

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia



**Caracterização textural de sedimentos de praia através da
análise de imagem**

Ivana Bosnic

Mestrado em Geologia do
Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território

2011

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Geologia



Caracterização textural de sedimentos de praia através da análise de imagem

Ivana Bosnic

Mestrado em Geologia do
Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território

Orientador científico: Professor Doutor Rui P. M. Taborda

Co-Orientador científico: Professor Doutor João Pedro V. R. Cascalho

2011

Resumo

Perante a importância do estudo textural dos sedimentos para a compreensão da dinâmica sedimentar actuante no ambiente de praia, a análise de imagem surgiu, nos últimos anos, como uma ferramenta inovadora e capaz de cumprir esta tarefa de forma expedita. Neste sentido, este trabalho tem como objectivo otimizar e simplificar técnicas de análise de imagem e aplicá-las ao estudo da variabilidade textural vertical (restrita à camada de mistura) e horizontal de sedimentos de praia. Os trabalhos compreenderam o desenvolvimento de *hardware* e *software*. O *hardware* consistiu na criação de um instrumento original (*SAND BOX©*) para a aquisição de imagens padronizadas dos sedimentos *in situ*. A metodologia de aquisição de imagem desenvolvida mostrou-se eficiente, apresentando apenas algumas limitações na sua utilização para imagens verticais. Como mais-valia de toda a metodologia desenvolvida destaca-se a possibilidade de utilização de uma câmara digital comum para a aplicação do método. O *software* de análise de imagem desenvolvido resultou de adaptações a programas anteriores que permitiram a supressão da fase de calibração. Como produto final obteve-se um programa capaz de fornecer directamente os valores da mediana granulométrica das amostras (imagens) de forma satisfatoriamente fiável. Esta metodologia foi aplicada com sucesso em duas praias da costa ocidental Portuguesa (praias da Lagoa de Albufeira e do Salgado). Estas experiências mostraram que o sistema de análise de imagem é eficaz e sensível à variação granulométrica da face de praia revelando, inclusive, resultados inovadores acerca da variabilidade textural vertical dos depósitos sedimentares deste domínio da praia (caracterização da variabilidade textural da camada de mistura).

Palavras-chave: análise de imagem, autocorrelação, análise granulométrica, variabilidade textural, face de praia.

Abstract

Regarding the importance of the textural study of sediments to understand beach dynamics, image analysis emerged in the last years as an innovative tool able to accomplish this task expeditiously. Thus, this work aims to improve and simplify image analysis techniques and apply them to the study of textural vertical (restricted to the mixed layer) and horizontal variability of beach sediments. The efforts involved mainly the development of hardware and software. The hardware consisted in the creation of an original device for acquiring standardized *in situ* images of samples (*SAND BOX*®). The image acquisition methodology developed in this work was efficient revealing only some limitations in its use for vertical images. Additionally, this methodology allows the possibility of using any common digital camera on its application. The image analysis software development consisted in an adaptation of previous algorithms. The adaptations made are mostly related to changes in the calibration method. As a final product, it was created a program that provides the median values of particle size directly from the samples (images). The validation process revealed a good reliability of generated data. The methodology was performed successfully on two beaches on the west coast of Portugal. Based on these experiences, the image analysis system was effective and sensitive to the scales of grain size variations of the beach face, revealing innovative results on its textural variability of vertical sedimentary deposits.

Keywords: image analysis, autocorrelation, granulometric analysis, textural variability, beach face.

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Índice de figuras	v
Índice de tabelas	viii
Agradecimentos	ix
1. Introdução	1
1.1. Análise de imagem aplicada ao estudo da variabilidade textural de praias	1
1.2. Trabalhos anteriores e fundamentos teóricos	2
1.2.1. Princípios da autocorrelação espacial aplicada à análise de imagem	4
1.3. Objectivos	6
1.4. Estrutura da tese	7
2. Materiais e métodos	8
2.1. Introdução	8
2.1.1. Objectivos	8
2.1.2. Estrutura do capítulo	8
2.2. Desenvolvimento de <i>hardware</i>	9
2.2.1. Aquisição das imagens horizontais	9
2.2.2. Aquisição das imagens verticais	10
2.2.3. Amostragem	12
2.3. Desenvolvimento de <i>software</i>	12
2.3.1. Modelo conceptual	15
2.3.2. Análise de imagem horizontal	17
2.3.3. Análise de imagem vertical	18
2.4. Validação	19
2.5. Discussão	20
3. Estudos de caso	25
3.1. Introdução	25
3.1.1. Objectivos	26
3.1.2. Áreas de estudo	26
3.1.3. Estrutura do capítulo	28
3.2. Praia da Lagoa de Albufeira	29
3.2.1. Aquisição dos dados	29

3.2.2. Morfologia.....	31
3.2.3. Análise das imagens horizontais	32
3.2.4. Análise das imagens verticais.....	33
3.2.5. Discussão	35
3.3. Praia do Salgado	38
3.3.1. Aquisição dos dados.....	38
3.3.2. Morfologia.....	40
3.3.3. Análise das imagens horizontais	42
3.3.4. Análise das imagens verticais.....	43
3.3.5. Discussão.....	45
4. Conclusões e considerações finais	48
5. Referências bibliográficas	51
6. ANEXOS	55
6.1. ANEXO A- Rotinas de programação em MATLAB®	55

Índice de figuras

Capítulo 1. Introdução

- Figura 1. Diagrama conceptual dos processos dinâmicos influenciados pelas características dos sedimentos. Adaptado de Masselink e Puleo (2006). ----- 1
- Figura 2. Exemplo de uma matriz de calibração composta pelos correlogramas de 6 fracções granulométricas (Adaptado de Rubin, 2004) ----- 3
- Figura 3. Exemplo de um correlograma obtido a partir da análise da imagem de uma amostra da praia do Salgado.----- 5
- Figura 4. Exemplo de aplicação da autocorrelação da análise de imagem.----- 6

Capítulo 2. Materiais e métodos

- Figura 5. SAND BOX® vs. 1 (A e B). Aquisição de uma imagem superficial (C).----- 10
- Figura 6. Metodologia de aquisição de imagens verticais. Amostragem do core (A). Core amostrado (B). Posicionamento do core (C). Aquisição da imagem (D).----- 11
- Figura 7. Histogramas de distribuição granulométrica obtidos através da crivagem (A) e através da AI (B). Curvas de frequência acumulada das distribuições granulométricas obtidas por crivagem (C) e por AI (D)----- 13
- Figura 8. Sobreposição das curvas de autocorrelação para 12 fracções granulométricas obtidas com base em sedimentos de diferentes praias ----- 14
- Figura 9. Estrutura de funções que constitui o programa de análise de imagem. ----- 15
- Figura 10. Correlação entre o tamanho das fracções em milímetros, obtida pela crivagem, e em pixels através da AI. ----- 16
- Figura 11. Correlação linear entre os resultados da análise granulométrica por crivagem e por análise de imagem.----- 17
- Figura 12. Metodologia para obtenção da mediana granulométrica (em pixels) a partir da curva média de autocorrelação de uma imagem adquirida na Praia do Salgado.----- 18
- Figura 13. Perfil de variação vertical do tamanho mediano dos grãos através da análise de imagem----- 19
- Figura 14. Comparação dos resultados obtidos através da AI com os obtidos por crivagem.--- 20
- Figura 15. Fluxograma representativo do processo de obtenção das medianas granulométricas a partir da aplicação do *software* desenvolvido.----- 21

Figura 16. Comparação entre os resultados obtidos através da análise de imagens horizontais e verticais. R^2 vertical=0.64. R^2 horizontal=0.72. -----	24
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Capítulo 3. Estudos de caso

Figura 17. Mapa de localização das áreas de estudo. -----	27
Figura 18. Praia da Lagoa de Albufeira. Porção norte (A). Porção sul (B).-----	28
Figura 19. Praia do Salgado. Porção norte (A). Porção sul (B).-----	28
Figura 20. Posicionamento das estacas ao longo de um perfil perpendicular à costa na praia da Lagoa de Albufeira.-----	29
Figura 21. Mapa com a localização das actividades realizadas no campo.-----	30
Figura 22. Aquisição das imagens verticais da camada de mistura a partir dos <i>cores</i> amostrados -----	30
Figura 23. Perfis inicial e final medidos na face de praia e posicionamento das estacas. -----	31
Figura 24. Mapa de distribuição sedimentar de um sector da face de praia. -----	33
Figura 25. Variação vertical do tamanho mediano dos sedimentos que compõem a camada de mistura. Traço contínuo: resultado alcançado. Traço descontínuo: erro padrão de estimativa.-----	34
Figura 26. Representação da média das medianas granulométrica em ϕ obtida para a amostra total de cada <i>core</i> .-----	35
Figura 27. Correlação entre a mediana granulométrica do sedimento superficial e a cota.-----	36
Figura 28. Sobreposição dos gráficos de variação textural vertical da camada de mistura da praia da Albufeira. <i>*Erro padrão de estimativa</i> -----	37
Figura 29. Perfil de estacas (A). Estação Total utilizada no levantamento dos pontos de amostragem (B). -----	38
Figura 30. Aquisição de imagens da camada de mistura a partir da amostragem de <i>cores</i> (A e B). Aquisição de imagem do sedimento superficial (C) e Remoção da camada superficial de sedimento (D)-----	39
Figura 31. Mapa das actividades realizadas na praia do Salgado.-----	40
Figura 32. Mapa com a topografia da face da face de praia e transecto representativo dos lobos de praia.-----	41
Figura 33. Perfil inicial e final medidos na face de praia e disposição das estacas. -----	41

- Figura 34. Mapa da distribuição sedimentar das camadas superficial e subsuperficial da face de praia juntamente com o transecto. ----- 43
- Figura 35. Perfis verticais de variação granulométrica na praia do Salgado. Traço contínuo: resultado alcançado. Traço descontínuo: erro padrão de estimativa.----- 44
- Figura 36. A) Variação da mediana granulométrica ao longo do perfil B) Variação da elevação do terreno ao longo do perfil. ----- 46
- Figura 37. Sobreposição dos gráficos de variação textural vertical da camada de mistura da praia da Salgado. **Erro padrão de estimativa.* ----- 47

Índice de tabelas

Capítulo 1. Introdução

Tabela 1. Número aproximado de grãos em cada fracção para os dois tipos de imagem ----- 23

Capítulo 3. Estudos de caso

Tabela 2. Registo das variações morfológicas do perfil de praia e identificação dos pontos onde foram feitas as sondagens----- 32

Tabela 3. Dados morfológicos. ----- 42

Agradecimentos

A elaboração desta tese de mestrado contou com a colaboração de pessoas e instituições fundamentais que gostaria de destacar e agradecer.

Primeiramente, um “muito obrigada” especial aos meus orientadores Prof. Doutor Rui Taborda e Prof. Doutor João Cascalho, pelo direccionamento imprescindível ao longo da execução deste trabalho, pelo apoio, pelos momentos de descontração e pela dedicação despendida ao longo deste último ano.

Agradeço ao projecto Beach Sand Code (*Sand beach textural and compositional variability as indicator of sedimentary dynamics*), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (contrato PTDC/CTE-GEX/64592/2006) e do qual sou bolsreira de investigação científica, pelo financiamento das campanhas e dos equipamentos indispensáveis na realização deste trabalho. Estas campanhas também contaram com a colaboração dos projectos DETI, MOWADI e SURGE e com o auxílio logístico e científico fundamental do Instituto Hidrográfico.

Obrigada ao Departamento de Geologia, especialmente à Célia Lee, pela energia contagiante e pela eficiência em solucionar os mais diversos problemas. Obrigada também aos Professores César Andrade, Conceição Freita e Rui Taborda pelo carinho com o qual me receberam e por reavivarem em mim a paixão pela geologia costeira.

Agradeço à Anabela, à Bárbara e à Tanya pela disposição e ajuda nas campanhas responsáveis pela recolha dos dados deste trabalho. À Cris Lira por me ajudar com as primeiras noções acerca da análise de imagem.

Aos meus colegas de gabinete: Bárbara, Rodrigo e Tanya, por fazerem da convivência diária uma experiência prazerosa e produtiva. Agradeço as risadas, as dúvidas partilhadas e esclarecidas e o espírito de equipa criado ao longo dos últimos meses. Aos meus colegas da Fcul pelos almoços descontraídos e pela prestabilidade demonstrada por todos. Um obrigada especial à Ana, pela constante disponibilidade em ajudar no que for preciso. À minha companheira de projecto, Mónica, por dividir os momentos de desespero e satisfação, pela troca de experiências e pelas conversas divertidas.

Aos meus pais, eternos incentivadores das minhas escolhas. Obrigada por ajudarem na conquista de mais um sonho, e, sobretudo, por viverem este sonho junto comigo.

Aos meus amigos que torcem por mim do outro lado do Atlântico. Obrigada por não fazerem da distância um obstáculo e continuarem presentes na minha vida.

A toda a família “Tuga” que conquistei nestes últimos anos. À minha Tia, pelo amor e carinho com que me acolheu. E por fim, ao Manel, pela experiências compartilhadas, pelo amor, pela dedicação e, sobretudo, pela paciência.

1. Introdução

1.1. Análise de imagem aplicada ao estudo da variabilidade textural de praias

Dentre as muitas definições existentes para o ambiente de praia, este pode ser definido como uma acumulação de depósitos sedimentares resultante da acção das ondas. A dinâmica sedimentar deste ambiente está fortemente ligada a agentes físicos como as marés e os ventos e a parâmetros físicos como temperatura da água e tipo e tamanho dos sedimentos (Short, 1999)

A dimensão dos sedimentos que constituem a praia influencia fortemente os processos de erosão, de transporte e de deposição sedimentar assim como estes processos influenciam o tamanho dos sedimentos (Rubin e Topping, 2001; Finkl, 2004; Buscombe e Masselink, 2006). Esta interacção pode afectar a morfologia do terreno e os processos físicos actuantes no meio, o que faz do sedimento um potencial elemento para a compreensão deste sistema.

A dinâmica da faixa litoral resulta da interacção entre um conjunto de processos que actuam nas zonas de espalho e de face de praia. Estes processos são, por sua vez, condicionados pelas características dos sedimentos, relação que se encontra representada no esquema da figura 1.

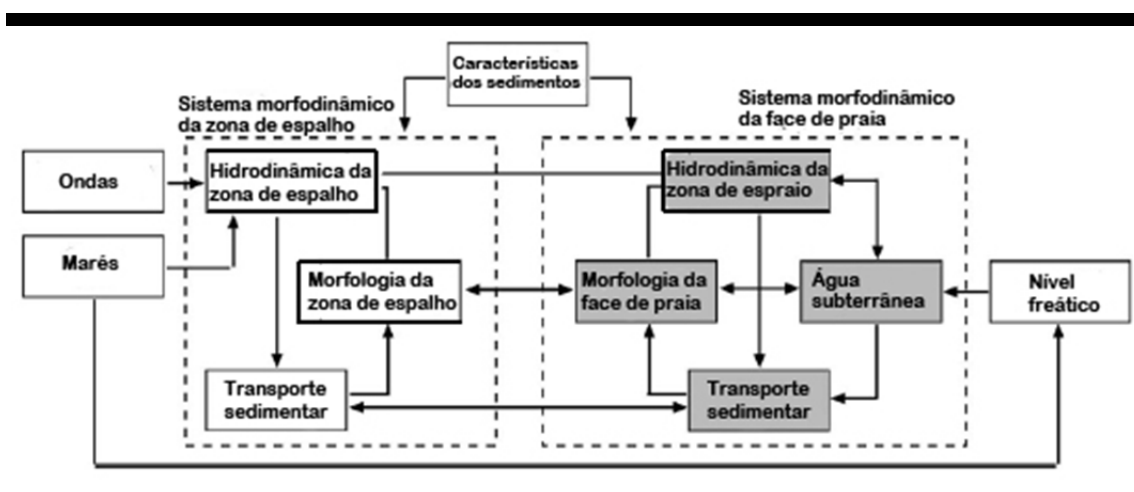


Figura 1. Diagrama conceptual da interacção entre os processos dinâmicos que ocorrem nas zonas de espalho e de face de praia. Adaptado de Masselink e Puleo (2006).

A ligação entre os mecanismos forçadores e a dinâmica sedimentar ainda é considerado um processo complexo. A chave para a compreensão desta ligação encontra-se, muitas vezes, limitada às metodologias tradicionais de monitorização das variações texturais dos sedimentos de praia, seja esta limitação a resolução de amostragem seja o tempo de recolha e tratamento das amostras. É neste contexto que o estudo textural dos sedimentos através da análise de imagem (AI) pode ser considerado uma ferramenta importante no sentido de reduzir o tempo despendido no campo e no laboratório, permitindo a obtenção deste tipo de informação a uma velocidade aproximadamente dezenas de vezes superior à registada pela aplicação dos métodos tradicionais (Rubin, 2004).

Além das optimizações relativas à aquisição e ao tratamento dos dados, a AI também permite analisar os grãos que constituem exclusivamente a camada superficial do sedimento de fundo, ou seja, aquela que se encontra em contacto com o escoamento (Rubin e Topping, 2001).

Como última importante potencialidade da AI está a capacidade da mesma em analisar perfis verticais de depósitos sedimentares a uma resolução milimétrica ou superior, característica que depende apenas das configurações da máquina digital utilizada. Este tipo de aplicação já foi testado por Rubin (2004) e efectivamente aplicado por Bosnic *et al.* (*in press*) ao estudo da variabilidade textural vertical da camada de mistura da face de praia.

1.2. Trabalhos anteriores e fundamentos teóricos

Os primeiros trabalhos a aplicarem a análise de imagem à determinação do tamanho das partículas de sedimentos baseavam-se na detecção de limites e princípios de segmentação da imagem (por exemplo, Butler *et al.*, 2001; Graham *et al.*, 2005), técnica que vem sendo explorada e aperfeiçoada nos últimos anos (Pina e Lira, 2009; Lira e Pina, 2009). Esta técnica baseia-se na intensidade dos contrastes entre os grãos e os espaços intergranulares. O método tem-se mostrado adequado somente nos casos em que a sobreposição de grãos individuais ou a coalescência de grãos adjacentes, devido à semelhança na cor e textura, é insignificante. Estes casos são representados, basicamente, por amostras constituídas por sedimentos mais grosseiros ou por amostras manipuladas em laboratório. No caso de amostras de praias arenosas, estas apresentam um maior número de partículas por imagem, o que aumenta consideravelmente o potencial de erros associados à sobreposição e coalescência dos grãos.

Diante da limitação descrita acima, Rubin (2004) desenvolveu um método em que é realizada uma análise das propriedades estatísticas da imagem e não uma análise individual das partículas que compõem o sedimento. Tomando a intensidade dos pixels da imagem como uma variável (espacial) aleatória e sendo tais informações independentes, pode-se analisar estas intensidades utilizando uma função de autocorrelação. Com base nisto, a técnica baseia-se no facto de que o valor da autocorrelação, diante de um desfasamento espacial (*offset*) progressivo ao longo de uma secção da imagem, aumenta quanto maior for o tamanho do grão. De acordo com Rubin (2004), se se possuírem curvas de calibração como produto da compilação de correlogramas obtidos a partir de imagens cujos tamanhos dos sedimentos são conhecidos, é possível obter estimativas fiáveis das médias granulométricas (Figura 2). Este processo é realizado comparando o correlograma da amostra com o catálogo de calibração através do método dos mínimos quadrados não-negativos. Esta técnica já foi testada e validada por Rubin *et al.* (2007) e Barnard *et al.* (2007) para aplicação em sedimentos arenosos e, foi, também, expandida para caracterizar manchas de sedimento em larga escala a partir de fotografias aéreas (por exemplo, em Carbonneau *et al.*, 2004; Carbonneau, 2005). No entanto, a autocorrelação apresenta alguns problemas na geração da curva de distribuição granulométrica das amostras e, conseqüentemente, dos parâmetros granulométricos como a assimetria e a calibração. Esta limitação já foi verificada por diversos autores que têm vindo a desenvolver métodos para solucionar este problema (Buscombe, 2008; Buscombe *et al.*, 2010).

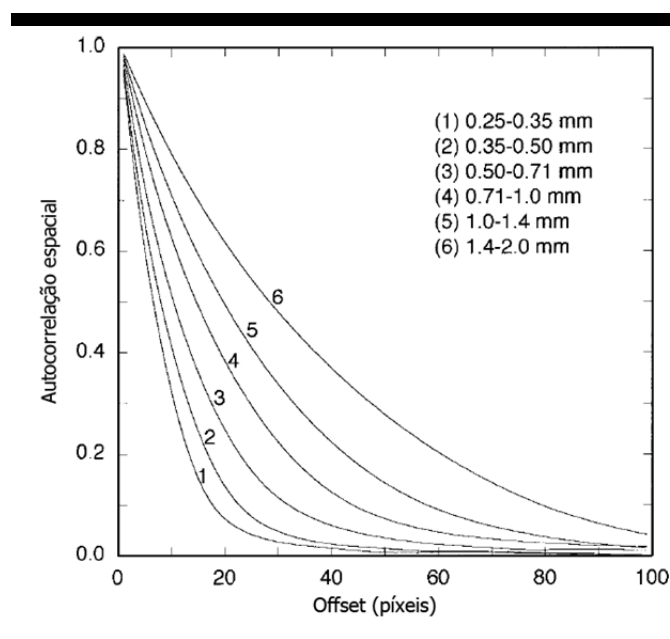


Figura 2. Exemplo de uma matriz de calibração composta pelos correlogramas de 6 fracções granulométricas (Adaptado de Rubin, 2004).

Devido ao facto da AI, aplicada ao estudo do tamanho das partículas de sedimentos, ser um método relativamente recente, a maioria dos trabalhos tem-se dedicado principalmente ao desenvolvimento e aperfeiçoamento desta técnica, pelo que a sua aplicação a estudos de caso é ainda um tema pouco explorado. No entanto, com o reconhecimento da eficácia e da aplicabilidade da análise de imagem já existem trabalhos onde a mesma é abordada como ferramenta e não como foco do estudo.

Verdú *et al.* (2005), por exemplo, aplicaram com sucesso técnicas de AI ao estudo da composição do leito de um rio constituído basicamente por cascalhos através da análise de fotografias aéreas. Como referência de aplicação da análise de imagem baseada em fotografias de menor escala existe o trabalho desenvolvido por Ruggiero *et al.* (2007) onde a técnica desenvolvida por Rubin (2004) é aplicada ao estudo da composição granulométrica de uma praia texturalmente heterométrica.

1.2.1. Princípios da autocorrelação espacial aplicada à análise de imagem

A técnica de AI utilizada neste trabalho, assim como aquelas desenvolvidas por Rubin (2004) e Barnard *et al.* (2007), utiliza o princípio da autocorrelação para determinar o tamanho dos grãos. Nestes casos, esta informação é obtida a partir das propriedades estatísticas das imagens, baseando-se no facto de que os valores de intensidade dos pixels em qualquer secção transversal de uma imagem apresentam uma maior correlação espacial em sedimentos grosseiros.

De acordo com Moran (1948), a autocorrelação espacial pode ser definida como a correlação entre duas áreas rectangulares (chamadas plaquetas) de uma imagem, medida através do cálculo da correlação entre a intensidade de cada pixel de uma plaqueta com o pixel de localização correspondente na segunda plaqueta. O valor deste parâmetro estatístico varia de 0 a 1.0. É próximo de 1.0 quando o *offset* (desfasamento em pixels) entre as plaquetas é pequeno em relação ao tamanho do grão. É próximo de 0 quando o *offset* se aproxima do tamanho dos maiores grãos. Realizando o cálculo de correlação espacial para um determinado conjunto de desfasamentos progressivos obtém-se uma curva que descreve a correlação em função da distância, conhecida também como autocorrelograma (Figura 3). Grãos maiores são, portanto, representados por autocorrelogramas com menor declive junto à origem do que aqueles representados por sedimentos constituídos por partículas mais finas.

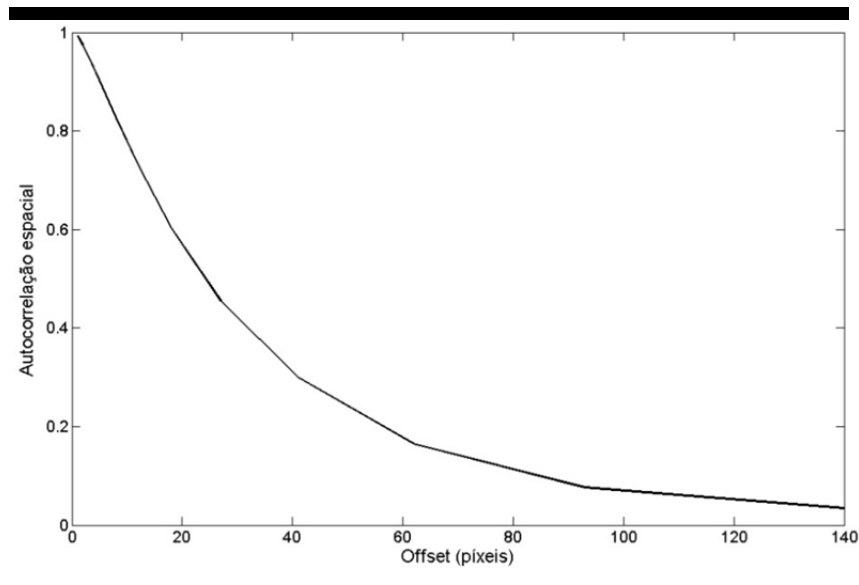


Figura 3. Exemplo de um correlograma obtido a partir da análise da imagem de uma amostra da praia do Salgado.

Para uma melhor compreensão da aplicação do princípio da autocorrelação na análise de imagem, construiu-se um exemplo que ilustra, de forma simplificada, a relação entre o *offset* da linha de análise e os valores de autocorrelação obtidos (Figura 4). A figura 4 ilustra a imagem de uma amostra de sedimento com a respectiva linha de análise marcada e cujo gráfico de intensidade dos pixels se encontra sobreposto. São estabelecidos dois *offsets*, *i.e.* dois desfasamentos horizontais com base na linha original, um de 5 e outro de 15 pixels. Para estas duas leituras são obtidas outras duas curvas de intensidade, sendo estas representadas na figura 4 pelas linhas a azul e a vermelho, respectivamente. Ao serem realizados cálculos de autocorrelação entre os valores de intensidade dos pixels da linha de análise original e os valores da linha azul, obtém-se uma correlação muito superior à encontrada entre os valores da linha original e da linha vermelha, dado o desfasamento desta última linha ser superior. Esta diferenciação no grau de correlação pode ser observada no gráfico de dispersão da figura 4.

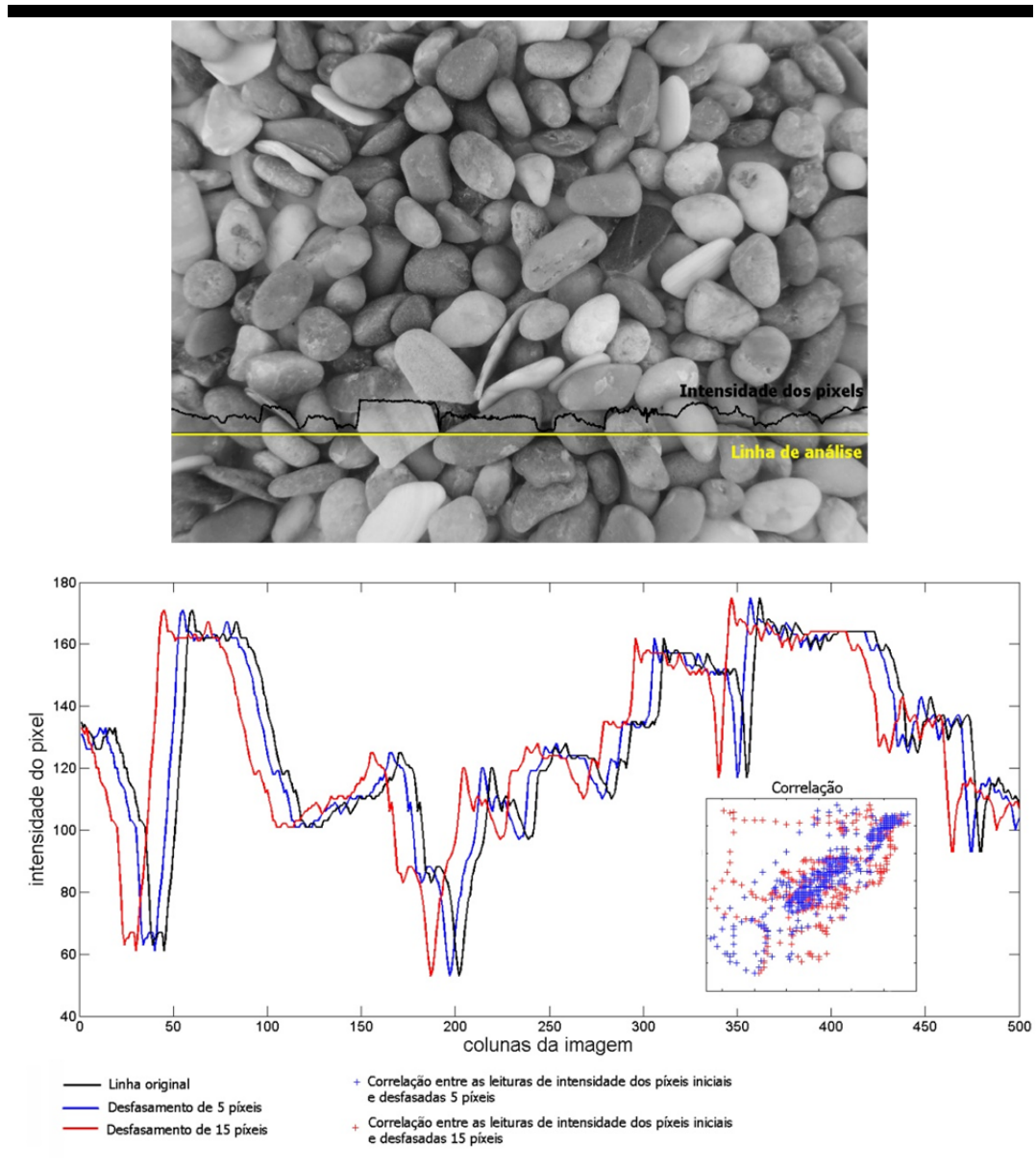


Figura 4. Exemplo de aplicação da autocorrelação da análise de imagem.

1.3. Objectivos

Este trabalho tem como principal objectivo estudar a variabilidade textural dos sedimentos arenosos da face de praia através da aplicação de técnicas de análise de imagem. Neste sentido, foram estabelecidos os seguintes objectivos específicos:

- Desenvolver uma metodologia eficiente de aquisição de imagens verticais e horizontais de sedimentos da face de praia;

- Testar, aperfeiçoar e aplicar algoritmos de AI ao estudo da variabilidade textural vertical e horizontal da face de praia.

1.4. Estrutura da tese

Para alcançar os objectivos estabelecidos a presente dissertação foi estruturada em 4 capítulos:

O Capítulo 1 (Introdução) refere as vantagens da utilização da análise de imagem como método expedito para o estudo dos sedimentos. É citado também um breve histórico dos trabalhos realizados neste contexto assim como fundamentos teóricos relativos aos métodos de AI existentes. Por fim, são definidos os objectivos deste trabalho com base na problemática levantada ao longo deste capítulo.

O Capítulo 2 (Materiais e métodos) encontra-se estruturado de forma a descrever detalhadamente o desenvolvimento de metodologias de aquisição e análise de imagem, abordando ambas as componentes de *hardware* e *software*.

No Capítulo 3 (Estudos de caso) é efectuada uma abordagem da aplicabilidade da metodologia desenvolvida com base em dados adquiridos em duas campanhas realizadas na Praia do Salgado e na Praia da Lagoa de Albufeira.

O Capítulo 4 (Conclusões e considerações finais) apresenta uma síntese das principais conclusões obtidas ao longo do trabalho, principalmente no que diz respeito às potencialidades e limitações do método, aos resultados obtidos nos testes realizados nas praias do Salgado e da Lagoa de Albufeira, sendo ainda efectuadas algumas sugestões no que concerne a trabalhos futuros.

2. Materiais e métodos

2.1. Introdução

O processo de elaboração da metodologia de análise de imagem é um dos objectivos pré-estabelecidos deste trabalho, o faz com que este capítulo não seja limitado a apenas descrever o uso de uma ferramenta, mas sim, descrever a sua construção e as suas possíveis aplicações. Este conjunto de informações servirá de base para que, mais a frente, sejam discutidas as potencialidades e limitações inerentes ao método.

2.1.1. Objectivos

Pretende-se, neste capítulo, descrever pormenorizadamente as fases de desenvolvimento da metodologia proposta no presente trabalho, nomeadamente a elaboração de *hardware* e *software*. A descrição detalhada destas etapas é essencial para a sua compreensão, possibilitando assim a divulgação de uma metodologia de análise textural de sedimentos arenosos de baixo custo.

2.1.2 Estrutura do capítulo

Para uma melhor percepção das fases constituintes da metodologia desenvolvida, a descrição da mesma foi dividida em dois subcapítulos: 2.2. (Desenvolvimento de *hardware*) e 2.3. (Desenvolvimento de *software*) respectivamente. O primeiro aborda a elaboração do *hardware* necessário para a aplicação da técnica, descrevendo detalhadamente os dois modos de aquisição das imagens: horizontal e vertical (2.2.1. Aquisição das imagens horizontais e 2.2.2. Aquisição das imagens verticais) assim com o procedimento de amostragem no campo (2.2.3. Amostragem). O segundo subcapítulo descreve e justifica o desenvolvimento das componentes informáticas (*software*) criadas para a análise das imagens obtidas a partir de ambos os modos de aquisição (horizontal e vertical). A elaboração do modelo conceptual integrante do *software* é descrita em 2.3.1. (Modelo conceptual). A validação dos dados é descrita em 2.4. (Validação). No último ponto faz-se uma discussão dos aspectos positivos e negativos do método de maneira a apresentar as suas potencialidades e desvantagens face aos métodos tradicionais assim como os seus possíveis melhoramentos (2.5 Discussão).

2.2. Desenvolvimento de *hardware*

Para o desenvolvimento deste trabalho foram construídas duas caixas em madeira (designadas por *SAND BOXES*©) onde o sistema de iluminação interno juntamente com o acoplamento externo da máquina fotográfica (Olympus® *μTough* 14 megapixels) permite a aquisição de imagens dos sedimentos *in situ*. A construção destas caixas foi feita com o objectivo de se conseguir padronizar ao máximo as imagens obtidas, principalmente no que se refere à área de amostragem, à distância focal e à iluminação. Buscombe (2008) identificou que os maiores erros nos resultados da autocorrelação das imagens estavam associados à incidência de luz natural no ponto de amostragem, facto que reforça a importância de se ter um sistema fechado para a aquisição das fotografias.

2.2.1. Aquisição das imagens horizontais

A primeira *SAND BOX*© construída destina-se apenas à aquisição de imagens sedimentos superficiais (Figura 5). A caixa é dotada de um sistema de iluminação interna composto por lâmpadas de LED que difundem a luz de forma homogénea. A distância focal estabelecida é de 7.5 cm, o que permite uma área de amostragem de 6.3 x 8.4 cm. A aquisição deste tipo de imagem é muito simples e envolve apenas uma ligeira compressão da superfície antes de se fotografar o sedimento.



Figura 5. *SAND BOX®* vs. 1 (A e B). Aquisição de uma imagem superficial (C).

2.2.2. Aquisição das imagens verticais

A necessidade relacionada com a aquisição de imagens verticais (para analisar testemunhos verticais) levou ao desenvolvimento de uma segunda versão da *SAND BOX®* que possui uma configuração mais complexa (Figura 6). Devido à adaptação feita para permitir fotografar testemunhos verticais, esta caixa possui dimensões maiores (50 x 22 cm) embora mantendo a mesma distância focal (7.5 cm). Em contraste com a primeira *SAND BOX®*, esta é composta de duas partes. Apesar da parte superior da caixa possuir as mesmas configurações da sua versão mais antiga, a parte inferior foi criada para posicionar o testemunho e deslizá-lo juntamente com uma régua graduada de forma a serem obtidas sequências de imagens referentes ao sedimento recuperado pelo testemunho.



Figura 6. Metodologia de aquisição de imagens verticais. Amostragem do core (A). Core amostrado (B). Posicionamento do core (C). Aquisição da imagem (D).

O processo de aquisição de imagens verticais inicia-se com a recuperação de sedimento através de um testemunho vertical (*core*) composto por duas meias-canas em *pvc*. Este é enterrado com o auxílio de uma marreta e retirado cuidadosamente (Figura 6A). A seguir, utilizando uma espátula, secciona-se o *core* em duas partes iguais de forma a reter um prisma semicircular, tendo o cuidado para não contaminar a superfície a ser fotografada, ou seja, movendo o sedimento para o lado e não ao longo do *core* (Figura 6B). Finalizada a preparação da amostra, posiciona-se o *core* dentro da caixa fixando-o a uma escala, neste caso uma régua de 30 cm, e fecha-se bem a caixa de modo a que a luz natural não entre para o seu interior (Figuras 6C e 6D). É então adquirida uma sequência de imagens com uma ligeira sobreposição (aproximadamente 0.5 cm), para se ter a certeza de não existir nenhuma descontinuidade entre as fotografias.

2.2.3. Amostragem

No campo, foram realizados dois tipos de amostragem com objectivos distintos:

O primeiro tipo envolveu a recolha de amostras compósitas de sedimento do ambiente em estudo. Estas foram recolhidas com o propósito de serem representativas do ambiente e estão directamente relacionadas com o desenvolvimento do modelo conceptual a ser apresentado no próximo subcapítulo (2.3. Desenvolvimento de *software*).

O segundo tipo de amostragem está ligado à validação dos dados (2.4. Validação) e corresponde a imagens de sedimentos obtidas no campo. Neste caso, a amostragem deve ser mais cuidadosa tendo atenção para que, no caso das imagens horizontais, seja amostrada apenas a camada superficial do sedimento e, no caso das imagens verticais, apenas a secção do *core* fotografada.

2.3. Desenvolvimento de *software*

O programa já existente de análise de imagem por autocorrelação aplicado à análise textural de sedimentos (Rubin, 2004; Barnard *et al.*, 2007) encontra-se razoavelmente bem desenvolvido, pelo que os resultados alcançados mostram-se satisfatórios. No entanto, a aplicação do mesmo à obtenção da curva de distribuição granulométrica revela resultados pouco consistentes. No exemplo exibido na figura 7 nota-se que o método não é sensível o suficiente para reconhecer todas as fracções granulométricas presentes na amostra. Perante esta limitação optou-se por explorar apenas a obtenção directa da mediana granulométrica a partir de imagens de sedimentos, constituindo assim uma alternativa razoável de simplificação do processo de análise de imagem.

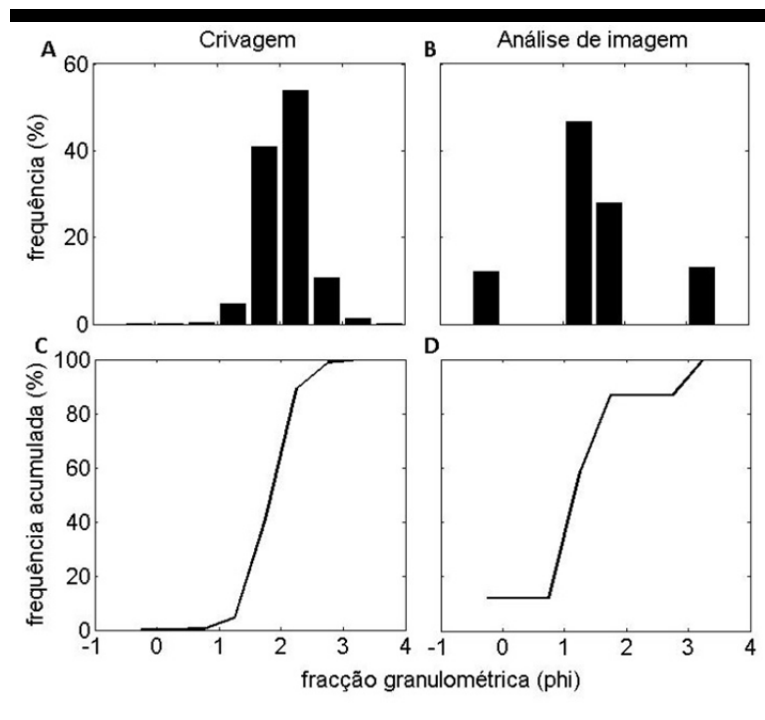


Figura 7. Histogramas de distribuição granulométrica obtidos através da crivagem (A) e através da AI (B). Curvas de frequência acumulada das distribuições granulométricas obtidas por crivagem (C) e por AI (D)

Durante os testes de aplicação do método de Rubin (2004) foram geradas matrizes de calibração com base em sedimentos de diversas praias portuguesas. Ao analisar estas matrizes verificou-se que o tamanho do pixel, quando o valor da autocorrelação é 0.5, é o que melhor diferencia as curvas de autocorrelação das diferentes fracções granulométricas. Fundamentado neste princípio desenvolveu-se o programa de AI responsável pela extracção da mediana granulométrica (em pixel) directamente da curva de autocorrelação média da imagem.

Ainda com base nos mesmos testes, analisou-se o comportamento das matrizes de calibração de 4 praias portuguesas (Comporta, Lagoa de Albufeira, Caparica e Salgado). Esta análise revelou consistência na disposição das curvas de autocorrelação das fracções granulométricas dos sedimentos analisados. A figura 8 apresenta a projecção destas matrizes num gráfico onde se verificam 6 fracções granulométricas coincidentes (-1.25 a 1.25 ϕ) para as 4 praias consideradas. A semelhança entre as curvas destas 6 fracções demonstra a robustez das matrizes e evidencia ser dispensável a criação de um “catálogo de fracções” específico para cada praia.

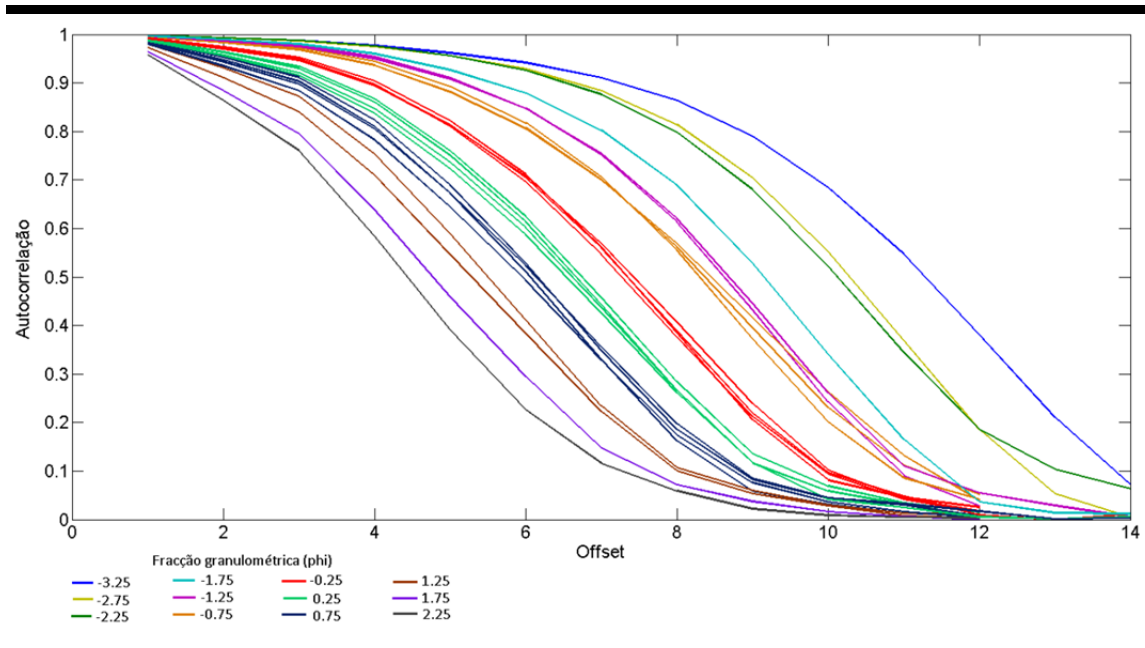


Figura 8. Sobreposição das curvas de autocorrelação para 12 frações granulométricas obtidas com base em sedimentos de diferentes praias

Perante estas constatações, optou-se por construir um modelo universal, independente de qualquer tipo de matriz de calibração, que converte a mediana granulométrica (em pixels) gerada pelo programa de AI, em valores equivalentes no sistema métrico. Neste caso as medianas são convertidas em milímetros.

O *software* de AI foi elaborado em Matlab® e é constituído por dois algoritmos gerados para a determinação do tamanho mediano dos grãos utilizando a análise de imagem. Ambos tiveram como base o método de AI por autocorrelação (Rubin, 2004) através do programa desenvolvido por Barnard *et al.* (2007).

O primeiro algoritmo foi construído para analisar apenas sedimentos superficiais, ou seja, imagens horizontais. O segundo, mais original, analisa perfis verticais de sequências sedimentares, *i.e.*, imagens verticais. A estrutura de funções que compõe estes dois algoritmos é a mesma (Figura 9), pelo que as suas diferenças estão limitadas à forma como é feita a análise de imagem, tema que será melhor abordado nos pontos 2.3.2. (Análise de imagem horizontal) e 2.3.3. (Análise de imagem vertical).

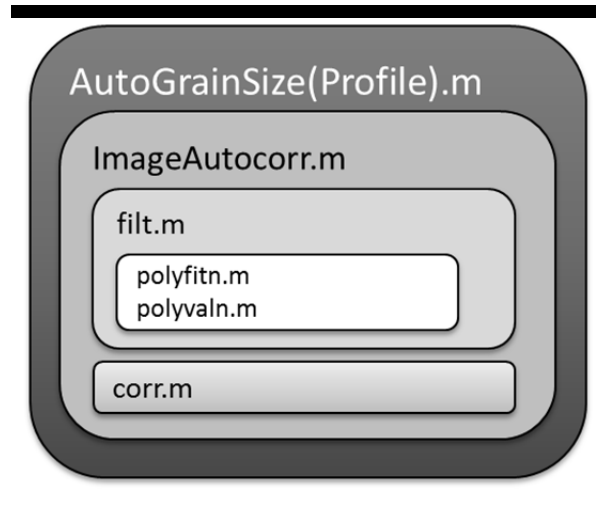


Figura 9. Estrutura de funções que constitui o programa de análise de imagem.

Como foi referido anteriormente, Buscombe (2008) observou erros significativos no cálculo da autocorrelação associados a problemas de distribuição de luz na imagem. Para eliminar/minimizar este problema, foram construídas as *SAND BOXES*®. No entanto, as experiências em laboratório mostraram que, mesmo com a utilização destas ferramentas, a distribuição da luz ainda não era a ideal. Diante disto, adicionou-se à função *ImageAutocorr.m* uma outra função denominada *filt.m*. Esta corrige as heterogeneidades relativas à iluminação da imagem através das regressões polinomiais: *polyfitn.m* e *polyvaln.m* (D'Errico, 2006). Ainda na mesma rotina, a função que originalmente era responsável pelos cálculos da autocorrelação (*corrcoef.m*) foi substituída por uma versão mais simples (*corr.m*) com o objectivo de otimizar o processo de análise. Todas as funções e rotinas aqui mencionadas estão apresentadas em 6.1 (ANEXO A - Rotinas de programação em MATLAB®). Outra modificação importante refere-se aos *offsets* utilizados para os cálculos de autocorrelação. Estes espaçamentos passaram a ter um passo de evolução logarítmico ao invés de linear como no programa original de Barnard *et al.* (2007).

2.3.1. Modelo conceptual

Laboratório

O desenvolvimento do modelo conceptual implicou a existência de uma fase laboratorial. Esta consistiu no isolamento das fracções de sedimento constituintes da amostra compósita recolhida no campo. Este processo incluiu primeiramente um pré-tratamento da amostra

(lavagem e secagem) seguido então da crivagem da mesma utilizando uma coluna de crivos (de 1.25 a -3.25 ϕ) a um intervalo de $\frac{1}{2} \phi$, de acordo com a escala granulométrica de Wentworth (1922). O procedimento foi repetido até serem obtidos volumes suficientes de sedimento de cada fracção que permitissem a aquisição de imagens dos mesmos para a geração do modelo.

Análise textural

Após a crivagem foram adquiridas imagens de todas as fracções granulométricas num intervalo situado entre 1.25 e -3.25 ϕ . O processo de aquisição de imagem foi feito de acordo com a metodologia descrita em 2.2.1. (Aquisição de imagens horizontais). As imagens obtidas foram analisadas através do programa *AutoGrainSize.m* e o *offset* (tamanho em pixels) obtido para cada fracção foi projectado num gráfico de dispersão juntamente com os respectivos tamanhos das fracções em milímetros. A melhor correlação entre os valores em pixels e em milímetros calculada para estes dados foi gerada através de uma regressão potencial cujo gráfico e equação se encontram representados na figura 10.

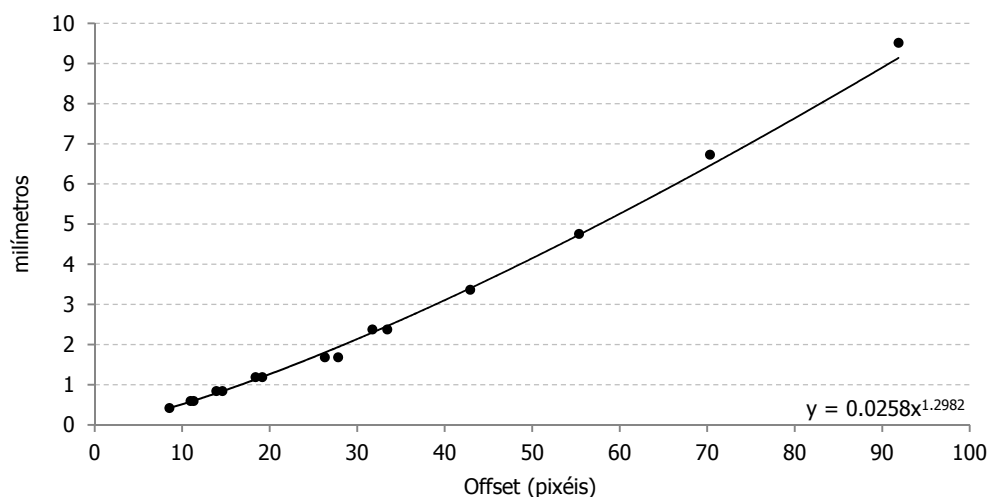


Figura 10. Correlação entre o tamanho das fracções em milímetros, obtida pela crivagem, e em pixels através da AI.

A equação de regressão acima foi aplicada aos resultados obtidos para a análise das imagens adquiridas no campo. Após isso, estes dados foram projectados num gráfico de dispersão juntamente com os respectivos resultados obtidos para a crivagem. Obtém-se então

uma correlação linear entre estes dois conjuntos de dados cuja equação e coeficiente de determinação estão referenciados na figura 11.

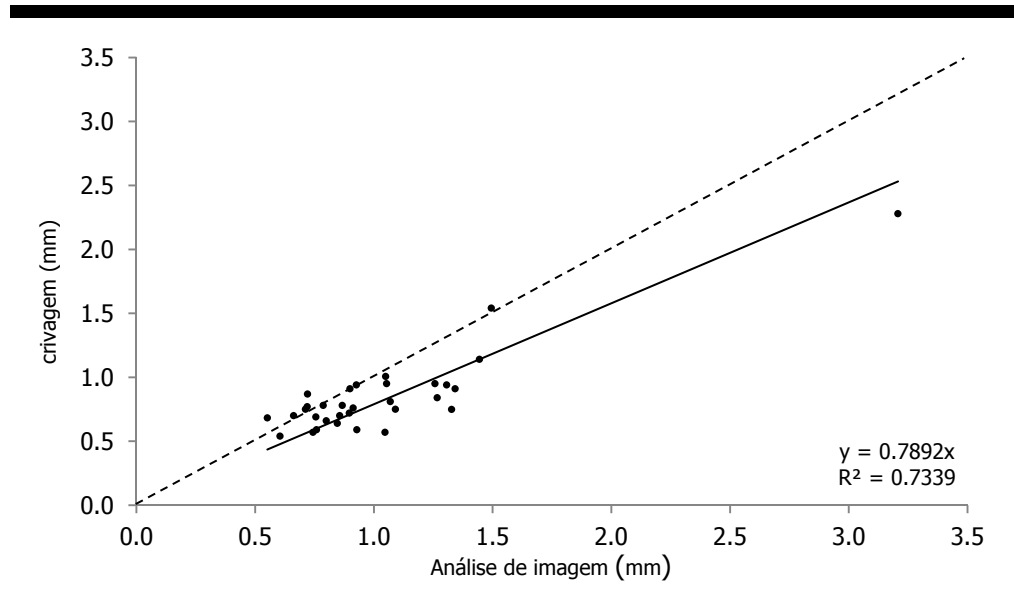


Figura 11. Correlação linear entre os resultados da análise granulométrica por crivagem e por análise de imagem.

Com base nos dados da equação da figura 11, o declive 0.79 é incluído como factor de correcção à equação de correlação potencial obtida anteriormente (na figura 10), sendo então gerada a equação final representativa do modelo:

$$y = (0.0258 \times x^{1.2982}) \times 0.79$$

onde x representa o tamanho do sedimento em pixel obtido através do programa de AI e y é o tamanho final do sedimento em milímetros.

2.3.2. Análise de imagem horizontal

O programa *AutoGrainSize.m* (ANEXO A) analisa a imagem original adquirida (com resolução de 3216 x 4288 pixels) realizando cálculos de autocorrelação segundo a vertical e a horizontal da imagem. Para o cômputo dos valores de autocorrelação no eixo vertical efectua-se consecutivos desfasamentos de todo o conjunto de linhas da imagem, desde o mínimo até o máximo *offset* estabelecido (de tamanho igual ou superior ao maior grão presente na amostra). É executado o mesmo processo para o cálculo da autocorrelação para o

eixo horizontal, no entanto, neste caso, são realizados desfasamentos simultâneos de todas as colunas da imagem. No final, determina-se uma curva de autocorrelação média de onde se obtém a mediana granulométrica (em pixels), quando o valor da autocorrelação espacial é igual a 0.5 (Figura 12). A este resultado aplica-se o modelo conceptual desenvolvido para que seja obtida a mediana granulométrica da amostra em milímetros.

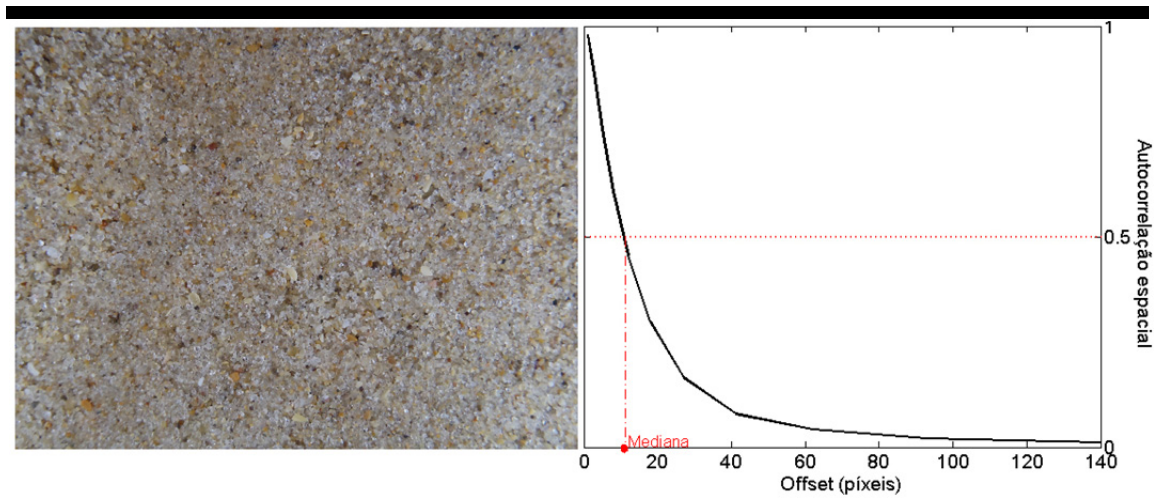


Figura 12. Metodologia para obtenção da mediana granulométrica (em pixels) a partir da curva média de autocorrelação de uma imagem adquirida na Praia do Salgado.

2.3.3. Análise de imagem vertical

O primeiro passo que diferencia o procedimento associado à análise de imagem vertical (*AutoGrainSizeProfile.m*) é o corte da imagem realizado de forma a analisar somente a área totalmente preenchida por sedimento. Este procedimento reduz as dimensões da imagem para 3059x1840 pixels, o que representa uma diminuição do tamanho da área de quase 60% relativamente à imagem original.

Para a determinação da variação textural vertical de sequências sedimentares o programa só realiza os cálculos de autocorrelação espacial na horizontal, ou seja, promove desfasamentos unicamente para o conjunto de linhas da imagem obtendo-se, assim, a variação vertical dos valores de autocorrelação e, conseqüentemente, a variação vertical das medianas granulométricas. Uma vez que a análise de imagem realizada pixel a pixel gera um resultado muito ruidoso, definiu-se como dimensão de cada linha de análise da imagem um conjunto de 32 pixels, equivalente a 0.6 mm, o que faz com que ao longo de cada imagem seja obtido um total de 58 medianas granulométricas.

Mesmo com a redução da resolução da análise o resultado obtido ainda apresenta algum ruído que para efeitos de visualização foi suavizado através da utilização de uma média móvel de 5 linhas sucessivas, ou seja, de 160 pixels (Figura 13).

Para se obter uma resolução vertical compatível com outros dados de campo, por exemplo com os dados relativos à espessura da camada de mistura, foi realizada uma filtragem adicional que permite obter valores da mediana granulométrica para cada camada de 1 cm de sedimento, o que converte os 58 valores anteriormente obtidos em apenas 6 (Figura 13).

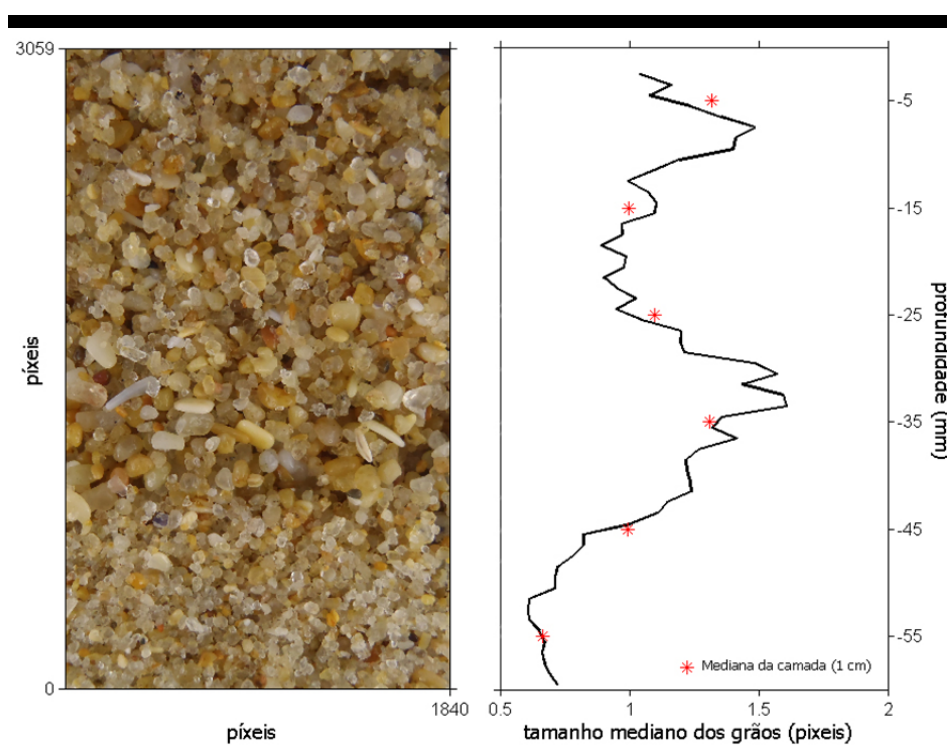


Figura 13. Perfil de variação vertical do tamanho mediano dos grãos através da análise de imagem

2.4. Validação

O processo de validação foi feito com base na comparação entre os resultados da análise granulométrica obtidos através da análise de imagem e os obtidos através do método de crivagem por peneiração. No total, foram crivadas 32 amostras cujas imagens obtidas no campo foram processadas pela aplicação informática aqui apresentada (17 imagens horizontais e 15 verticais). Ao produto da análise granulométrica por AI foi aplicado o modelo conceptual descrito em 2.3.1. (Modelo conceptual). A projecção dos resultados num diagrama de dispersão mostra uma elevada correlação entre os dois métodos (coeficiente de

determinação de 0.8 com uma percentagem média de erro de -3.66 %) e um viés de 0.04 mm ou 0.08ϕ (Figura 14).

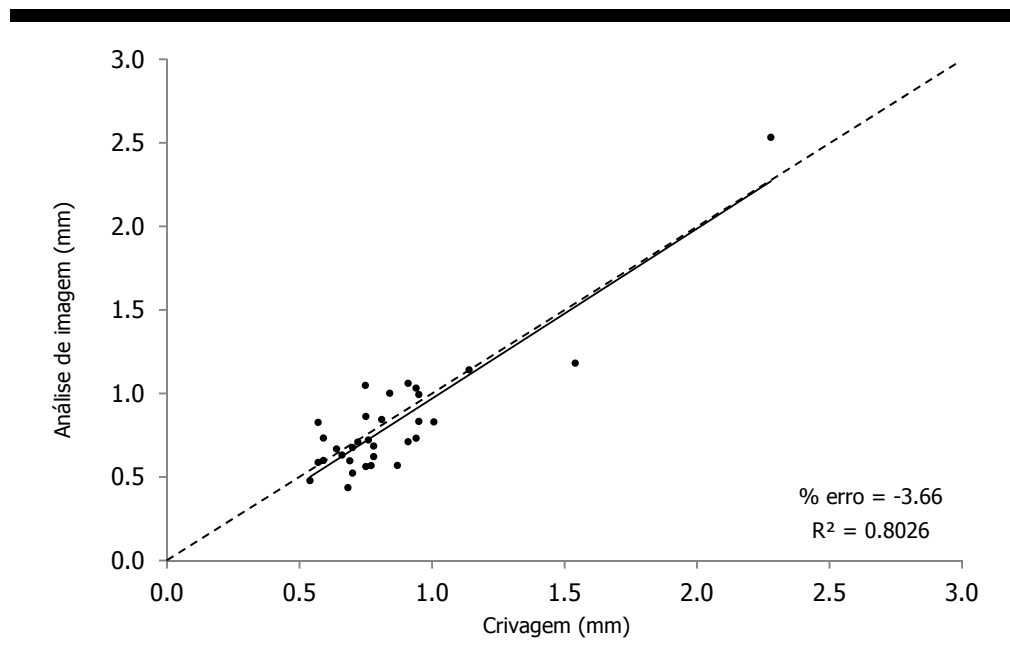


Figura 14. Comparação dos resultados obtidos através da AI com os obtidos por crivagem.

É, ainda, relevante referir que a maior parte dos dados se concentra num espectro dimensional relativamente reduzido, pelo que será desejável obter mais dados de forma a estender as conclusões obtidas a um espectro dimensional mais alargado.

2.5. Discussão

O desenvolvimento de técnicas de análise de imagem aplicadas ao estudo dos sedimentos sofreu um grande avanço na última década, em particular no que se refere ao estudo da análise dimensional. Esta evolução fez com que as metodologias fossem aperfeiçoadas e direccionadas aos objectivos específicos de cada trabalho. A dificuldade em aplicar o método de Butler *et al.* (2001) à análise textural *in situ* de sedimentos de praia incitou Rubin (2004) a desenvolver o método de AI baseado na autocorrelação de imagem que determina o tamanho dos grãos através da análise de propriedades estatísticas da imagem. Com base neste método, Barnard *et al.* (2007) desenvolveram a metodologia de aquisição e análise de imagem utilizada como referência para a elaboração deste trabalho.

O fluxograma apresentado na figura 15 descreve, resumidamente, os passos para a aplicação da metodologia de análise textural por AI desenvolvida neste trabalho. Este esquema permite uma visualização sintética do processo de aquisição e tratamento dos dados.

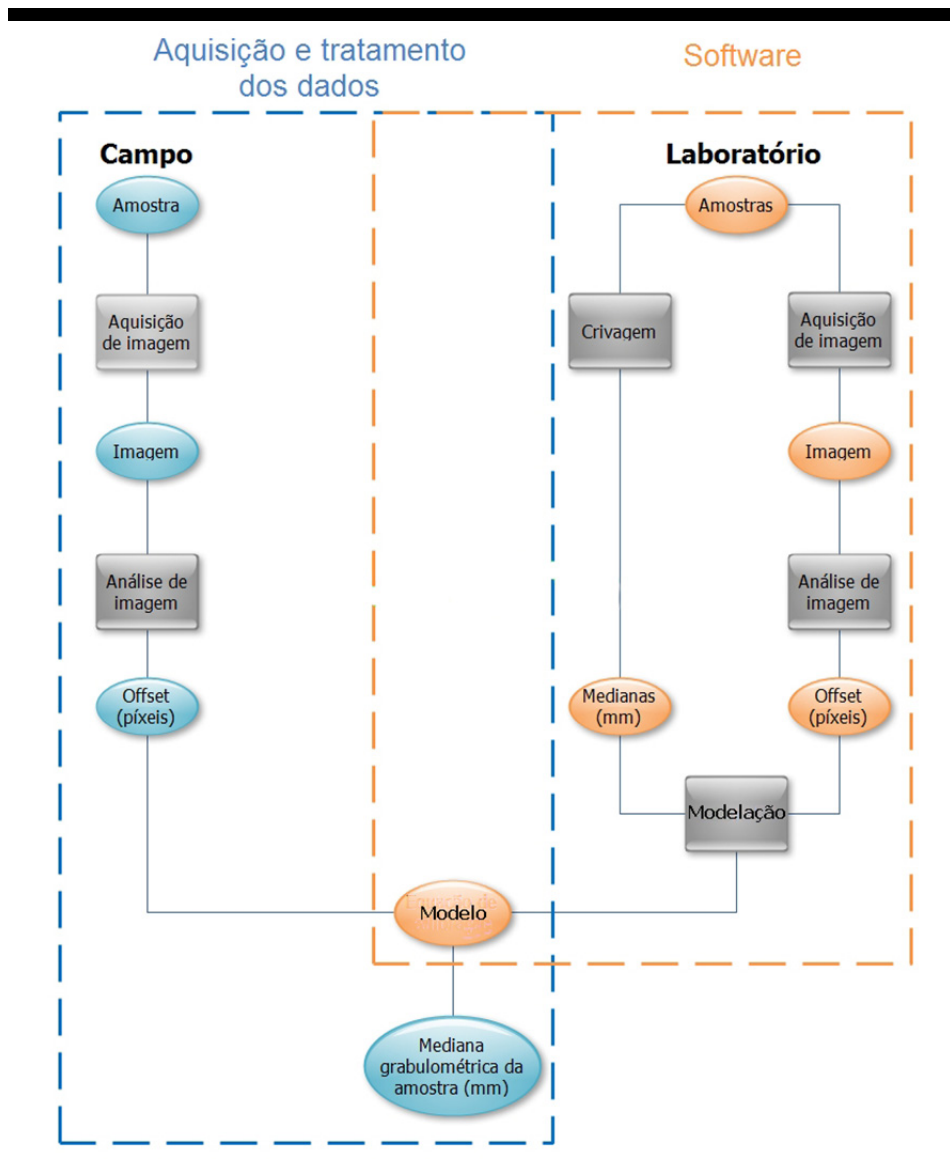


Figura 15. Fluxograma representativo do processo de obtenção das medianas granulométricas a partir da aplicação do *software* desenvolvido.

A metodologia desenvolvida destinada ao estudo da variabilidade textural de praias através da AI envolveu duas fases distintas que serão discutidas separadamente. A primeira, denominada de *hardware*, referiu-se à elaboração de um método eficiente para aquisição de imagens *in situ*. Neste contexto, a construção das SAND BOXES© foi essencial ao permitir uma padronização das imagens obtidas relativamente à distância focal e à iluminação.

A técnica de aquisição de imagens horizontais mostrou-se simples e eficiente ao envolver apenas um ligeiro assentamento da superfície antes de se fotografar o sedimento. No entanto, deve-se sempre verificar se o interior da caixa se encontra bem isolado para que não haja incidência directa de luz natural na superfície a ser fotografada pois o método da autocorrelação é muito sensível a alterações de luz na imagem (Buscombe, 2008).

O processo de aquisição de imagens verticais é mais complexo uma vez que está associado a uma técnica de amostragem laboriosa. A amostragem em questão tem o sucesso de recolha de amostras verticais limitado à face da praia situada acima do nível freático, onde a coesão dos sedimentos permite a recuperação do sedimento. Além disso, para fotografar uma superfície plana que represente a sequência de depósitos amostrados, é necessário dividir o *core* em duas partes iguais. Este é um procedimento delicado, pois é essencial garantir que a superfície não é perturbada nem contaminada por partículas de areia externas ou pertencentes a uma outra zona do testemunho vertical. O diâmetro dos *cores* utilizados (58 x 35 mm) também impõe algumas limitações relativas à área de análise, o que, quando são analisados grãos de sedimentos grosseiros pode induzir a resultados menos fiáveis devido à menor representatividade destas partículas. Esta relação pode ser mais bem compreendida analisando a tabela 1 onde é referenciado o número de grãos por fracção contido nos dois tipos de imagens abordados neste trabalho (horizontal e vertical). Estes valores foram obtidos através de cálculos aproximados que consideraram o diâmetro dos grãos (em mm) igual à área por eles ocupada na imagem. A seguir, baseando-se nas áreas das imagens vertical e horizontal, estimou-se a quantidade de grãos que cada imagem comportava para as diferentes fracções.

Tabela 1. Número aproximado de grãos em cada fracção para os dois tipos de imagem

Fracção (ϕ)	nº aproximado de grãos	
	Imagem horizontal	Imagem vertical
2.25	111800	46030
1.75	58750	24140
1.25	28000	11500
0.75	14195	5830
0.25	7000	2870
-0.25	3546	1454
-0.75	1750	720
-1.25	879	360
-1.75	437	179
-2.25	218	90
-2.75	109	45
-3.25	54	23
-3.75	28	11

As alterações efectuadas no programa de análise de imagem originalmente proposto por Barnard *et al.* (2007) possibilitaram melhorias na qualidade da imagem associadas à correcção da iluminação e a uma optimização de aproximadamente 13% no tempo de cálculo, graças à utilização de uma nova função para o cômputo da autocorrelação (*corr.m*) e ao estabelecimento de um passo logarítmico para o *offset* de análise.

A menor representatividade das amostras nas imagens verticais parece não ter conduzido a resultados menos consistentes do que aqueles obtidos através de imagens horizontais, uma vez que, aparentemente, ambas apresentam o mesmo grau de correlação global no processo de validação dos dados. A figura 16 apresenta o gráfico de validação onde, para facilitar a comparação, é feita uma distinção gráfica entre os dois tipos de imagem.

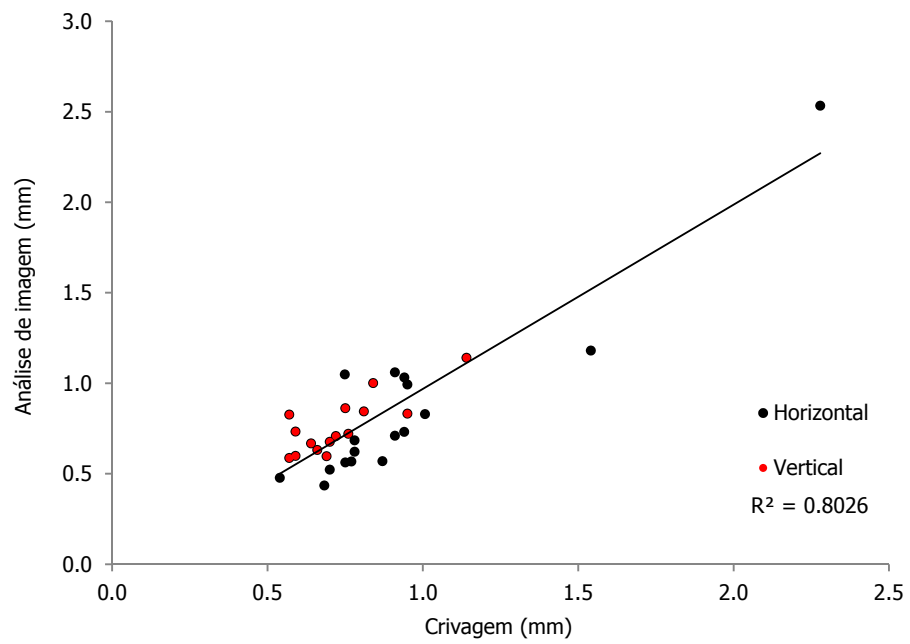


Figura 16. Comparação entre os resultados obtidos através da análise de imagens horizontais e verticais. R^2 vertical=0.64. R^2 horizontal=0.72.

3. Estudos de caso

3.1. Introdução

Para testar a aplicabilidade da metodologia desenvolvida neste trabalho à análise textural de sedimentos de praia, foram efectuadas duas aplicações experimentais ao estudo da variabilidade textural vertical e horizontal da face de duas praias situadas na costa ocidental portuguesa.

Análise da variabilidade vertical

A aplicação do método, no que diz respeito à análise de imagens verticais, teve como objectivo a caracterização textural das sequências sedimentares que constituem a camada de mistura (*beach active layer*). Esta corresponde ao depósito de areia afectado por processos hidrodinâmicos durante um ciclo de maré (King, 1951; Williams, 1971 e Anfuso *et al.*, 2000). A sua caracterização textural é essencial para estimar o transporte sedimentar (Kraus *et al.*, 1982; Kraus, 1985; Ciavola *et al.*, 1997; Anfuso, 2005), medir fluxos de sedimentos durante um ciclo de maré (Anfuso *et al.*, 2000) e calcular as áreas/volumes de erosão em torno de estruturas (Anfuso, 2005). Apesar da sua importância, esta camada tem sido estudada apenas na perspectiva da sua geometria (através da determinação da "profundidade de mistura") e da sua relação com os mecanismos forçadores (Sunamura e Kraus, 1985; Ciavola *et al.*, 1997; Ferreira *et al.*, 2000; Anfuso, 2005, Taborda *et al.*, 2006), pouco se sabendo sobre a sua estrutura interna e variabilidade textural. Referências à sua estrutura interna são escassas, sendo a camada de mistura sistematicamente considerada como uma unidade sedimentar homogénea desconsiderando, assim, qualquer variação textural interna (por exemplo, Matthews, 1983). Observações de campo anteriores, realizadas no âmbito do projecto CROP (*Cross-Shore Processes on Contrasting Environments*, PDCTM/P/ MAR/ 15265/ 1999), revelaram a existência de variações texturais internas significativas da camada de mistura. No entanto, uma vez que o seu estudo apresenta algumas dificuldades operacionais, o estudo sistemático dessas sequências nunca foi feito. Para se fazer uma análise textural deste depósito a uma resolução satisfatória através dos métodos tradicionais, seria necessário recolher manualmente um conjunto de amostras com uma precisão vertical milimétrica - operação que se torna praticamente impossível, tanto no aspecto da amostragem como no aspecto da análise granulométrica laboratorial.

Análise da variabilidade horizontal

Relativamente à análise das imagens horizontais, estas acabam por ter, neste trabalho, uma abordagem mais simples. Este tipo de análise tem por objectivo avaliar a aplicabilidade desta técnica ao estudo da variabilidade textural superficial de praias, tendo como objectivo a zona da face de praia atingida pelo espraio das ondas.

As variações das características dos sedimentos segundo um perfil longitudinal ou transversal à linha de costa resultam de vários aspectos. Entre eles destaca-se o transporte diferencial dos grãos de acordo com a sua dimensão, as variações longitudinais da energia de onda, do ganho ou da perda de sedimento ou de misturas de duas ou mais populações distintas de sedimentos (Carter, 1988).

O tamanho dos grãos dos sedimentos de praia depende das características da fonte e da natureza dos processos sedimentares envolvidos. A distribuição do tamanho dos sedimentos de fundo na zona de espraio das ondas é fundamental para a compreensão do transporte sedimentar e das mudanças na morfologia de praia. Estas informações são essenciais para certas aplicações de engenharia costeira, tais como determinar a compatibilidade de sedimentos para alimentação da praia e concepção de estruturas costeiras para contenção de areia (Wang *et al.*, 1998).

3.1.1. Objectivos

Este capítulo tem como objectivo principal testar a aplicabilidade da análise de imagem ao estudo da variabilidade textural da face de praia através da determinação do tamanho mediano das partículas de sedimento. Pretende-se, nesta tarefa, obter elementos suficientes para avaliar as potencialidades e limitações do método de maneira a permitir uma discussão mais detalhada destes atributos no capítulo seguinte (4. Conclusões e considerações finais).

3.1.2. Áreas de estudo

Os trabalhos de campo responsáveis pela aquisição dos dados aqui apresentados foram realizados na praia da Lagoa de Albufeira, nos dias 23 e 24 de Setembro de 2010 e, na praia do Salgado, no dia 25 de Outubro de 2010 (Figura 17).

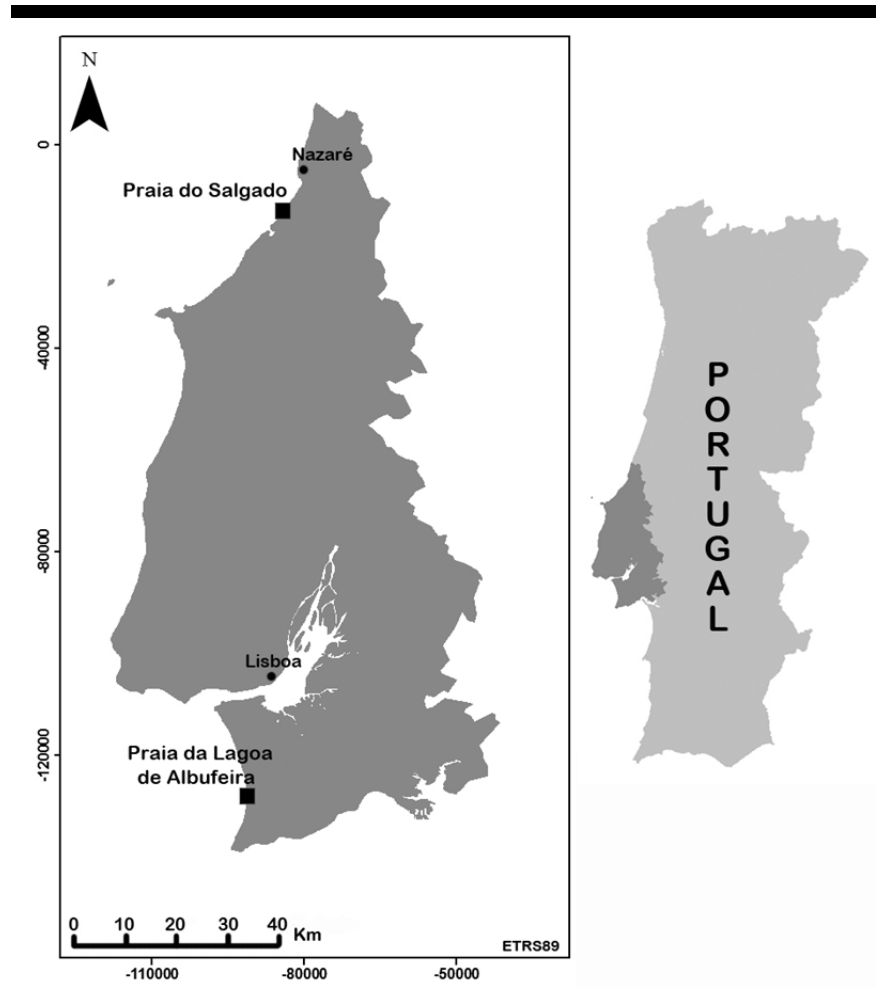


Figura 17. Mapa de localização das áreas de estudo.

A praia da Lagoa de Albufeira (Figura 18), com orientação N-S, localiza-se no limite ocidental da Península de Setúbal a cerca de 20 km a sul de Lisboa. Esta tem um regime de maré semi-diurno e mesotidal, sendo o seu sedimento composto principalmente por areia média a grosseira. Durante a campanha a praia apresentava a face inclinada com um declive médio de 0.12, um terraço de maré exposto e sedimentos com tamanhos médios situados entre 0.57 e -0.84 ϕ . De acordo com o parâmetro de Dean ($\Omega=0.06$), esta praia pode ser considerada reflectiva.



Figura 18. Praia da Lagoa de Albufeira. Porção norte (A). Porção sul (B).

A praia do Salgado (Figura 19) situa-se na costa oeste Portuguesa, 10 km ao sul de Nazaré e a cerca de 120 km a norte de Lisboa. Esta praia, com orientação NE-SW, encontra-se totalmente exposta à agitação gerada no Atlântico Norte, estando sujeita ao mesmo regime de marés da praia da Lagoa de Albufeira. Durante o trabalho de campo a sua face também apresentava-se inclinada (0.09 em média) e com sedimentos cujos tamanhos médios variavam entre 0.97 e -0.48 ϕ . Com base no parâmetro de Dean, esta praia foi classificada como reflectiva ($\Omega= 0.1$).

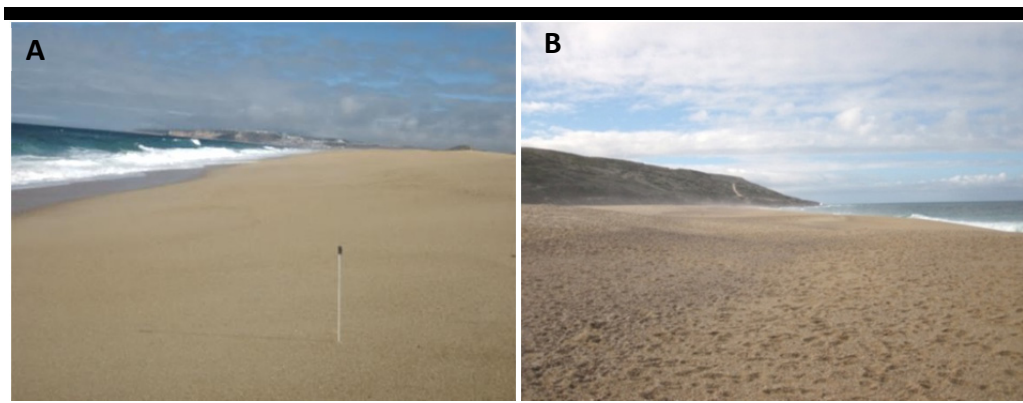


Figura 19. Praia do Salgado. Porção norte (A). Porção sul (B).

3.1.3. Estrutura do capítulo

Para uma melhor distinção dos trabalhos realizados, este capítulo encontra-se dividido em três subcapítulos. O primeiro trata da introdução aos temas que serão abordados e levantamento da problemática a cerca dos mesmos (3.1. Introdução). O segundo descreve o trabalho realizado na praia da Lagoa de Albufeira (3.2. Praia da Lagoa de Albufeira) enquanto o terceiro refere-se à praia do Salgado (3.3. Praia do Salgado), tendo estes dois últimos a mesma estrutura. A estrutura dos subcapítulos que descrevem os estudos de caso contém um item

dedicado à descrição da aquisição dos dados no campo (3.2.1./3.3.1. Aquisição dos dados), um referente aos resultados morfológicos (3.2.2./3.3.2. Morfologia), outros dois que tratam dos resultados obtidos na análise das imagens verticais (3.2.3./3.3.3. Análise das imagens verticais) e horizontais (3.2.4./3.3.4. Análise das imagens horizontais) e um último item contendo a discussão dos resultados (3.2.5./3.3.5. Discussão).

3.2. Praia da Lagoa de Albufeira

3.2.1. Aquisição dos dados

Durante o primeiro dia de campanha foram feitas amostragens apenas para a validação do método de análise de imagem através da colheita de cinco *cores* ao longo da margem sul do canal da lagoa. Estes tiveram os respectivos sedimentos fotografados de acordo com a metodologia descrita em 2.2.2. (Aquisição das imagens verticais) e amostrados para posterior crivagem em laboratório. Nesta etapa foi obtido um total de 19 imagens e respectivas amostras.

No segundo dia foi dado início às actividades de monitorização morfológica na face da praia a sul do canal da lagoa. Foram então posicionadas 13 estacas (munidas das respectivas anilhas) ao longo de um perfil orientado perpendicularmente à linha de costa (Figura 20) e cujas alturas foram monitorizadas de hora em hora. Ao final do ciclo de maré foram medidas as profundidades de mistura e as variações finais na altura das estacas (Tabela 2).



Figura 20. Posicionamento das estacas ao longo de um perfil perpendicular à costa na praia da Lagoa de Albufeira.

Simultaneamente com a monitorização do perfil de praia foi realizada a aquisição de dados para a análise textural de sedimentos utilizando a análise de imagem. Para isso, foram obtidas imagens horizontais do sedimento superficial da face de praia de acordo com a metodologia descrita em 2.2.1. (Aquisição das imagens horizontais), gerando uma malha de amostragem de 35 pontos/imagens (Figura 21).



Figura 21. Mapa com a localização das actividades realizadas no campo.

Ao final do ciclo de maré foram colhidos 6 *cores* ao longo do perfil de estacas. Estes tiveram uma recuperação média de aproximadamente 30 cm e foram fotografados de acordo com a metodologia descrita em 2.2.2. (Aquisição das imagens verticais) (Figura 22), obtendo-se no total 19 imagens. No entanto, estas amostragens foram realizadas apenas na secção superior do perfil dada a elevada saturação do solo na zona inferior do perfil impedir uma recuperação eficiente dos *cores*.



Figura 22. Aquisição das imagens verticais da camada de mistura a partir dos *cores* amostrados

As amostragens tiveram as suas localizações devidamente georreferenciadas no campo por DGPS (*Differential Global Positioning System*) em coordenadas ETRS 89. O mapa de actividades pode ser visualizado na figura 21.

3.2.2. Morfologia

Os resultados do levantamento do perfil de praia da Lagoa de Albufeira revelaram ligeiras alterações na sua morfologia. As modificações mais relevantes foram: pequena acreção na porção superior e inferior do perfil (máximos de 75 mm e 50 mm respectivamente) e pequena erosão na zona intermediária (máximo de 105 mm). Os perfis de praia inicial e final podem ser visualizados na figura 21.

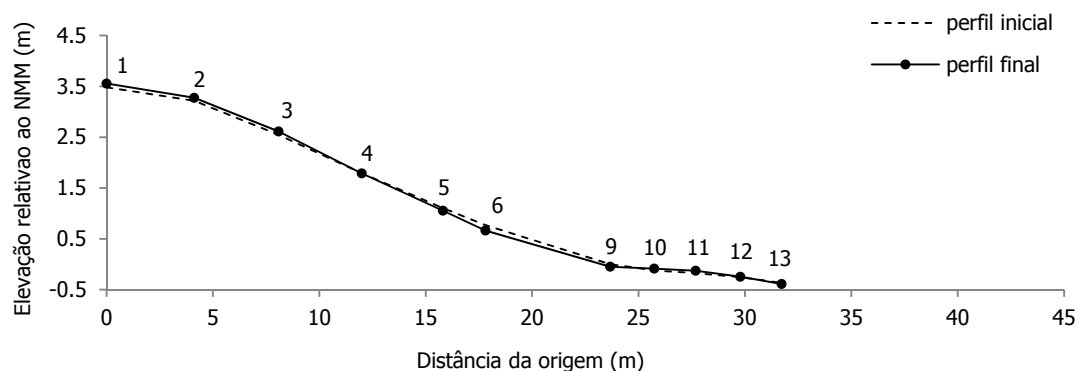


Figura 23. Perfis inicial e final medidos na face de praia e posicionamento das estacas.

Relativamente à camada de mistura, nos pontos onde as condições de saturação do terreno permitiram a recuperação da anilha, puderam ser registadas espessuras de mistura bastante significativas. A zona intermédia a superior do perfil, entre as estacas 3 e 5, foi aquela que apresentou maior profundidade de mistura alcançado um valor máximo de 250 mm (Tabela 2).

Tabela 2. Registo das variações morfológicas do perfil de praia e identificação dos pontos onde foram feitas as sondagens

Estaca	Cota inicial ao NMM (m)	Variação (mm)	Profundidade de mistura (mm)	Cores
1	3,48	75	85	✓
2	3,21	60	70	✓
3	2,54	65	210	✓
4	1,79	-5	250	✓
5	1,11	-50	150	✓
6	0,77	-105	115	✓
7	0,45	perdida	perdida	×
8	0,15	perdida	perdida	×
9	0,00	-50	130	×
10	-0,12	35	-	×
11	-0,17	50	-	×
12	-0,25	10	-	×
13	-0,37	-20	-	×

3.2.3. Análise das imagens horizontais

A análise de imagens horizontais da face de praia, de acordo com a metodologia descrita em 2.3.2. (Análise de imagem horizontal), permitiu obter um conjunto de medianas granulométricas que serviram de suporte à elaboração de um mapa de distribuição espacial deste parâmetro (Figura 24). Apesar da malha de amostragem ser pequena e apresentar um volume reduzido de dados, é possível verificar uma tendência geral para o aumento da dimensão das partículas em direcção ao mar. A amplitude desta variação pode alcançar 1.25ϕ quando comparados pontos opostos do perfil transversal à praia.



Figura 24. Mapa de distribuição sedimentar de um sector da face de praia.

3.2.4. Análise das imagens verticais

No total foram analisadas apenas 17 das 19 imagens pertencentes aos 6 *cores* amostrados, uma vez que duas apresentavam um enquadramento deficiente. A análise textural foi efectuada de acordo com metodologia descrita em 2.3.3. (Análise de imagem vertical).

Os resultados, para a praia da Lagoa de Albufeira, revelaram a existência de uma camada de mistura composta por areia grosseira a muito grosseira, onde as medianas granulométricas variam entre -0.84 e 0.57ϕ . As variações granulométricas verticais da camada de mistura não apresentam uma tendência definida no sentido de uma sequência positiva ou negativa. Pelo contrário, a análise textural vertical da camada de mistura revelou oscilações rítmicas no tamanho mediano dos grãos com variações que, aparentemente, se intensificavam em direcção ao mar (Figura 25).

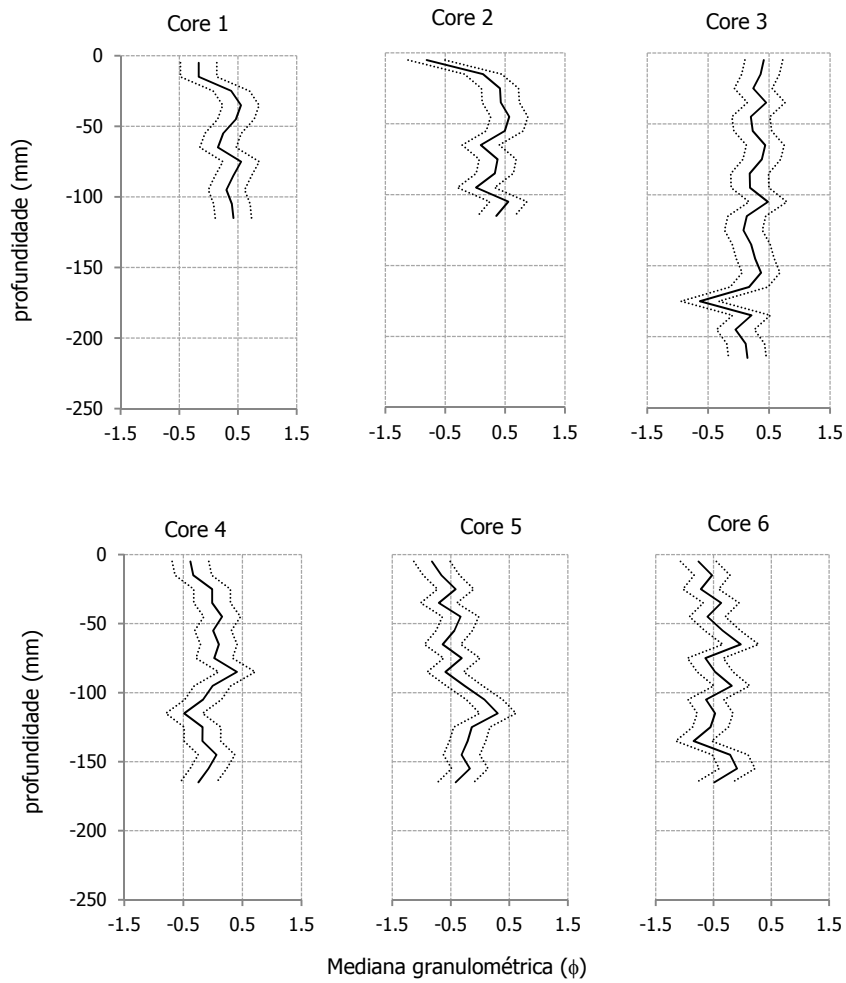


Figura 25. Variação vertical do tamanho mediano dos sedimentos que compõem a camada de mistura. Traço contínuo: resultado alcançado. Traço descontínuo: erro padrão de estimativa.

Considerando o *core* na sua totalidade, os resultados mostram que a camada de mistura tende a ser mais grosseira em direção ao mar. As médias das medianas granulométricas obtidas para cada *core* variam gradualmente de 0.30ϕ (*core* 1) a -0.47ϕ (*core* 6), como mostra a figura 26.

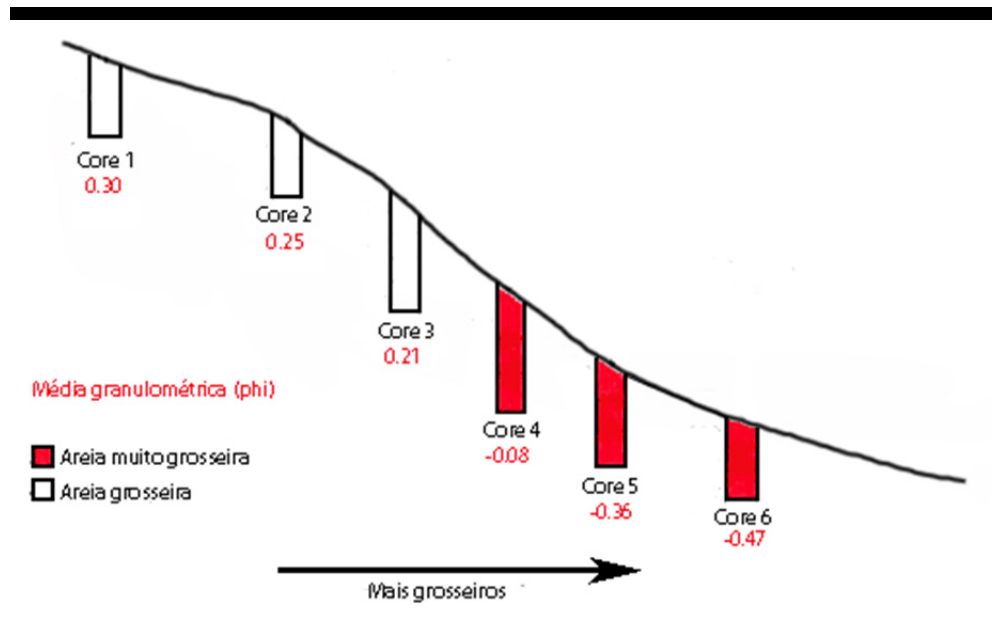


Figura 26. Representação da média das medianas granulométrica em ϕ obtida para a amostra total de cada core.

3.2.5. Discussão

Este capítulo aborda a aplicabilidade da análise de imagem ao estudo da variabilidade textural da face da praia da Lagoa de Albufeira. Neste sentido, foi feito um estudo da variação textural dos sedimentos no espaço e no tempo, *i.e.*, foram estudadas sequências verticais de deposição sedimentar (correspondentes à profundidade de mistura) assim como um trecho da camada superficial de sedimentos da praia.

Os resultados alcançados para a distribuição horizontal dos sedimentos superficiais revelaram um aumento do tamanho mediano dos grãos em direcção ao mar. O gráfico da figura 27 mostra a correlação entre a cota e o tamanho dos sedimentos, onde se verifica uma relação inversa entre a dimensão dos grãos e a cota. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Watt *et al.* (2005) em praias com condições de alta energia ($H_s \geq 2$ m).

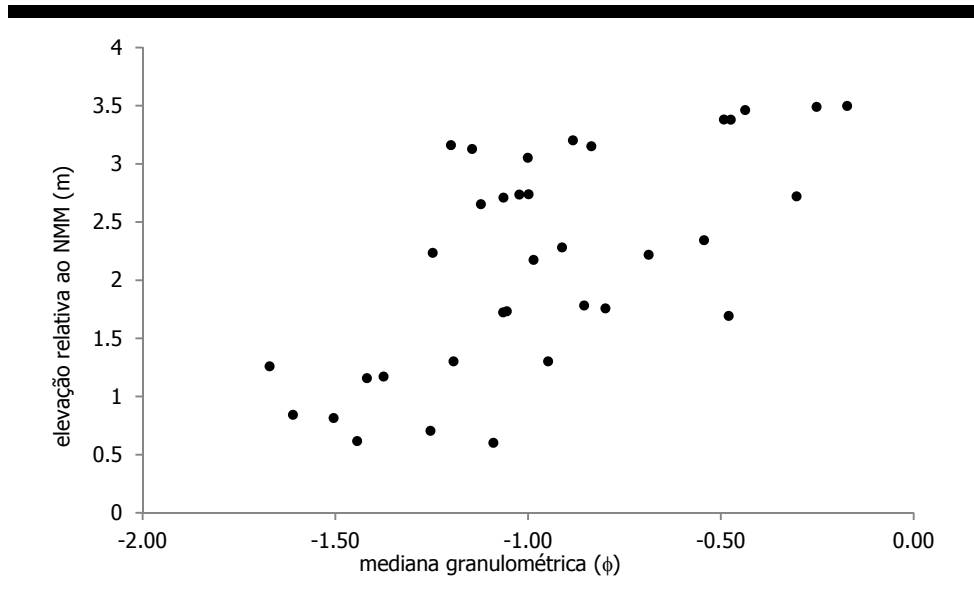


Figura 27. Correlação entre a mediana granulométrica do sedimento superficial e a cota.

Quando a camada de mistura é considerada uma unidade verticalmente homogénea, verifica-se um comportamento semelhante ao observado nos sedimentos superficiais onde os sedimentos se tornam progressivamente mais grosseiros em direcção ao mar. A sobreposição das curvas que exprimem a variação da mediana granulométrica da camada de mistura permitem visualizar e comparar directamente as diferenças das medianas registadas nos diferentes pontos do perfil (Figura 28). A escassez de trabalhos que estudem a composição textural desta camada impede a extrapolação deste comportamento para outros ambientes.

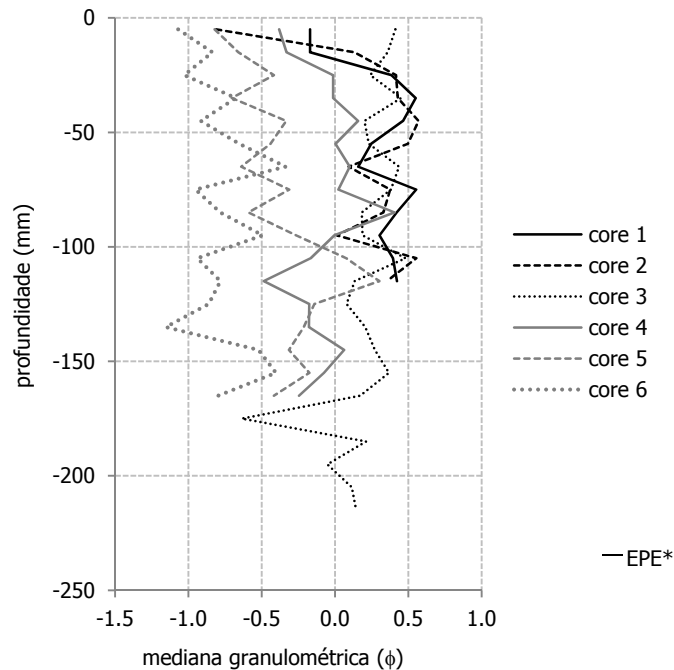


Figura 28. Sobreposição dos gráficos de variação textural vertical da camada de mistura da praia da Albufeira. *Erro padrão de estimativa

A análise textural vertical da camada activa revelou que este depósito apresenta variações significativas no tamanho dos seus grãos. No entanto, a ausência de uma tendência positiva ou negativa na deposição sedimentar juntamente com a baixa frequência das oscilações texturais impossibilitam a determinação de uma relação entre estas oscilações e os níveis de energia do espraio e/ou da ressaca. Especula-se então que haja uma ligação entre as frequências das ondas infra-gravíticas e as frequências das variações texturais do sedimento depositado na camada de mistura da face de praia. Esta relação fundamenta-se no facto de ambas serem considerados eventos de baixa frequência.

As amplitudes das variações granulométricas na camada de mistura mostram-se relativamente constantes, não se observando tendências definidas ao longo do perfil.

3.3. Praia do Salgado

3.3.1. Aquisição dos dados

No âmbito da monitorização morfológica e da determinação da espessura de mistura, foram posicionadas 15 estacas e respectivas anilhas ao longo de um perfil perpendicular à linha de costa (Figura 29), tendo as respectivas alturas sido registadas de hora a hora de acordo com as limitações impostas pelas condições do mar. No final do ciclo de maré foram medidas as profundidades de mistura e as alturas finais das estacas.

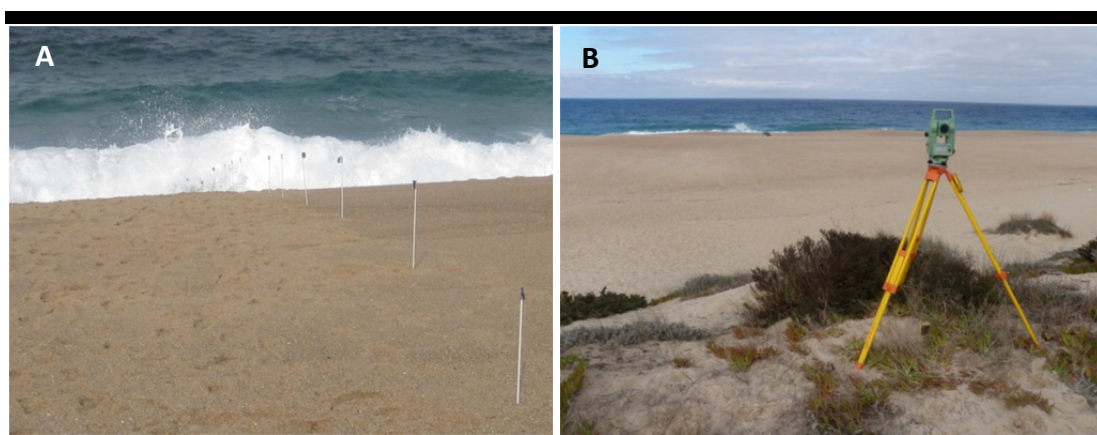


Figura 29. Perfil de estacas (A). Estação Total utilizada no levantamento dos pontos de amostragem (B).

A caracterização da variabilidade textural horizontal da face de praia restringiu-se a uma malha de amostragem com uma área aproximada de 9620 m², onde foram adquiridas 93 imagens dos sedimentos superficiais e 63 imagens dos sedimentos subsuperficiais. A aquisição das imagens foi feita de acordo com a metodologia descrita no item 2.2.1. (Aquisição das imagens horizontais). No caso específico das imagens de sedimento subsuperficial, estas foram adquiridas após a remoção manual de uma camada superficial de sedimentos com aproximadamente 1 cm de espessura feita com o auxílio de uma espátula (Figura 30).

Posteriormente, durante a baixa-mar, foram amostrados 9 *cores* ao longo do perfil na face de praia, desde a zona superior até a zona intermédia. A recuperação de sedimento na porção inferior do perfil foi impossibilitada pelas condições de saturação do solo. As 42 imagens da camada de mistura foram obtidas de acordo com a metodologia descrita em 2.2.2. (Aquisição das imagens verticais).

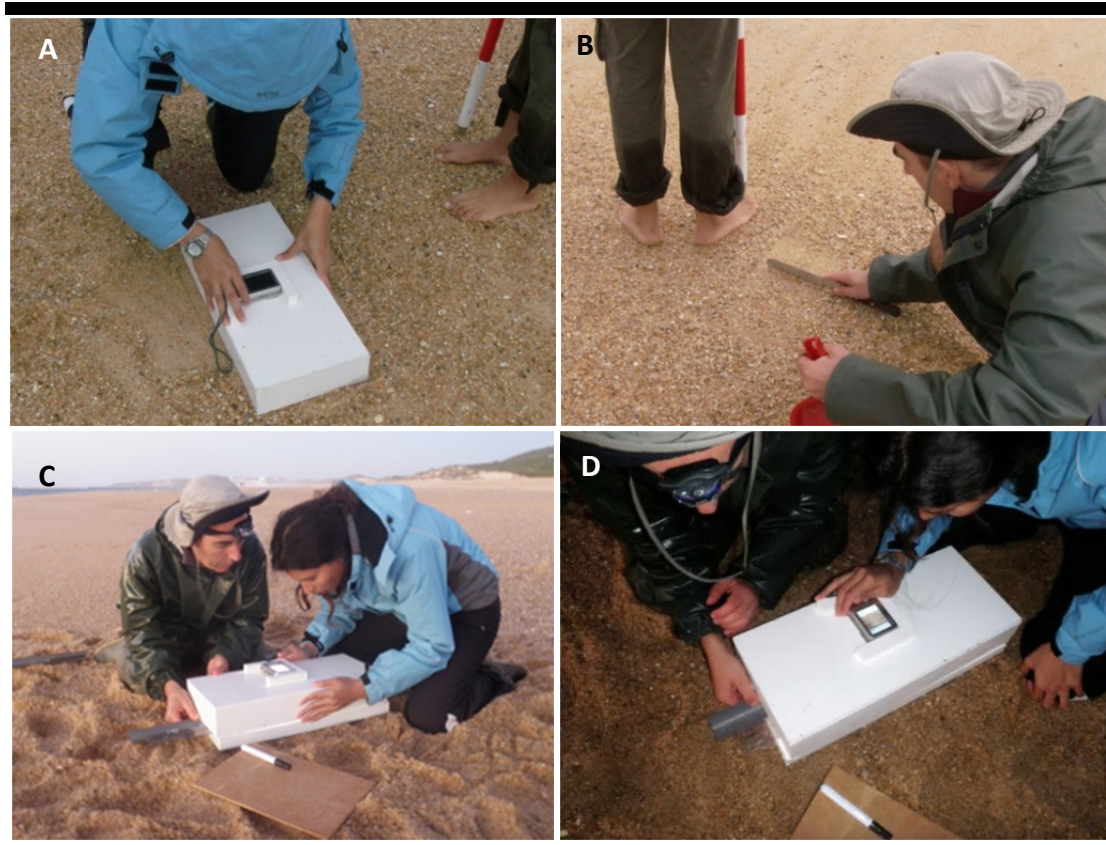


Figura 30. Aquisição de imagens da camada de mistura a partir da amostragem de *cores* (A e B). Aquisição de imagem do sedimento superficial (C) e Remoção da camada superficial de sedimento (D)

Todas as actividades tiveram as suas posições registadas através da Estação Total Leica TC407 georreferenciada com base em três pontos de coordenadas conhecidas, situados na praia do Salgado. O mapa com a projecção da localização das actividades executadas no campo está apresentado na figura 31.



Figura 31. Mapa das actividades realizadas na praia do Salgado.

3.3.2. Morfologia

As cotas dos pontos de aquisição de imagens na face de praia geraram uma malha topográfica de 93 pontos que deu origem ao mapa topográfico representado na figura 30, onde também se encontram representados os resultados das medições inicial e final do perfil de praia. A variação longitudinal da morfologia de praia é exibida na mesma figura pelo gráfico 2D segundo um perfil paralelo à linha de costa.

O mapa topográfico da face de praia evidencia a presença de estruturas sedimentares rítmicas sinusoidais compostas por sequências de elevações e depressões, propriedades características dos lobos de praia. Estes apresentavam um comprimento de onda de aproximadamente 50 m e amplitudes entre 0.4 a 0.8 m (Figura 32).

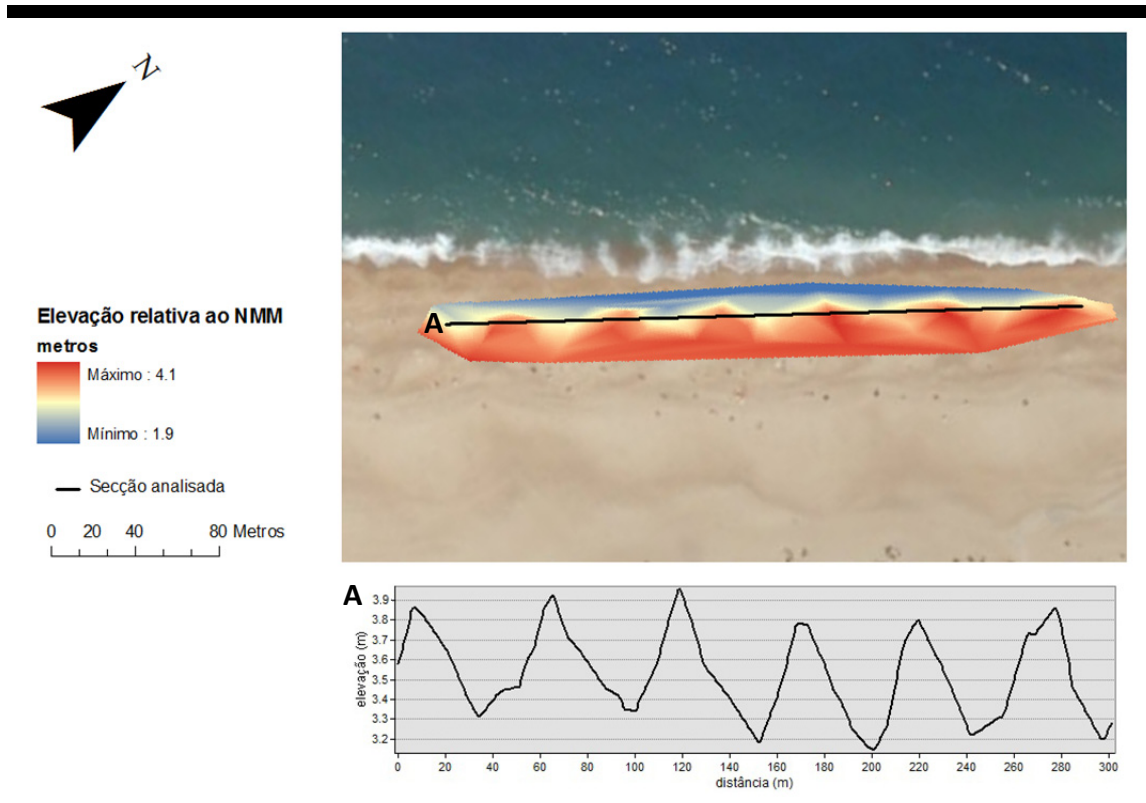


Figura 32. Mapa com a topografia da face de praia e transecto representativo dos lobos de praia.

No que diz respeito às variações morfológicas do perfil de praia, verifica-se apenas uma manutenção do perfil na porção superior e uma erosão na zona intermediária onde o valor máximo registado alcançou -240 mm na estaca 10 (Figura 33 e tabela 3).

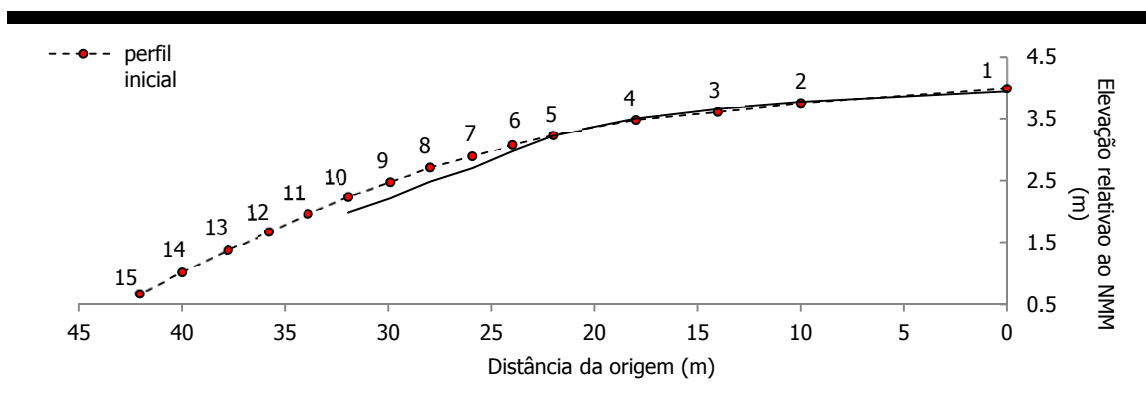


Figura 33. Perfil inicial e final medidos na face de praia e disposição das estacas.

Tabela 3. Dados morfológicos.

Estaca	Cota inicial ao NMM (m)	Variação da cota (mm)	Profundidade de mistura (mm)	Cores
1	4.00	0	0	×
2	3.75	-4	6	✓
3	3.62	6	15	✓
4	3.48	44	50	✓
5	3.24	-18	10	✓
6	3.08	-116	5	✓
7	2.90	-190	45	✓
8	2.71	-231	80	✓
9	2.47	-238	100	✓
10	2.24	-240	135	✓
11	1.96	Perdida	Perdida	×
12	1.68	Perdida	Perdida	×
13	1.38	Perdida	Perdida	×
14	1.02	Perdida	Perdida	×
15	0.68	Perdida	Perdida	×

3.3.3. Análise das imagens horizontais

Os resultados obtidos para a análise textural da camada superficial da face de praia revelaram a presença de sedimentos compostos por areia grosseira e muito grosseira e por cascalho muito fino. A sua distribuição indica um aumento do tamanho mediano destes grãos em direcção à terra. O perfil feito sobre o mapa de distribuição textural destes sedimentos apresenta uma oscilação na distribuição longitudinal da mediana granulométrica (Figura 34).

A camada subsuperficial apresentou sedimentos menos grosseiros, com dimensões entre areia grosseira e muito grosseira. O seu padrão de distribuição sedimentar apresenta-se semelhante àquele encontrado na camada superior, ou seja, observa-se também um aumento do tamanho mediano dos grãos em direcção a terra (Figura 34), embora menos expressivo.

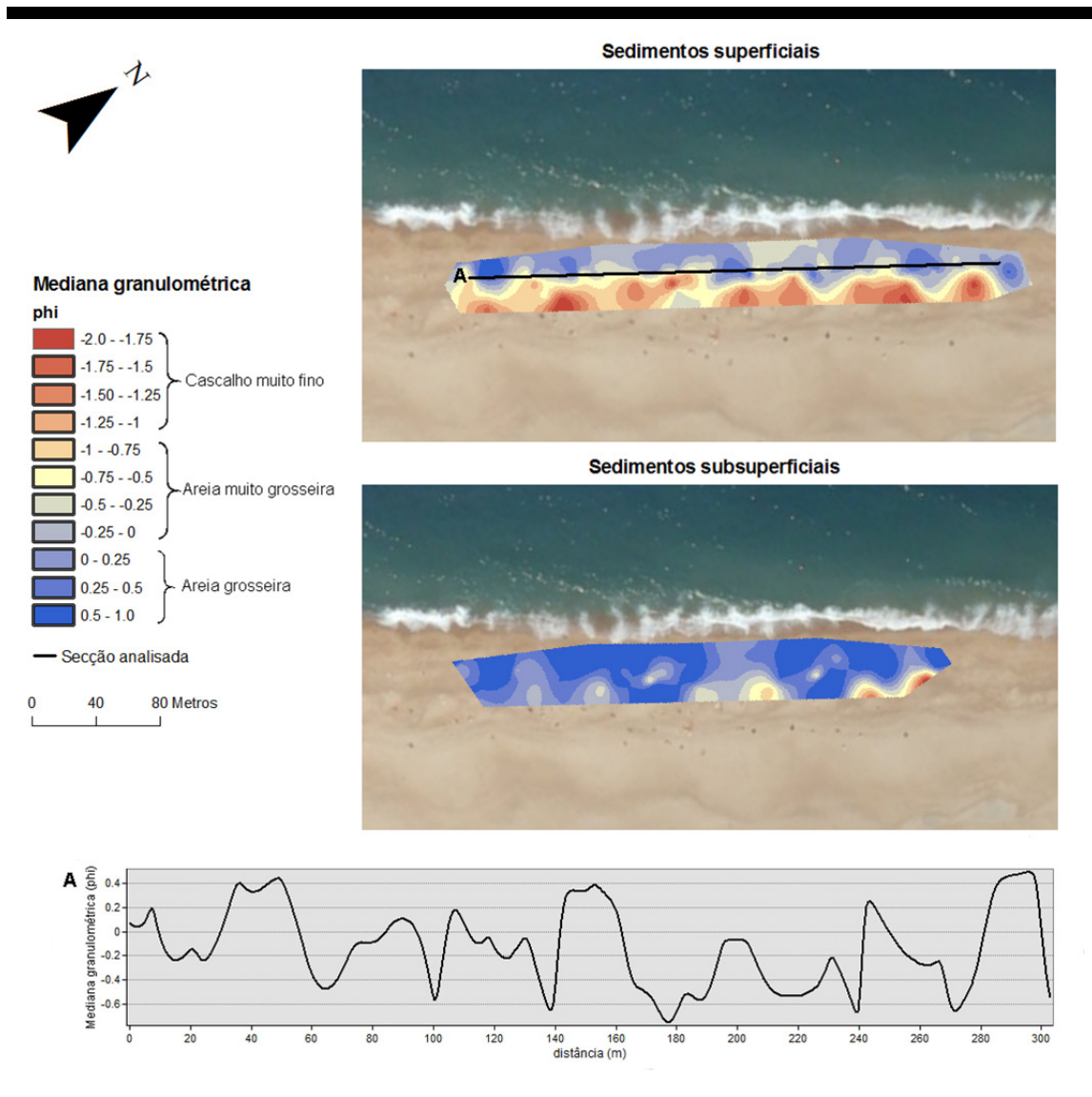


Figura 34. Mapa da distribuição sedimentar das camadas superficial e subsuperficial da face de praia juntamente com o transecto.

3.2.4. Análise das imagens verticais

Dos 9 pontos da amostragem de sedimento realizada através de *cores*, em apenas 5 foi verificada a presença de uma camada de mistura significativa que justificasse a análise textural do depósito, sendo estes pontos coincidentes com estacas 4, 7, 8, 9 e 10 (Figura 33).

Foram obtidas 54 medianas granulométricas de um total de 9 imagens através da metodologia de análise textural descrita em 2.3.3. (Análise de imagem vertical). Os resultados mostraram que a camada de mistura é composta essencialmente por areia grosseira. Quanto à sua variação textural interna, esta mostrou-se presente com amplitudes de até 1.45 ϕ entre as

medias granulométricas obtidas dentro de um mesmo *core*. Estas variações, assim como observado na praia da Lagoa de Albufeira, não apresentam uma tendência definida relativamente à sequência de deposições e sim apenas uma alternância aparentemente aleatória entre grãos mais finos e mais grosseiros (Figura 35).

Ao contrário do que foi observado na praia da Lagoa de Albufeira, na praia do Salgado não se observou uma tendência para os sedimentos da camada de mistura se tornarem mais grosseiros na direcção *offshore*. Neste caso, as médias granulométricas obtidas para a amostra total de cada *core* possuem, aparentemente, uma distribuição aleatória.

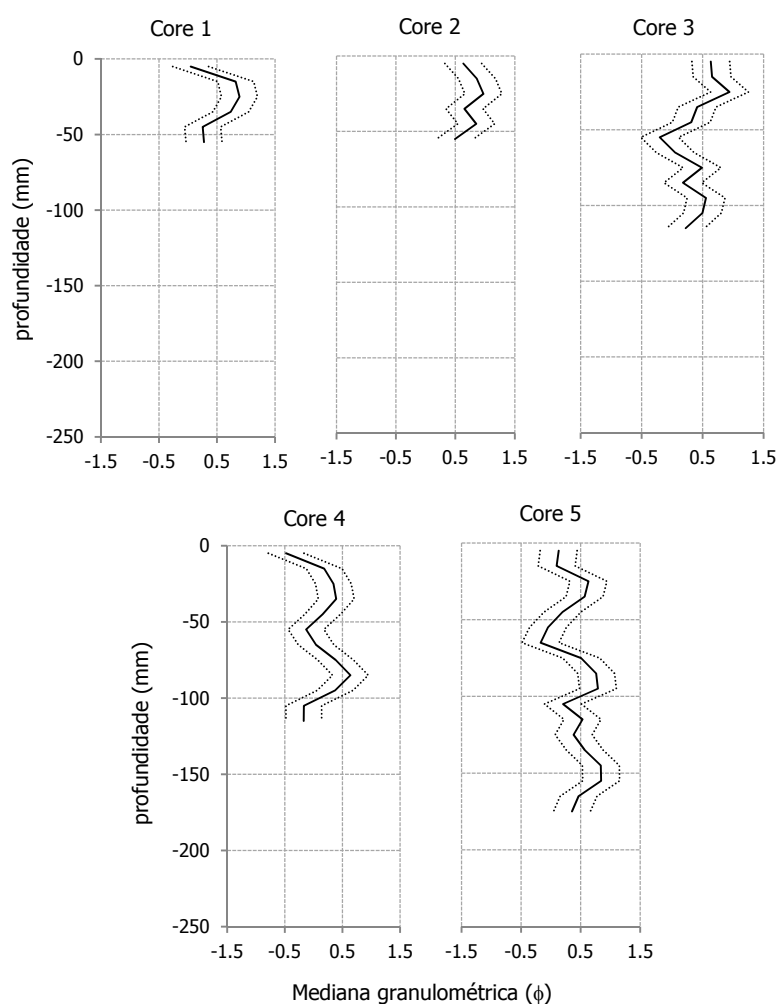


Figura 35. Perfis verticais de variação granulométrica na praia do Salgado. Traço contínuo: resultado alcançado. Traço descontinuo: erro padrão de estimativa.

3.3.5. Discussão

Este capítulo consistiu na aplicação da metodologia de análise de imagem desenvolvida a um estudo de caso realizado na praia do Salgado. O método mostrou-se sensível às variações texturais da face de praia, tanto no que diz respeito aos sedimentos (sub)superficiais como aos depósitos verticais da camada de mistura.

Os resultados obtidos para a análise dos depósitos sedimentares superficiais e subsuperficiais da face de praia revelaram assinaturas texturais distintas onde a camada superficial apresentou sedimentos mais grosseiros. Ambas as camadas possuem a mesma tendência de distribuição, com sedimentos tornando-se mais finos em direcção ao mar. No entanto, esse comportamento não é registado pelo sedimento analisado no topo dos *cores*, o que provavelmente é explicado pelo colapso deste primeiro centímetro em grande parte das amostragens, impedindo a análise textural por AI do estrato superficial.

A existência de uma camada superficial da face da praia formada por sedimentos mais grosseiros pode estar associada à ocorrência de um evento isolado mais energético. Tal evento pode ser resultado de um espalho com competência suficiente para promover o transporte desses sedimentos em direcção a terra e cuja ressaca não é capaz removê-los novamente em direcção ao mar. O modelo descrito por Duncan (1964) explica esse fenómeno como resultado da infiltração significativa de água no sedimento o que reduz o volume de água e consequentemente a capacidade de transporte da ressaca comparativamente ao espraio. Esta teoria torna-se concebível se os sedimentos da face de praia não se encontrarem saturados. Esta situação pode ser representada, durante a descida da maré, pela actuação do último espraio nas diferentes zonas da face de praia.

No que diz respeito à morfologia de praia, registou-se a presença de lobos de praia em toda a extensão da face da praia monitorizada. De acordo com Komar (1983), estas estruturas sedimentares são formadas pela acção do espraio e dependem, sobretudo, da composição granulométrica dos sedimentos, da inclinação da praia e da amplitude das marés. Uma das principais características dos lobos de praia é o tipo de selecção granulométrica promovido, onde, geralmente, as cristas apresentam sedimentos mais grosseiros relativamente às cavas (Komar, 1998). Este padrão de distribuição sedimentar observado na praia do Salgado parece corroborar este modelo (Figura 36).

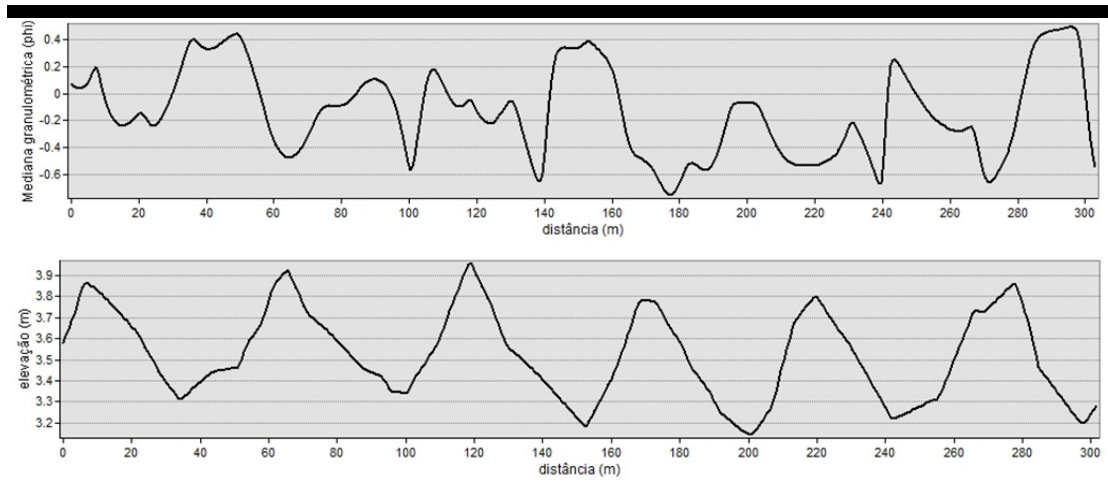


Figura 36. A) Variação da mediana granulométrica ao longo do perfil B) Variação da elevação do terreno ao longo do perfil.

Analisando a camada de mistura como uma unidade sedimentar, verifica-se que não existe qualquer tendência definida relativamente à variação textural dos sedimentos ao longo do perfil, ao contrário do que foi encontrado na praia da Lagoa da Albufeira. Observa-se, neste caso, que o espectro de variação textural é mais reduzido, como mostra a figura 37, onde se sobrepõem as curvas obtidas nos cinco pontos de amostragem.

Tal como na praia da Lagoa de Albufeira, os resultados obtidos para a análise textural vertical da camada de mistura não sugerem nenhum padrão definido de oscilação, ou seja, não é possível identificar uma tendência nem de aumento e nem de diminuição do tamanho mediano dos grãos em profundidade. Analisando a frequência das variações texturais da camada de mistura também se pode especular que estas estejam relacionadas com as ondas de baixa frequência, como é o caso das ondas infra-gravíticas.

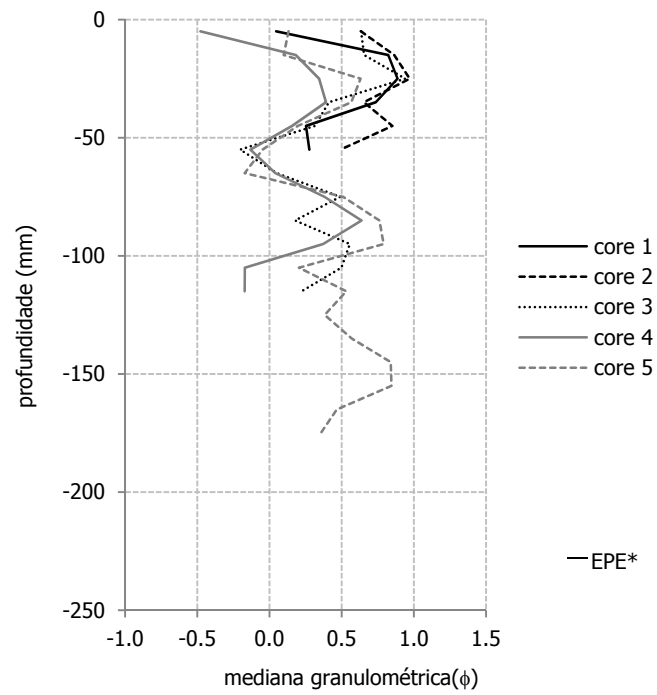


Figura 37. Sobreposição dos gráficos de variação textural vertical da camada de mistura da praia da Salgado. *Erro padrão de estimativa.

4. Conclusões e considerações finais

Neste trabalho foi desenvolvido com sucesso um método de caracterização textural de sedimentos de praia através da análise de imagem. O sistema mostrou-se eficaz no estudo da variabilidade textural de praias sendo também sensível à escala de variação textural vertical e horizontal encontrada neste ambiente.

A metodologia de análise de imagem desenvolvida neste trabalho teve como passo essencial a criação das duas *SAND BOXES*®. O sistema com acoplamento externo da máquina fotográfica e iluminação interna permitiram a padronização das imagens no que diz respeito à dimensão e iluminação da área a fotografar. O baixo custo deste equipamento é uma mais-valia pois permite a utilização de câmaras digitais comuns.

Para a obtenção de imagens do sedimento superficial de praias, foi elaborado um sistema de aquisição de imagens horizontais que se mostrou simples e eficiente ao exigir apenas uma ligeira pressão uniforme sobre a superfície antes de se fotografar o sedimento.

No que diz respeito à aquisição de imagens de depósitos verticais da face de praia, *i.e.* da camada de mistura, o processo apresenta-se mais complexo, exigindo uma metodologia de amostragem mais laboriosa e conseqüentemente mais lenta. As limitações estão relacionadas principalmente com dificuldades na recuperação do sedimento em solo saturado e na manutenção de uma superfície lisa ao separar o *core* em duas metades, uma vez que as irregularidades na superfície a fotografar afectam os resultados da análise de imagem.

O processamento digital das imagens adquiridas no campo foi efectuado através de um programa desenvolvido no âmbito deste trabalho que resultou de adaptações significativas do algoritmo proposto por Barnard *et al.* (2007). Estas adaptações tiveram por objectivo a optimização dos cálculos de autocorrelação, de correcções na distribuição da luz na imagem e, principalmente, de modificações relacionadas com o modo de calibração do método. Em vez de se aplicar o método dos mínimos quadrados a curvas de autocorrelação de um banco de imagens de fracções conhecidas, foi elaborada uma equação (modelo) que relaciona directamente o valor mediano da autocorrelação (em pixels) com o diâmetro mediano (em mm) das partículas sedimentares.

Os resultados obtidos para a validação do método foram bastante favoráveis tendo sido obtido um coeficiente de determinação de 0.8 e uma percentagem média de erro de -3.66%.

Apesar das imagens verticais, comparativamente às horizontais, possuírem uma representatividade menor dos sedimentos dada as suas dimensões terem sofrido uma redução de aproximadamente 60%, não foram encontradas diferenças significativas na eficiência do método entre os dois tipos de imagens.

O método desenvolvido neste trabalho permitiu o estudo da variabilidade textural de duas praias da costa ocidental portuguesa de forma expedita, através da aquisição e da análise de 217 imagens (horizontais e verticais) de onde foram obtidas 347 medianas granulométricas. Além do método permitir a realização de análises granulométricas sem a necessidade de recolha, de transporte e de tratamento laboratorial dos sedimentos, também possibilita a determinação a variação textural vertical da camada de mistura da face de praia, o que nunca tinha sido efectuado anteriormente.

Considerando que o tempo de crivagem e de pesagem de uma amostra arenosa é de cerca de 40 minutos, este método de análise de imagem consegue ser aproximadamente 50 vezes mais rápido quando analisados sedimentos de imagens horizontais, onde a análise tem um tempo de duração de cerca de 45 segundos. No que se refere à análise de imagens verticais, esta não é comparável aos métodos tradicionais uma vez que estes não permitem uma resolução equivalente de amostragem de depósitos sedimentares.

Os resultados obtidos para a distribuição textural horizontal dos sedimentos da face de praia mostraram-se coerentes e sensíveis às variações granulométricas encontradas no sistema. Na praia da Lagoa de Albufeira registou-se uma tendência clara para o aumento da dimensão do grão do topo da face de praia em direcção ao largo. Ao analisar a camada de mistura como um depósito homogéneo obtiveram-se resultados idênticos.

Na praia do Salgado, a configuração da variação textural dos sedimentos foi oposta à observada em Albufeira, ou seja, verificou-se uma diminuição do tamanho dos grãos em direcção ao mar. Aparentemente, esta configuração tem relação com os lobos de praia registados durante a campanha, pois nota-se uma variação longitudinal da textura dos sedimentos que acompanha a oscilação de elevação do terreno.

A análise textural da camada de mistura da face de praia revelou resultados inéditos relativamente à sua variabilidade textural vertical de onde se pode concluir que este depósito sedimentar não deve ser considerado uma camada homogénea. De facto esta camada apresenta variações granulométricas com amplitudes significativas ao longo da profundidade de mistura em ambas as praias estudadas. A resolução de análise escolhida, onde se atribuiu uma mediana granulométrica a cada centímetro da camada, mostrou-se suficiente e satisfatória para o tipo de estudo realizado.

Em ambas as praias estudadas não foi identificada uma tendência definida no padrão de variação textural das sequências sedimentares representativas da camada de mistura, não se podendo classificar estas sequências como positivas ou como negativas. O que se registou foi uma oscilação textural rítmica em todos os pontos de amostragem cuja frequência, aparentemente, aumenta em direcção ao mar. Devido à sua frequência, especula-se que estas oscilações estejam relacionadas com as variações de energia geradas pelas ondas infra-gravíticas.

Perante as potencialidades do método de análise textural desenvolvido neste trabalho, acredita-se que devam surgir futuros esforços relativos ao aprimoramento das técnicas de aquisição dos dados, permitindo a extensão da aplicação desta metodologia a outros domínios da praia. Deverão também surgir aperfeiçoamentos no programa de análise de imagem de modo a aumentar a fiabilidade dos resultados obtidos. Como última sugestão de avanço neste âmbito está a realização de estudos em que a descrição da variabilidade textural das praias possa ser relacionada com os mecanismos forçadores actuantes na praia.

5. Referências bibliográficas

Anfuso, G., 2005. Sediment activation depth values for gentle and steep beaches. *Marine Geology*, 220, 101–112.

Anfuso, G.; Gracia, F.J.; Andrés, J.; Sánchez, F.; Del Rio, L. e López, F., 2000. Depth of disturbance in mesotidal beaches during a single tidal cycle. *Journal of Coastal Research*, 16 (2), 446-457.

Barnard, P.L.; Rubin, D.M.; Harney, J. e Mustain, N., 2007. Field test comparison of an autocorrelation technique for determining grain size using a digital ‘beachball’ camera versus traditional methods. *Sedimentary Geology*, 201 (1-2), 180-195.

Bosnic, I.; Cascalho, J.; Taborda, R.; Ribeiro, M.; Oliveira, A.; Rodrigues, A.; Lira, C., *in press*. Textural characterization of the beach active layer. *Journal of Coastal Research*, SI 64, pp-pp.

Buscombe, D., 2008. Estimation of grain size distribution and associated parameters from digital images of sediment. *Sedimentary Geology*, 210, 1-10.

Buscombe, D.; Masselink, G., 2006. Concepts in gravel beach dynamics. *Earth-Science Reviews*, 79, 33-52.

Buscombe, D.; Rubin, D.M.; Warrick, J.A., 2010. A universal approximation of grain size from images of noncohesive sediment. *Journal of Geophysical Research*, 115, F02015.

Butler, J.B.; Lane, S.N.; Chandler, J.H., 2001. Automated extraction of grain-size data from gravel surface using digital image processing. *Journal of Hydraulic Research*, 39 (4).

Carbonneau, P.E., 2005. The threshold effect of image resolution on image-based automated grain size mapping in fluvial environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 1687-1693.

Carbonneau, P.E.; Lane, S.N.; Bergeron, N.E., 2004. Catchment- scale mapping of surface grain size in gravel-bed rivers using airborne digital imagery. *Water Resources Research*, 40, W07202.

Carter, R.W.G., 1988. Coastal Environments: an introduction to the physical, ecological and cultural system of coastlines. London Academic Press.

Ciavola, P.; Taborda, R.; Ferreira O. e Dias J.A., 1997. Field observations of sand-mixing depths on steep beaches. *Marine Geology*, 141, 147–156.

D’Errico, J., 2006. Matlab Central: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/10065>, acessado em Junho de 2010.

Duncan, J.R., 1964. The effects of water table and tidal cycle on swash-backwash sediment distribution and beach profile development. *Marine Geology*, 2, 186-197.

Ferreira, O.; Ciavola, P.; Taborda, R.; Bairros, M.; e Dias, J. A., 2000. Sediment mixing depth determination for steep and gentle foreshores. *Journal of Coastal Research*, 16 (3), 830-839.

Finkl, C.W., 2004. Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Comprehensive Scheme. *Journal of Coastal Research*, 20(1), 166-213.

Graham, D.J.; Reid, I.; Rice, S.P., 2005. Automated Sizing of Coarse-Grained Sediments: Image Processing Procedures. *Mathematical Geology*, 37 (1).

King, C.A.M., 1951. Depth of disturbance of sand on sea beaches by waves. *Journal of Sedimentary Petrology*, 21, 131-140.

Komar, P.D., 1983. Rhythmic shoreline features and their origins. In: Gardner, R., Scoging, H. (Eds.), *Mega-geomorphology*. Oxford Univ. Press, Oxford, 92–112.

Komar, P.D., 1998. *Beach processes and sedimentation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 544 pp.

Kraus, N.C., 1985. Field experiments on vertical mixing of sand in the surf zone. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55, 3–14.

Kraus, N.C.; Isobe, M.; Igarashi, H.; Sasaki, T.O. e Horikawa, K., 1982. Field experiments on longshore sand transport in the surfzone. *Proceedings of the 18th International Coastal Engineering Conference* (New York, United States, ASCE, 970-988.

Lira, C.; Pina, P., 2009. Automated grain shape measurements applied to beach sands. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 1527-1531.

Masselink, G.; Puleo, J.A., 2006. Swash-zone morphodynamics. *Continental Shelf Research*, 26, 661-680.

Matthews, E.R., 1983. Wave disturbance and texture of beaches in Palliser Bay, Southern North Island, New Zeland. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 26, 197-212.

Moran, P.A.P., 1948. The Interpretation of Statistical Maps. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 10 (2), 243-251.

Pina, P. and Lira, C., 2009. Sediment image analysis as a method to obtain rapid and robust size measurements. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 1562 – 1566.

Rubin, D.M., 2004. A simple autocorrelation algorithm for determining grain size from digital images of sediment. *Journal of Sedimentary Research*, 74 (1), 160-165.

Rubin, D.M.; Chezar, H.; Harney, J.N.; Topping, D.J.; Melis, T.S.; Sherwood, C.S., 2007. Underwater microscope for measuring spatial and temporal changes in bed-sediment grain size. *Sedimentary Geology*, 202, 402-408.

Rubin, D.; Topping, D., 2001. Quantifying the relative importance of flow regulation and grain size regulation of suspended sediment transport and tracking changes in grain size of bed sediment. *Water Resources Research*, 37 (1), 133-146.

Ruggiero, P.; Adams, P.N.; Warrick, J.A., 2007. Mixed sediment beach processes: Kachemak Bay, Alaska. *Proceedings of Coastal Sediments 2007*, New Orleans, LA.

Short, A.D., 1999. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Chichester :John Wiley and Sons, 379 pp.

Sunamura, T. e Kraus, N.C., 1985. Prediction of average mixing depth of sediment on the surf zone. *Marine Geology*, 62, 1-12.

Taborda, R.; Cascalho, J.; Sá-Pires, C., 2006. Intra-Tidal Beach Morphological Changes and Their Relationship with Sand Mixing Depth. *Journal of Coastal Research*, SI 39, 319-322.

Verdú, J.M.; Batalla, R.J.; Martínez-Casasnovas, J.A., 2005. High-resolution grain-size characterization of gravel bars using imagery analysis and geo-statistics. *Geomorphology*, 72, 73-93.

Wang, P.; Davis, R.A.; Kraus, N.C., 1998. Cross-shore distribution of sediment texture under breaking waves along low-wave-energy coasts. *Journal of Sedimentary Research*, 68(3), 497-506.

Watt, T.; Dornbusch, U.; Moses, C.; Robinson, D., 2005. Surface sediment distribution patterns on mixed beaches in response to wave conditions. *Proceeding of Coastal Dynamics 2005*, Barcelona.

Williams, A.T., 1971. An analysis of some factors involved in the depth of disturbance of beach sand by waves. *Marine Geology*, 11, 93-118.

6. ANEXOS

6.1. ANEXO A- Rotinas de programação em MATLAB®

AutoGrainSize.m

```

%% Script for determining sample's grain size mean, median and
distribution
%% Based on the code of Barnard et al. 2007 by Taborda, R. & Bosnic,
I. 2010.
%% Last update February 2011
%% Beach Sand Code 2011

clear all
MaxOffset = ;
folder = ''; %Load the folder that contains the image to be analysed
data_files = dir([folder  '*.jpg']);

L=length(data_files);

amostra = 1;

% Prepare results in cell format in order to be written in excel file
% Header
results(1,1) = {'Filename'};results(1,2) = {'Offset(pixel)'};
results(1,3) = {'Median grain size (mm)'};
results(1,4) = {'Median grain size (phi)'};

for k=1:L;
    tic
    I=imread([folder '\' data_files(k).name]);
    data_files(k).name

    [AutoC Offset] = ImageAutocorr(I, MaxOffset, 1.5, 'Log');
    nOffset = length(AutoC);
    AutoCm=AutoC;
    Auto(amostra, 1:nOffset) = AutoC;
    Offset_c50(k) = exp(interp1(AutoC, log(Offset), 0.5)); % Offset
when autocorrelation is 0.5

    mm_ac(k)= (0.0258*(Offset_c50(k))^1.2982)*0.79; %model application
    phi_ac(k)=-log2(mm_ac(k));

    %Prepare data for excel
    results(k+1,1) = {data_files(k).name};
    results(k+1,2) = {Offset_c50(k)};

    %Convert offset values to grain size
    results(k+1,3) = {mm_ac(k)}; %in mm
    results(k+1,4)= {phi_ac(k)}; %in phi

    amostra = amostra + 1;
    toc
end
%Create the excel file
xlswrite('filename', results);

```

AutoGrainSizeProfile.m

```
%% Script for determining sample's vertical autocorrelation and grain
size distribution
%% Based on the code of Barnard et al. (2007) by Taborda, R. e Bosnic,
I. 2010.
%% Last update January 2011
%% Beach Sand Code 2011

clear all
MaxOffset =;

folder = ''; %Load the folder that contains the image to be analysed
data_files = dir([folder '*.*.jpg']);
[xls_file path] = uigetfile('*.*.xls*', 'Choose data file'); %load the
xls file that contains cores names
[CoreData CoreText] = xlsread([path xls_file], 'data prefix');

L = length(CoreData);

amostra = 1;

PixelSize = 0.019; % Pixel size in mm
CoreTopColumn = 7; % Column with the depth of each core top
TopCut = 2; % Cut topo of original image to correct for sand
heterogeneity (in mm)
TopCutP = TopCut / PixelSize;
BottomCut = 3; % Cut topo of original image to correct for sand
heterogeneity (in mm)
BottomCutP = BottomCut / PixelSize;
LayerThickness = 1; % thickness of each image layer (in mm)

for k=1:L;
    tic
    I=imread([folder 'Core' num2str(CoreData(k, 5)) '\'
cell2mat(CoreText(k+1, 7))]);
    [ny nx] = size(I);

    I=imcrop(I,[1242 TopCutP 1840 ny - BottomCutP]); %crop image
    %data_files(k).name
    [AutoC Offset Var_auto] = ImageAutocorr(I, MaxOffset, 1.5, 'Log',
'Vertical', LayerThickness/PixelSize);
    nOffset = length(AutoC);
    Auto(amostra, 1:nOffset) = AutoC;

    amostra = amostra + 1;

    [n m] = size(Var_auto);
    % Depth -> positive downwards
    CoreTop = -CoreData(k, CoreTopColumn) * 10 + TopCut;
    CoreDepth = CoreTop + (1:m) - LayerThickness / 2;

    LimInf = max(ceil(CoreDepth/10)*10);
    LimSup = min(floor(CoreDepth/10)*10);
```

```

[x y] = hist(CoreDepth, LimSup+5:10:LimInf);
IndexInter = cumsum(x);
IndexInter = [1 IndexInter];

clear Offset_c50
for i = 1:m
Offset_c50(i) = exp(interp1(Var_auto(:,i), log(Offset), 0.5));
MedianSizeMm(i)= (0.0258*(Offset_c50(i))^1.2982)*0.79;
%Offset when autocorrelation is 0.5 using the model developed
end

nlayer = length(x)
for layer = 1: nlayer
MedianSize_inter(layer) = median (MedianSizeMm(IndexInter(layer)
:IndexInter (layer+1)));
Depth(layer) = y(layer);
end

SandVar(k).corename = cell2mat(CoreText(k+1, 7));
SandVar(k).corenumber = num2str(CoreData(k, 5));
SandVar(k).highres.depth = CoreDepth;
SandVar(k).highres.offset = MedianSizeMm;
SandVar(k).lowres.depth = Depth;
SandVar(k).lowres.offset = MedianSize_inter;

toc
end

```

ImageAutocorr.m

```

%% Function for computing image correlation
%% Based on the code of Barnard et al. 2007 by Taborda, R. e Bosnic,
I. 2010.
%% Last update June 2010
%% Beach Sand Code 2010

function [Corr_mean Offset Var_Auto] = ImageAutocorr(I, MaxOffset,
Step, Model, Mode, Nlines)

% Mode - offset step type (linear or logarithmic)
% Average - image average autocorrelation
% Vertical - variation of vertical autocorrelation
% Horizontal - variation of horizontal autocorrelation

% OUTPUT
% Corr_mean - mean image autocorrelation
% Offset - Offset vector
% Var_Auto - Vertical autocorrelation variation

ImageData = double(rgb2gray(I));

[y,x] = size(ImageData); %y=ImageHeight; x=ImageWidth

data = filt(ImageData, 3); % Correct light

```

```
ImageWidthToProcess = x-MaxOffset;
ImageHeightToProcess = y-MaxOffset;

Offset(1) = 1;
i = 1;
while Offset <= MaxOffset;

    % Análise na horizontal
    data1 = data(1:y,1:ImageWidthToProcess);
    data2 = data(1:y,1+Offset(i):ImageWidthToProcess+Offset(i));
    autoc1(i)=corr(data1,data2);

    if nargin == 6
        if strcmp(Mode, 'Vertical')
            line = 1
            for j = 1:Nlines:y-Nlines
                data1 = data(j:j+Nlines-1,1:ImageWidthToProcess);
                data2 = data(j:j+Nlines-
1,1+Offset(i):ImageWidthToProcess+Offset(i));
                Var_Auto(i,line) = corr(data1,data2);
                line = line + 1;
            end
        end
    end

    % Análise na vertical
    data11 =data(1:ImageHeightToProcess,1:x);
    data22 = data(1+Offset(i):ImageHeightToProcess+Offset(i),1:x);
    autoc2(i) = corr(data11,data22);
    if strcmp (Model, 'Log')
        Offset(i+1) = ceil(Offset(i) * Step);
    elseif strcmp (Model, 'Linear')
        Offset(i+1) = Offset(i) + Step;
    else
        Offset(i+1) = Offset(i) + 1;
    end
    i = i + 1;
end
% calcular a média das 2 curvas de autocorrelação (vertical e
horizontal)
Corr_mean = mean([autoc1;autoc2]);
Offset = Offset(1:end-1);
```

filt.m

```
%% Function for correcting illumination heterogeneity
%% by Taborda, R. e Bosnic, I. 2010.
%% Last update June 2010
%% Beach Sand Code 2010

function CorrectedOriginalData=filt(OriginalData, pol)

% OriginalData -> image OriginalData in grayscale format
% pol -> order of polinomial correction

[nl, nc] = size(OriginalData);
```



```

[y x] = meshgrid((1:size(OriginalData,1))-
nl/2, (1:size(OriginalData,2))-nc/2);
x = x';
y = y';

p = polyfitn([x(:) y(:)], OriginalData(:), pol);

z = polyvaln(p, [x(:) y(:)]);
z = reshape(z, nl, nc);

CorrectedOriginalData = OriginalData - z + 128;

```

corr.m

```

%% Function for optimizing correlation computation
%% by Taborada, R. e Bosnic, I. 2010.
%% Last update June 2010
%% Beach Sand Code 2010

function r = corr(x, y)
x = x(:);
y = y(:);
n = length(x);
sxy = sum(x .* y);
sx = sum(x);
sy = sum(y);
sx2 = sum(x.^2);
sy2 = sum(y.^2);
r = (n* sxy - sx * sy)/sqrt((n * sx2 - sx^2) * (n * sy2 - sy^2));

```