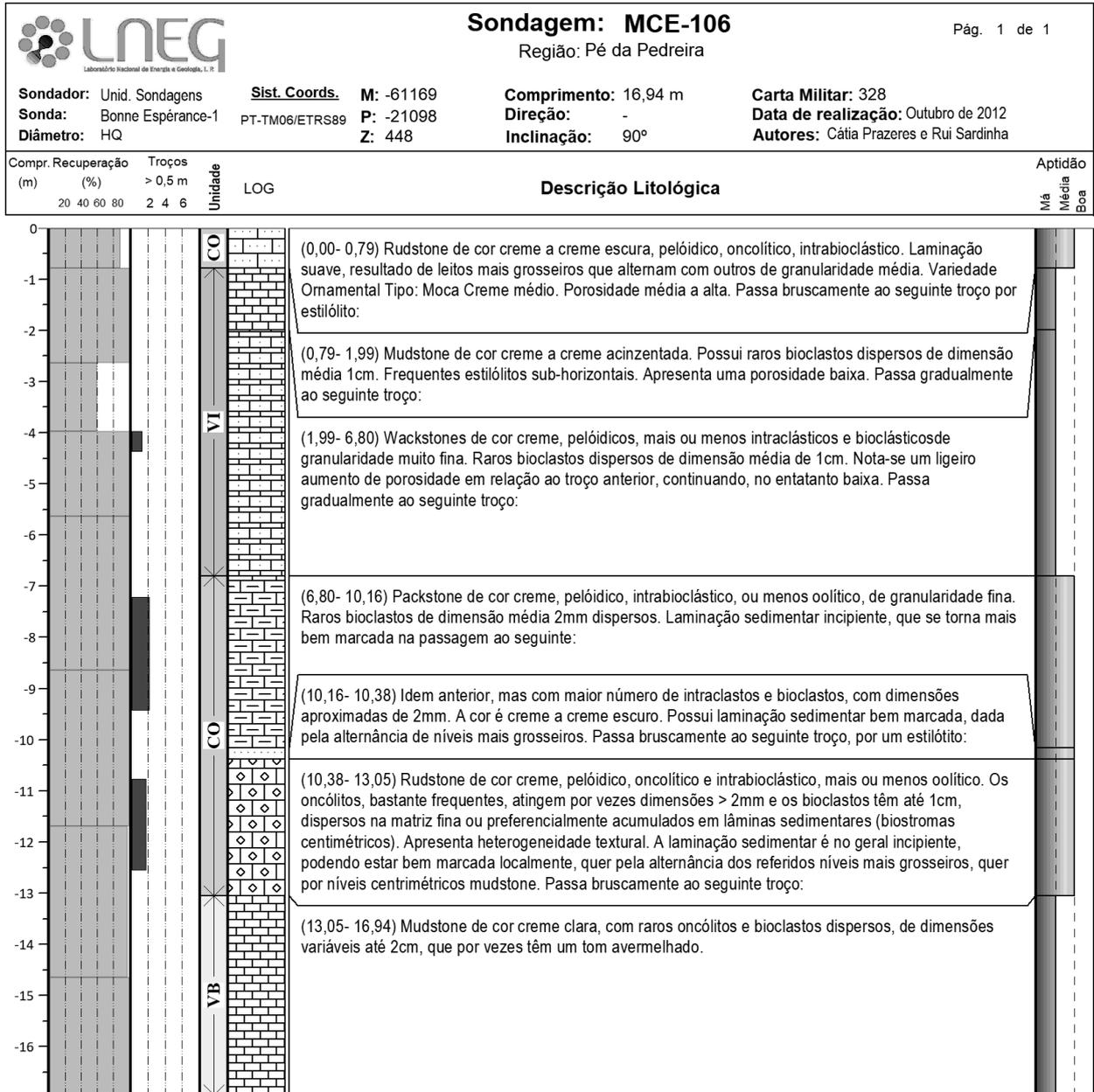


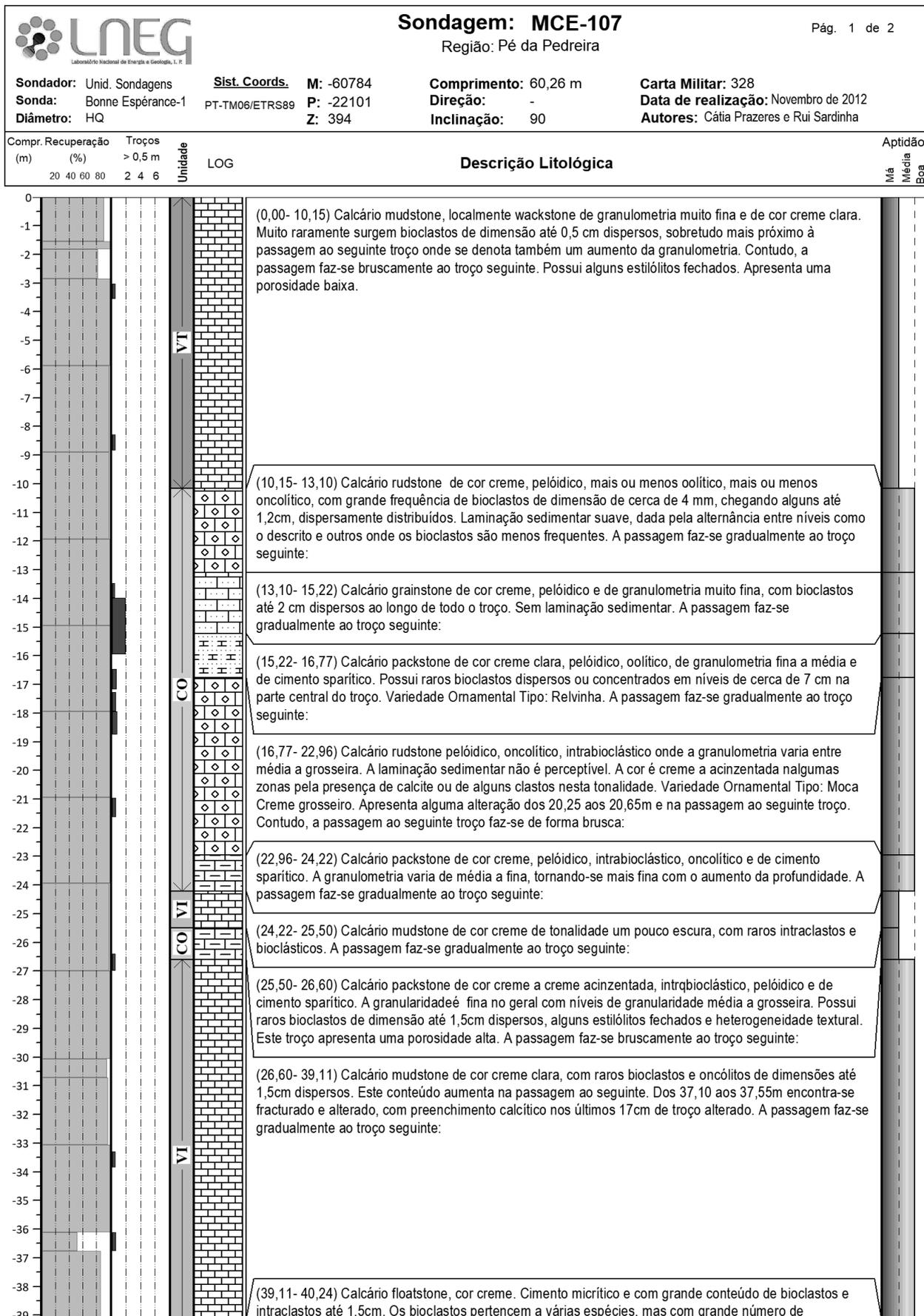


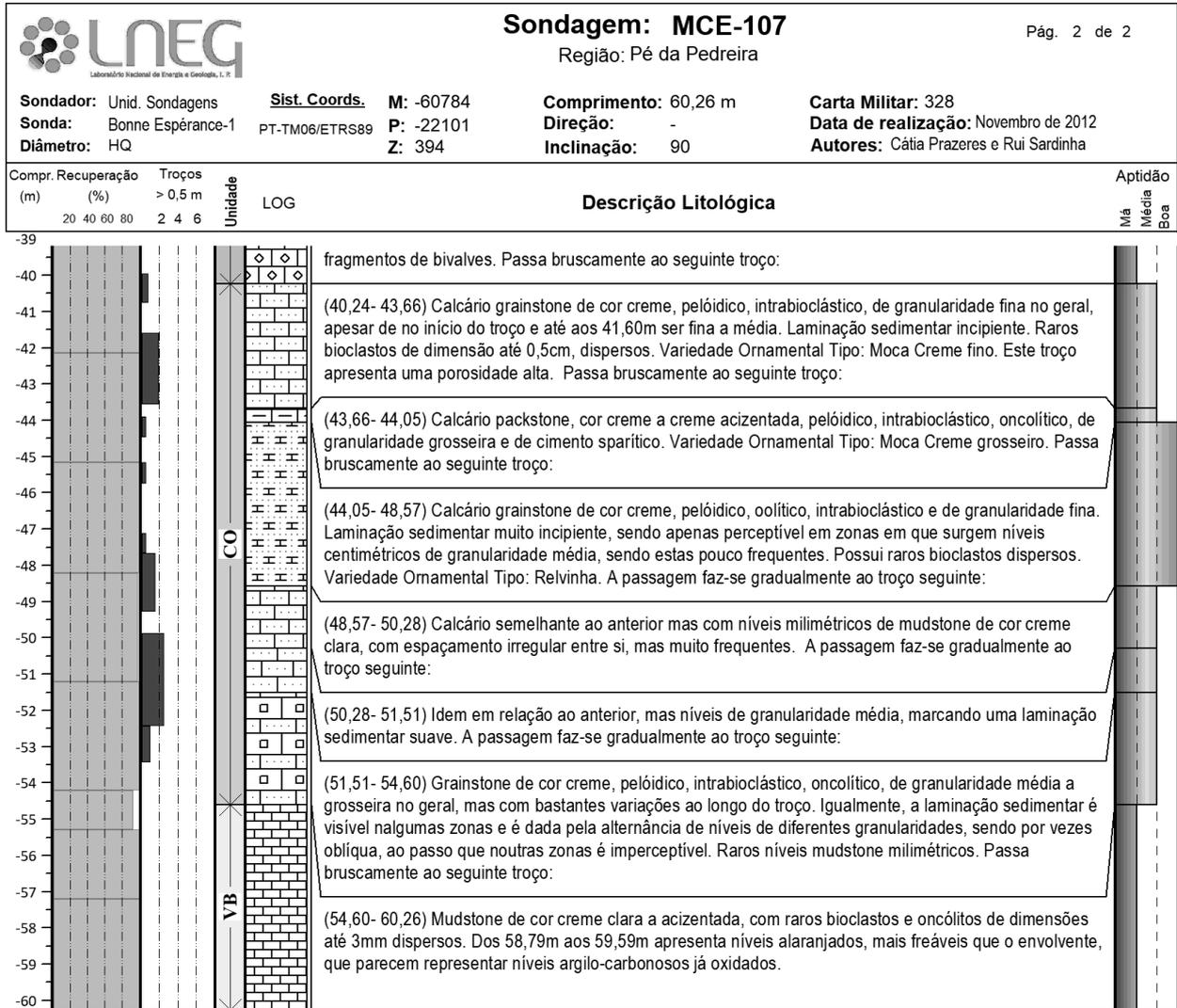


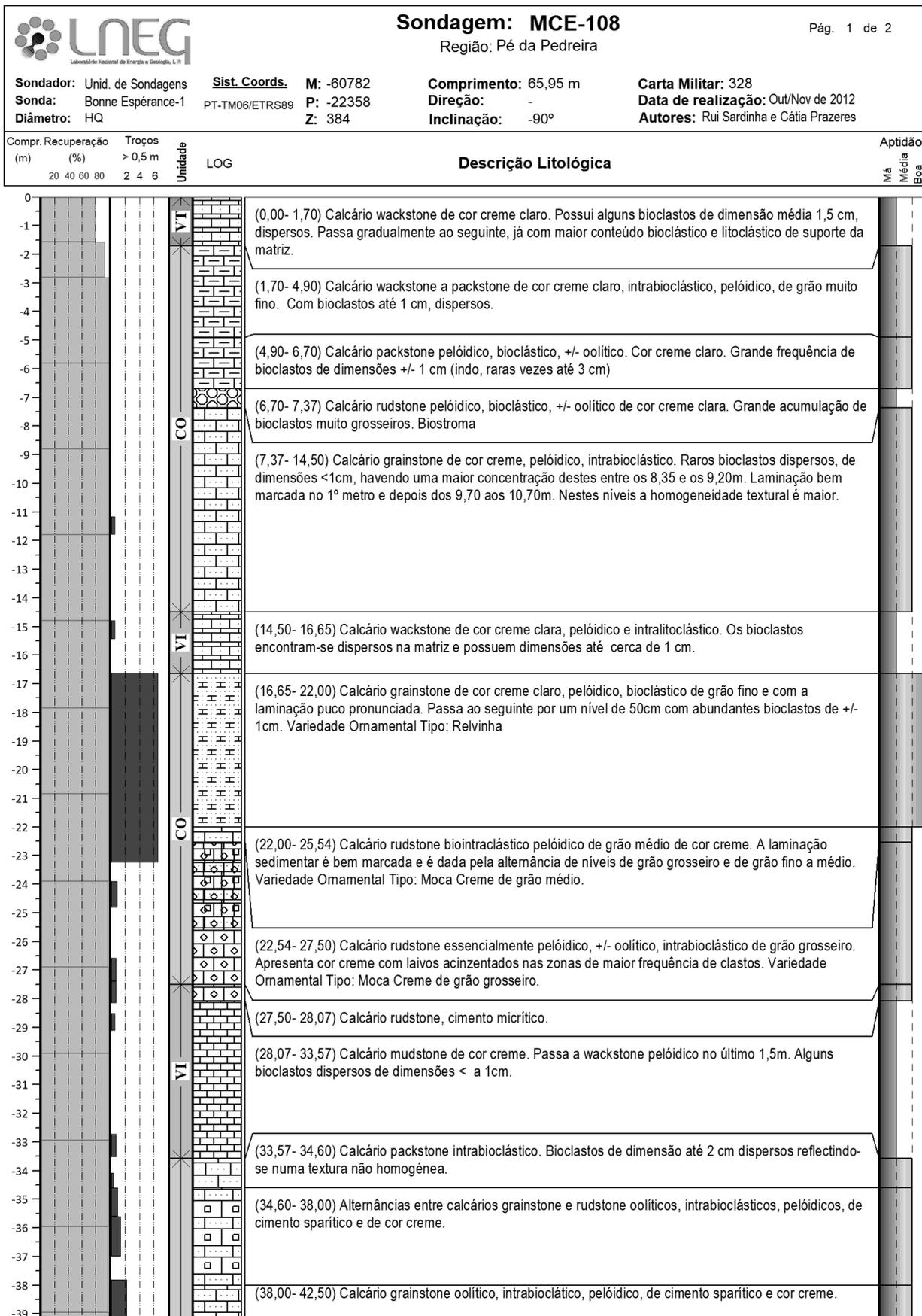


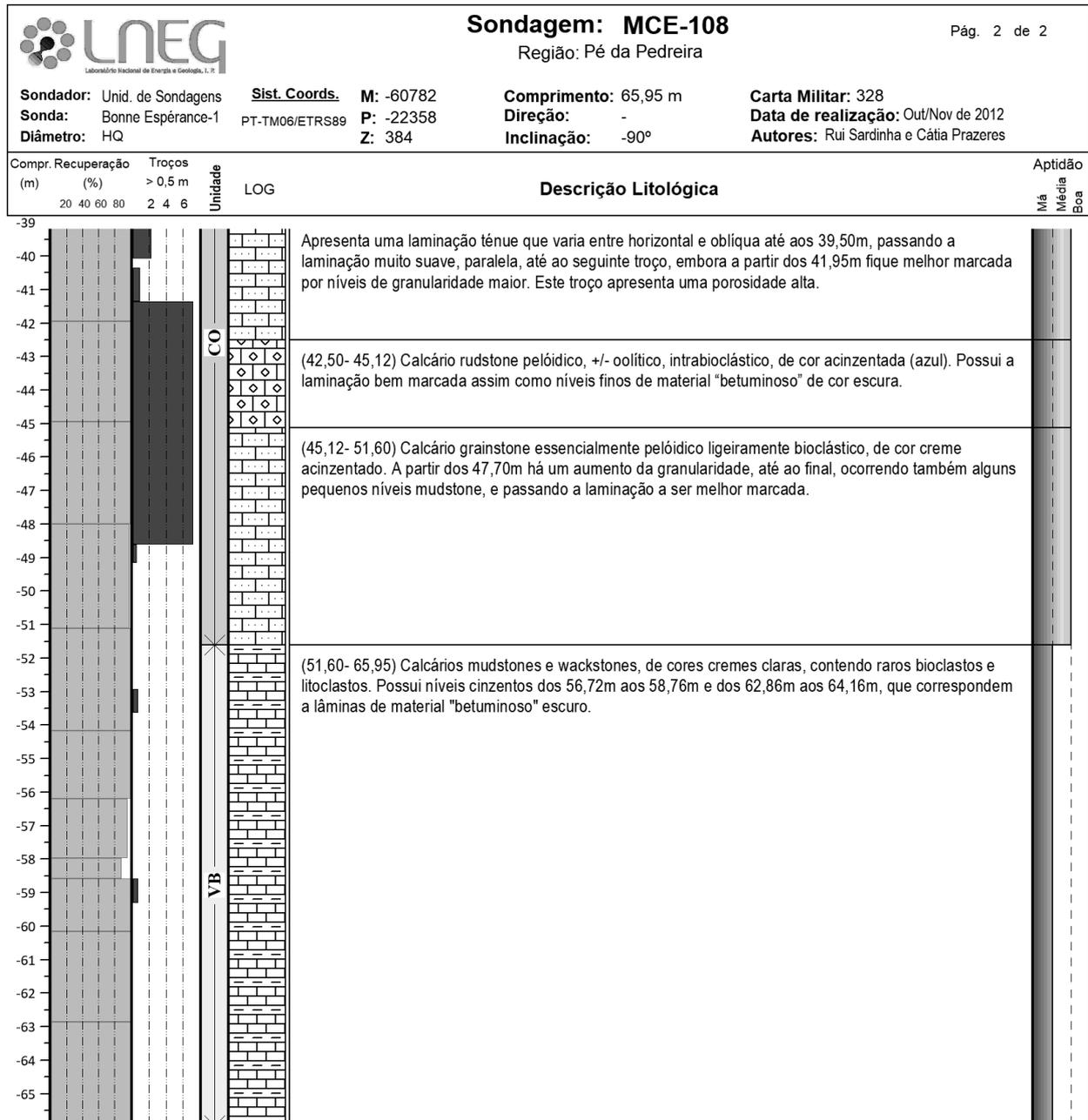












Sondagem: MCE-108

Região: Pé da Pedreira

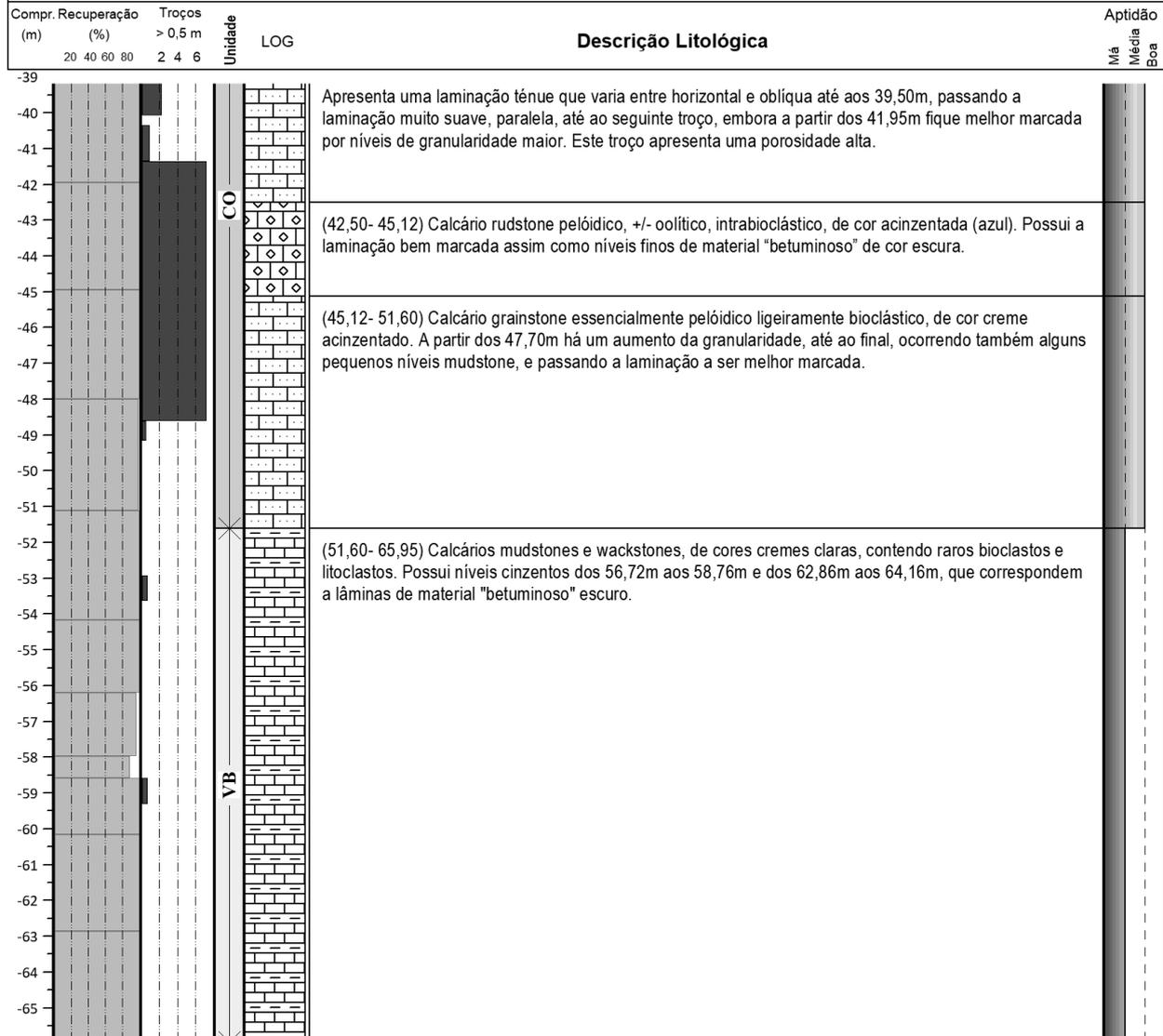
Pág. 2 de 2

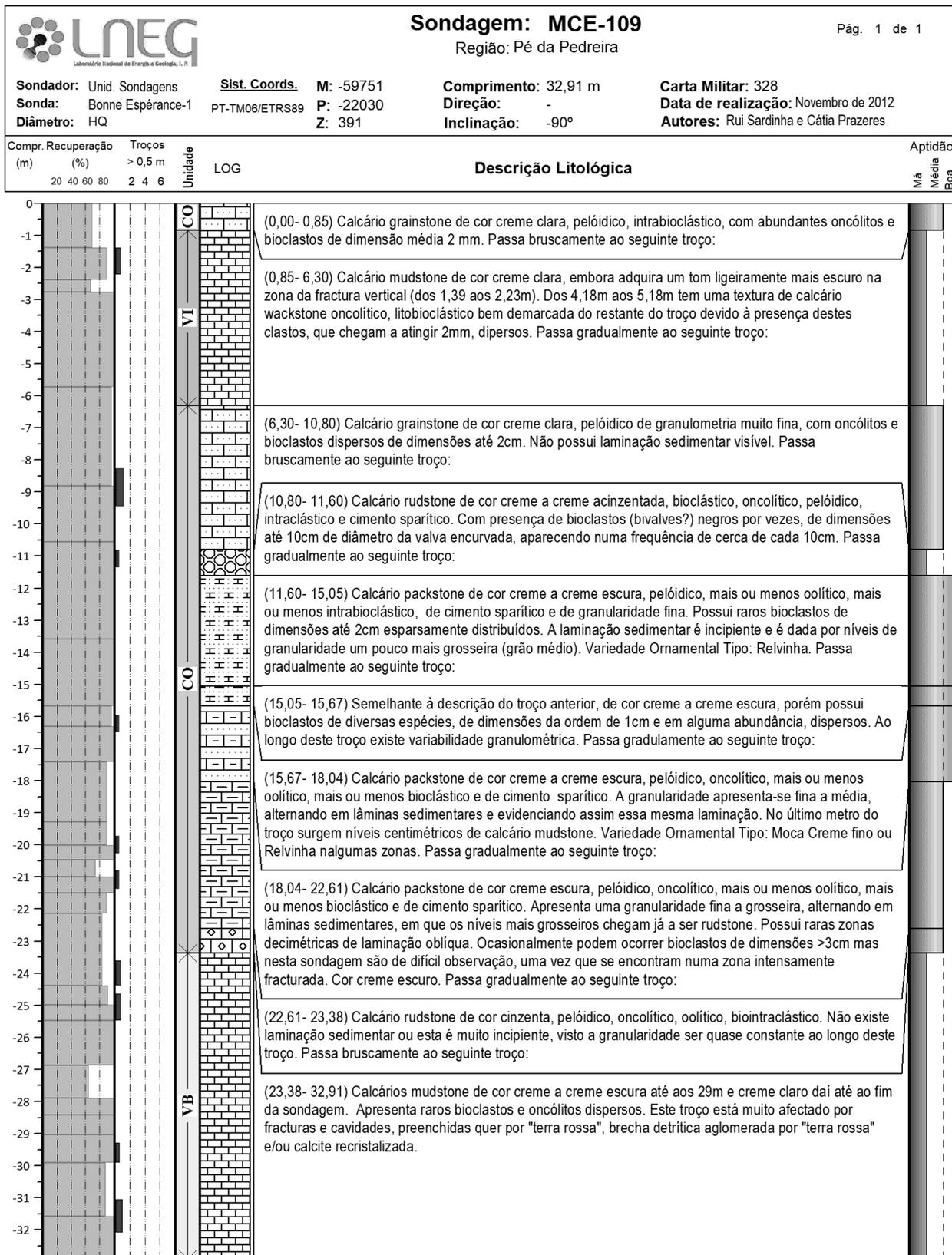
Sondador: Unid. de Sondagens
Sonda: Bonne Espérance-1
Diâmetro: HQ

Sist. Coords. M: -60782
P: -22358
Z: 384

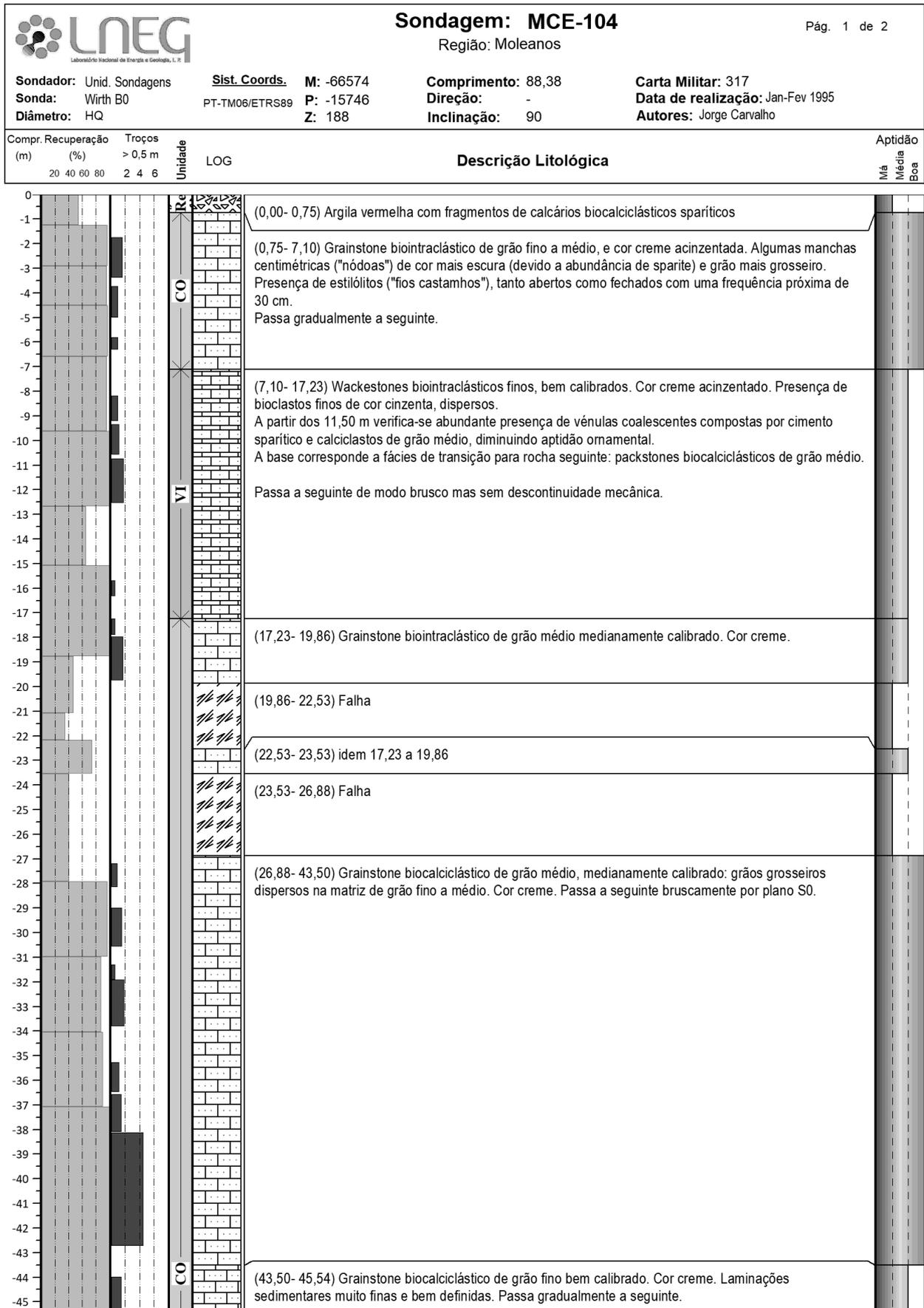
Comprimento: 65,95 m
Direção: -
Inclinação: -90°

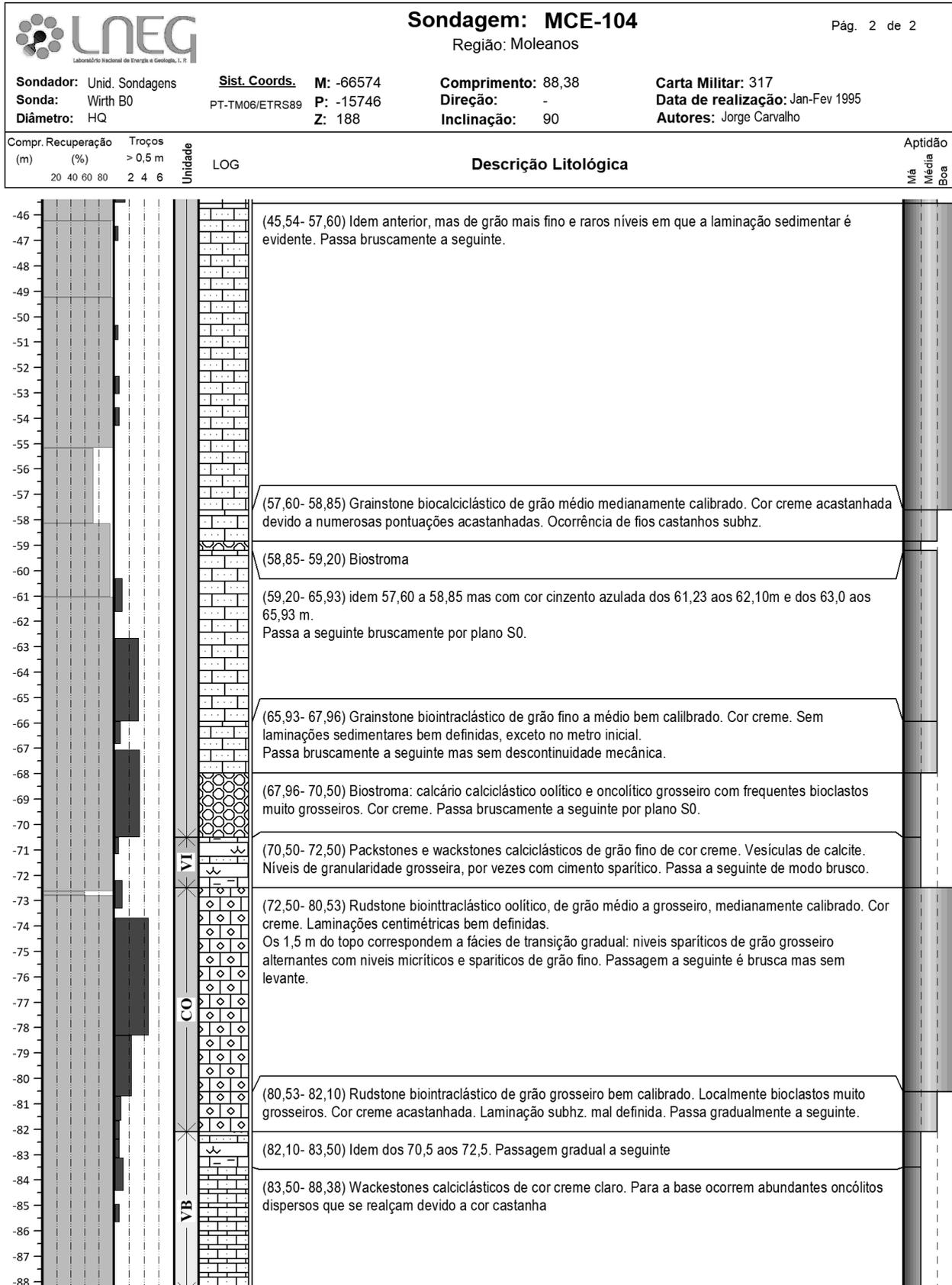
Carta Militar: 328
Data de realização: Out/Nov de 2012
Autores: Rui Sardinha e Cátia Prazeres

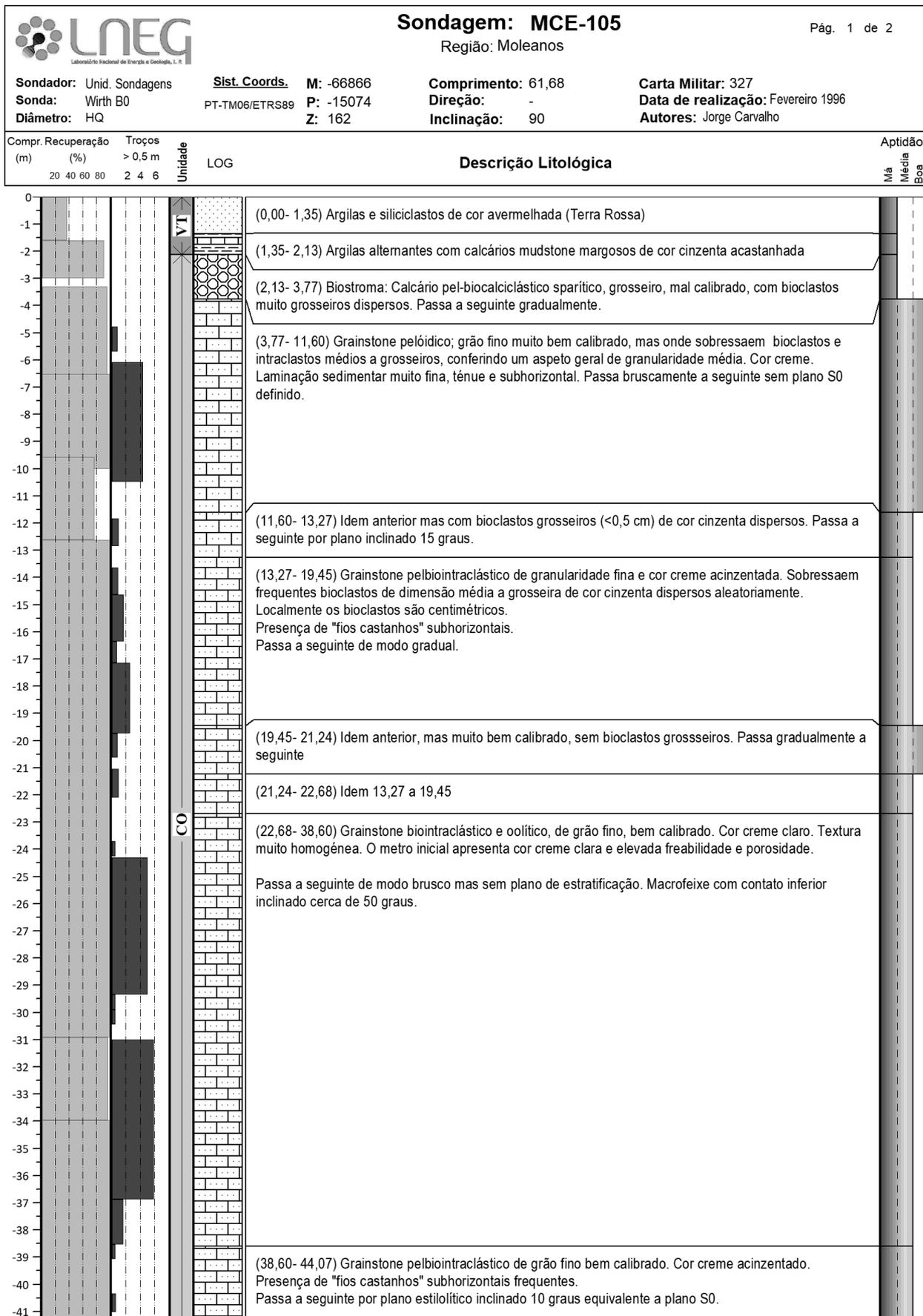


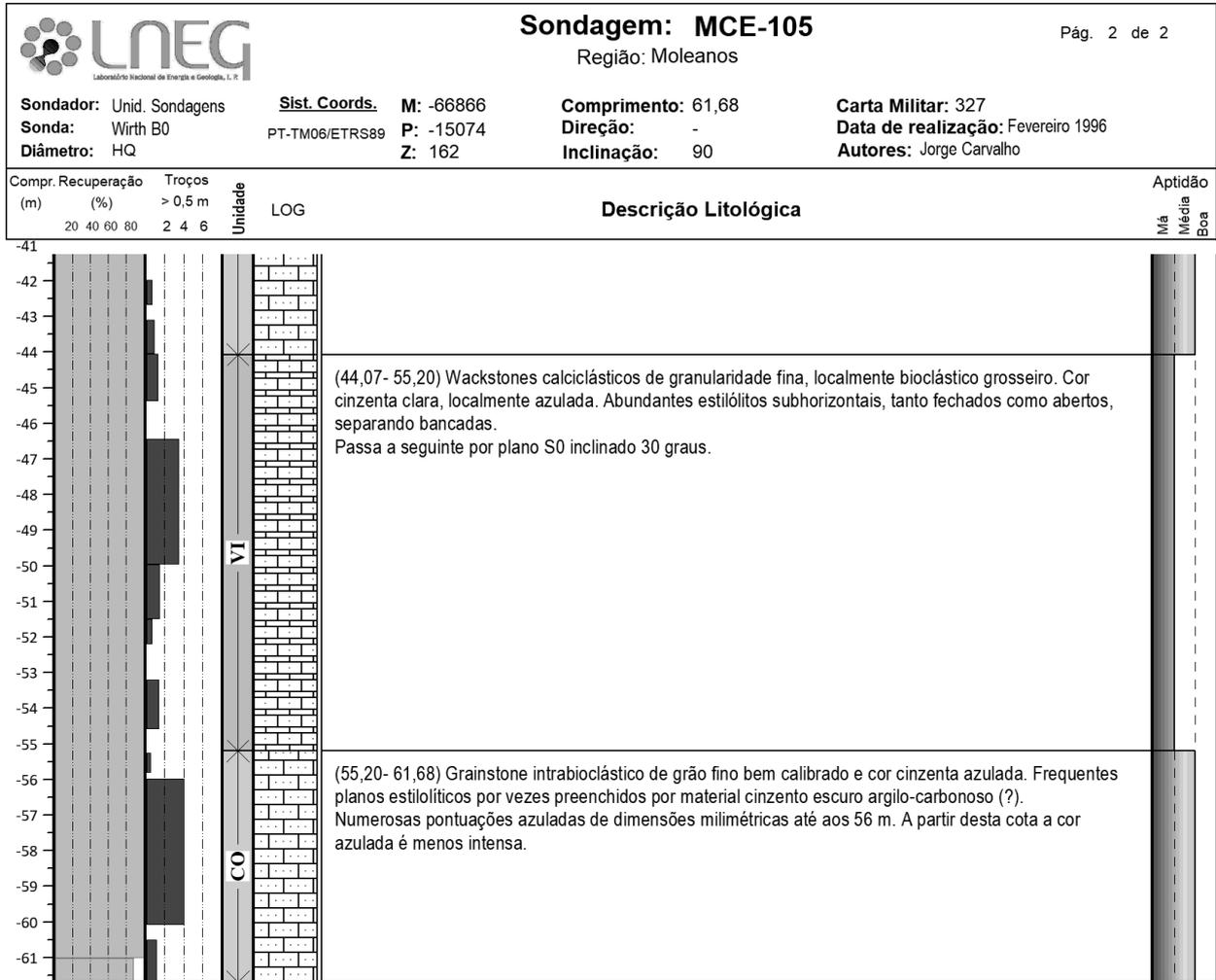


ÁREA DE MOLEANOS

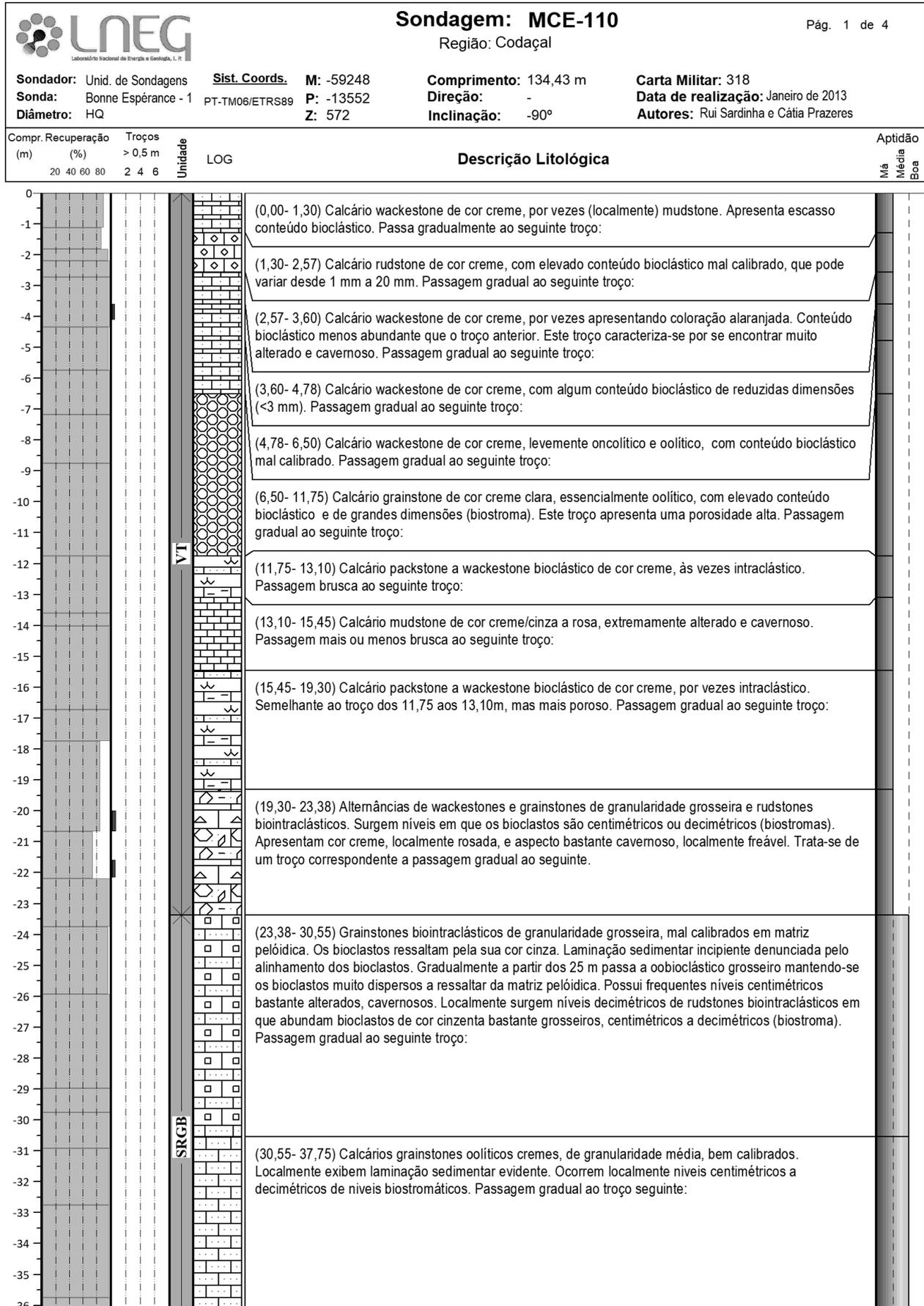


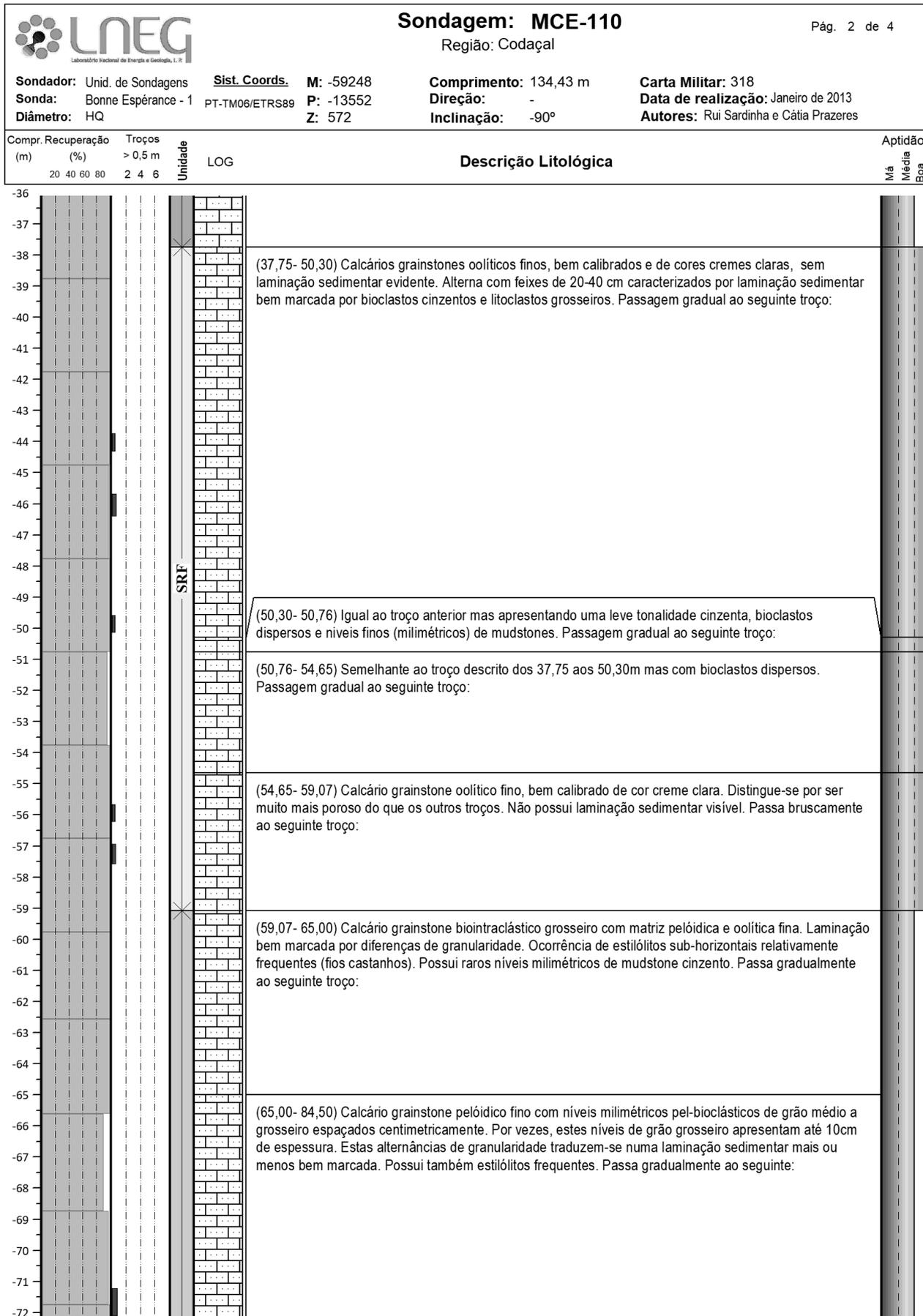


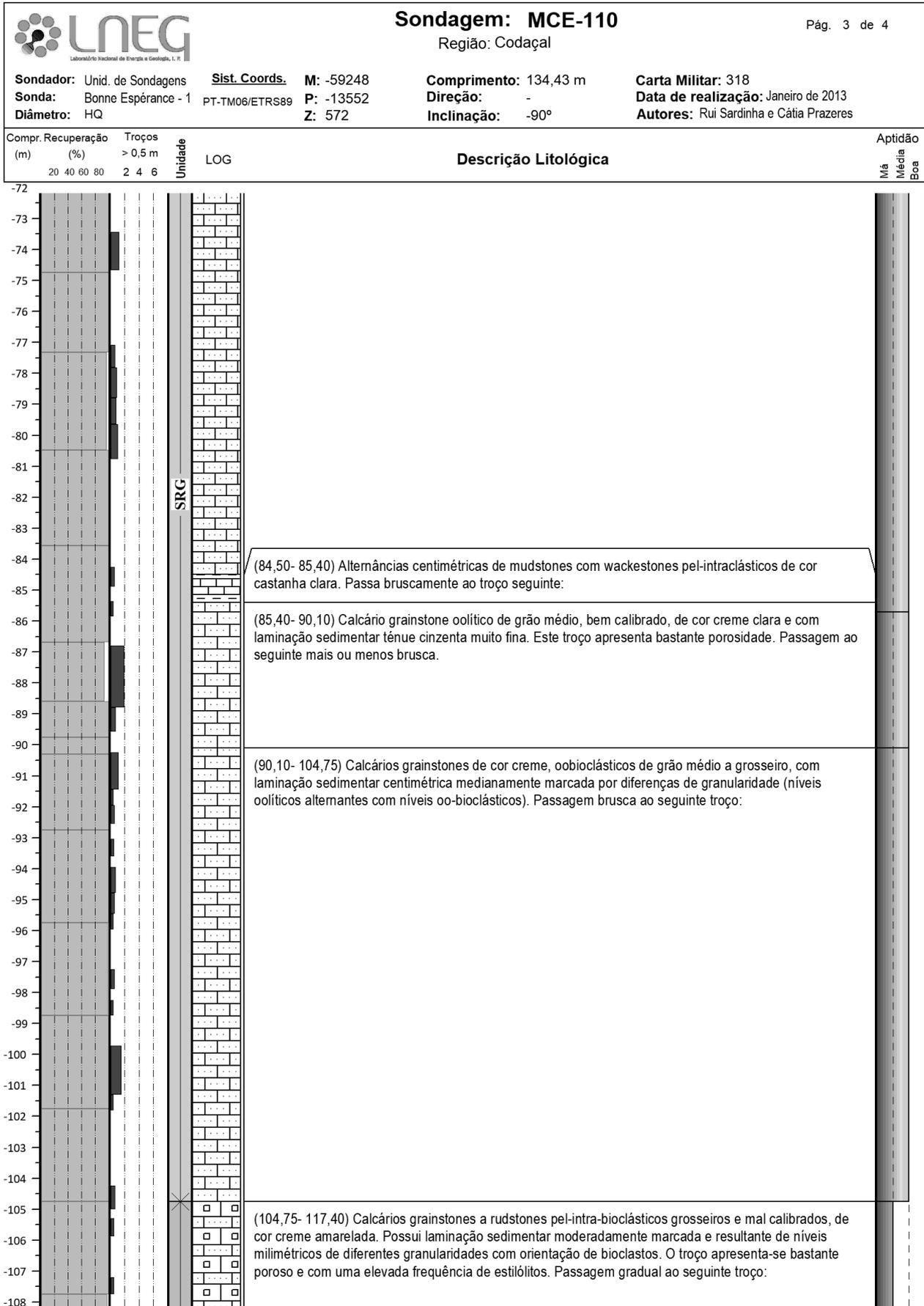


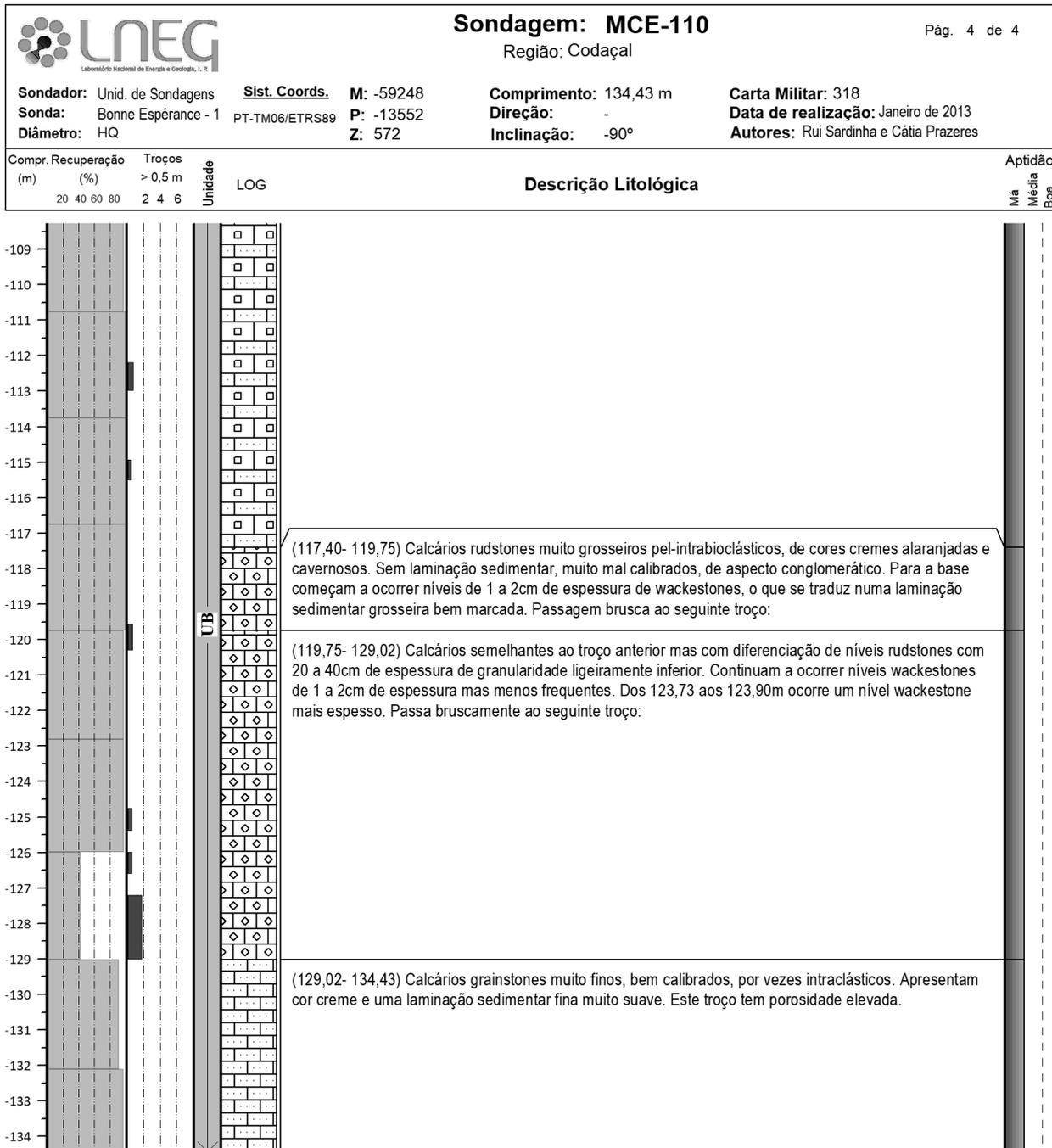


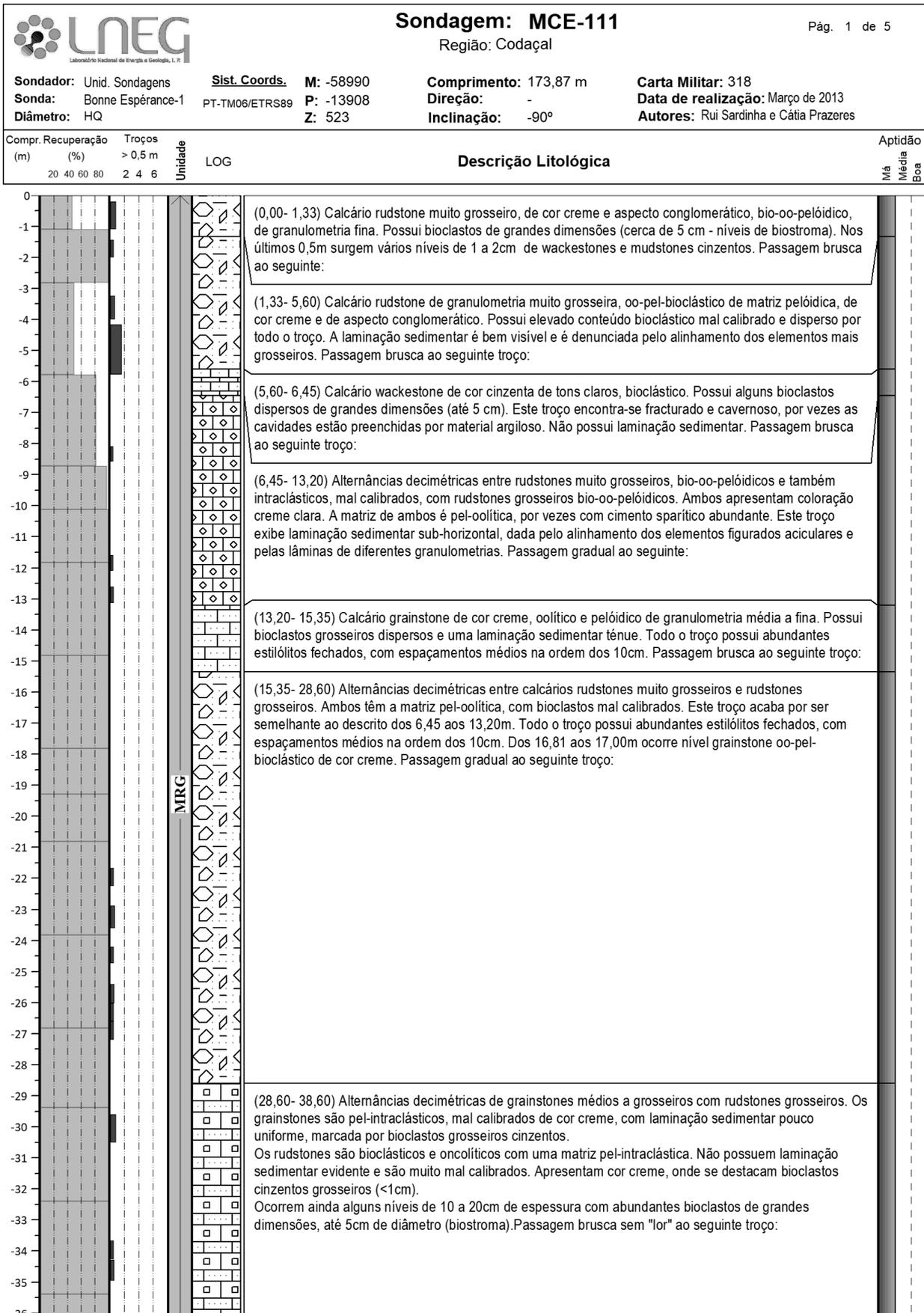
ÁREA DE CODAÇAL

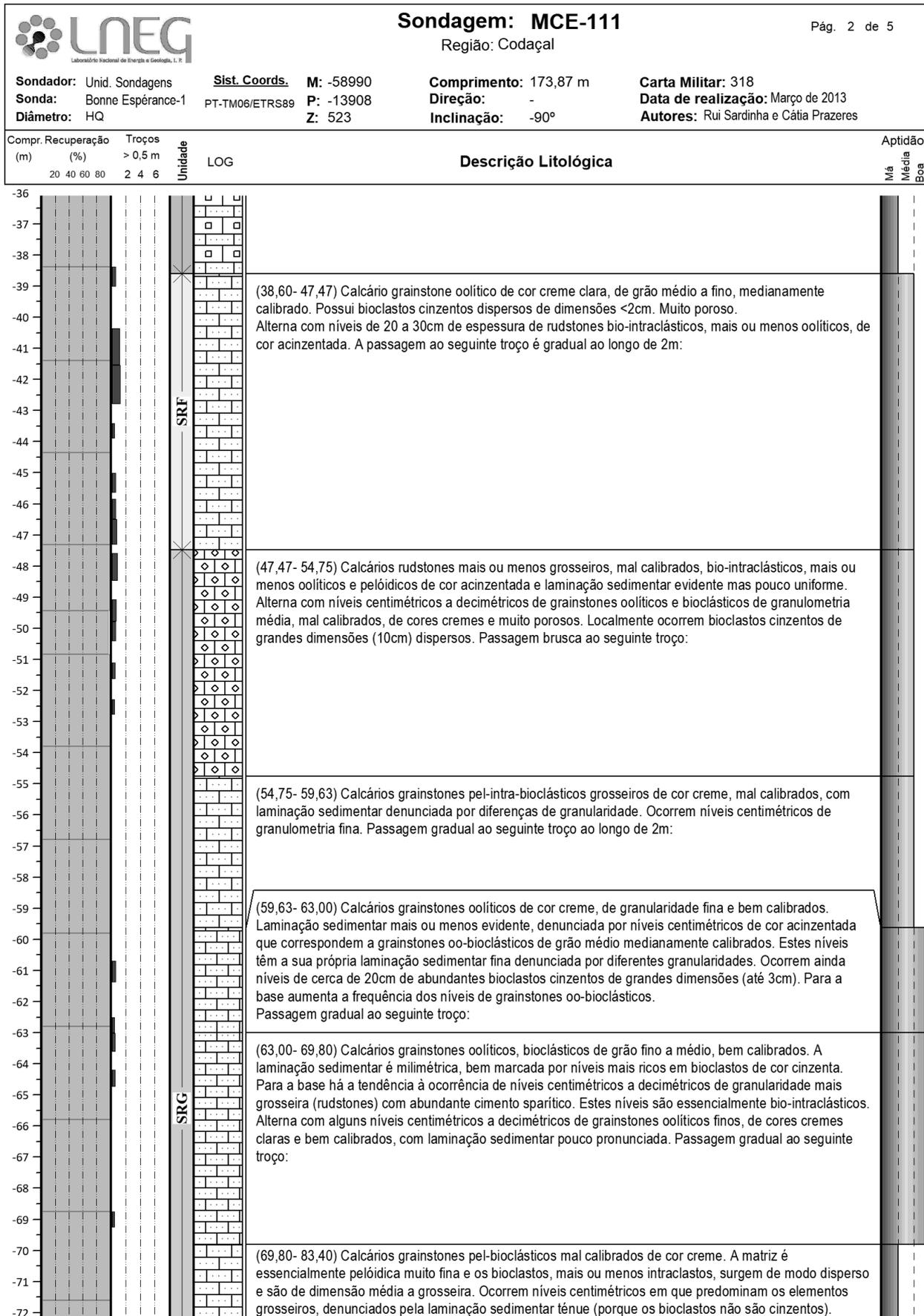


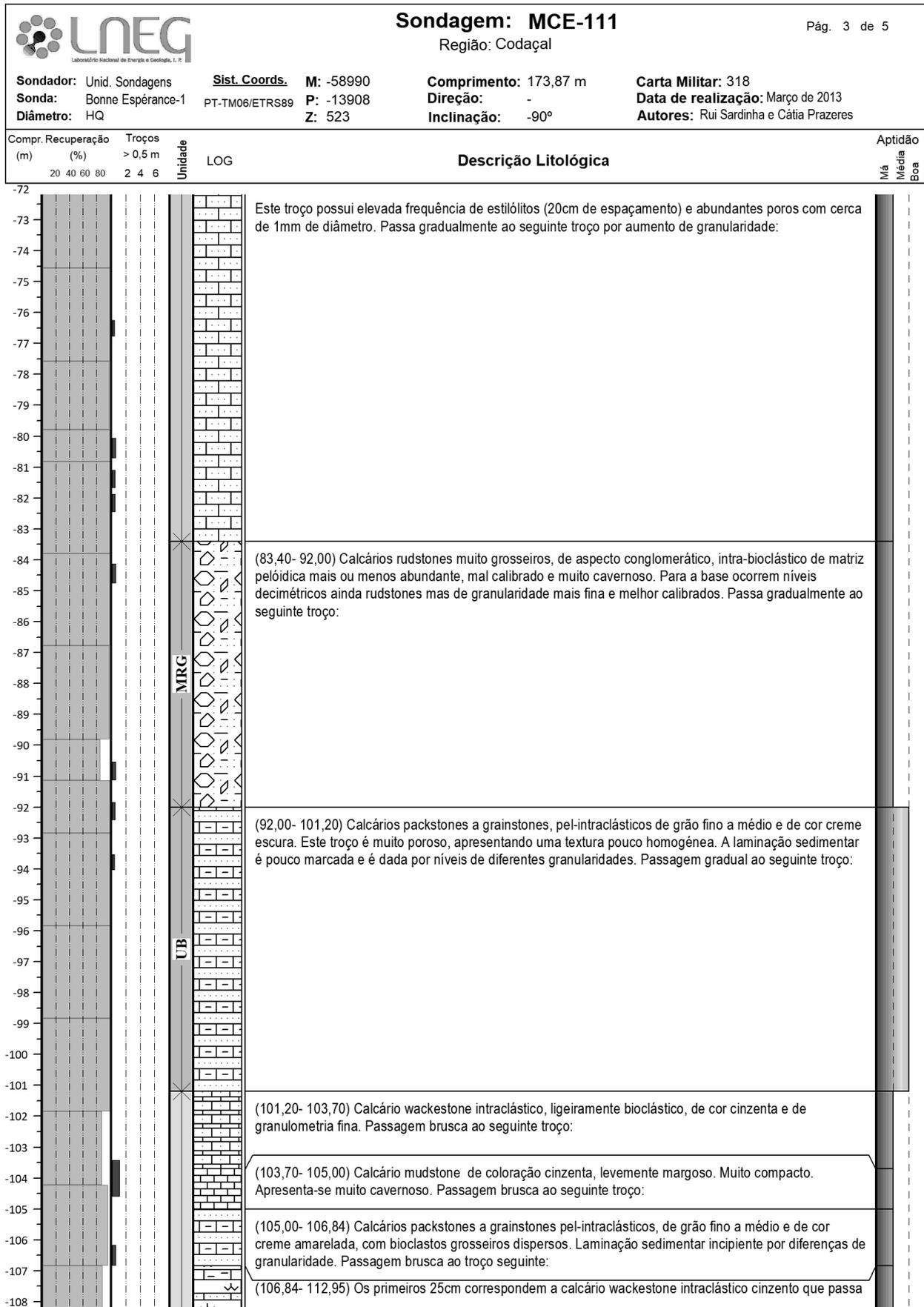


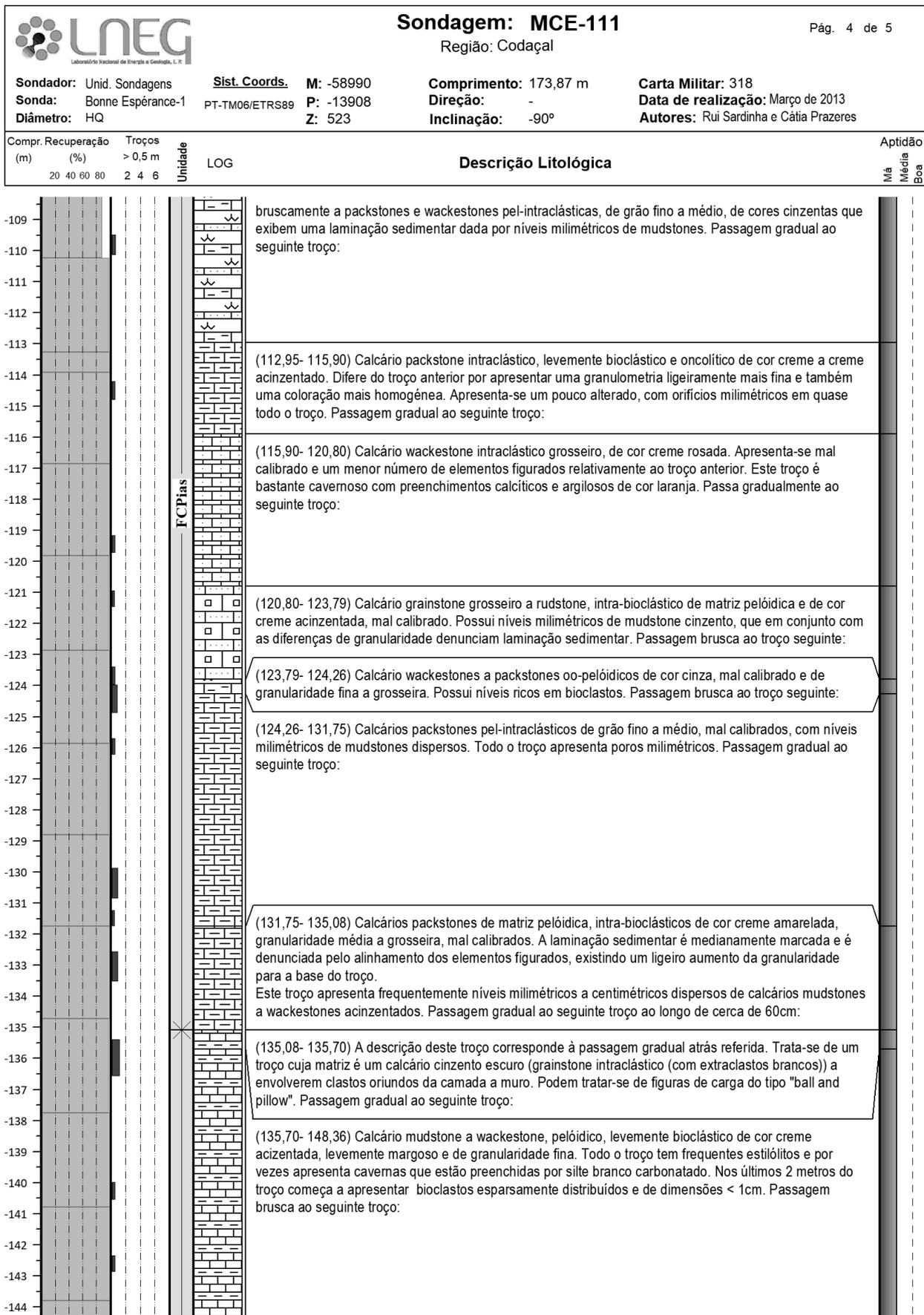


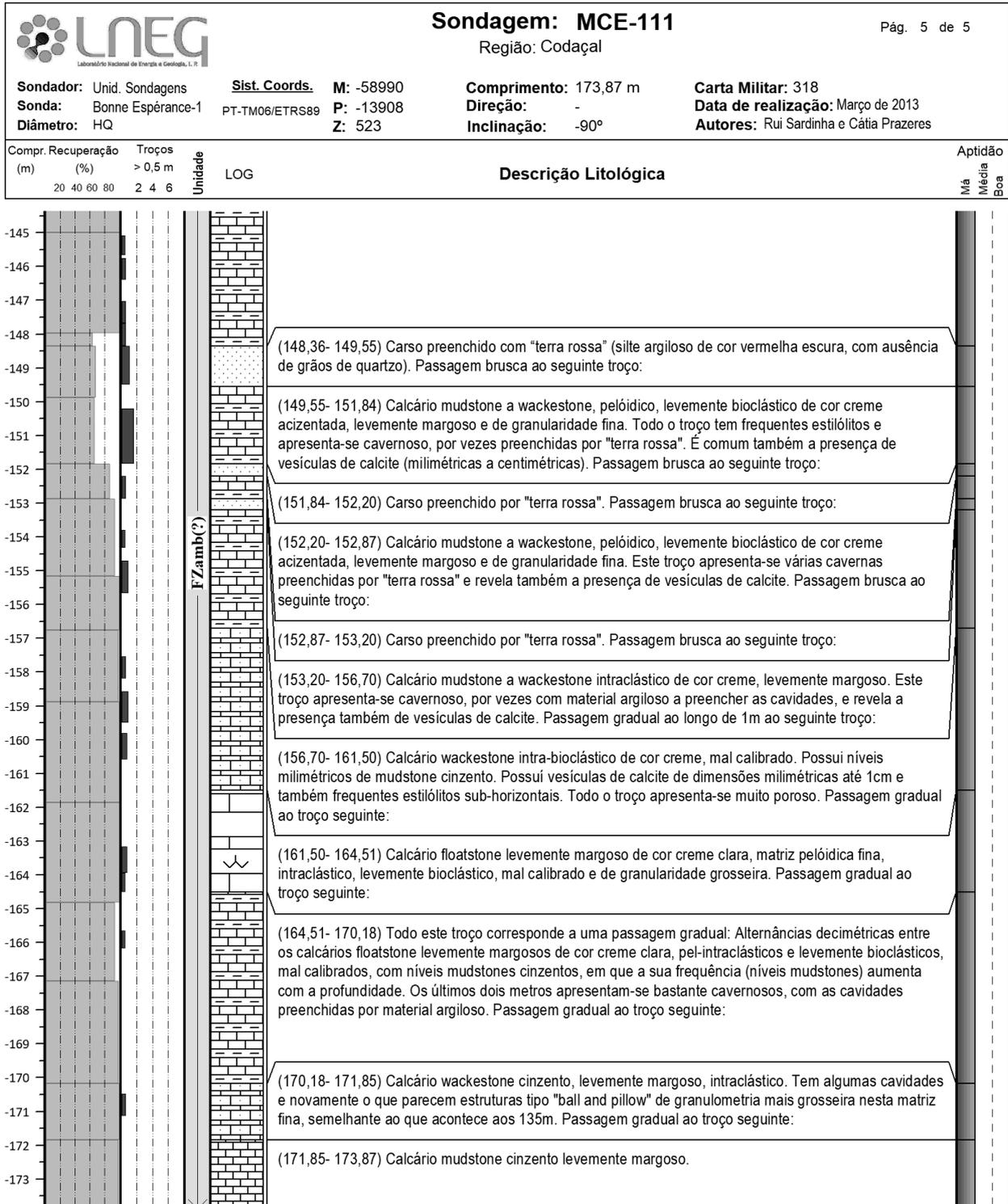




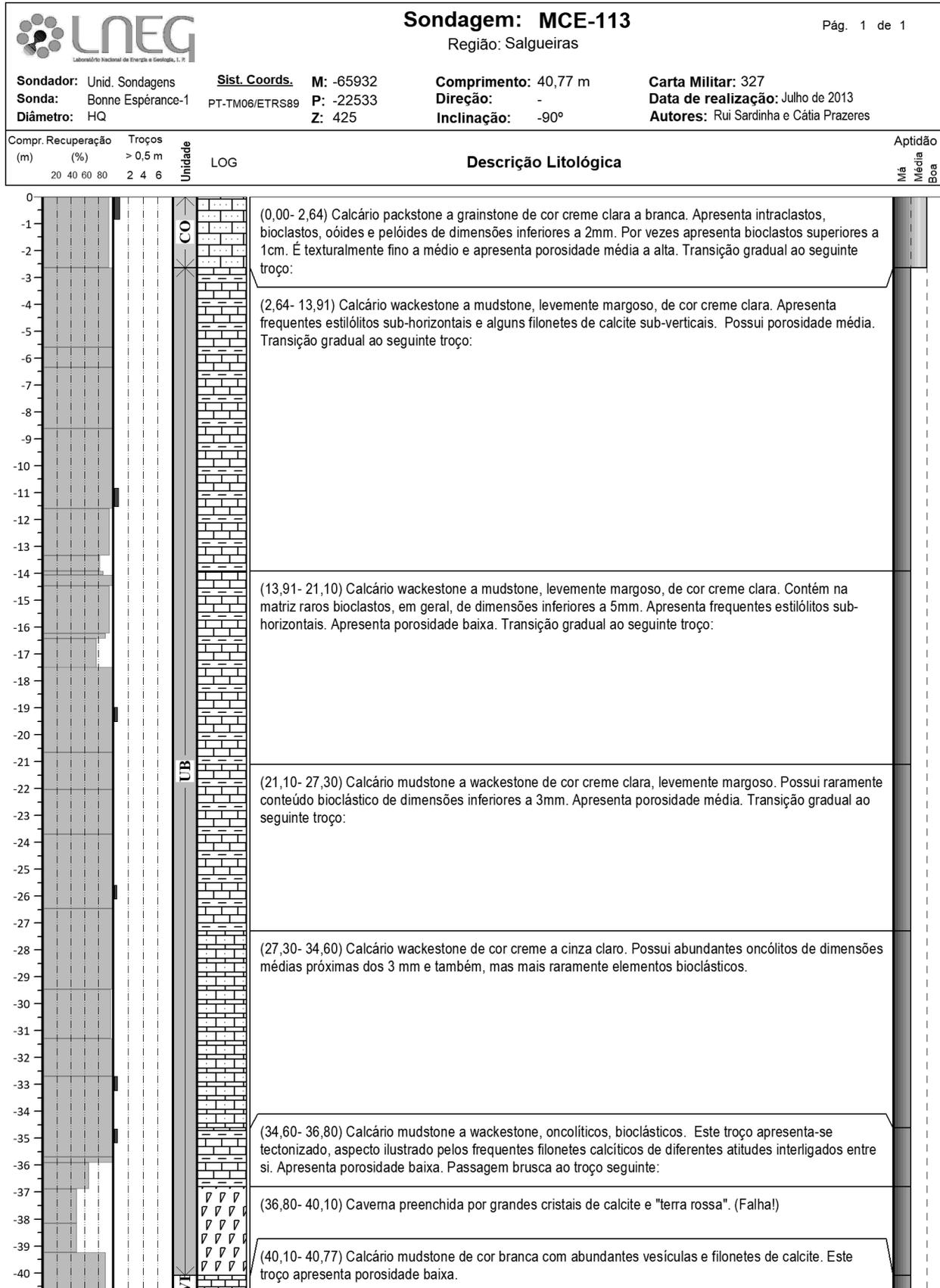


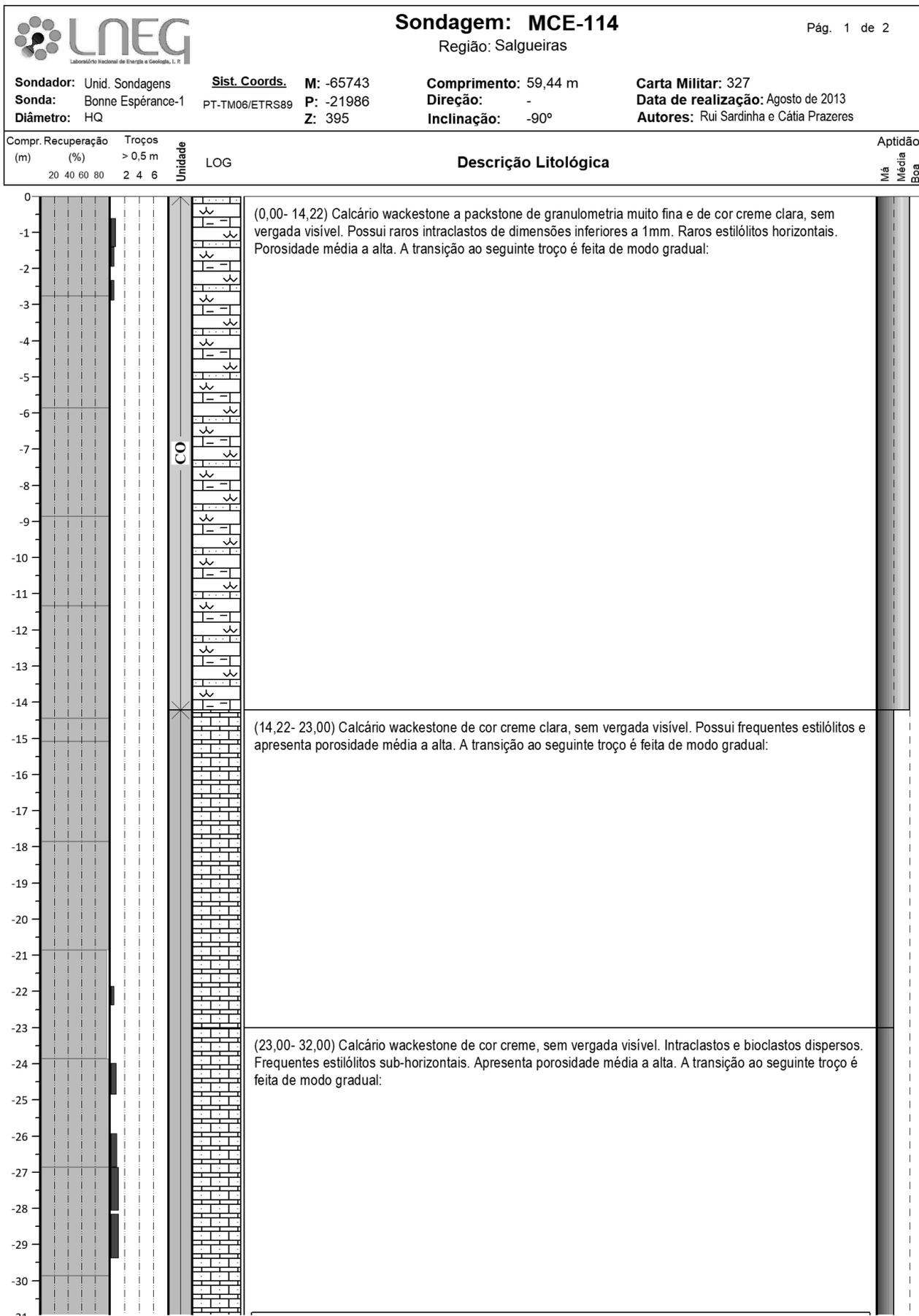


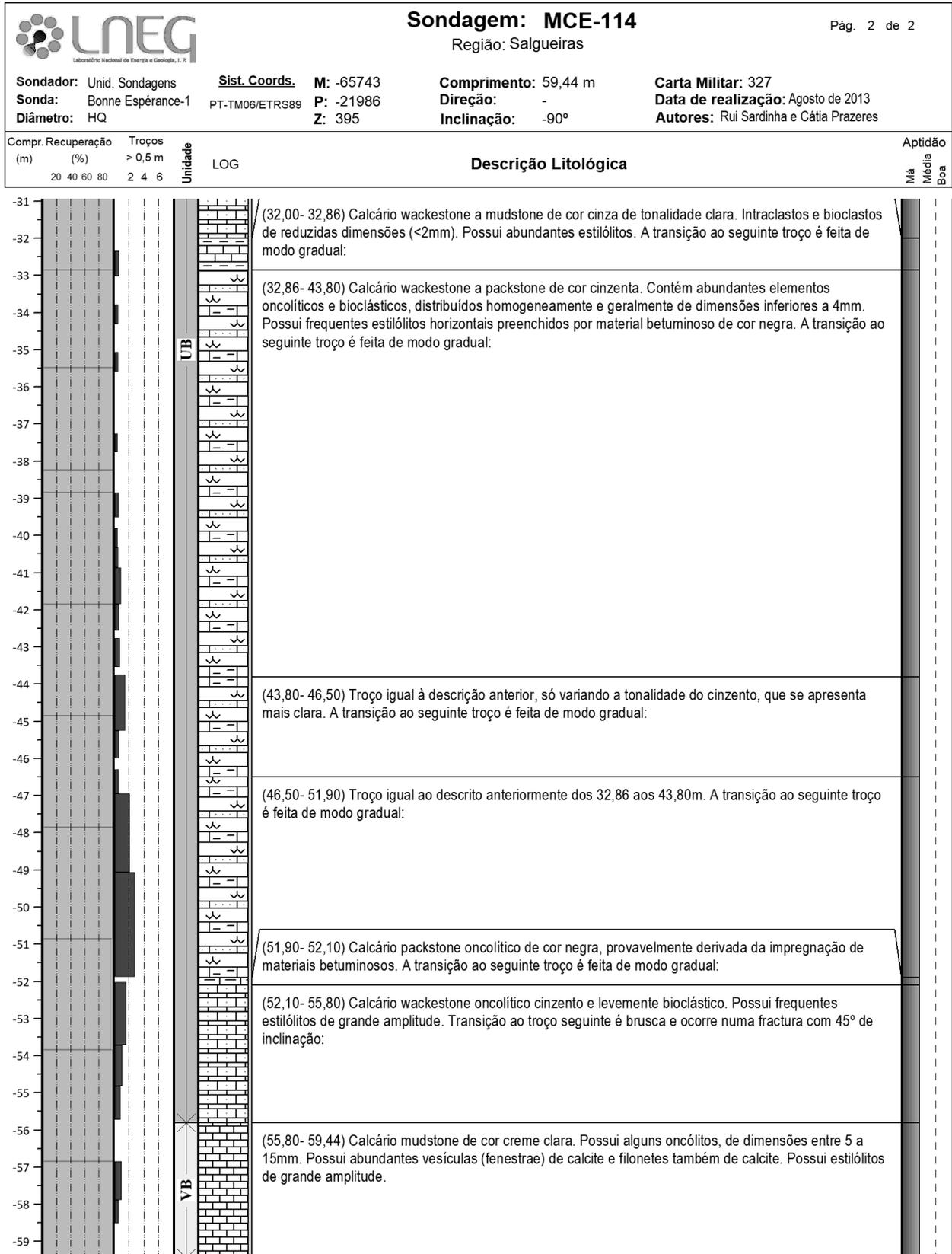




ÁREA DE PORTELA DAS SALGUEIRAS







ÁREA DE CABEÇA VEADA

