

## **Contribution to the study of Fe-Ti mineralization from S. Torpes beach (Sines, Setúbal, Portugal)**

MOURA, A.<sup>1</sup> and PINTO, F.<sup>2</sup>

(1) Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Centro de Geologia da Universidade do Porto. Rua do Campo Alegre 4167-007 Porto, Portugal

(2) Mestrando no 2º Ciclo em Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Portugal) em 2012-13.

### **Abstract**

Three samples from the natural heavy concentration of the upper back sands at S.Torpes beach was analysed by microscopy, MEV and microprobe in order to characterize the mineralogical composition of the ore minerals. Because of the strong homogeneous granulometry the sand was only divided in two fractions, above and below the 125 micron sieve. Each fraction was subjected to magnetic separation by magnet hand and heavy liquid (bromoform). The paramagnetic fraction was subjected to Frantz electromagnet. Magnetic and paramagnetic fractions were studied in reflection microscopy, SEM and electronic microprobes. These techniques showed that the heavy fraction of these sands is composed on average by magnetite (71%), ilmenite (12%), hematite (8%) and mixed grains (9%). Textural aspects of the three main mineral compositions as well as its chemical composition and structural formula were further characterized. We also identified minor amounts of monazite and alteration minerals (rutile, psudorutile, ilmenorutile and titanite) and sulphides, all in very small amounts. It was possible to determine the mineralogical “average” composition of the sand combining the results of this study with the study of Pombo et al. (2006).

**Key words:** Sines; beach; opaque minerals; ilmenite; magnetite.

## 1. INTRODUÇÃO

A praia de S. Torpes (concelho de Sines, distrito de Setúbal) encerra a única ocorrência significativa de areias titaníferas da costa ocidental da Península Ibérica. No intuito de melhor conhecer esta mineralização, foi feito um estudo de caracterização dos concentrados naturais de minerais pesados. O trabalho de CASTRO LEANDRO (1942) constitui, tanto quanto sabemos, o único estudo efectuado sobre esta ocorrência de Fe-Ti. Trata-se de uma “breve notícia” na qual o autor refere a localização, enquadramento geológico, bem como a existência de magnetite e ilmenite na areia e fornece uma análise química das areias negras. O local aparentemente só voltou a ser estudado já este século, em dois trabalhos de cariz sedimentológica (POMBO et al., 2006 e CASCALHO et al., 2006). No primeiro desses estudos os autores amostraram quatro locais dos quais o denominado G3 corresponde à área da praia de S. Torpes. Nesse trabalho os autores caracterizaram apenas a fracção de minerais pesados transparentes. CASCALHO et al., 2006 estudaram cerca de três dezenas de amostras de praia e da plataforma continental entre Caminha e Vila Real de Santo António, das quais três da área emersa da costa próxima de Sines. Ambos os trabalhos tiveram como objectivo caracterizar os processos de dinâmica costeira através do estudo de associações de minerais pesados transparentes.

O presente trabalho tem como principal objectivo caracterizar os minerais pesados opacos (metálicos) das areias titaníferas da praia de S. Torpes (Fig. 1) tendo como objecto de estudo uma amostragem de concentrados naturais colhidos *in situ*.

## 2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

## REGIONAL

A geologia da área é dominada pelo maciço magmático máfico de Sines que aflora a cerca de 8 Km da praia de S. Torpes. Na área da praia e da duna correlativa, são abundantes os sedimentos soltos (areias e cascalhos) de idade Plistocénico - Holocénico (INVERNO et al., 1993), que estão assentes sobre estratos metassedimentares do Mesozóico e do Paleozóico tendo estes uma distribuição muito limitada, em afloramento, na área. O maciço ígneo de Sines é um complexo gabro-diorítico zonado, com cerca de 10 km<sup>2</sup> de área emersa que se prolonga alguns quilómetros para ocidente, sob o mar. O maciço foi estudado por CANILHO (1972, 1989). Fazem ainda parte do maciço, sienitos distribuídos na parte externa, e filões de brechas ígneas de natureza básica.

## 3. METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia compreendeu duas partes, uma fase inicial em que se utilizaram técnicas de preparação das amostras (fase 3.2 a 3.5) e uma fase posterior de técnicas de análise (3.6 a 3.9).

### 3.1. Amostragem

A praia de S. Torpes tem um alinhamento NNW-SSE e dimensões médias de 1500 x 50 km (Fig. 2). Foram colhidas dez amostras na camada de areias negras superficial (concentrado natural com ~3cm de espessura). De modo a diminuir a contaminação com minerais transparentes, teve-se o cuidado de recolher material no centímetro mais superficial. A amostragem foi efectuada num período entre marés-vivas, altura em que o

concentrado natural de minerais pesados é mais espesso. As amostras foram colhidas espaçadas ~100 m ao longo do alinhamento

médio da praia. Foram estudadas três dessas amostras, tomadas aleatoriamente.

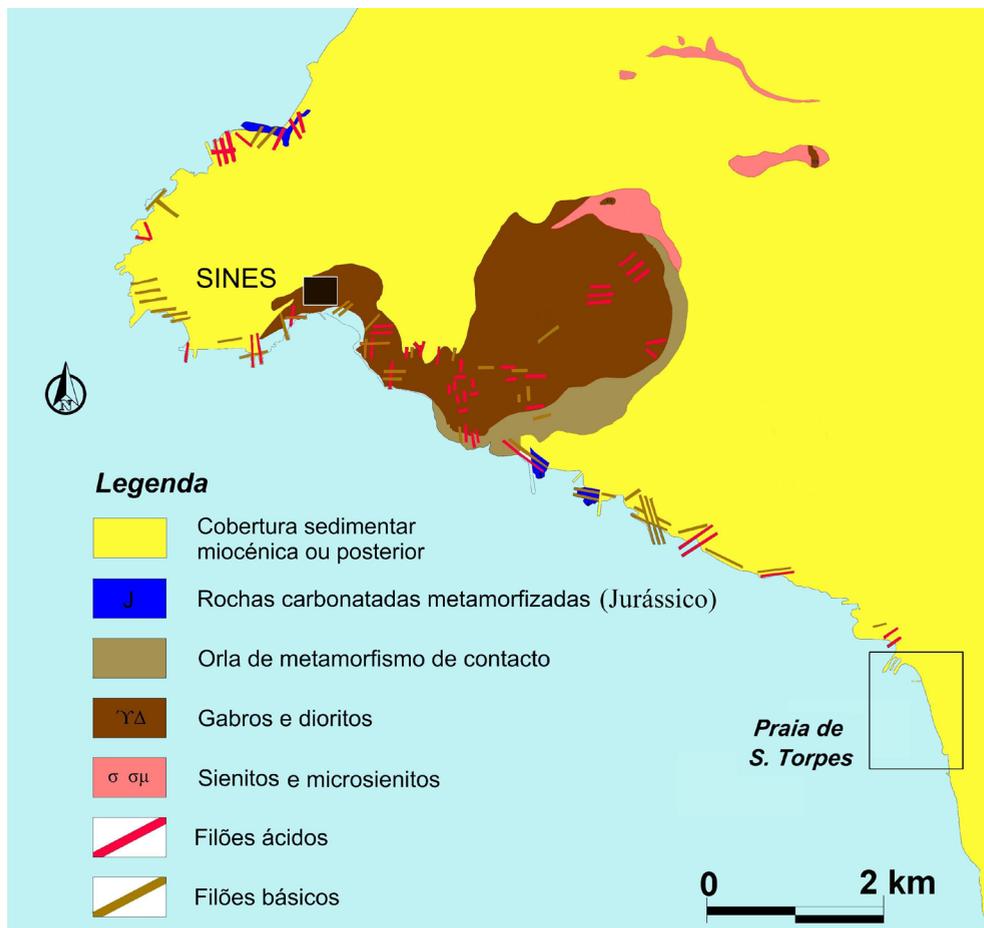


Fig. 1. Mapa geológico simplificado da região. Baseado em Inverno et al., 1993.

### 3.2. Separações granulométricas

Numa observação macroscópica é notório que a areia é bastante bem calibrada e que o diâmetro do seu grão corresponde a uma areia fina. No intuito de determinar a distribuição da areia por diferentes fracções granulométricas utilizamos os peneiros de malha 250, 125 e 63 micra. Posteriormente, face aos resultados obtidos (ver mais à frente) optamos por considerar apenas duas fracções: maior e menor que 125 micra.

### 3.3. Separações com íman de Nd-Fe-B

Dado que as amostras correspondiam a concentrados naturais, quase completamente negros e em grande parte constituídos por magnetite, optamos por fazer uma separação dessa componente altamente magnética. Este procedimento foi efectuado de modo a otimizar o funcionamento do separador electromagnético *Frantz*. Simultaneamente conseguiu-se assim diminuir a quantidade de amostra submetida à separação por líquidos pesados. Na separação por íman de mão, colocou-se cada fracção de cada amostra numa superfície plana e horizontal com uma área suficientemente grande de modo a permitir que os grãos ficassem suficientemente espaçados entre si. Este procedimento teve em vista diminuir a hipótese de se atraírem minerais com fraca susceptibilidade magnética, “arrastados” pelos mais magnéticos.

### 3.4. Separações por líquidos pesados

O líquido denso utilizado foi o bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ) a 96%, que apresenta uma densidade de 2,89. Este fluido faz com que as partículas de densidade inferior flu-

tuem, as de superior afundem e as de igual, permaneçam em suspensão. Permite em particular a eliminação do quartzo, feldspato e mica.

### 3.5. Separações electromagnéticas

Foi utilizado um electroíman isodinâmico *Frantz* de 115V e 2,5A. Fizeram-se passar cada uma das fracções não atraídas pelo íman de mão. Utilizaram-se inclinações entre 10° e 15° para um e outro eixo do aparelho, e uma amperagem de 1,1A a que corresponde uma potência de 125W. O objectivo desta técnica é separar cada amostra em duas fracções, uma paramagnética e outra diamagnética (por vezes designada não magnética).

### 3.6. Estudo na lupa binocular

Esta técnica foi utilizada para aferir a *performance* do separador *Frantz*, isto é para garantir a eficácia da amperagem aplicada às amostras em estudo.

### 3.7. Estudo metalográfico (microscopia em luz reflectida)

Foi uma das técnicas mais importantes utilizadas na identificação e caracterização dos grãos de minerais pesados opacos presentes nas amostras. Permitiu também estimar as proporções relativas das diferentes fases minerais em cada fracção e no total da amostra.

Na fracção magnética de cada amostra identificaram-se 300 grãos da fracção < 125 micra e 300 grãos da fracção > 125 micra. Na fracção paramagnética, e para cada amostra, estudaram-se 100 grãos de cada uma das fracções maior e menor que 125 micra.

### 3.8. Microscopia electrónica de varrimento (MEV)

Foi utilizado um microscópio de modelo JEOL JSM 35C / Noran Voyager, do Centro de Materiais da Universidade do Porto (CEMUP), na observação de imagens produzidas por electrões retrodifundidos (ER). Foram observadas as amostras em lâmina delgada polida da fracção paramagnética e em secção polida da fracção magnética, ambas da granulometria maior que 125 micra.

### 3.9. Análises na microsonda electrónica

Foi utilizado uma microsonda de modelo JEOL JXA-8500 F equipada com 5 espectrómetros WDS (*wavelengths dispersive spectrometer*) com 10 cristais analisadores e um espectrómetro EDS (*energy dispersive spectrometer*) do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Foram efectuadas cerca de duas dezenas de análises pontuais em vários grãos de três amostras (duas

da fracção magnética e uma da paramagnética). O uso desta técnica teve como principal objectivo identificar pequenas inclusões e intercrescimentos em vários minerais, bem como obter análises químicas pontuais dos elementos principais das fases analisadas.

## 4. RESULTADOS

Face à homogeneidade da granulometria da areia, utilizamos algumas amostras num teste passando cada uma delas pelos três peneiros referidos no ponto 3.2. Oitenta e nove por cento da massa das amostras passaram no peneiro 250 micra e menos de 1% passou no peneiro de 63 micra. Visto que a fracção > 250 micra correspondia apenas a 11% (em peso) das amostra-teste e por não ser provável que a fracção granulométrica imediatamente inferior tivesse uma mineralogia diferente, optamos por utilizar apenas o peneiro 125 micra na separação granulométrica, ficando assim com uma fracção superior e outra inferior a este calibre (Fig. 3).

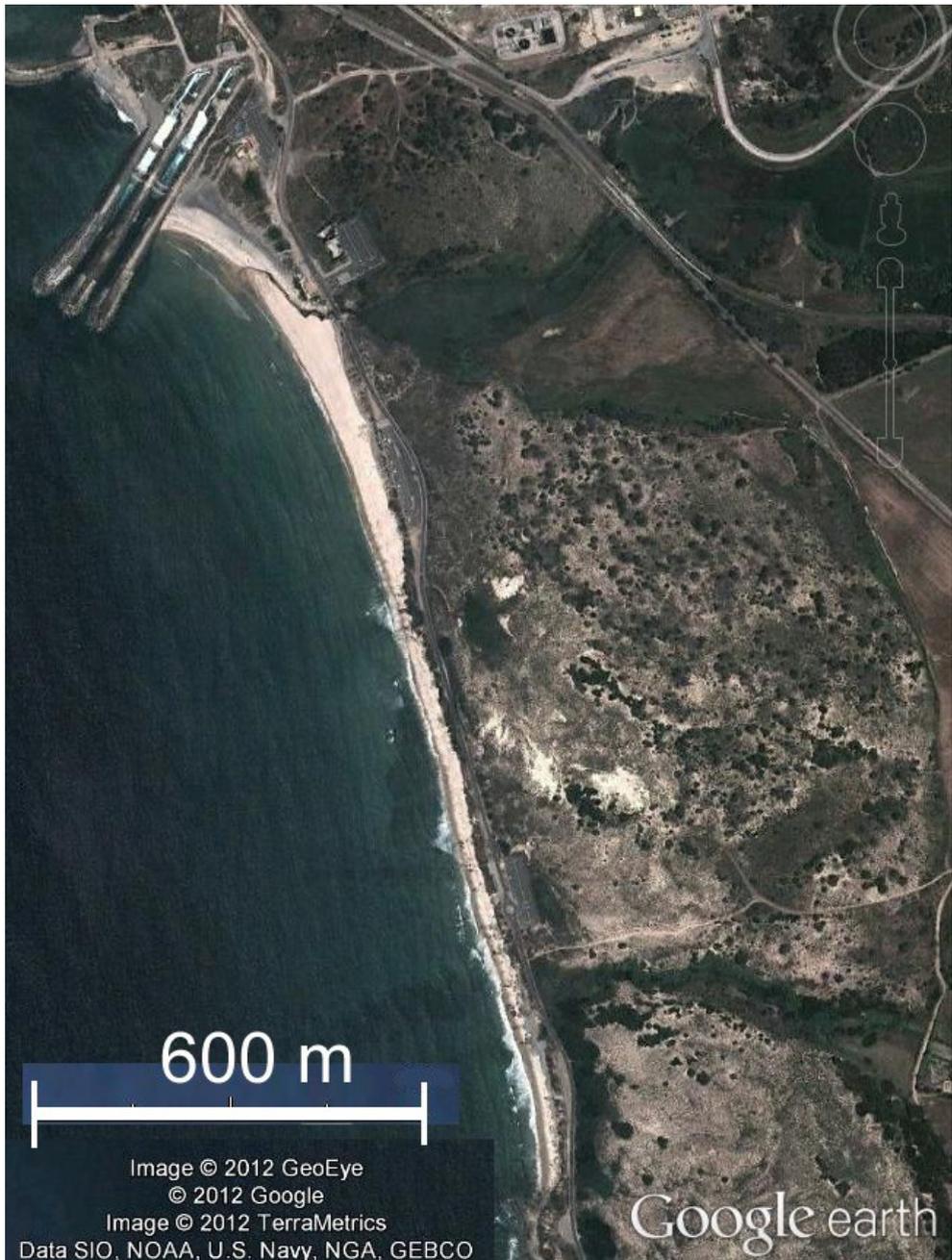


Fig. 2. Imagem Google Earth da praia de S. Torpes.

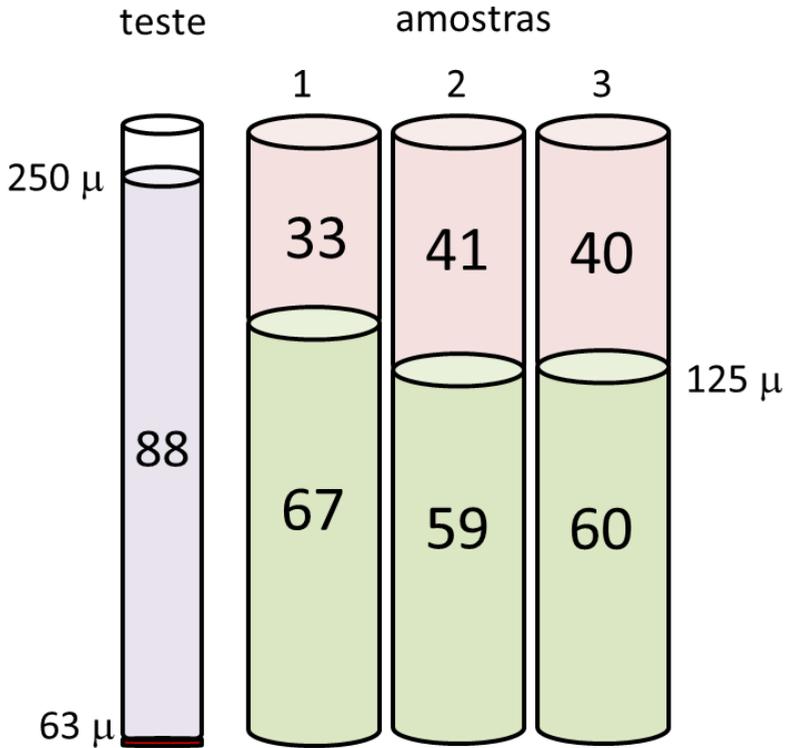


Fig. 3. Granulometria (em percentagem) das amostras estudadas em função do peneiro 125 micra. À esquerda encontra-se representada o fracionamento granulométrico obtido em quatro amostras teste em que se usaram os peneiros 250 e 63 micra no intuito de estimar a quantidade de material acima e abaixo daqueles peneiros.

Tendo em vista separar os minerais pesados dos restantes, passou-se cada uma das quatro fracções de cada amostra (Tabela 1) no bromofórmio. Verificou-se, como esperado, que a quase totalidade dos grãos das fracções magnéticas apresentavam uma densidade superior à do líquido, afundando. Em cinco de seis amostras remanescentes (cuja areia não foi atraída pelo íman de mão) verificou-se uma situação idêntica, tendo afundado 99,50% dos grãos.

Na outra amostra verificou-se que 37 % em peso (5,2 g) eram de areias menos densas que o bromofórmio. Assim, verificamos que apenas numa das amostras (amostra 1) foi incorporada, na amostragem efectuada no terreno, uma percentagem de minerais leves (14%) com alguma relevância. Tendo em vista a separação por susceptibilidade magnética dos grãos, sujeitaram-se as fracções que não foram atraídas pelo íman de mão à ação do separador eletromagnético (Tabela 2).

Amostra	< 125 micra		> 125 micra		TOTAL	
	mag.	rem.	mag.	rem.	mag.	rem.
<b>1</b>	84%	16%	43%	56%	57%	43%
	12,741 g		25,674 g		<b>38,415 g</b>	
<b>2</b>	43%	57%	23%	77%	31%	69%
	15,684 g		23,086 g		<b>38,770 g</b>	
<b>3</b>	47%	53%	23%	77%	33%	67%
	15,315 g		22,901 g		<b>38,216 g</b>	

Tabela 1. Pesos das diferentes frações das amostras analisadas (mag. – fração atraída pelo íman de mão; rem. – fração remanescente não atraída pelo íman de mão).

Amostra	<125 micra remanescente		>125 micra remanescente		TOTAL remanescente	
	Paramag.	Diamag.	Paramag.	Diamag.	Paramag.	Diamag.
<b>1</b>	83	17	92	8	<b>91</b>	<b>9</b>
	13	3	35	11		
<b>2</b>	92	8	63	37	<b>73</b>	<b>27</b>
	53	5	49	29		
<b>3</b>	90	10	61	39	<b>70</b>	<b>30</b>
	48	5	48	31		

Tabela 2. Resultados, em percentagem, da separação pelo eletroímã Frantz, das amostras remanescentes, correspondentes ao material que não foi atraído pelo íman de mão. Paramag.- fração paramagnética, Diamag.- fração diamagnética. Os valores inferiores dizem respeito à percentagem de acordo com o total da amostra (soma das frações Paramag. + Diamag. + Magnética).

O estudo metalográfico das frações magnética e paramagnética de cada uma das frações (<125 micra e >125 micra), totalizou a identificação de 1800 grãos opacos correspondente à fração magnética e 600 minerais opacos da fração paramagnética. Como se verifica nos histogramas da Fig. 4, não houve uma diferença significativa na composição mineralógica das frações maior e menor que 125 micra. Verifica-se assim que a fração magnética é composta por ~78% de magnetite e ~7% de ilmenite. A fração para-

magnética compreende ~52% de magnetite e ~28% de ilmenite. Na globalidade das frações magnética e paramagnética verifica-se a existência de ~71% de magnetite, ~12% de ilmenite, sendo os restantes ~17% constituídos por hematite (8%), grãos de ilmenite com magnetite (5%), grãos de hematite com magnetite (2%) e grãos de ilmenite com hematite (2%).

Os estudos no MEV foram efetuados sobre as frações paramagnética e magnética. Foram identificados grãos de mag-

netite, hematite, ilmenite, rútilo, monazite, titanite, enstatite e biotite. Obteve-se também uma análise semi-quantitativa e pontual em vários grãos. Em cinco análises em magnetites verificou-se que o teor em titânio variava no intervalo 2-7 % e o teor em ferro entre 56 e 70 %. Em 11 análises efectuadas em grãos de ilmenite verificou-

se que o teor em titânio variava entre 30 e 37 % e o de ferro entre 22 e 38 %. Em quatro análises efectuadas em grãos de rútilo observaram-se teores de 43 a 58 % Ti e <1 a 12 % Fe. Obtiveram-se num grão de monazite valores em terras raras de 6 e 12 % La, 14 e 25 % Nd, 25 e 33 % Ce, bem como 13-14 % de fósforo.

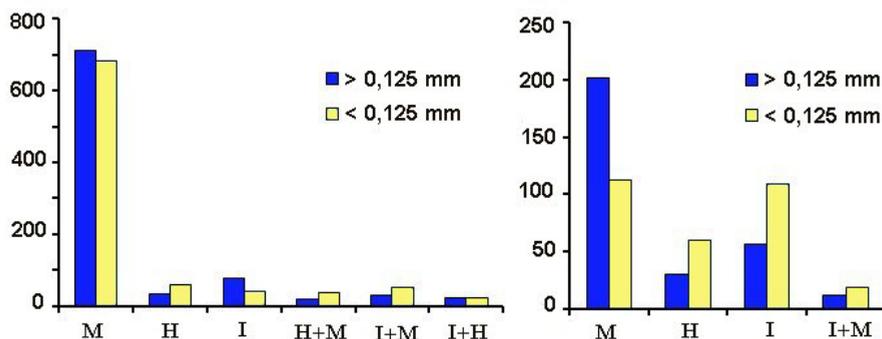


Fig. 4. Composição mineralógica de acordo com as observações no microscópio metalográfico. À esquerda a fração magnética, à direita a fração paramagnética. M- magnetite, I- ilmenite, H- hematite. H+M, I+M, I+H- grãos compostos.

Os estudos na microsonda eletrónica permitiram determinar a composição química pontual em vários grãos de magnetite, ilmenite, hematite e grãos compostos por diferentes fases. Deste modo foi possível precisar o tipo de alteração presente em grãos de ilmenite, como sendo pseudorútilo ( $\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$ ), ilmenorútilo [ $(\text{TiNbFe})\text{O}_2$ ], rúti-

lo ( $\text{TiO}_2$ ) e titanite ( $\text{CaTiSiO}_5$ ). Foram ainda identificados grãos de monazite ( $\text{CePO}_4$ ) e grãos mirmequíticos de magnetite e clorite.

Na tabela 3 apresentam-se os resultados de quatro análises em magnetites e quatro em ilmenites, e respetivas fórmulas estruturais. O teor em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  foi estimado atendendo ao método de DROOP (1987).

	ilmenites				magnetites				hematite
	2	3	4	5	1	4	9	10	2
SiO <sub>2</sub>	-	0,047	-	-	0,032	0,002	0,010	0,069	1,762
TiO <sub>2</sub>	48,190	47,660	45,530	52,270	2,820	3,590	20,780	4,690	1,198
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,049	0,035	0,049	0,060	0,332	0,185	2,480	3,430	1,583
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,015	-	0,012	0,097	0,010	0,083	0,000	0,022	0,004
NiO	0,047	-	-	-	-	-	0,047	0,033	0,004
BaO	0,057	-	-	-	-	0,053	0,222	0,067	-
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,192	0,142	-	0,323	-
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,105	-	0,027	0,145	0,014	-	-	-	0,028
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,084	7,558	13,438	0,408	63,175	61,732	70,740	54,889	93,742
FeO	39,386	38,649	39,488	44,783	33,474	34,223	0,994	35,290	-
MnO	1,630	1,970	1,141	1,052	0,105	0,169	0,994	0,077	0,056
MgO	1,252	1,239	0,156	0,722	0,195	-	0,209	0,157	0,062
ZnO	0,095	0,032	0,055	-	-	0,062	0,173	0,186	0,093
CaO	0,019	0,027	-	0,019	-	-	0,013	-	0,073
Total	98,929	97,217	99,897	99,555	100,349	100,240	96,663	99,233	98,605

	ilmenites				magnetites				hematite
Si	-	0,002	-	-	-	0,001	-	0,003	0,046
Ti	1,840	1,850	1,740	1,984	-	0,006	0,004	0,010	-
Al	0,003	0,002	0,003	0,004	0,592	0,081	0,103	0,134	0,024
Cr	0,001	-	-	0,004	0,111	0,015	0,008	0,153	0,049
V	-	-	-	-	0,003	-	0,001	0,001	-
Fe <sup>3+</sup>	0,309	0,294	0,514	0,016	0,703	1,814	1,778	1,564	1,852
Nb	0,002	-	0,001	0,003	-	-	-	-	-
<b>Σ</b>	<b>2,155</b>	<b>2,148</b>	<b>2,258</b>	<b>2,010</b>	<b>1,410</b>	<b>1,917</b>	<b>1,895</b>	<b>1,864</b>	<b>1,971</b>
Fe <sup>2+</sup>	1,672	1,668	1,679	1,890	1,539	1,068	1,095	1,118	-
Mn	0,070	0,086	0,049	0,045	0,032	0,003	0,005	0,002	0,001
Mg	0,095	0,095	0,012	0,054	0,001	-	-	0,001	-
Ca	0,001	0,001	-	0,001	0,005	-	0,002	0,005	0,002
Ni	0,002	-	-	-	-	-	0,002	0,001	-
Ba	0,001	-	-	-	0,001	-	-	-	0,002
Zn	0,004	0,001	0,002	-	0,012	0,011	-	0,009	0,002
<b>Σ</b>	<b>1,845</b>	<b>1,852</b>	<b>1,742</b>	<b>1,990</b>	<b>1,590</b>	<b>1,083</b>	<b>1,105</b>	<b>1,136</b>	<b>0,008</b>

Tabela 3. Composições químicas e fórmulas estruturais de grãos de magnetite, de ilmenite e de hematite da areia da praia de S. Torpes (Sines). Fórmulas estruturais calculadas com base em 6 oxigénios para a ilmenite, 4 oxigénios para a magnetite e 3 oxigénios para a hematite. n.a.- não analisado.

Os estudos metalográficos permitiram obter uma estimativa semiquantitativa dos minerais opacos dos concentrados naturais das areias de S. Torpes. Como seria de esperar a magnetite domina a fracção magnética; no entanto verificou-se que 22 % dos grãos desta fracção não são de magnetite ou não têm magnetite na sua constituição. Na fracção paramagnética ainda ocorre uma parte significativa de magnetite mas a ilmenite e a hematite também ocorrem em quanti-

dade significativa (Fig. 4). Verifica-se ainda que não há uma diferença significativa entre a mineralogia das fracções maior e menor que 125 micra.

#### 4.1 Características petrográficas e químicas dos principais minerais opacos

A magnetite possui cor cinzenta, bom polimento, por vezes cristais idiomórficos, e frequentemente exsoluções de ilmenite (Fig.

5a,b). Alguns grãos apresentam texturas de mirmequite com silicatos (Fig. 5c). Existem uma grande variação no teor em titânio na magnetite, variando entre 1,2 e 20,8 %  $\text{TiO}_2$  (6 análises). As magnetites com maior teor em titânio podem ser consideradas titanomagnetites. Observam-se ainda alguns grãos euédricos a subédricos com duas fases. A **ilmenite** distingue-se da magnetite principalmente pela cor, rosa-castanho claro. Algumas exsoluções observadas em magnetites podem ser de ulvospinela ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ) fase que tem reflectância idêntica à da ilmenite (Fig. 5d). As magnetites titaníferas têm uma tonalidade muito parecida, mas diferenciam-se pelo pleocroísmo e anisotropia da ilmenite. Vários grãos apresentam manchas de alteração. A alteração completa-se em ilmenorútilo (Fig. 5e), pseudorútilo (Fig. 5f) e rútilo. Ainda que menos frequente foi observada alteração para titanite. A ilmenite possui entre 0,7 e 1,3 % de MgO e 1,1 e 2,0 % de MnO (Tabela 3), sendo estes metais os de teor mais elevado para além dos principais (ferro e titânio). Quer o magnésio quer o manganês

substituem o ferro na fórmula do mineral, podendo esta ser representada por  $(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})\text{TiO}_3$ . O teor em manganês é maior nas ilmenites que nas magnetites, como é habitual quando ambos os minerais resultam das mesmas rochas magmáticas (DEER et al., 2000). Por vezes são observadas inclusões de sulfuretos (pirite e calcopirite-Fig. 5g). A **hematite** é pouco frequente. Distingue-se da magnetite principalmente pela maior reflectância, pelo anisotropismo e por ter reflexões internas vermelhas. Observaram-se exsoluções de hematites em cristais de ilmenite (Fig. 5h). Uma porção importante de hematite foi observada na fração paramagnética; tal pode dever-se ao facto desses grãos possuírem pequenas quantidades de maghemite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) na sua estrutura (DEER et al., 2000). Três grãos de hematite analisados, apresentam como segundo metal o titânio, variando entre 1,0 e 3,6 %. Foram observados alguns grãos anédricos de **monazite** (Fig. 5i), com  $\sim 0,3$  mm, contendo inclusões de rútilo. Um grão de monazite analisado no MEV possuía cerca de 25 % cério e 25 % de neodímio.

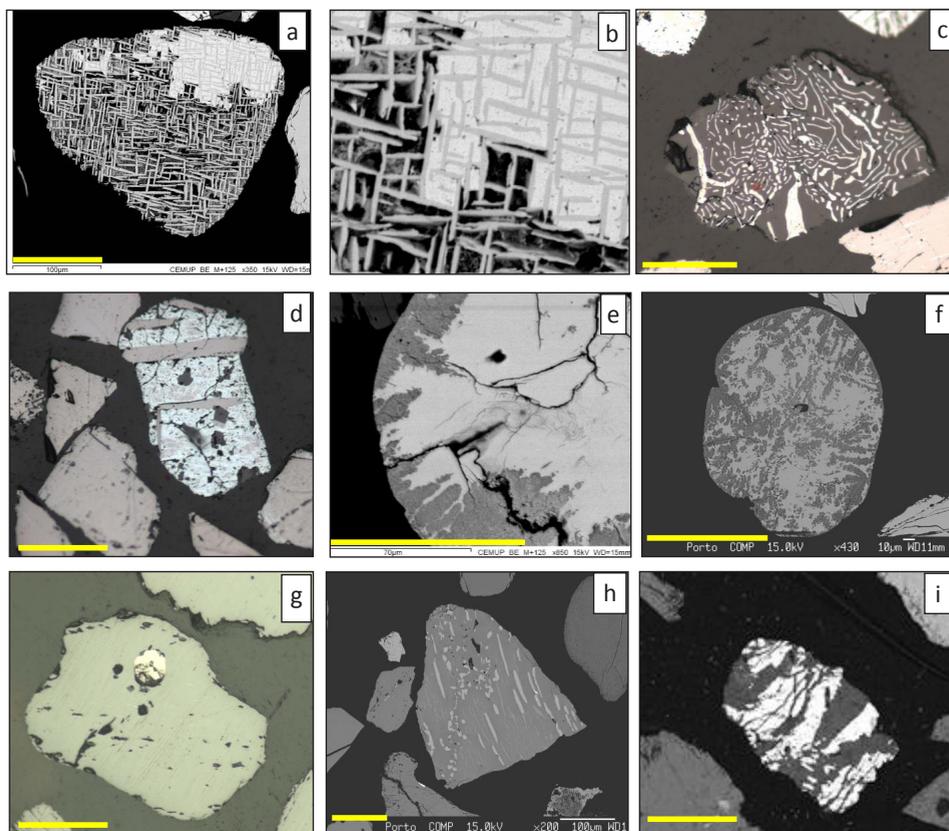


Fig. 5. Texturas dos grãos de minerais opacos das areias de S. Torpes (Sines). Imagens no microscópio de reflexão: c, d, e; imagens no MEV: a, b, f, i; imagens na microsonda: g, h. Escala gráfica = 0,1 mm.

- a. Exsoluções de ilmenite (trama) em magnetite;
- b. Pormenor da imagem “a” onde é notório o desaparecimento de parte da magnetite (cinza mais claro);
- c. Mirmequite de magnetite (cor clara) e ganga silicatada;
- d. Possível exsolução “tipo tecido” de ulvospinela em magnetite (branco azulado);
- e. Alteração da ilmenite (cor clara) para ilmenorútilo nas bordas de um grão;
- f. Alteração da ilmenite (cor clara) para pseudorútilo nas bordas de um grão;
- g. Inclusão de pirite (amarelo) em grão de ilmenite.
- h. Exsoluções de hematite em ilmenite;
- i. Monazite (cor clara) intercrescida com silicato.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

POMBO et al. (2006) numa investigação de certo modo complementar ao presente trabalho, estudaram a fração transparente (em lâmina delgada) dos minerais pesados de areias do *offshore* e de praias em redor de Sines. Na amostragem da praia a sul de Sines (2 amostras) e plataforma adjacente (4 amostras) concluíram que os grãos de minerais pesados constituíam entre 4,58 e 17,95 % (média de 11,30 %) do total da areia, dos quais 46 % eram minerais opacos.

Deduz-se portanto que a fração de minerais simultaneamente pesados e opacos perfaz, em média, 5,2 % do total da areia desta região. Conjugando o presente estudo, com o daqueles autores, é possível inferir a “composição mineralógica média” da areia da praia de Sines (Tabela 4).

Dada a proximidade, é de esperar que os minerais pesados tenham como proveniência o maciço máfico de Sines e o cortejo filoniano associado (Fig. 1) litótipos onde estes minerais constituem componentes principais.

	frações			Areia "média"
	leve	pesada transparente	pesada opacos	
	%	%	%	%
quartzo	50,11			44,448
moscovite*	2,33			2,067
agregados	5,75			5,100
outros terrígenos	3,5			3,105
fósseis	38,28			33,954
outros	0,03			0,027
piroxenas		62,95	33,993	3,841
anfíbolas		22,67	12,242	1,383
biotite		9,43	5,092	0,575
turmalina		1,78	0,961	0,109
andalusite		1,22	0,659	0,074
esfena		0,59	0,319	0,036
estauroilite		0,38	0,205	0,023
zircão		0,35	0,189	0,021
apatite		0,28	0,151	0,017
granada		0,15	0,081	0,009
epídoto		0,14	0,076	0,009
olivina		0,02	0,011	0,001
rútilo		0,02	0,011	0,001
OPACOS			46,000	
magnetite			71	3,691
ilmenite			12	0,624
hematite			8	0,416
mistos**			9	0,468
	100	99,98	99,989	100
				99,999

Tabela 4. Composição mineralógica média da areia da praia de S. Torpes, estimada conjugando o presente estudo com o de Pombo et al., 2006 (duas primeiras colunas). \* Descrita como “mica”; \*\* grãos compostos por duas ou mais fases, exceto grãos com exsoluções. Neste grupo incluem-se também pequenas quantidades de outros minerais nomeadamente monazite, titanite, rútilo e ilmenorútilo identificadas em MEV e/ou microsonda.

O presente estudo permitiu determinar a natureza dos minerais pesados e opacos e estimar a sua proporção relativa quer na fração pesada opaca quer na totalidade da areia (Tabela 4). O mineral mais importante é a magnetite, seguida da ilmenite. Ocorre ainda hematite. Observam-se por vezes grãos compostos por mais de uma fase. Em quantidade acessória ocorrem monazite, rútilo, pseudorútilo, ilmenorútilo e titanite.

Considerando a quantidade de ilmenite na fração pesada da areia (0,46 x 0,12 ou 5,52 %) e o teor em  $TiO_2$  da ilmenite (52,65 %  $TiO_2$ ), pode estimar-se que a areia da praia de S. Torpes possui o teor médio de 2,9 %  $TiO_2$  na fração de minerais pesados. Atendendo a que é muito fácil separar os minerais pesados da areia, bem como separar a ilmenite da magnetite, utilizando-se nos dois casos as propriedades físicas dos minerais, poder-se-à pensar um dia em aproveitar este recurso de titânio. Para isso basta que se prove o interesse económico da operação mineira, salvaguardando os interesses da administração local e central e o cumprimento da legislação sobre o impacto ambiental durante e após a extração. Obviamente que no caso de se pretender estudar a viabilidade económica desta ocorrência de titânio seria necessário desenhar um esquema de amostragem que abarcasse a totalidade do volume da praia. Para isso seria preciso estimar, previamente, a profundidade do *bedrock* por métodos geofísicos. O estudo deveria também abarcar a duna a montante da praia pois que é esperado a existência de mineralização idêntica nesta estrutura geomorfológica.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Eng. Carlos Sá do CEMUP e à Eng<sup>a</sup> Fernanda Guimarães

do LNEG o auxílio prestado na análise por MEV e microsonda eletrónica, respetivamente. Filipe Pinto agradece à Direção da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto ter-lhe concedido uma bolsa do Programa de Ensino Extra Curricular (PEEC) que lhe permitiu efetuar o presente trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANILHO, M. H. (1989). Elementos de geoquímica das rochas do maciço ígneo de Sines. Lisboa. *Ciências da Terra*, nº10, pp. 65-80.
- CANILHO, M. H. (1972). Estudo geológico-petrográfico do maciço eruptivo de Sines. *Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências* 12 (2), 77-161.
- CASCALHO, J., TABORDA, R., RODRIGUES, A., OLIVEIRA, A., POMBO, J., FRADIQUE, C. and BALSINHA, M. (2006). Os minerais pesados como indicadores dos processos sedimentares – alguns exemplos da plataforma continental portuguesa. *VII Congresso Nacional de Geologia*. Livro de Resumos vol. I. João Mirão e Ausenda Balbino Eds. pp. 381 – 384.
- CASTRO LEANDRO, G. (1947). Breve notícia sobre o jazigo de ferro-titânio da praia da S. Torpes (Sines). *Estudos, notas e trabalhos* vol. III (4) pp., 212-216.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. and ZUSSMAN, J. (2000). Minerais constituintes das rochas- uma introdução. *Fundação Calouste Gulbenkian*. ISBN: 9789723108460.
- DROOP, G. T. R. (1987). A general equation for estimating  $Fe^{3+}$  concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, musing stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine* 51, 431-435.

- INVERNO, C. M. C., MANUPPELA, G., ZBYSZEWSKI, G., PAIS, J. and RIBEIRO, M. L. (1993). Carta geológica de Portugal, escala 1/50.000. Notícia explicativa da folha 42-C, Santiago do Cacém. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 75p.
- POMBO, J., CASCALHO, J., RODRIGUES, A., TABORDA, R. and OLIVEIRA, A. (2006). The Sines sub-volcanic intrusive complex: imprint on the inner shelf sedimentary cover (Sines, Portugal). *Brasil. Journal of Coastal Research*, 39, pp. 250 -254. Droop, 1987.