



## UTILIZAÇÃO DE MINERAIS PESADOS COMO TRAÇADORES DA DINÂMICA LITORAL: APLICAÇÃO AO SECTOR DE SINES

Maria João Balsinha<sup>1</sup>; Joaquim Pombo<sup>1</sup>; João Cascalho<sup>2</sup>; Aurora Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Hidrográfico, R. das Trinas, nº 49, 1249-093 Lisboa

<sup>2</sup>Univer. de Lisboa, Museu Nacional História Natural, R. da Escola Politécnica, 1250-102 Lisboa

### Resumo

Os sedimentos presentes nas áreas costeiras, e em domínio da plataforma continental, são fortemente influenciados pela acção de processos oceanográficos, como as ondas, as correntes e as marés. Em resultado da actuação destes processos as partículas sedimentares são remobilizadas, transportadas e depositadas de acordo com o seu comportamento hidráulico, gerando-se depósitos sedimentares constituídos por diferentes populações de partículas.

O objectivo principal deste estudo é a utilização dos minerais pesados como traçadores do transporte sedimentar no âmbito dos processos dinâmicos litorais, com especial ênfase no sector do cabo de Sines.

Esta zona, que compreende as ribeiras circundantes e toda a zona litoral, até à cota -50 m, entre a Lagoa da Sancha e a Praia da Samoqueira, caracteriza-se pela existência do maciço ígneo de Sines, o qual constitui fonte de minerais característicos para os depósitos sedimentares móveis. Deste modo, os sedimentos litorais entre o Cabo de Sines e a Praia de S.Torpes deverão ser mais ricos em minerais pesados oriundos do maciço do que os sedimentos colhidos no extremo norte da área e nas zonas mais interiores, onde a influência desta fonte de materiais será mais reduzida.

Neste contexto, foram realizadas duas campanhas, uma na plataforma interna (Janeiro 2003) e outra na zona litoral adjacente (Janeiro 2004).

Com base nas amostras analisadas é possível subdividir a área de estudo em três áreas distintas: norte, centro e sul. Cada área reflecte diferentes características de dinâmica sedimentar, principalmente no que diz respeito às fontes sedimentares e aos processos de transporte.

A área a norte (zona entre a Lagoa da Sancha e o Cabo de Sines) é representada pelo grupo 1, onde a assinatura de minerais pesados é caracterizada pela elevada abundância de turmalina e de andaluzite (aproximadamente 60% dos minerais translúcidos).

A área central (zona do Cabo de Sines e a Praia de S.Torpes) é representada pelos grupos 2 e 3 sendo caracterizada por uma abundância extremamente elevada de piroxenas e anfíbolos (mais de 85% dos minerais translúcidos).

A área a sul (zona entre a Praia de S.Torpes e a Praia da Samoqueira) é representada pelo grupo 4, a turmalina e a andaluzite representam 46% enquanto que as piroxenas e as anfíbolos representam 42% dos minerais translúcidos.

Nestas áreas, o facto de todas apresentarem uma assinatura mineralógica distinta indica que as trocas sedimentares, entre elas, deverão ser pouco significativas.

A concentração elevada de piroxenas e de anfíbolos com formas angulosas a oeste e a sul do Cabo de Sines (área central) apontam para um transporte incipiente do sedimento nessa área dada a proximidade da principal fonte.

Na área sul, o cortejo de minerais pesados revela, ainda influência do maciço de Sines, pelo que é de supor a existência de transporte efectivo destes minerais oriundos de norte (da zona central).

Os resultados alcançados permitiram reforçar a tese de que os minerais pesados são excelentes traçadores da dinâmica sedimentar por permitirem identificar a fonte das partículas e sublinhar ainda os diversos processos de dinâmica sedimentar, nomeadamente processos de transporte, ciclos sedimentares e áreas de acumulação preferencial.

## 1. Enquadramento Geográfico

O sector estudado insere-se na zona litoral entre o estuário do Rio Sado e o Rio Mira, no sector sudoeste da Península Ibérica entre os paralelos 37° 52' N e 38° 02' N. Inclui, assim, o extremo sul da Reserva Ecológica do Parque Nacional do Estuário do Sado e a parte setentrional da zona de Paisagem Protegida da Costa Vicentina. Em termos fisiográficos compreende toda a zona litoral entre a Praia da Samouqueira e Lagoa da Sancha (Figura 1) estendendo-se em profundidade até à cota -50 m.

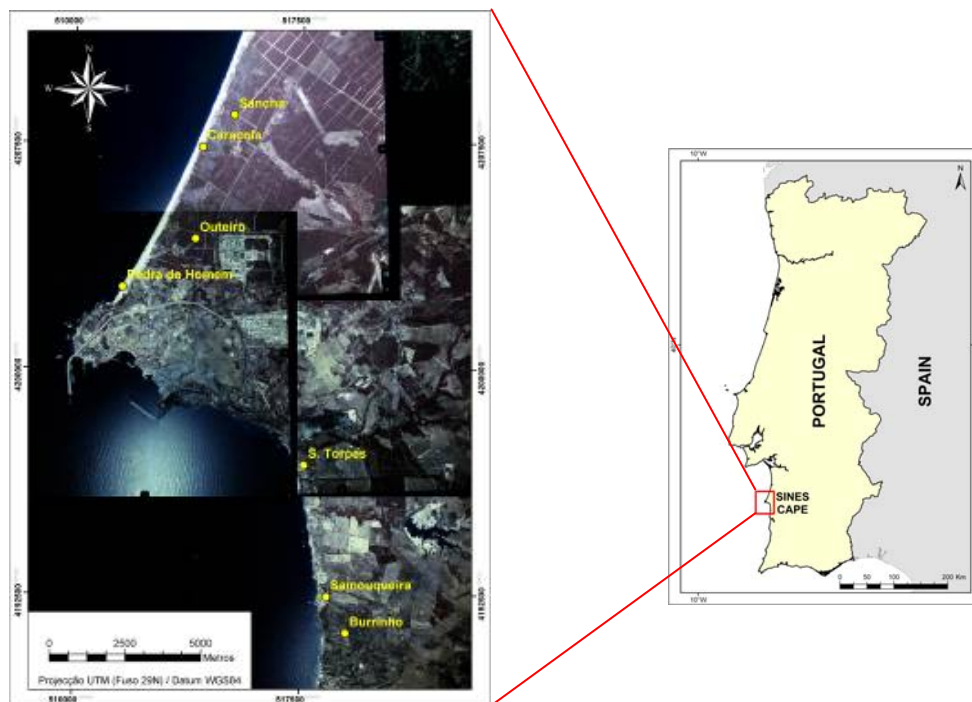


Figura 1. Enquadramento geográfico geral da área em estudo.

## 2. Enquadramento Geológico

De acordo com Inverno *et al.* (1993), a geologia da área emersa do maciço de Sines é dominada pela presença de uma cobertura sedimentar não consolidada composta por areias e cascalhos com idade compreendida entre o Plistocénico e o Holocénico. Esta cobertura encontra-se depositada sobre formações rochosas mais antigas de idade Paleozóica e Mesozóica.

As formações mesozóicas (rochas carbonatadas metamorizadas) afloram apenas numa área restrita do sector em estudo. As formações mais antigas são representadas por rochas metamórficas paleozóicas (xistos, xistos argilosos e grauvaques).

Um dos aspectos peculiares desta área prende-se com a existência de um complexo ígneo intrusivo cujas formações afloram quer no continente emerso, quer na plataforma continental interna adjacente.

Este complexo de forma elíptica e com orientação E-W é litologicamente constituído por um núcleo de gabros e dioritos passando, na periferia, a sienitos com quartzo. Todo o complexo de Sines é cercado por um campo vasto de filões de composição variável (Figura 2).

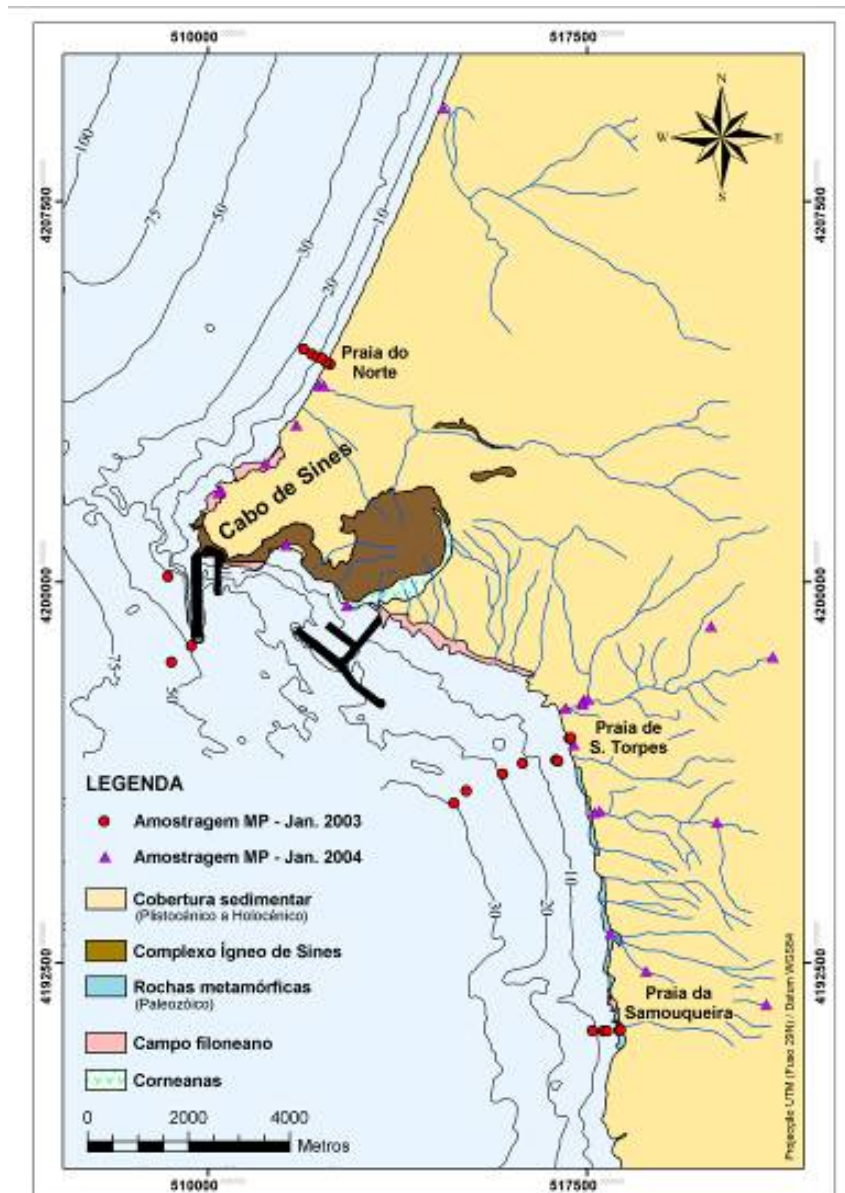


Figura 2. Geologia simplificada da área em estudo e localização da amostragem.

Em relação especificamente aos minerais pesados as rochas do complexo de Sines revelam possuir diversas associações mineralógicas (Tabela 1).

Sendo o complexo uma unidade tão distinta quer na geologia, quer na morfologia regional, é de supor que muitos destes minerais se encontrem dispersos na cobertura sedimentar móvel que cobre toda a plataforma interna e em grande parte da zona litoral adjacente.



<b>Rochas</b>		<b>Minerais Pesados</b>
Corneanas		Biotite, turmalina, andaluzite, epídoto e anfíbola.
Maciço de Sines	Gabros e dioritos	Horneblenda castanha (kaersutite), clinopiroxena (augite), biotite, olivina, apatite, esfena e minerais opacos.
	Sienitos e microsienitos	Biotite, minerais opacos, anfíbola verde, piroxena, apatite, esfena.
Filões		Piroxena, olivina, horneblenda castanha, óxidos de ferro, epídoto, anfíbola, biotite, esfena, apatite e zircão.

Tabela 1 – Composição em minerais pesados das rochas ígneas e metamórficas, associadas ao complexo de Sines.

#### **4. Métodos**

O tratamento laboratorial das amostras seleccionadas para o presente estudo consistiu nas seguintes fases:

A primeira fase consistiu na crivagem por via húmida da amostra, tendo sido utilizados os crivos de 2,0 mm e 0,063 mm, de modo a separar a fracção arenosa. Na fase seguinte foi realizada a separação a seco tendo como objectivo a obtenção das 3 classes granulométricas mais finas da fracção arenosa: areia média (0,500 - 0,250 mm), areia fina (0,250 - 0,125 mm) e areia muito fina (0,125 - 0,063 mm).

As 3 classes granulométricas, obtidas anteriormente, foram sujeita a descarbonatação com HCl diluído a 10%, de modo a eliminar o seu conteúdo em carbonato. Posteriormente foram lavadas com água destilada por forma a eliminar o ácido.

Após a fase anterior, procedeu-se à separação dos minerais leves / minerais pesados nas 3 classes granulométricas usando politungstato de sódio com densidade de 2,82. Os minerais pesados, após secagem, foram pesados, tendo sido calculada a sua percentagem em relação ao sedimento global na fracção correspondente. Após quarteamento, os minerais pesados foram montados em lâminas delgadas preparadas com bálsamo do Canadá.

A identificação e contagem das espécies mineralógicas não opacas foi efectuada ao microscópio óptico de luz transmitida, tendo-se contado 300 grãos por cada preparação. Os resultados das contagens foram convertidos em percentagens numéricas. A abundância de cada espécie por fracção granulométrica foi expressa em relação ao total de minerais pesados (opacos e transparentes).

#### **5. Resultados**

A caracterização sedimentar das várias áreas, na região envolvente do Cabo de Sines, foi efectuada com base em cinco campanhas de colheita de sedimentos executadas na plataforma interna durante os meses de Janeiro, Março, Junho, Setembro e Novembro de 2003 e uma campanha na zona litoral adjacente (Janeiro de 2004). No total foram colhidas 237 amostras da plataforma continental e praias correspondentes de diferentes áreas seleccionadas.

Por se tratar de um trabalho bastante moroso foram seleccionadas 22 amostras oriundas da plataforma interna e 26 obtidas na zona litoral adjacente. Neste contexto, os resultados que se passam a descrever referem-se à amostragem colectada quer na plataforma interna (campanha de Janeiro de 2003), quer na zona litoral adjacente (campanha de Janeiro de 2004). Considera-se que a amostragem colhida da plataforma interna ilustra os processos de alimentação, de transporte e de deposição que são responsáveis pelas características da cobertura sedimentar, sob as condições oceanográficas actuantes em Janeiro de 2003.

As 22 amostras colhidas na plataforma interna e na praia foram organizadas em 4 grupos principais de acordo com sua localização em áreas (Figura 3). O grupo 1 (área 1 – Praia do Norte) contém 6 amostras colectadas a norte do Cabo de Sines (4 na plataforma interna e 2 na praia). O grupo 2 (área do Molhe Oeste) inclui 3 amostras colectadas na plataforma interna, a oeste do Cabo de Sines. O grupo 3 (área 2 – Praia de S. Torpes) contém 6 amostras colectadas a sul do cabo (4 na plataforma interna e 2 na praia adjacente). Finalmente, o grupo 4 (área 3 – Praia da Samouqueira) contém 3 amostras colectadas na plataforma interna e 2 na praia adjacente.

As 26 amostras oriundas do continente emerso foram colhidas em vários locais, tais como em leitos de ribeiras, em arribas litorais, em depósitos plio-quadernários de cobertura e em praias.

Estas amostras foram também organizadas em grupos de acordo com a sua localização (Figura 3).

O grupo 5 contém 10 amostras colectadas a sul do Cabo de Sines (2 na praia, 7 em leitos de ribeiras e 1 em depósitos de cobertura). O grupo 6 contém 7 amostras (3 na praia e 4 em leitos de ribeiras). O grupo 7 contém 5 amostras colectadas na área do cabo de Sines (4 na praia e 1 em depósitos de cobertura). O grupo 8 contém 4 amostras colhidas a norte do cabo (2 na praia e outras 2 em depósitos de cobertura).

Em todas as amostras os minerais pesados foram estudados na areia média (0,500-0,250 mm), areia fina (0,250-0,125 mm) e areia muito fina (0,125-0,063 mm).

Os resultados apresentados neste estudo referem-se ao conjunto das três fracções (0,500 - 0,063 mm).

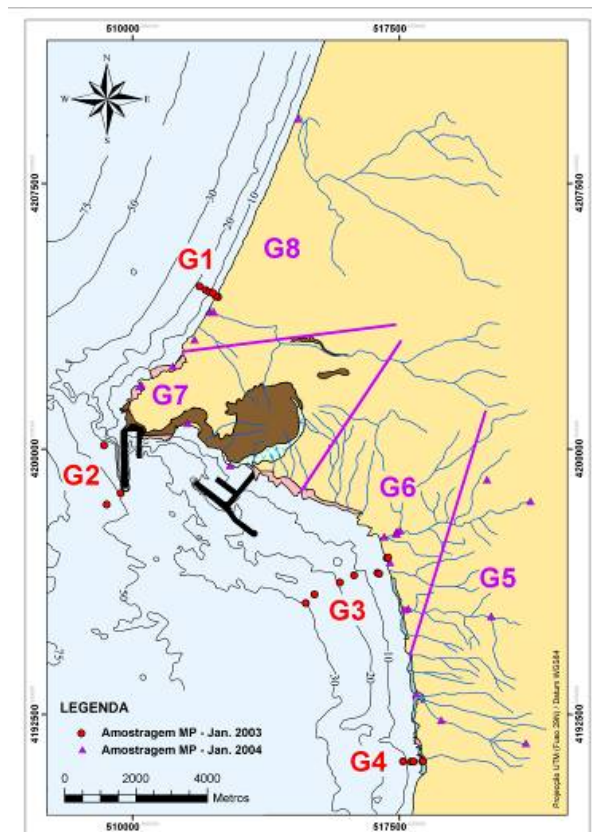


Figura 3. Localização dos grupos de amostras colhidas. Os círculos vermelhos representam as amostras colhidas na plataforma interna em Janeiro de 2003. Os triângulos roxos representam as amostras colhidas no continente emerso em Janeiro de 2004.

### 5.1. Espécies de minerais pesados Identificadas

No decurso deste estudo, foram identificadas dezoito espécies de minerais translúcidos ao microscópio óptico. As espécies identificadas foram: piroxenas, anfíbolas, turmalina, biotite, andaluzite, estaurólite, esfena, zircão, epídoto, granada, apatite, silimanite, rútilo, monazite, distena, anatase, broquite e olivina. A seguir faz-se uma descrição sucinta das principais características das espécies mais abundantes.

#### Turmalina

A turmalina como grão detrítico é detectada sob a forma de prismas alongados segundo o eixo c (forma euédrica) ou em grãos de formas elipsóides a esféricas evidenciando um elevado rolamento. As características de diagnose deste mineral são o pleocroísmo intenso e inverso, o ângulo de extinção recto e a cor que é variável entre o castanho, o castanho negro, o castanho verde e o negro azulado ou o azul. A maioria dos grãos de turmalina observados apresenta um elevado estado de rolamento, facto que denuncia uma longa evolução em ambiente sedimentar (Figura 4).



Figura 4. Turmalina. Grãos com elevado estado de rolamento. Na esquerda o grão de turmalina apresenta um pleocroísmo muito intenso, o da direita com pleocroísmo mais suave. (Fotografias de J. Cascalho / J. Pombo, 2004).

#### Andaluzite

Trata-se de um mineral muito comum nos minerais pesados da plataforma interna do sector em estudo. Surge, na maior parte dos casos, sob a forma de grãos prismáticos, de tonalidades incolores a rosadas, apresentando um relevo moderado. Uma característica de diagnose é a presença de um pleocroísmo muito forte nas variedades coloridas.

A andaluzite encontra-se presente em todas as dimensões da areia estudadas, tendo os seus grãos um estado de rolamento variável, detectando-se desde grãos com formas muito roladas, a grãos com formas mais angulosas. Algumas destas partículas exibem inclusões carbonosas, pelo que tomam a designação de quiastolite (Figura 5).



Figura 5. Andaluzite. Na esquerda, grão rolado com pleocroísmo rosa bem marcado; na direita, grão de quiastolite subédrico e prismático com inclusões. (Fotografias de J. Cascalho / J. Pombo, 2004).

### **Estaurolite**

As características de diagnose deste mineral são o pleocroísmo de amarelo ouro a amarelo pálido, a cor em tons variáveis de amarelo, o relevo forte e as formas geralmente irregulares, mostrando por vezes caneluras (Figura 6).

Em geral, os grãos de estaurolite observados são muito rolados, denunciando uma longa evolução em ambiente sedimentar.



Figura 6. Estaurolite. Na esquerda, grão subédrico rolado com pleocroísmo médio de cor amarela; na direita, grão subédrico rolado com relevo forte e pleocroísmo amarelo-ouro. (Fotografias de J. Cascalho / J. Pombo, 2004).

### **Piroxenas**

As piroxenas ocorrem na área em estudo sob a forma de grãos subédricos prismáticos revelando muitas vezes nos seus extremos terminações pontiagudas que lhe conferem o aspecto em “dentes de serra” (Figura 7).

Esta espécie divide-se em dois grupos: o grupo das ortopiroxenas e o grupo das clinopiroxenas.

As características de diagnose das ortopiroxenas são o ângulo de extinção recto, a cor castanha escuro, castanha esverdeada ou castanha violácea e o relevo forte, enquanto que as características de diagnose das clinopiroxenas são o ângulo de extinção oblíquo, a cor verde escuro a verde-amarelo ou o castanho.



Figura 7. Piroxenas. Na esquerda, grão de ortopiroxena prismático; na direita, grão de clinopiroxena prismáticos, (Fotografias de J. Cascalho / J. Pombo, 2004).

### **Anfíbola**

As anfíbolas ocorrem em grãos prismáticos, alongados, muito angulosos e com extremidades mais ou menos denteadas. Apresentam cor castanha por vezes avermelhada e menos frequentemente cor verde. As características de diagnose são o seu aspecto fibroso, o ângulo de extinção relativamente pequeno e o pleocroísmo entre castanho-escuro e castanho-claro, quase incolor nas variedades castanhas, e entre o verde-escuro e o verde-claro nas variedades verdes; (Figura 8). Por vezes apresentam uma patine de óxidos que torna este mineral semi-opaco, tornando por vezes difícil a sua identificação.



Figura 8. Anfíbola. Na esquerda, grão de anfíbola castanha prismático, na direita, grão prismático anfíbola verde. (Fotografias de J. Cascalho/J. Pombo, 2004).

### Biotite

Os minerais de biotite observados, no sector em estudo, têm formas lamelares, resultante da clivagem basal que caracteriza esta espécie. Devido à fácil alteração, por vezes são visíveis minerais de biotite mais ou menos coloridos que variam entre os tons de castanho a verde amarelo, por vezes parcialmente alterados em clorite, descolorados ou amarelados (hidratação) de contornos mais ou menos arredondados (Figura 9).



Figura 9. Biotite. Grãos rolados de cor acastanhada com inclusões. (Fotografias de J. Cascalho / J. Pombo, 2004).

### Opacos

Este é um tipo de partícula extremamente comum nas amostras observadas. Pode surgir em massas anédricas ou em grãos euédricos, podendo os grãos apresentar-se rolados a sub-rolados (Figura 10). Estes minerais serão, provavelmente, magnetites, ilmenites ou alterites.



Figura 10. Opacos. Na esquerda, grão anédricos e anguloso; na direita, grão subédricos e prismáticos. (Fotografias de J. Cascalho / J. Pombo, 2004).



## 5.2. Distribuição dos Minerais Pesados

### 5.2.1. Frequência na fracção arenosa

Na Figura 11 encontram-se expressos os resultados percentuais destes minerais no sedimento, em todas as amostras colhidas.

Verifica-se que a maior frequência de minerais pesados ocorre quer na área do Molhe Oeste, quer na área 2 (Praia de S. Torpes) onde a percentagem nestes terrígenos é por vezes superior a 15% (Figura 11). Por outro lado, a menor quantidade nestes minerais é detectada na área 1 (Praia do Norte) e na área 3 (Praia da Samouqueira), onde a percentagem é geralmente inferior a 3%.

No domínio continental a quantidade de minerais pesados é na grande maioria das amostras inferior a 4% sendo portanto significativamente inferior à observada na plataforma interna (Figura 11).

Analisando a Figura 11 constata-se que as quantidades de minerais pesados no sedimento estão relacionadas com a presença das rochas do maciço de Sines e do campo filoneano associado. Estas formações geológicas são as principais fontes destes minerais presentes nesta região.

Um outro facto que pode contribuir para a presença de elevada quantidade destes minerais na área do Molhe Oeste e na área 2 – Praia de S. Torpes é a não diluição do sinal mineralógico do maciço de Sines pela introdução de partículas detríticas de outra proveniência.

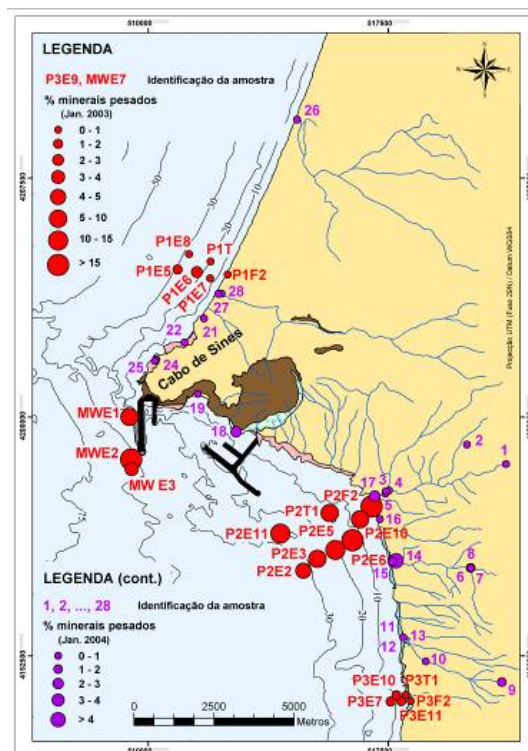


Figura 11. Percentagem média de minerais pesados por amostra.

### 5.2.2. Análise da frequência relativa das espécies transparentes

Das contagens efectuadas constata-se que o conjunto de minerais opacos + alterites representa, aproximadamente, 47% do total de minerais pesados na plataforma interna e, aproximadamente 58% dos pesados na zona litoral. Em consequência da sua elevada abundância tendem a dificultar a interpretação dos resultados.

Nas figuras 12 e 13 encontram-se os valores discriminados por amostra, enquanto que na Figura 14 os resultados estão sintetizados de acordo com a organização das amostras em grupos.

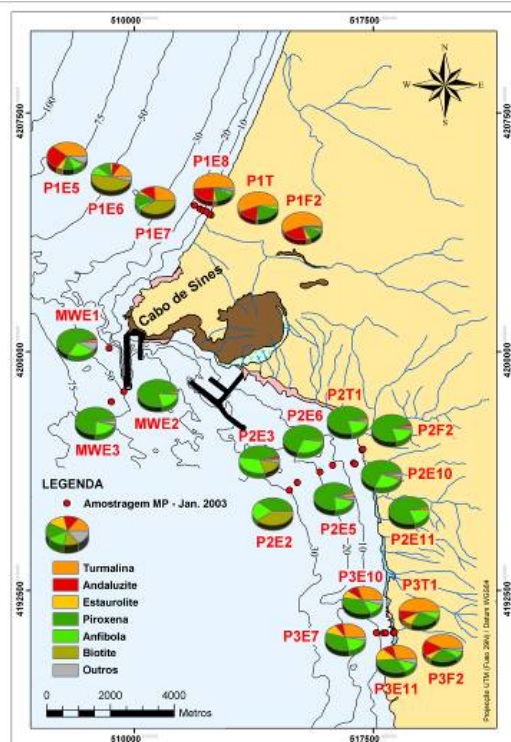


Figura 12. Percentagem média dos principais minerais pesados nas amostras da plataforma interna e praias correspondentes. Os números identificam a estação.

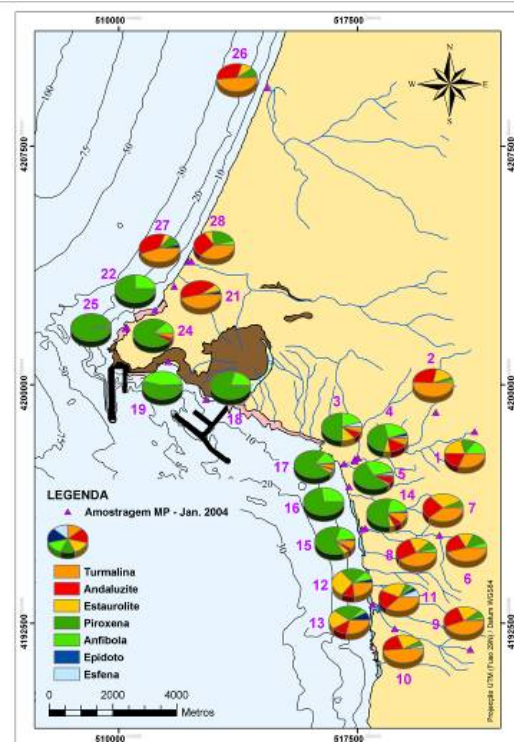


Figura 13. Percentagem média dos principais minerais pesados nas amostras oriundas da zona litoral. Os números identificam a estação.

Analisando as figuras 12 e 14 referentes à distribuição das espécies transparentes mais abundantes na plataforma interna constata-se que, no grupo 1 (área 1 – Praia do Norte), o conjunto dos minerais é dominado pela turmalina (40,63%), com percentagens menores de andaluzite (18,42%), de biotite (15,65%), de piroxena (13,79%), de anfíbola (5,25%), de estaurolite (3,74%) e de outros (2,5%).

A abundância elevada de grãos arredondados de turmalina e de andaluzite encontrados neste grupo indica que estas partículas sofreram uma longa evolução em ambiente sedimentar.

Os sedimentos dos grupos 2 e 3 (área do Molhe Oeste e área 2 – Praia de S. Torpes, respectivamente) mostram uma elevada percentagem de piroxenas (69,89% e 64,21%, respectivamente), seguida pelas anfíbolas (21,88 e 22,70%), esfena (3,51 e 0,62%), turmalina (1,89 e 1,84%), andaluzite (1,28 e 1,23%), biotite (0,65 e 7,96%) e pelos outros minerais menos representativos (1,0 e 1,4%). Os grãos de piroxena e anfíbola são geralmente angulosos a sub-angulosos, reflectindo uma origem recente e próxima relacionada com o maciço de Sines e o campo filoneano associado.

No grupo 4 (área 3 – Praia de Samouqueira) os sedimentos têm uma composição em minerais pesados intermédia entre o grupo 1 e os grupos 2 e 3. Neste grupo 4 detecta-se uma elevada abundância de turmalina (35,80%), seguida pelas piroxenas (30,70%), anfíbolas (11,51%), andaluzite (10,10%), estaurolite (9,08%) e outros (2,8%).

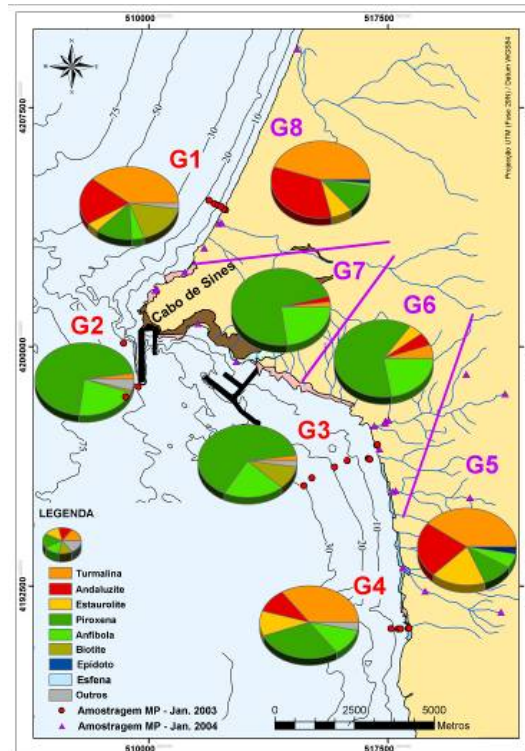


Figura 14. Percentagem média dos principais minerais pesados nas amostras dos diferentes grupos da plataforma interna e da zona litoral.

A Figura 13 e 14 referente à distribuição das espécies mais abundantes na zona litoral permitem verificar que as amostras do grupo 5 (região da Praia da Samouqueira) caracterizam-se pela abundância de turmalina (15,85%), andaluzite (8,26%) e estaurilite (8,49%), com percentagens menores de piroxenas (4,08%), anfíbolas (2,23%), epidoto (0,49%) e esfena (0,47%).

Relativamente aos grupos 6 e 7 (região da Praia de S. Torpes e do Molhe Oeste), o conjunto de minerais translúcidos é dominado pelas piroxenas (38,59% e 25,58%, respectivamente), com menores percentagens de anfíbola (12,15% e 8,65%), turmalina (0,76% e 2,12%), andaluzite (0,53% e 1,86%), estaurilite (0,11% e 1,51%), epidoto (0,30% e 0,52%) e esfena (0,28%) que apenas se encontra presente no grupo 7.

O grupo 8 (região da Praia do Norte) mostra uma elevada abundância de turmalina (35,46%) seguida pela andaluzite (25,96%) e com percentagens menores de piroxenas (8,70%), estaurilite (6,47%), anfíbola (1,35%) e epidoto (1,00%).

### 5.3. Componentes Principais

A análise de componentes principais (ACP) consiste na obtenção de componentes que de alguma forma simplifiquem a matriz de dados originais e expliquem grande parte da variância amostral. Esta análise pode ser usada para estabelecer associações de minerais e para discriminar as fontes dos minerais pesados.

No decurso deste trabalho obtiveram-se 2 matrizes de dados, uma referente às amostras da plataforma interna e outra referente às amostras da zona litoral.

A aplicação deste método de análise factorial, às amostras da plataforma interna, permitiu a extracção de três componentes principais que explicam 78 % da variância, partindo de um conjunto inicial de 9 minerais: piroxena (PX), anfíbola (AN), epidoto (EP), esfena (EF), turmalina (TU), andaluzite (AD), estaurilite (ES), biotite (BI) e zircão (ZI), tabela 2.

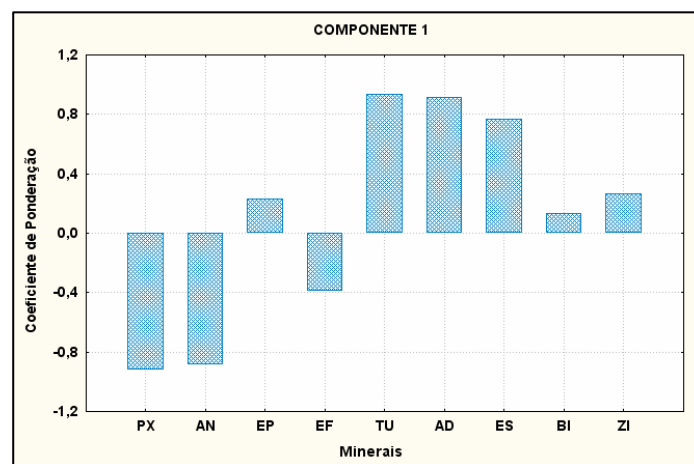


## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Componentes	Valores próprios	Variância	Variância acumulada	Cumulativos
1	4.25	47.22	4.25	47.22
2	1.57	17.42	5.82	64.63
3	1.19	13.25	7.01	77.88

Tabela 2 - Listagem dos diferentes componentes extraídos na fracção 0.500 mm a 0.063 mm, assim como os respectivos valores próprios e variância explicada.

O primeiro componente explica aproximadamente 47% da variância do sistema e as diferentes ponderações dos minerais mostram uma clara oposição entre a piroxena e anfíbola relativamente à turmalina, andaluzite e estauroлите (figura 15)



PX – Piroxena AN – Anfíbola EP – Epidoto EF – Esfena TU-Turmalina  
AD – Andaluzite ES – Estauroлите BI – Biotite ZI - Zircão

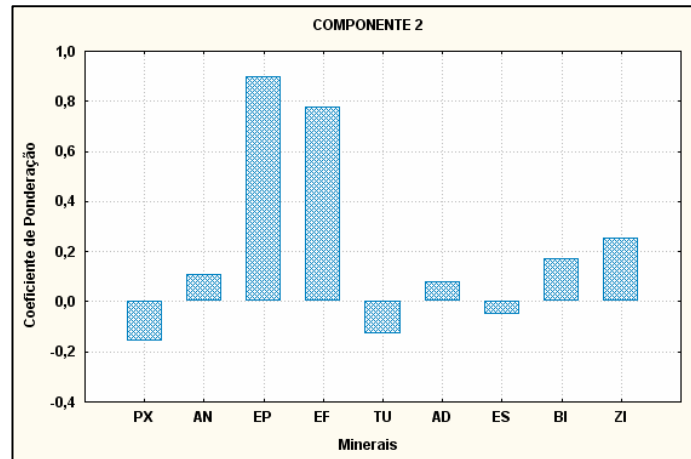
Figura 15 - Primeiro componente obtido a partir da ACP.

Este componente pode ser relacionado com diferente proveniência destes minerais, e que são:

- As piroxenas e das anfíbolas têm origem nos gabros e dioritos (Canilho, 1972; 1989), pelo que estão muito bem representadas nas amostras vizinhas do complexo de Sines (Grupos 2 e 3).
- A turmalina, a andaluzite e a estauroлите são minerais abundantes nas amostras dos Grupos 1 e 4, reflectindo provavelmente uma origem relacionada com a cobertura sedimentar recente do continente emerso.

O segundo componente mostra a associação entre o epidoto e a esfena e explica aproximadamente 17% da variância (figura 16).

Estes minerais são acessórios nos gabros e nos sienitos do maciço de Sines (Canilho, 1972; 1989) e, conseqüentemente indicam também a proximidade da fonte.



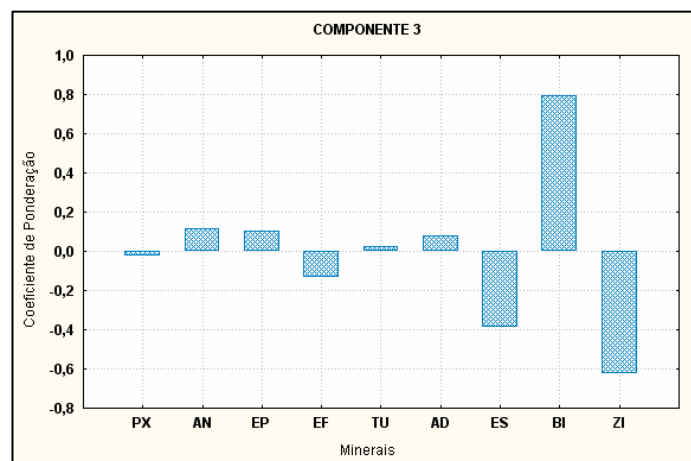
PX – Piroxena AN – Anfíbola EP – Epidoto EF – Esfena TU – Turmalina  
AD – Andaluzite ES – Estaurolite BI – Biotite ZI - Zircão

Figura 16 - Segundo componente obtido a partir da ACP.

O terceiro componente explica aproximadamente 13% da variância e expressa a oposição entre a biotite e o zircão (figura 17).

Esta oposição pode reflectir a diferença de comportamento hidrodinâmico entre estes dois minerais.

Com efeito, devido ao hábito lamelar e à sua densidade relativamente baixa ( $d=2.7-3.3$ ), as partículas de biotite tendem a ser transportadas em suspensão, acompanhando os sedimentos finos. Por sua vez o zircão muito mais denso ( $d=4.6-4.7$ ) tem, conseqüentemente, a tendência para ser transportado junto ao fundo, acompanhando os sedimentos mais grosseiros.



PX – Piroxena AN – Anfíbola EP – Epidoto EF – Esfena TU – Turmalina  
AD – Andaluzite ES – Estaurolite BI – Biotite ZI - Zircão

Figura 17 - Terceiro componente obtido a partir da ACP.

A aplicação da ACP às amostras da zona litoral, permitiu a extracção de três componentes principais que explicam aproximadamente 82 % da variância, partindo de um conjunto inicial de 8 minerais: turmalina (TU), andaluzite (AD), estaurolite (ES), piroxena (PX), anfíbola (AN), rútilo (RU), epidoto (EP) e esfena (EF) (tabela 3).

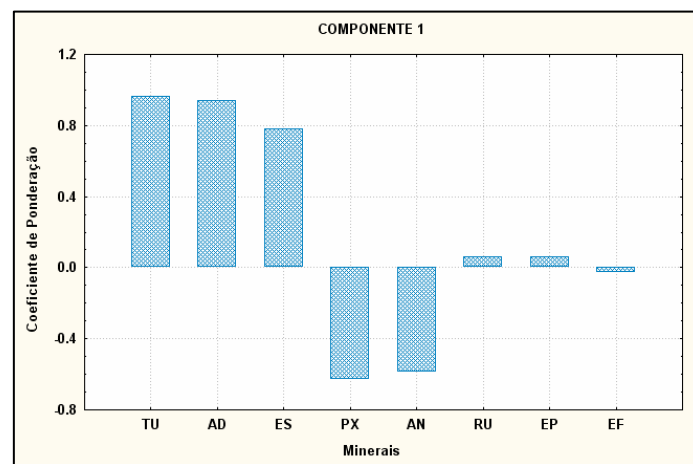


## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Componentes	Valores próprios	Variância	Variância acumulada	Cumulativos
1	3.63	45.37	3.63	45.37
2	1.69	21.13	5.32	66.50
3	1.20	14.99	6.52	81.49

Tabela 3 - Listagem dos diferentes componentes extraídos na fracção 0.500 mm a 0.063 mm, assim como os respectivos valores próprios e variância explicada.

O componente 1 explica aproximadamente 45% da variância do sistema. Neste componente destaca-se uma clara oposição entre o conjunto piroxena e anfíbola relativamente ao conjunto formado pela turmalina, andaluzite e estauroлите (figura 18).



PX – Piroxena AN – Anfíbola EP – Epídoto EF – Esfena TU – Turmalina  
AD – Andaluzite ES – Estauroлите RU - Rútilo

Figura 18 - Primeiro componente obtido a partir da ACP.

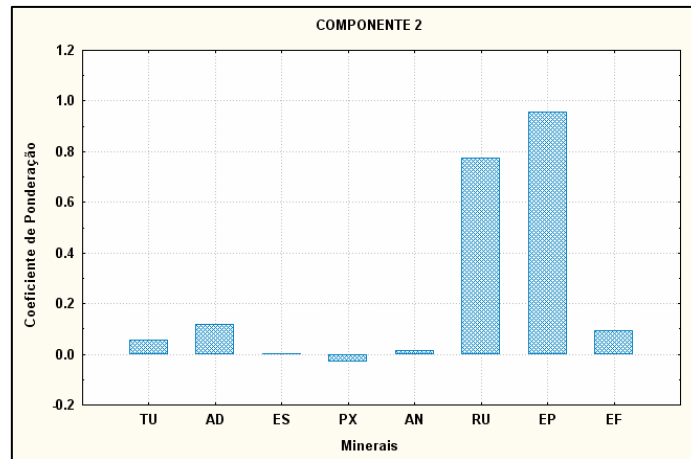
Estes resultados à semelhança do que foi referido para as amostras da plataforma interna são indicativos da existência de proveniências distintas destes minerais.

O segundo componente explica aproximadamente 21% da variância e expressa a associação entre o rútilo e o epídoto (figura 19).

Esta correlação poderá resultar da acção de vários processos sedimentares entre os quais se destaca a provável semelhança de comportamentos hidrodinâmicos destes minerais.

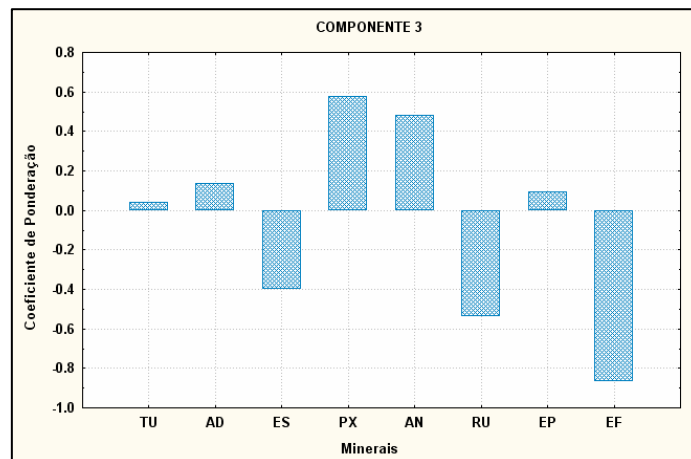
O terceiro componente caracteriza-se pela oposição entre o conjunto piroxena e anfíbola relativamente ao conjunto formado pelo rútilo e esfena e explica aproximadamente 15% da variância (figura 20).

Estes resultados são indicativos da existência de proveniências distintas destes minerais



PX – Piroxena AN – Anfíbola EP – Epídoto EF – Esfena TU – Turmalina  
AD – Andaluzite ES – Estaurolite RU - Rútilo

Figura 19 - Segundo componente obtido a partir da ACP.



PX – Piroxena AN – Anfíbola EP – Epídoto EF – Esfena TU – Turmalina  
AD – Andaluzite ES – Estaurolite RU - Rútilo

Figura 20 - Terceiro componente obtido a partir da ACP.

## 6. Discussão de Resultados

A análise dos resultados apresentados anteriormente permitiu definir duas associações fundamentais que definem igualmente duas proveniências distintas.

A primeira associação é dominada pelos grãos arredondados de turmalina e de andaluzite os quais testemunham uma evolução ocorrida em um ou mais ciclos sedimentares. Esta associação é dominante nas amostras dos grupos 1, 4, 5 e 8 estando praticamente ausente nos outros grupos (figura 14). A sua origem está provavelmente relacionada com as formações sedimentares detríticas da cobertura sedimentar recente.

A segunda associação é dominada por grãos angulosos de piroxenas e de anfíbolos, reflectindo a assinatura mineralógica das rochas ígneas básicas do maciço de Sines (gabros e dioritos). Esta associação é dominante nos grupos 2, 3, 6 e 7 (figura 14).

O aumento da influência das rochas do maciço de Sines no cortejo de minerais pesados parece estar inversamente relacionado com o aumento da distância às rochas deste maciço. De facto,



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

para a generalidade das amostras, é possível verificar a diminuição do conteúdo em piroxenas e anfíbolas com o aumento da distância aos afloramentos das rochas do maciço (figuras 12, 13 e 14).

Com base nos dados apresentados é possível subdividir a zona da plataforma interna em três áreas diferentes: norte, centro e sul. Cada área reflecte diferentes características de dinâmica sedimentar, principalmente no que diz respeito às fontes sedimentares e aos processos de transporte (figura 21).

A área norte é representada pelo grupo 1. A assinatura dos minerais pesados é caracterizada pela elevada abundância de turmalina e de andaluzite (aproximadamente 60% dos minerais translúcidos). A percentagem de peso de minerais pesados nesta área é aproximadamente 1%.

A área central é representada pelos grupos 2 e 3, sendo caracterizada por uma abundância extremamente elevada de piroxenas e anfíbolas (mais de 85% dos minerais translúcidos totais). A percentagem de peso de minerais pesados é aproximadamente de 11%.

A área a sul, representada pelo grupo 4, tem uma percentagem de minerais pesados intermédia entre os outros sectores. A turmalina e a andaluzite representam 46% enquanto que as piroxenas e as anfíbolas representam 42% dos minerais translúcidos. A percentagem de peso de minerais pesados no sedimento é ligeiramente superior a 1%.

No domínio continental verifica-se que a influência do maciço ígneo de Sines como fonte de minerais está também relacionada com o grau de proximidade aos seus afloramentos. Deste modo, as amostras na zona litoral entre o Cabo de Sines e a Praia de S. Torpes são muito ricas em minerais pesados oriundos do maciço, pelo contrário, as amostras colhidas no extremo norte da área e nas zonas mais interiores mostram uma influência reduzida desta fonte ígnea.

A relação entre a configuração geomorfológica da plataforma interna e as condições oceanográficas podem explicar as importantes características da distribuição dos minerais pesados.

No domínio da plataforma, o facto de as três áreas apresentarem uma assinatura mineralógica distinta indica que as trocas sedimentares, entre elas, deverão ser pouco significativas. No entanto, os dados indicam a existência de algumas trocas, ainda que pouco significativas, entre os diversos sectores.

De facto a orientação relativa da costa situada a norte do Maciço de Sines e o sentido predominante da agitação marítima induzem um transporte incipiente para norte. Este facto pode explicar o sinal mineralógico residual do maciço de Sines presente nos sedimentos da área norte, no que se refere, em particular, à presença de grãos angulosos a sub-angulosos de piroxenas e anfíbolas.

A concentração elevada de piroxenas e de anfíbolas com formas angulosas a oeste e a sul do Cabo de Sines (área central) apontam para um transporte incipiente do sedimento nessa área dada a proximidade da principal fonte. Este facto pode estar relacionado com a possível existência de uma célula de circulação situada a sul do Cabo de Sines (Cascalho *et al.*, 1994).

Na área sul o cortejo dos minerais pesados revela influência do maciço de Sines, pelo que é de supor a existência de transporte incipiente destes minerais oriundos de norte (da zona central). Esta hipótese é inteiramente suportada pelos dados referentes à percentagem de peso de minerais pesados (Figura 11).



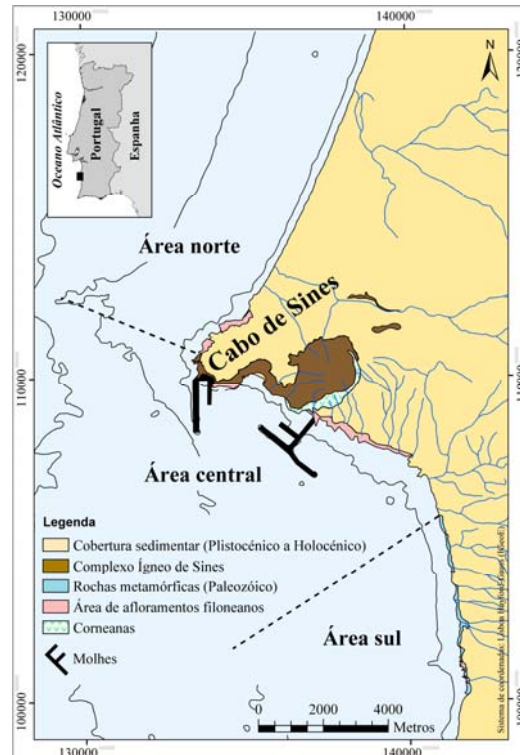


Figura 21 – As diferentes áreas da zona em estudo.

## 6. Conclusão

O sector estudado tem características geológicas peculiares que fornecem um forte sinal mineralógico à mineralogia dos sedimentos arenosos.

O conteúdo em minerais pesados identificado em domínio marinho permitiu definir três áreas na plataforma interna. Uma área norte (a norte do Cabo de Sines) onde a associação de minerais pesados revela fraca influência das rochas do Maciço de Sines como fonte mineralógica, evidenciando como principal fonte a cobertura sedimentar recente (abundantes minerais rolados de turmalina, andaluzite e estauroлите). Uma área central distinta pela elevada quantidade de minerais com origem nas rochas ígneas do maciço de Sines (piroxenas e anfíbolos com formas angulosas). Uma área meridional que revela também uma forte influência das rochas do Maciço de Sines como fonte dos minerais identificados (piroxenas e anfíbolos).

No domínio continental observa-se que existem duas proveniências fundamentais dos minerais pesados. Uma relacionada com os depósitos da cobertura sedimentar recente que se traduz pela presença de elevadas quantidades de grãos rolados (sobretudo de turmalina e andaluzite). Outra relacionada com o desmantelamento das formações do complexo ígneo de Sines e filões associados, composta por grãos angulosos (sobretudo de piroxena e anfíbola).



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

### 7. Bibliografia

- Andrade, C., Freitas, M. C., Cachado, C., Cardoso, A., Monteiro, J., Brito, P. & Rebelo, L. (2002) – Coastal zones in Santos, F.D., Forbes, K. & Moita, R. (eds.). *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measure*. Gradiva, Lisboa, 173 - 219.
- Canilho, M. H. (1972) – Estudo geológico-petrográfico do maciço eruptivo de Sines. *Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências*, 12(2), 77-161.
- Canilho, M. H. (1989) – Elementos de geoquímica das rochas do maciço ígneo de Sines. *Ciências da Terra (UNL)*, Lisboa, 10 : 65-80.
- Carvalho, J. P. G., Torres, L. M. & Afilhado, A. (1998) – Delimitação do maciço de subvulcânico de Sines offshore a partir de dados geofísicos. *Actas V, Cong. Nac. Geol., Com. IGM*, 84, 1.
- Cascalho, J., Magalhães, F., Dias, J. M. A. And Galopim De Carvalho, A. M. (1994) – Sedimentary unconsolidated cover of the Alentejo continental shelf (first results). *Gaia*, 8, 113-118.
- Fatela, F. & Taborda, R. (2002) – Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, p. 169-174.
- Feio, M. (1984) – Geomorfologia, in J.T. Oliveira (coord.) – *Carta Geológica de Portugal, Escala 1:200000, Notícia Explicativa da Folha 7*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, p. 11 – 16.
- Inverno, C. M. C., Manupella G., Zbyszewski, G., Pais, J. And Ribeiro, M. L. (1993) – Maciço Eruptivo de Sines. In: *Notícia explicativa da Carta Geológica de Santiago do Cacém, na escala 1:50.000, folha 42-C*, Serv. Geol. Port., 34-46.
- Malvarez, G., Navas, F., Silva, C. (1999) – O Litoral do Concelho de Sines – Uma Análise Morfodinâmica das Praias e a sua Relação com o Planeamento e Atitudes dos Utilizadores.
- Marques, F. (2000) – Evolução das Arribas e da Linha de Costa no Arco Litoral Tróia-Sines (Portugal), “Seminário sobre A Zona Costeira do Alentejo”, Sines, 16-19 Julho, 1999. Associação EUROCOAST – PORTUGAL. pp. 69-80.
- Moita, I. – “Carta de Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental – Cabo de Sines ao Cabo de S. Vicente – Escala 1/ 150000 – Notícia Explicativa”. Instituto Hidrográfico, 1986.
- Oliveira, J. T. (1984) – Notícia Explicativa da Folha 7 da Carta Geológica de Portugal. Serv. Geol. de Portugal, 11 – 30.