

IDENTIFICAÇÃO DE HIDROFORMAS E HIDROMORFOLOGIAS EM ZONAS COSTEIRAS ARENOSAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM

JOAQUIM PAIS-BARBOSA
Faculdade de Ciências Naturais, Engenharias e Tecnologias - Universidade Lusófona do Porto
Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais – FCUP
joaquimbarbosa@ulp.pt
ANA TEODORO
Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais – FCUP
amteodor@fc.up.pt
FERNANDO VELOSO-GOMES
Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos – FEUP
vgomes@fe.up.pt
FRANCISCO TAVEIRA-PINTO
Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos – FEUP
fpinto@fe.up.pt

Resumo: A aplicação de metodologias inovadoras no estudo da zona costeira, como as Técnicas de Informação Geográfica (TIG), utilizando fotografia aérea e imagens de satélite de alta resolução espacial, é um assunto proeminente da investigação das áreas das Ciências Geo-Espaciais e da Engenharia Costeira. Um conjunto de fotografias aéreas, entre 1958 e 2002, foi analisado visualmente num ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com o objectivo de identificar hidroformas e hidromorfologias costeiras, no sector entre Esmoriz e Mira. Este trabalho tem como objectivo principal identificar e analisar formas/padrões morfológicas e hidrodinâmicos (hidroformas e hidromorfologias) recorrendo a algoritmos da classificação de imagem. Para alcançar esse objectivo foram aplicados diferentes métodos de classificação de imagem, nomeadamente técnicas de classificação supervisionada e não supervisionada, utilizando o software PCI Geomatica®. Foram testados diferentes algoritmos na classificação supervisionada, (paralelepípedo, distância mínima e máxima probabilidade) e na classificação não supervisionada, o K-médias e o ISODATA. Os algoritmos de classificação supervisionada apresentaram bons resultados, demonstrados pela precisão global e coeficiente Kappa, de 95.65% - 0.95661 e de 95.85% - 0.95840, para o método do paralelepípedo e para o método da máxima probabilidade respectivamente. Os algoritmos de classificação não supervisionada (K-médias e ISODATA) permitiram identificar várias classes, como por exemplo, praia, face da praia e zona de rebentação. Os resultados obtidos foram comparados (sobrepostos) com os da análise visual em ambiente SIG, mostrando uma boa concordância nas hidroformas e hidromorfologias identificadas.

Abstract: The application of innovative methodologies in the study of the coastal zone, such as Geographic Information Techniques (TIG), using aerial photography and satellite images of high spatial resolution, is a prominent subject of research in the areas of Geospatial Sciences and Coastal Engineering. A set of aerial photographs between 1958 and 2002, was visually analyzed in an environment of Geographic Information Systems (GIS). The aim of this analysis was identify hydroforms and hydromorphology at coastal sector between Esmoriz and Mira. This work aims to identify and analyze morphological and hydrodynamic forms/patterns (hydroforms and

hydromorphology) using image classification algorithms. To achieve this goal were applied different methods of image classification, supervised and unsupervised classification techniques, using the software PCI Geomatica ®. Different supervised algorithms classification were tested (parallelepiped, minimum distance and maximum likelihood) and unsupervised algorithms classification (K-means and ISODATA). The algorithms of supervised classification showed good results, demonstrated by the overall accuracy and Kappa coefficient, 95.65% - 0.95661 and 95.85% - 0.95840, for the parallelepiped method and for the method of maximum likelihood respectively. The algorithms of unsupervised classification (K-means and ISODATA) identified various classes, such as beach, beachface and surf zone. The results were compared (overlapping) with those of visual analysis in GIS environment, showing a good agreement between the hydroforms and hydromorphologies identified.

Palavras-chave: Zona Costeira, Classificação de Imagem, Hidroformas e Hidromorfologias

Keywords: Coastal Zone, Image Classification, Hydroforms, Hydromorphologies

1. Introdução

Desde o início do século XIX, têm sido relatados diversos e importantes eventos erosivos na zona costeira oeste de Portugal, em especial para a região centro. As razões apontadas e documentadas em vários estudos para este processo são fundamentalmente: a redução do volume sedimentar, em consequência da alteração do regime hidrológico dos rios com a construção de barragens, dragagem de canais de navegação e extracção de areias, defesas costeiras e obras portuárias e pressão urbanística. A maioria dos estudos realizados para a zona costeira portuguesa está geralmente relacionada com a praia emersa, concentrando-se essencialmente no recuo da linha de costa, evolução do perfil praia e galgamentos de duna. Existem poucas referências a estudos relacionados com a praia submersa. Quando se conjugam praia submersa e Tecnologias de Informação Geográfica (TIG) o número de referências a trabalhos é ainda mais restrito.

A avaliação do comportamento e classificação hidromorfológica de uma praia é uma tarefa bastante complexa. Esta complexidade resulta da interacção entre a agitação marítima e das fronteiras sólidas naturais (praias, dunas) e artificiais (esporões, obras aderentes), a ocorrência de eventos dinâmicos, a não-linearidade dos fenómenos e das interacções, das múltiplas escalas temporais (de segundos a centenas de anos), e da dificuldade em obter dados históricos (hidrodinâmicos, geomorfológicos e topográficos) fiáveis e contínuos no tempo.

Um conhecimento efectivo da interacção entre os processos físicos, morfológicos e geomorfológicos é fundamental para compreender a dinâmica da zona costeira. O

conhecimento e a compreensão da interação entre terra e mar, deve incluir também as formas/padrões morfológicos e hidrodinâmicos designadas como hidroformas e hidromorfologias. A compreensão das hidroformas e hidromorfologias é vital para entender o comportamento da praia emersa e submersa. Esse conhecimento é de extrema importância para melhorar a gestão costeira, nomeadamente na definição de orientações estratégicas a médio e longo prazo.

Pais-Barbosa *et al.*, (2005a, 2005b e 2007) e Pais-Barbosa (2007), desenvolveu uma metodologia para identificar, medir e classificar hidroformas e hidromorfologias, bem como para classificar o estado morfológico em que uma praia se encontra. Esta metodologia consistiu na análise visual de uma série de fotografias aéreas verticais em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Uma desvantagem desta metodologia é a morosidade na análise das fotografias aéreas e na quantificação da dimensão das hidroformas e das hidromorfologias identificadas. Deste modo, é importante desenvolver um método que reduza o tempo de análise da quantificação da dimensão, que facilmente permita a identificação e a classificação precisa de hidroformas e hidromorfologias.

Pais-Barbosa *et al.*, (2005a, 2005b e 2007) e Pais-Barbosa (2007) testaram também técnicas de análise recorrendo a técnicas de classificação de imagem. Estas análises consistiram na utilização de um script em Matlab ® 7.0 que utiliza as ferramentas imagem deste software (filtro Sobel Edge e o filtro Canny Edge Detection) e classificação supervisionada utilizando o software PCI Geomatica®. Estes métodos mostraram resultados promissores na identificação de formas/padrões morfológicos e hidrodinâmicos, no entanto, a precisão dos algoritmos testados não foi avaliada.

Assim, o objectivo principal deste trabalho é identificar e analisar formas/padrões morfológicos e hidrodinâmicos, com base em técnicas de classificação de imagem, e a comparação com os resultados da identificação visual.

1.1 Área de Estudo

A zona costeira em análise está localizada na costa oeste portuguesa, caracterizando-se por uma elevada dinâmica e vulnerabilidade, estando em constante alteração. Este sector é limitado a norte por uma pequena laguna (Barrinha de Esmoriz) e a sul é limitado pelo aglomerado urbano do Furadouro (Figura 1), com uma extensão linear de 11.5 km. Relativamente à ocupação do solo é essencialmente constituído por zonas urbanas e florestais.

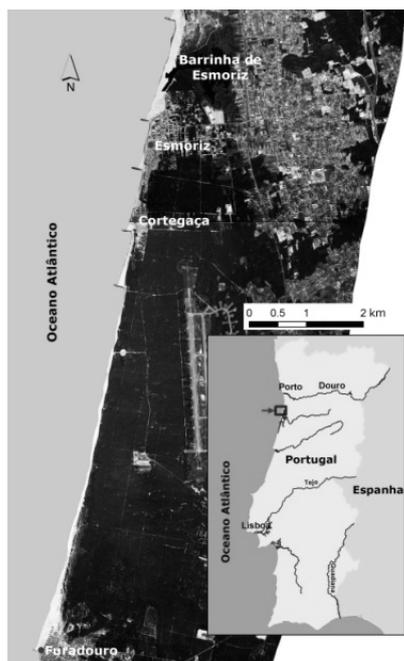


Figura 1 – Zona de estudo.

A zona de estudo é constituída por sistemas arenosos muito dinâmicos, ajustando-se constantemente às características de agitação local e de nível de maré. Esta região apresenta um regime de maré semi-diurno, atingindo os 4.0 m em marés vivas (mesotidal). A deriva litoral dominante, em geral, apresenta a direcção norte-sul.

A agitação marítima caracteriza-se por uma altura significativa que varia entre os 2 e 3 m com períodos a variar entre os 8 e os 12 s, embora em eventos de tempestade a altura de onda significativa exceda os 8 m, com períodos a variar entre os 16 e os 18 s. A direcção da agitação exhibe maiores frequências e intensidades no quadrante NW com 43.8 % das ocorrências, WNW com 28.0% e NNW com 21.2%, respectivamente (Veloso-Gomes et al., 2006).

Do ponto de vista geológico é uma costa arenosa plana, formada por praias e dunas com reduzida elevação, com hidroformas e hidromorfologias muito dinâmicas que estão em constante alteração.

2. Metodologia

O principal objectivo da classificação de imagem é agrupar de forma automática todos os pixels de uma imagem em conjuntos de classes ou temas de cobertura da superfície. Para isso é usada a informação espectral representada pelo DN de cada pixel numa ou várias bandas para classificar cada pixel individualmente, baseando-se na sua informação espectral. A imagem resultante é constituída por um mosaico de pixéis, cada um

deles pertencendo a uma classe específica. O processo de classificação pode ser dividido em dois tipos de classificação: classificação supervisionada, e classificação não supervisionada.

O algoritmo de classificação supervisionada procede a uma análise espectral das características desses elementos. A informação numérica sobre os pixels das áreas de treino, nas diferentes bandas, é usada para “treinar” o algoritmo a reconhecer, para cada classe, zonas da imagem com propriedades espectrais semelhantes. Com base nestes elementos, o algoritmo pode proceder à classificação supervisionada da informação sobre aquela zona da imagem. O método adoptado é definido pelo operador. Não existe no entanto um método óptimo, ocorrendo sempre alguma confusão na identificação daqueles elementos devido à variação dos próprios valores de reflectância.

No caso da classificação não supervisionada não existem áreas de treino pré-definidas e o algoritmo limita-se à identificação e separação de possíveis elementos da imagem por análise da informação multi-bandas existente. De certa forma a classificação não supervisionada usa um processo inverso ao da classificação supervisionada. Primeiro as classes espectrais são agrupadas somente com base na informação numérica da imagem e posteriormente são associadas a classes de informação. Neste tipo de classificação o operador tem geralmente de especificar o número de clusters que vai procurar na imagem. Parâmetros pedidos podem ser também a distância entre os vários clusters e a variância dentro de cada cluster. O processo de classificação não supervisionada é normalmente iterativo.

2.1 Classificação supervisionada

Os métodos de classificação supervisionados utilizados neste trabalho foram o método do paralelepípedo, da distância mínima e da máxima probabilidade. Todos estes métodos usam a descrição dos padrões de resposta espectral das várias categorias feita com base nas áreas de treino (Lillesand e Kiefer, 2000).

No método do paralelepípedo são definidas áreas na imagem ou zonas de decisão, a partir dos valores máximo e mínimo dos valores de DN dos pixels dessa classe, nas diversas bandas. Cada pixel é assim classificado de acordo com a região a que pertence. Se não for classificado em nenhuma classe é classificado como nulo. No caso de sobreposição dos vários paralelepípedos definidos para as diferentes classes, o método pode ser melhorado modificando a forma dos paralelepípedos de modo a formar mosaicos que não se intersectem. Este é um método rápido e normalmente bastante eficiente (Lillesand e Kiefer, 2000).

No método da máxima probabilidade é usada a variância e a covariância dos padrões da resposta espectral de cada classe e assume-se que a distribuição dos pontos

que formam uma classe é Gaussiana. Deste modo, para cada pixel é calculada a probabilidade de este pertencer a cada uma das classes, sendo classificado como pertencente à classe correspondente à probabilidade máxima. Este método, embora eficiente, requer maiores exigências computacionais (Lillesand e Kiefer, 2000).

No método da distância mínima é determinado em primeiro lugar, o valor espectral médio, em cada banda, de cada classe. Depois para cada pixel é calculada a sua distância ao valor médio de cada classe, sendo classificado como pertencente à classe à qual corresponde uma distância mínima. Este é um método simples e eficiente, mas que não deve ser usado quando as classes são espectralmente muito próximas (Lillesand e Kiefer, 2000).

Uma das formas mais comuns de analisar os resultados do processo da classificação supervisionada é analisando as matrizes de erro (Congalton et al., 1983). Estas matrizes comparam, classe a classe, a relação entre os pixels identificados nas áreas de treino e os pixels classificados automaticamente. Estas matrizes permitem identificar erros de omissão ou comissão cometidos no processo de classificação. Os bons resultados significam que as áreas de treino são homogêneas, as classes espectralmente espaçadas e o método de classificação foi bem escolhido.

A variável estatística Kappa é uma medida da diferença entre a concordância real dos dados de referência com os dados que foram automaticamente classificados e a concordância hipotética entre os dados de referência e os aleatoriamente classificados, e pode ser definida (Story and Congalton, 1986):

$$Kappa = \frac{\text{Precisão observada} - \text{Concordância hipotética}}{1 - \text{Concordância hipotética}} \quad (1)$$

Esta variável serve como indicador para se determinar até que ponto a percentagem de valores correctos dados pela matriz de erro é devida a uma concordância real com os dados observados ou a uma concordância hipotética. Normalmente Kappa toma valores entre 0 e 1. Valores entre 0.8 e 1.0 significam uma concordância muito boa. Um K=0 sugere que a classificação não é melhor que uma atribuição aleatória de pixels (Rosenfield e Fitzpatrick, 1986).

Em geral a classificação supervisionada, quando comparada com a classificação não supervisionada, resulta na identificação mais precisa e com menores erros, ou confusão, dos elementos que a compõem (Lillesand e Kiefer, 2000).

2.2 Classificação não supervisionada

Na classificação não supervisionada foram testados dois algoritmos: K-médias e ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques).

O K-médias é um algoritmo para partição de um conjunto de elementos num determinado número de clusters (K), e que utiliza o método dos mínimos quadrados e o ajustamento das médias no decorrer do processo de iteração. Este algoritmo, de forma geral, possui obrigatoriamente apenas duas etapas. A primeira consiste na determinação dos centróides (posição média de todas as amostras de uma classe), sendo o número de classes determinado previamente pelo operador, em redor do qual se originará os agrupamentos (classes), funcionando os mesmos como “sementes”. A segunda etapa consiste na utilização destas para a formação de novos agrupamentos. No decorrer das iterações, o algoritmo tenta minimizar a soma dos resíduos do processo dos mínimos quadrados, sobre todos os grupos e dentro de cada grupo isoladamente em relação à distância de cada objecto para o respectivo centróide de seu grupo. A convergência é alcançada quando o resíduo da soma dos quadrados não pode mais ser reduzido. Assim, o objectivo do K-médias é dividir conjuntos de elementos em K classes, da forma mais simples possível (Jensen, 1996).

O algoritmo ISODATA é idêntico ao K-médias, onde os centros dos clusters são determinados de modo iterativo através da média móvel. O ISODATA apresenta a opção de aumentar o número de classes, segundo um limite definido, conforme a distância que a amostra apresente da média dos clusters (centróide) seja maior que a das classes existentes (Jensen, 1996).

3. Resultados e Discussão

Os métodos e algoritmos descritos na secção da metodologia foram aplicados a uma fotografia aérea (ano de 1996). A performance e precisão da classificação supervisionada de não supervisionada foram avaliadas com o objectivo de validar os resultados da interpretação visual já efectuada.

3.1 Classificação Supervisionada

A classificação visual efectuada por Pais-Barbosa (2007) e Pais-Barbosa et al., (2007) permitiu a identificação de diversas formas costeiras tais como crescentes de praia/crescentes de praia-mar/crescentes de erosão ($\lambda < 100$), megacrescentes de praia e megacrescentes ($100 < \lambda < 500$), gigacrescentes ($\lambda > 500$), bermas, bermas de erosão, arribas dunares, linha de vegetação, zona de rebentação/barras submersas (paralelas, crescenticas, transversais) mini e correntes de retorno, cabeças de retorno, canais e linha máxima de espraiamento (Figura 2).

Com base no conhecimento das formas costeiras adquirido, foram definidas cinco áreas de treino (ou classes) no software PCI Geomatica®, como é ilustrado na Figura 3. Optou-se por agrupar as cabeças de retorno, os canais de retorno e as correntes de retorno numa só classe com o objectivo de melhorar o desempenho dos algoritmos de classificação.

A separabilidade das classes foi avaliada usando a transformed divergence (PCI, 2000), sendo apresentados os resultados na Quadro 1.

Analisando os valores apresentados no Quadro 1, apenas a face da praia e a praia apresentam uma má separabilidade (<1.0). A separabilidade entre o mar e as correntes de retorno, a zona de rebentação e correntes de retorno, a praia e a zona de rebentação é aceitável, no entanto pode ainda ser melhorada.

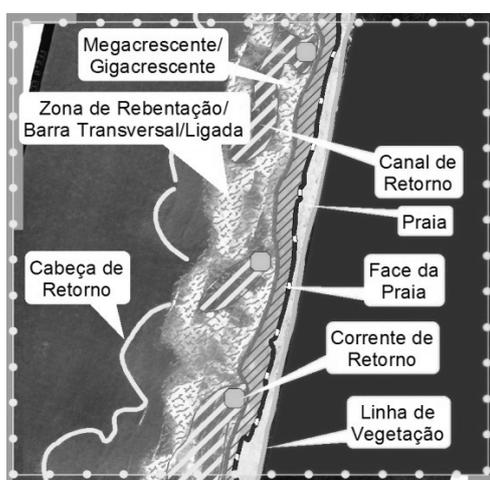


Figura 2 - Exemplos de classes identificadas visualmente (Pais-Barbosa, 2007).

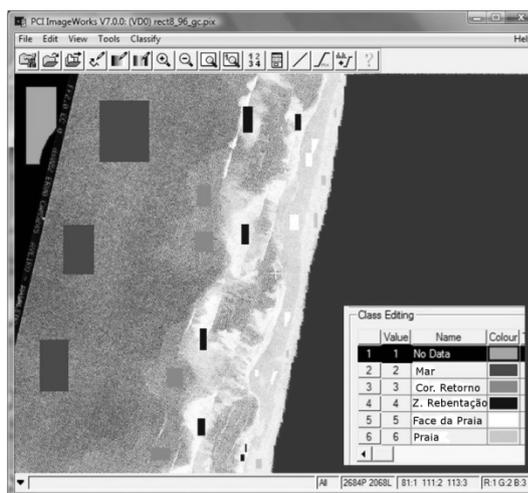


Figure 3 - Áreas de treino definidas.

A performance dos três algoritmos testados foi avaliada analisando a matriz de confusão (Quadro 2), o coeficiente Kappa e a precisão global (Quadro 3).

Quadro 1 - Separabilidade das classes (transformed divergence).

Classe	Mar	Correntes de Retorno	Zona de Rebentação	Face da Praia
Correntes de Retorno	1.81850			
Zona de Rebentação	1.99997	1.75614		
Face da Praia	2.00000	1.99931	1.96288	
Praia	2.00000	1.99988	1.80489	0.95618

Quadro 2 - Valores de precisão obtidos (%) para a classificação supervisionada.

Classe	Paralelepípedo	Máxima Probabilidade	Distância Mínima
--------	----------------	----------------------	------------------

Mar	97.36	97.51	90.62
Correntes de Retorno	95.00	95.03	67.50
Zona de Rebentação	91.41	91.41	82.13
Face da Praia	80.31	80.36	62.09
Praia	86.10	86.02	80.04

Quadro 3 – Valores de precisão global (%) e coeficiente Kappa para a classificação supervisionada.

Precisão Estatística	Paralelepípedo	Máxima Probabilidade	Distância Mínima
Precisão Global	95.65	95.85	88.24
Coeficiente Kappa	0.95661	0.95840	0.88240

A Figura 4 mostra os resultados do algoritmo paralelepípedo após a utilização de filtro de moda 7x7. Este filtro processa a moda dos valores dos DN's assumindo o valor mais frequente que ocorre na janela considerada.



Figura 4 - Resultados do algoritmo do paralelepípedo com o filtro moda 7x7.

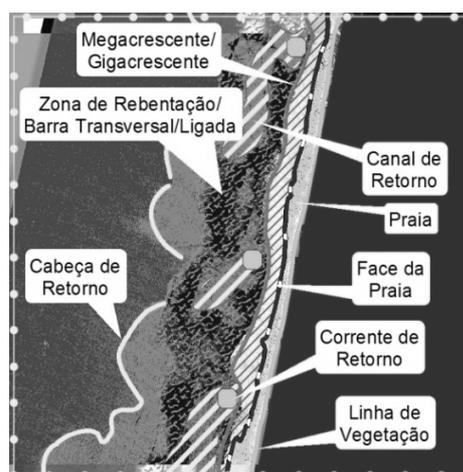


Figura 5 - Sobreposição da classificação visual e do algoritmo do paralelepípedo.

Na Figura 4 podem ser observadas claramente correntes de retorno (canais e cabeças), assim como a zona de rebentação que revela a localização da barra submersa. Para além do mais é também possível distinguir a linha máxima de espriamento, para o momento em o levantamento foi efectuado, definido pela fronteira entre a face da praia (praia molhada) e a praia (praia seca).

Sobrepondo a identificação visual realizada por Pais-Barbosa (2007) e Pais-Barbosa et al., (2007) e a classificação obtida pelo algoritmo paralelepípedo (classificação supervisionada), pode ser observada uma boa concordância entre ambas as “classificações”, com é ilustrado na Figura 5.

3.2 Classificação não supervisionada

Como foi referido, foram testados dois algoritmos de classificação não supervisionada: o K-médias e o ISODATA. No algoritmo K-médias foram testados dois valores para a definição do número máximo de classes, 7 e 16. O número máximo de iterações (16) foi mantido, tal como o valor de referência mínimo (0.01). Para o algoritmo ISODATA o número de classes mínimo, máximo e desejado considerado foram 2, 10 e 7, respectivamente. A Figura 6 apresenta os resultados para o algoritmo K-médias (7 classes).

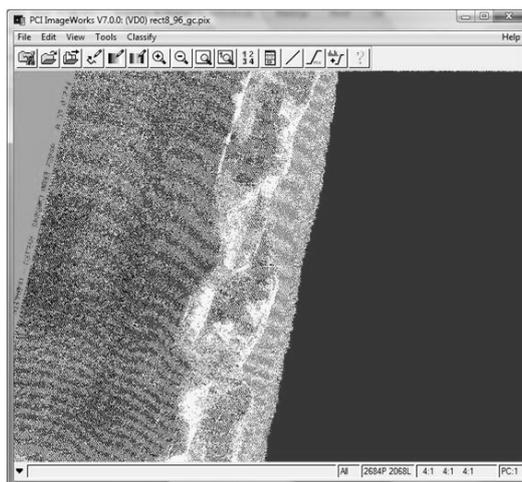


Figura 6 - Resultado do algoritmo K-médias.

4. Conclusão

A metodologia apresentada por Pais-Barbosa et al., (2007) e Pais-Barbosa (2007), permitiu identificar um importante número de formas/padrões morfológicos e hidrodinâmicos em diversas fotografias aéreas para um sector da zona costeira oeste de Portugal. Esta metodologia é bastante morosa na análise e medição das hidroformas e hidromorfologias identificadas. Além do mais não é possível avaliar a precisão da classificação visual.

A utilização de ferramentas de classificação de imagem, reduz o tempo de análise, tornando mais simples e precisa a identificação de formas/padrões morfológicos e hidrodinâmicos. A qualidade das amostras (conjunto de treino) foi avaliada através da análise dos valores da diagonal principal (quadro 2) da matriz de confusão. A separabilidade entre as diferentes classes pode ainda ser melhorada, especialmente entre a face da praia e a praia, com o objectivo de melhorar o desempenho dos algoritmos de classificação supervisionada.

Os algoritmos de classificação supervisionada apresentam bons resultados, demonstrado pelos valores da matriz de confusão, do coeficiente Kappa e da precisão global. O algoritmo do paralelepípedo apresenta uma precisão global de 95.65% e um

coeficiente Kappa de 0.95661. Os resultados do algoritmo de máxima probabilidade são muito semelhantes, 95.85% e 0.95840, respectivamente. O algoritmo da distância mínima é o que apresenta pior desempenho. A boa performance dos algoritmos da classificação supervisionada é também verificada na sobreposição dos resultados da identificação visual e dos resultados do algoritmo do paralelepípedo. No futuro, será avaliado o desempenho dos algoritmos de classificação através da definição de um conjunto de teste (amostras de controlo independentes). Deverá ser assegurado que os conjuntos de treino e de teste sejam estatisticamente independentes.

Relativamente à classificação não supervisionada, permitiu a identificação de diferentes classes, tais como a zona de rebentação, a face da praia e a praia. O algoritmo ISODATA apresenta uma flexibilidade superior ao algoritmo K-médias. Contudo, o utilizador tem que escolher empiricamente um maior número de parâmetros. No futuro, serão investigadas em pormenores as potencialidades dos algoritmos da classificação não supervisionada, tendo como principal vantagem a reduzida intervenção do utilizador.

Esta análise está actualmente a ser alargada a todo o sector Esmoriz-Furadouro, e são esperadas melhorias na metodologia de classificação. Iniciou-se também o desenvolvimento de um software com o objectivo de classificar de uma forma automática os diversos conjuntos de dados (fotografias aéreas e imagens de alta resolução espacial).

5. Referências Bibliográficas

Congalton, R.G.; Oderwald, R.G.; Meace, R.A. (1983)- "Assessing Landsat Classification Accuracy Using Discrete Multivariate Statical Techniques". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 49, no. 12.

Jensen, J. R., (1996). "Introductory Digital Image Processing - A Remote Sensing Perspective." Prentice Hall, Inc., New Jersey, pp. 197-256.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., (2000). "Remote Sensing and Image Interpretation". New York: John Wiley and Sons, 724p.

Pais-Barbosa, J., (2007). "Hidroformas e hidromorfologias costeiras locais". Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2 Vol, 780p.

Pais-Barbosa, J.; Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., (2005b). "Analysis of the Portuguese west coast morphology and morphodynamics, based on aerial images and GIS tools". Proceedings of the 2nd EARSel Workshop - Remote Sensing of the Coastal Zone (Porto, Portugal), pp 809-818.

Pais-Barbosa, J.; Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., (2007). "Coastal features in the energetic and mesotidal west coast of Portugal", Journal of Coastal Research, SI 50, pp 459-463.

Pais-Barbosa, J.; Veloso-Gomes: F., Taveira-Pinto, F., (2005a). "GIS tool for coastal morphodynamics analysis". Proceedings of the CoastGIS 2005 (Aberdeen, Scotland), CD.

PCI, (2000). "Using PCI Software": Volume 2. PCI Geomatics, Ontario, Canada, 539 p.

Rosenfield, G.H.; Fitzpatrick-Lins (1986)- "A Coefficient of Agreement as an Measure of Thematic Classification Accuracy". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 52, no. 2, 1986.

Story, M.; Congalton, R.G. (1986)- "Accuracy Assessment: A User's Perspective". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 52, no. 3, 1986.

Teodoro, A.C.; Veloso-Gomes, F., Gonçalves, H. (2008). "Statistical techniques for correlating TSM concentration with seawater reflectance using multispectral satellite data", Journal of Coastal Research, Vol. 24, SI 3, pp 40-49.

Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F.; das Neves, L., and Pais-Barbosa, J., (2006). "EUrosion - A European Initiative for Sustainable Coastal Erosion. Pilot Site of River Douro - Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores", Porto, Portugal, 317 p.