

Análise Comparativa do Processo de Classificação Supervisionada

Miguel Gaudêncio Castro Martins *



RESUMO

O presente trabalho tem como principal objectivo estabelecer uma análise comparativa do processo de classificação supervisionada em três softwares distintos. Utilizando imagens de satélite provenientes do Landsat 7 – sensor Enhanced Thematic Mapper Plus, foram elaborados três testes para a área de estudo correspondente à folha nº 331 da carta militar de Portugal, utilizando o primeiro três bandas e oito classes de ocupação do solo, o segundo três bandas e seis classes e o último seis bandas e seis classes. Os testes foram realizados em Idrisi Kilimanjaro, Envi + IDL v4.4 e PCI Geomatica v10.0, tendo sido os resultados posteriormente comparados recorrendo à estatística do Kappa de Cohen.

Da análise da estatística Kappa conclui-se que os softwares em análise produzem resultados bastante semelhantes, tendo-se registado o valor de KHAT mais elevado (0.52) no teste 3 utilizando seis bandas e seis classes de ocupação solo. Os dados obtidos permitem ainda concluir que a redução do número de classes de ocupação do solo no algoritmo influencia positivamente o valor de KHAT, tal como a utilização de um maior número de bandas.

Palavras-chave: Análise comparativa; classificação supervisionada; Kappa de Cohen.

1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

A classificação é um processo através do qual se procede à transposição dos níveis radiométricos das imagens com o objectivo de identificar o tipo de fenómeno presente na imagem, e baseia-se na reflectividade das superfícies em função da sua composição, temperatura ou humidade, entre outros (Matos, 2001).

Actualmente a classificação é um método utilizado nas mais variadas áreas, desde a criação de mapas de ocupação de solo de grande valor científico como a cartografia Corine Land Cover (CLC), ou em objectivos mais específicos como a determinação da estrutura verde de uma determinada cidade.

O objectivo principal deste trabalho consiste na determinação do software com melhores resultados em termos de precisão decorrente do processo de classificação supervisionada.

Estão em análise neste trabalho prático três softwares distintos: Idrisi Kilimanjaro, Envi + IDL v4.4 e PCI Geomatica v10.0. Serão realizadas diversas classificações supervisionadas de forma a poder executar-se uma análise comparativa dos algoritmos. Todas as classificações se encontram divididas em três testes de acordo com o seu objectivo:

- **Teste 1:** comparar o processo de classificação supervisionada nos 3 softwares utilizando 3 bandas (RGB) e 8 classes de classificação/ocupação do solo;
- **Teste 2:** comparar o processo de classificação supervisionada nos 3 softwares utilizando 3 bandas (RGB) e 6 classes de classificação/ocupação do solo;
- **Teste 3:** comparar o processo de classificação supervisionada apenas em Idrisi, utilizando uma variante com três bandas e seis classes de classificação/ocupação do solo (teste 2), e outra com seis bandas (RGB, Infravermelho próximo, Infravermelho médio e Infravermelho longínquo) e as mesmas classes de classificação/ocupação do solo.

A comparação dos resultados obtidos em termos de precisão, que será realizada com recurso à estatística do Kappa de Cohen, permitirá analisar as seguintes questões:

- Qual o melhor software a realizar classificação supervisionada utilizando três bandas e oito classes de classificação/ocupação do solo?
- Qual o melhor software a realizar classificação supervisionada utilizando três bandas e seis classes de classificação/ocupação do solo?
- Existe vantagem em diminuir o número de classes para a obtenção de melhores resultados?
- Existe maior vantagem em utilizar um maior número de bandas do espectro electromagnético, ou em diminuir o número de classes de classificação/ocupação do solo?

2. ESTADO DA ARTE

A informação recolhida por fontes remotas é frequentemente utilizada em processos de classificação uma vez que a sua estrutura de dados permite a análise banda a banda da informação contida e é de referir que estas e outras imagens recolhidas pelo mesmo satélite foram utilizadas na elaboração da cartografia de ocupação do solo Corine Land Cover 2000 (CLC2000) em toda a Europa (Caetano, e Painho, 2006). Os sensores como o Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) captam a radiação numa determinada banda do espectro electromagnético onde armazenam a intensidade do valor recebido numa célula de uma matriz, designado nível radiométrico, sendo a imagem uma matriz composta pela totalidade das suas células (Matos, 2001). Uma vez obtida a imagem segue-se a realização do pré-processamento que envolve operações como correcção radiométrica ou geométrica, que antecedem um dos processos mais importantes que en-

volvem estas imagens, a classificação (Matos, 2001). Nas operações de pré-processamento podem existir distorções radiométricas na imagem quando resultam de alterações dos valores de intensidade dos elementos da imagem, ou geométricas quando corresponde a alterações das posições absolutas ou relativas desses mesmos elementos (Fernandes e Fonseca, 2004). Existem duas formas de corrigir as distorções radiométricas: o restauro da imagem e a correcção dos efeitos de iluminação. Estas correcções das distorções têm como objectivo corrigir os valores dos níveis radiométricos dos elementos da imagem, que devido a factores externos não são proporcionais às radiâncias dos respectivos objectos (Fernandes e Fonseca, 2004). No capítulo da correcção das distorções geométricas, as fontes de erro são várias: erros instrumentais (sistema detector); variação da velocidade da plataforma; variações na altitude da plataforma; variações na atitude da plataforma; enviesamento da direcção de varrimento (distorções devidas à plataforma); efeito de rotação da Terra e distorção panorâmica (distorções devidas à forma e movimento da Terra) (Fernandes e Fonseca, 2004). Uma das formas de resolver esta questão é através da georreferenciação e é utilizada quando a informação extraída das imagens de detecção remota é utilizada de forma integrada com outras fontes de informação, quase sempre georreferenciada, o que exige que as imagens possuam grande qualidade geométrica tanto interna como externa.

Uma vez estudadas todas as possibilidades do pré-processamento da imagem, segue-se a exploração da mesma onde se engloba, entre outras, a classificação. Nos processos de classificação utilizam-se operações genéricas dos modelos matriciais, de forma a obter novas imagens mais adequadas à identificação de um determinado fenómeno (Matos, 2001). Quanto à classificação, as metodologias utilizadas dividem-se em dois grandes grupos: supervisionada e não supervisionada (Matos, 2001). Na classificação supervisionada existe uma nomenclatura para a elaboração do mapa temático de ocupação do solo que consiste num conjunto de classes de ocupação bem definidas e que podem não corresponder a classes espectrais unimodais (Fernandes e Fonseca, 2004). Devem avaliar-se quantas e quais as classes espectrais unimodais em que se pode sub-dividir uma classe de informação e são estas subclasses que se vão caracterizar à custa de uma função de densidade probabilística normal, cujos parâmetros são estimados através da recolha de amostras de assinaturas espectrais de áreas representativas das classes (áreas de treino) (Fernandes e Fonseca, 2004). Para que as amostras sejam representativas das classes e cumpram os pressupostos deste modelo, devem ser unimodais e representativas da disper-

são da classe na imagem, o que se obtém seleccionando várias áreas de treino bem distribuídas por toda a zona de estudo, sub-dividindo as classes multimodais sempre que necessário (Fernandes e Fonseca, 2004). A primeira fase do processo onde se define o conjunto de elementos padrões vulgarmente designadas áreas de treino, é considerada a fase crítica pois dela depende o sucesso do trabalho, uma vez que é nesta fase que são definidas as prioridades estatísticas dos conjuntos de elementos padrão através dos quais os elementos da imagem vão ser reconhecidos (Fernandes e Fonseca, 2004). Qualquer elemento de uma imagem numérica é representado por um vector $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, onde x_i corresponde às suas coordenadas no espaço multiespectral, de dimensão m , correspondente ao número de bandas espectrais em que a imagem é registada. Designa-se por assinatura espectral o conjunto das coordenadas de um elemento de imagem no espaço multiespectral do terreno respectivo (Fernandes e Fonseca, 2004). Cada coordenada do vector X toma valores no intervalo $[0, 2r]$ onde r designa a resolução radiométrica do sensor que registou a imagem (Fernandes e Fonseca, 2004). Em procedimentos de classificação de imagens provenientes de detecção remota os padrões são as assinaturas espectrais das classes a identificar na imagem (Fernandes e Fonseca, 2004). É sabido que um determinado tipo de ocupação do solo poderia ser caracterizado por uma única assinatura espectral, contudo diversos factores aleatórios como a topografia, a atmosfera ou o próprio tipo de coberto do solo, são muitas vezes considerados fontes de erro (Fernandes e Fonseca, 2004).

No método não supervisionado geram-se aglomerados de assinaturas espectrais, no espaço multiespectral, através do estabelecimento de semelhanças entre eles, determinado por medidas de similaridade entre as diversas assinaturas espectrais, distâncias entre os centros aglomerados e critérios de aglutinação, de forma a identificar-se quais as classes espectrais em que a imagem se pode segmentar (Fernandes e Fonseca, 2004). Com base nas medidas de similaridade, existem vários critérios para realizar a geração dos aglomerados espectrais, de entre os quais se destacam o Método do Histograma Multidimensional e o Método da Optimização Iterativa (Fernandes e Fonseca, 2004).

Uma das técnicas de classificação supervisionada mais utilizadas é a da máxima verosimilhança. Este é um método estatístico de reconhecimento de padrões que se divide em duas fases: fase de estabelecimento de padrões que pode ou não ser supervisionado e uma segunda fase de classificação que ocorre sob a imagem e que utiliza os padrões previamente definidos (Fernandes

e Fonseca, 2004). A utilização deste método pressupõe que os níveis radiométricos da imagem correspondem a ocorrências de uma variável aleatória com distribuição normal (Fernandes e Fonseca, 2004). Este método de classificação de imagens sensoriais baseia-se na teoria probabilística de Bayes que utiliza a média e a variância/co-variância das assinaturas espectrais de cada classe para determinar probabilisticamente a que classe pertence determinado pixel (Eastman, 2003). As classes são definidas pelo operador ao criar as áreas de treino, vectores representativos inequívocos de determinada classe de ocupação através dos quais são elaboradas as assinaturas espectrais. Estas assinaturas correspondem a um padrão de resposta espectral muitas vezes apresentado sob a forma de gráfico, e descreve o grau para o qual a energia é reflectida em diferentes regiões do espectro (Eastman, 2003). É contudo de referir que os softwares utilizados nos processos de classificação apresentam limitações quanto ao número de bandas a utilizar, como o Idrisi que apenas disponibiliza a utilização de sete bandas, no máximo, para além de exigir igual resolução espacial em todas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ORIGEM DAS IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite utilizadas no processo de classificação são provenientes da Landsat Org., uma organização que trabalha em cooperação com o Centro de Informação da Floresta Tropical (Tropical Rain Forest Information Center - TRFIC), que disponibiliza gratuitamente, via Internet por File Transfer Protocol (FTP) ou entrega personalizada, a informação pretendida. No presente caso foram cedidas as imagens de satélite ortorectificadas do ano 2000, obtidas pelo satélite LandSat7, utilizando o sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) correspondentes, no sistema Path/Row aos números 204 – 033, respectivamente. Contudo, o número de bandas a utilizar no processo de classificação diminui, por um lado devido a limitações de software, uma vez que o Idrisi Kilimanjaro apenas permite a utilização de 7 bandas nos processos de classificação supervisionada, mas principalmente porque apenas podem ser utilizadas bandas com a mesma resolução espacial. Desta forma foram apenas utilizadas as três bandas do espectro visível para os testes 1 e 2, e seis bandas para o teste 3 que conta com as três do espectro visível; uma do infravermelho próximo, uma do infravermelho médio e outra do infravermelho longínquo.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

Para a definição da área de estudo foi necessário escolher um local, não muito extenso, para o qual existissem três níveis de informação do mesmo espaço temporal. Nesse sentido, optou-se pela utilização da cartografia de ocupação do solo Corine Land Cover – 2000 (CLC 2000), em combinação com os ortofotomapas de 2000, e as imagens de satélite do LandSat (ETM+) do mesmo ano. Apenas a utilização de material base do mesmo espaço temporal permite comparar o resultado e a eficácia dos processos de classificação uma vez que, como é sabido, as modificações ocorridas a nível da ocupação do solo variam a grande ritmo. A utilização da CLC 2000 servirá como a cartografia de ocupação do solo aceite como correcta e validada pela comunidade científica, através da qual se poderá estabelecer um paralelismo na eficácia do processo de classificação supervisionada para os três softwares a testar. Esta cartografia servirá ainda, num estado inicial do trabalho, para ajudar a definir as áreas de teste, pilares fundamentais do processo de classificação referido, uma vez que identificam de forma inequívoca manchas de ocupação do solo contínuas e homogéneas. Uma vez conjugados todos estes factores, optou-se pela utilização da área correspondente à folha nº 331 da carta militar de Portugal, por estar localizada numa zona relativamente perto de Castelo Branco, distrito de Santarém (Fig.1), cuja realidade é conhecida e ainda por possuir uma variabilidade, a nível de ocupação do solo considerável, com 20 classes diferentes.



Fig.1 - Localização da área de estudo.

Apesar da área de estudo se resumir ao limite geográfico da referida carta militar, optou-se pela definição de uma área

um pouco mais extensa, com cerca de mais 1800m a utilizar para as imagens de satélite uma vez que estas apresentam originalmente uma extensão muito para além da área de estudo pretendida. A definição deste limite extra prende-se com razões práticas de cálculo e processamento de imagem uma vez que algumas das funções de análise utilizadas se baseiam em funções de proximidade e análise de vizinhança, como a definição das assinaturas espectrais ou a criação dos próprios mapas de classificação. O corte das imagens de satélite pode ser realizado de diversas formas: através da exportação da imagem, ou utilizando a extensão “Crop” em ArcView 3.2. No primeiro caso, em ArcMap adiciona-se à área de estudo (“AE.shp”) a imagem de satélite pretendida, aplicando-se de seguida a função “zoom to the layer” ao tema da área de estudo, pois esta forma a área de estudo coloca-se no centro da “view” apesar de não a ocupar na totalidade, tendo como fundo a imagem de satélite, de seguida seleccionando-se esta imagem exporta-se a informação (Export Data) assegurando que se define Data Frame (Current) no menu Extent, pois apenas desta forma se consegue exportar apenas a imagem contida na “view”. A informação é então exportada no formato Tiff, mantendo o mesmo sistema de referência espacial e a resolução original.

No presente trabalho optou-se pela utilização da segunda opção com recurso a ArcView 3.2, onde se inseriram as coordenadas (Lisboa Hyford-Gauss IGeoE) que constam na tabela 1 com vista à obtenção das imagens sob as quais se desenvolve o processo de classificação.

Tabela 1 - Coordenadas utilizadas no corte da imagem.

Coordenadas WGS 84	
Left X	557430
Right X	575762
Top Y	4371835
Bottom Y	4360233

3.3 NÚMERO DE CLASSES A UTILIZAR NO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO

A definição do número de classes a utilizar é um aspecto da maior importância para a obtenção de bons resultados. Foram identificadas 20 diferentes classes de ocupação do solo, sendo a “floresta de folhosas” a mais representativa. A próxima etapa consiste em reagrupar as 20 classes originais de modo a que obtenham 8 classes principais para o teste 1 e 6 para os testes 1 e 2. O reagrupamento das classes e a sua nova denominação podem ser consultados nas tabelas 2 e 3, com oito e seis classes respectivamente.

Tabela 2 - Classes propostas para agrupamentos em 8 classes

Classe original	Classe nova	Código novo
Olivais Pomares Sistemas agro-florestais Sistemas culturais e parcelares complexos Vinhas	Agrícola	1
Linhas de água	Água	2
Floresta de Folhosas	Floresta de folhosas	3
Floresta mista Espaços florestais degradados, cortes e novas plantações Agricultura com espaços naturais Matos	Floresta mista	4
Floresta de resinosas	Floresta de resinosas	5
Aeroportos Indústria, comércio e equipamentos gerais Praias, dunas e areias Tecido urbano descontínuo Áreas de depósito de resíduos	Outros	6
Culturas anuais de regadio Arrozais	Culturas de regadio	7
Culturas anuais de sequeiro	Culturas de sequeiro	8

É de referir que a ferramenta SIGCOMP (compilador de assinaturas do IDRISI) foi utilizada como instrumento de análise da similaridade espectral das classes o que ajudou no seu reagrupamento.

3.4 METODOLOGIA

Em termos metodológicos, de forma bastante resumida, o primeiro passo consistiu na definição das áreas de treino. Para a sua criação foram utilizadas ferramentas acessórias como um mapa resultante de classificação não supervisionada da área de estudo; ortofotomapas da mesma região; bem como as composições colorida e infra-vermelho falsa cor; acompanhado pela cartografia temática CLC 2000). Uma vez determinada a melhor localização para as áreas de treino (várias por classe), estas foram criadas (vectorizadas) em Idrisi Kilimanjaro e posteriormente exportadas de modo a serem utilizadas exactamente as mesmas áreas de treino em todos os softwares em análise. De modo a garantir os melhores resultados possíveis, procedeu-se à análise das assinaturas espectrais também no Idrisi, com recurso ao módulo SIGCOMP. Segue-se a execução do processo de classificação nos três softwares em análise para os três testes, que culmina com a obtenção dos respectivos algoritmos que serão postos à prova quanto à sua precisão recorrendo à estatística KHAT.

Tabela 3 - Classes propostas para agrupamento em 6 classes.

Classe original	Classe nova	Código novo
Olivais Pomares Sistemas agro-florestais Sistemas culturais e parcelares complexos Vinhas Culturas anuais de sequeiro	Agrícola	1
Linhas de água	Água	2
Floresta de Folhosas Floresta mista Espaços florestais degradados, cortes e novas plantações Agricultura com espaços naturais Matos	Floresta mista	3
Floresta de resinosas	Floresta de resinosas	4
Aeroportos Indústria, comércio e equipamentos gerais Praias, dunas e areias Tecido urbano descontínuo Áreas de depósito de resíduos	Outros	5
Culturas anuais de regadio Arrozais	Culturas de regadio	6

3.5 CÁLCULO DA ESTATÍSTICA KHAT

Para analisar as precisões obtidas nos diferentes testes realizados utilizou-se a estatística do Kappa de Cohen sob a forma de extensão para ArcView 3.2.

Para além de permitir o cálculo do valor de Kappa, esta extensão permite também a comparação entre diferentes técnicas de classificação e servirá para a comparação geral dos resultados obtidos, através de um conjunto de ferramentas bastante úteis (Jenness and Wynne, 2006).

Um dos aspectos mais importantes a considerar neste processo é a amostra, nomeadamente o seu tamanho e distribuição geográfica. Congalton and Green, citados por Jenness and Wynne (2006) afirmam que existe uma dimensão de amostra ideal para o cálculo deste índice, sendo que o valor mínimo por categoria nunca deve ser inferior a 50, podendo ir até um máximo de 100 se existirem mais do que 12 classes de categorias. Para o caso prático em questão utilizou-se de uma ferramenta disponibilizada por esta extensão que permite o cálculo do tamanho da amostra com base nas proporções de ocorrência das diferentes classes e do grau de precisão pretendido para cada uma. Com os dados da área total e das respectivas áreas ocupadas por cada uma das diferentes classes de ocupação, determinaram-se as proporções ocupadas por cada uma que serviram de base ao cálculo do tamanho da amostra. Uma vez calculadas as proporções das classes segue-se a definição da precisão,

que é a mesma para todas as classes em ambos os testes e que corresponde a 95%. Com todos os dados já reunidos calcula-se finalmente o tamanho da amostra, obtendo-se no final do processo um output com toda a informação relevante, como pode ser observado na figura 2, referente à amostra a ser utilizada no teste 1 (8 classes).

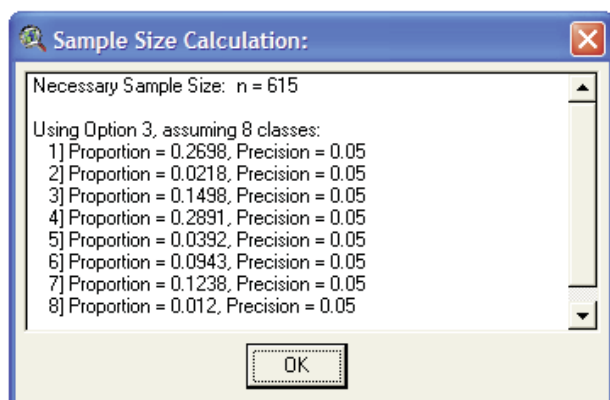


Fig. 2 - Cálculo do tamanho da amostra - teste 1.

Conforme se pode constatar é indicada uma amostra com 615 pontos a utilizar nos mapas cuja classificação se baseia em oito classes. Para os testes 2 e 3 é indicado um tema com 686 pontos de amostragem. Após a determinação do número de pontos a utilizar nas duas amostras, procedeu-se à criação dos temas recorrendo ao ArcMap, e à extensão Hawth's Tools. Depois de adicionado à view o tema que contém o limite da área de estudo ("ae") acedeu-se ao menu "Sampling Tools" da referida extensão, tendo sido posteriormente seleccionada a opção "Generate Random Points", o que provoca a abertura de uma nova janela. Nesta é seleccionada o tema "ae" e indicado o número de pontos a gerar, 615 na criação do primeiro tema, e 686 para a criação do segundo. Após a criação destes dois temas de amostras segue-se uma das fases mais importantes do processo: o preenchimento, para cada ponto das amostras, da ocupação real (no terreno) que será tida como referência no cálculo da estatística Kappa. As ferramentas utilizadas para a determinação da ocupação para os pontos de amostragem por foto-interpretação foram: os temas correspondentes à cartografia CLC 2000 após o reagrupamento em 8 classes (teste 1) e 6 classes (teste 2) as imagens de satélite e, principalmente, os ortofotomapas da área de estudo que possuem uma resolução de 0,50m. Para tal foi adicionado o campo "real" às bases de dados dos temas "615" e "686", que foi sendo preenchido à medida que se ia determinando a ocupação verificada para cada ponto de amostragem.

A partir deste momento todos os procedimentos conducentes ao cálculo da estatística Kappa são idênticos para todos os algoritmos produzidos. Nesse sentido, é aqui apre-

sentado apenas o exemplo do cálculo da referida estatística do mapa de classificação proveniente do Envi (teste 1).

O processo tem início com a abertura em ArcMap do tema "envi1_arc" seguindo-se a georreferenciação do mesmo (update) e a aplicação posterior de um filtro de maioria (8 pixels) através da utilização das ferramentas "Spatial Analyst Tools" presentes no ArcTool Box. O passo seguinte consiste na conversão deste tema a vector ("vct_envi1"), mantendo a resolução (cell size) original de 28m, definindo como extent o tema da área de estudo ("ae"), agora adicionado à view. À base de dados do novo tema vectorial é adicionado o campo "class" (short integer) que é preenchido com os valores contidos no campo "gridcode". Este campo servirá, em associação com o campo "real", para a determinação da estatística Kappa. Posteriormente realiza-se um dissolve ao tema "vct_envi1" utilizando o campo "class", seguido de um intersect entre este tema e o respectivo tema amostra ("615"). É então obtido como tema final ("ext_envi1") que conta na sua base de dados com a informação relativa à classificação atribuída pelo algoritmo e o que existe na realidade para cada ponto. Para finalizar, recorrendo à extensão Kappa Analysis v2.1, o operador deve então seleccionar os campos "real" e "class", e concluir a produção do relatório estatístico. O resultado final do teste, incluindo todas as estatísticas resultantes são apresentadas sob a forma de relatório. Por fim, utilizou-se a extensão Kappa Analysis v2.1 para executar um último teste que envolve a comparação de todos os resultados obtidos para a estatística Kappa. Nesse sentido recorreu-se à função Compare Kappa Analysis disponibilizada na barra de ferramentas da extensão, que utiliza o valor KHAT e a variância para estabelecer a comparação entre os resultados dos diferentes testes. Com base nesta ferramenta executaram-se 4 comparações: a melhor classificação dentro do teste 1; a melhor classificação dentro do teste 2; a melhor classificação do teste 1 com a melhor classificação do teste 2 e a classificação executada no teste 3 com a melhor do teste 2.

4. RESULTADOS

A análise de todos os "layouts" produzidos permite apenas tecer comentários acerca da distribuição geográfica das respectivas manchas de ocupação. Nesse sentido as únicas conclusões a retirar é que para além de haver um grande equilíbrio quanto à distribuição espacial das diferentes classes de ocupação do solo para todos os mapas, verifica-se ainda a existência de manchas de água dispersas por toda a área de estudo, principalmente a sul e que, de acordo com o conhecimento da realida-

Tabela 4 - Resumo das estatísticas do teste Kappa.

Ocupação	IDRISI (Precisão)			ENVI (Precisão)			PCI (Precisão)			
	Produtor	Utilizador	Geral	Produtor	Utilizador	Geral	Produtor	Utilizador	Geral	
Teste 1	Agrícola	0,379	0,524	0,413	0,408	0,530	0,421	0,408	0,530	0,421
	Água	0,556	0,111	0,556	0,135		0,556	0,135		
	Flor. Folhosas	0,341	0,354	0,329	0,338		0,330	0,338		
	Flor. Mista	0,312	0,400	0,266	0,442		0,266	0,442		
	Flor. Resinosas	0,438	0,259	0,531	0,270		0,531	0,270		
	Outros	0,627	0,640	0,863	0,657		0,863	0,657		
	Regadio	0,568	0,641	0,511	0,776		0,511	0,776		
	Sequeiro	0,833	0,104	0,667	0,056		0,667	0,056		
	Média	0,507	0,379	0,516	0,401		0,517	0,401		
Teste 2	Agrícola	0,756	0,729	0,557	0,682	0,695	0,586	0,756	0,719	0,590
	Água	0,455	0,132	0,545	0,102		0,455	0,135		
	Flor. Mista	0,394	0,621	0,430	0,597		0,414	0,630		
	Flor. Resinosas	0,436	0,157	0,256	0,125		0,436	0,163		
	Outros	0,922	0,763	0,870	0,882		0,909	0,769		
	Regadio	0,495	0,738	0,472	0,558		0,495	0,738		
	Média	0,576	0,523	0,543	0,493		0,578	0,526		
Teste 3	Agrícola	0,770	0,657	0,643						
	Água	0,818	1,000							
	Flor. Mista	0,558	0,700							
	Flor. Resinosas	0,462	0,240							
	Outros	0,779	0,800							
	Regadio	0,516	0,644							
	Média	0,651	0,674							

de, não se correspondem, de todo, à verdade. Apenas no teste 3 se verifica maior correspondência directa entre a realidade e a classificação atribuída a esta classe, possivelmente fruto da utilização da banda infravermelho próximo que “isola” com maior facilidade este tipo de ocupação.

Quanto à análise do teste Kappa, podem observar-se na tabela 4 os principais dados obtidos, onde constam as precisões de produtor e utilizador bem como a precisão geral obtida para todos os testes. Pode depreender-se da sua análise que o teste que regista melhor valor de precisão é o teste 3. Em contrapartida o teste 1 é o que apresenta valores mais reduzidos neste parâmetro. Da análise da tabela sobressai também a elevada precisão de utilizador registada para o teste 3 relativa às classes “Água” (100%) e “Outros” (80%).

De seguida é apresentado um conjunto de gráficos que pretende facilitar a compreensão dos resultados obtidos, expondo de forma tão clara quanto possível o efeito da redução do número de bandas e de classes utilizadas.

A análise da figura 3 confirma a conclusão depreendida da análise da tabela 4, ou seja, o grande equilíbrio registado para os três softwares, sendo que as classes “Outros”, “Regadio” e “Agrícola” apresentam os valores mais elevados de precisão de utilizador. A figura 4 revela uma vez mais grande equilíbrio nas precisões obtidas por classe, sendo que os valores mais elevados registados correspondem às mesmas classes da figura 3.

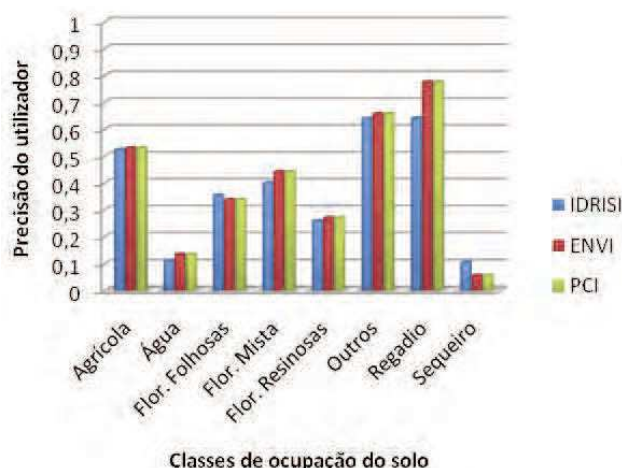


Fig 3 - Comparação das precisões de utilizador - Teste 1.

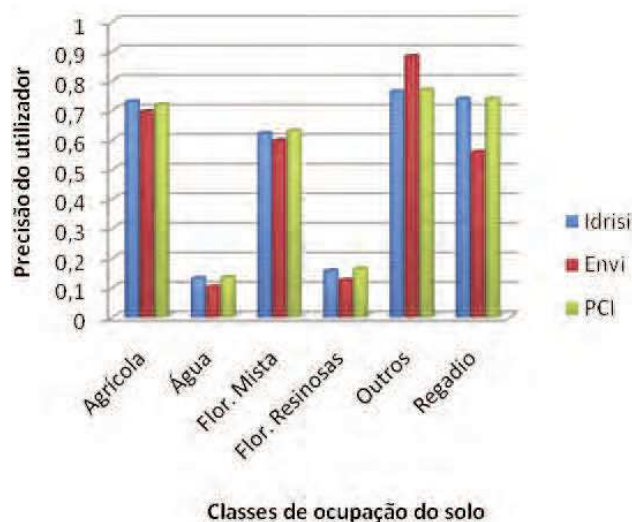


Fig 4 - Comparação das precisões de utilizador - Teste 2.

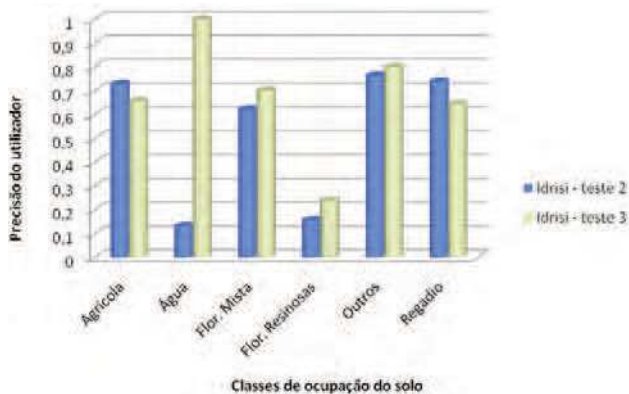


Fig. 5 - Comparação das precisões de utilizador do Idrisi nos testes 2 e 3.

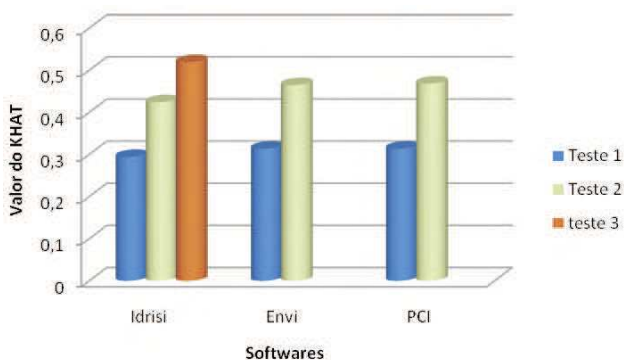


Fig. 6 - Comparação do valor de KHAT dos 3 softwares para os 3 testes.

A figura 5 possibilita a compreensão do efeito do aumento do número de bandas e neste capítulo torna-se bastante evidente o aumento da precisão registado na classe “Água”, tendo-se também verificado o aumento da precisão para as classes “Floresta mista”, “Floresta de resinosas” e “Outros” embora de forma menos vincada. A figura 6 evidencia os resultados obtidos para os três testes quanto ao valor de KHAT, onde se conclui que de forma clara o teste três é o que apresenta melhores resultados.

CONCLUSÃO

A utilização de métodos de classificação supervisionada revela-se uma ferramenta da maior utilidade para a produção de cartografia proveniente de informação recolhida por Detecção Remota.

Da análise aos testes realizados conclui-se que existe um grande equilíbrio em termos de precisão geral e de KHAT, obtendo-se valores bastante idênticos para todos os softwares dentro do mesmo teste, não havendo nenhum que se destaque em relação aos restantes.

Quanto ao teste 1, realce para a igualdade dos valores obtidos nos softwares Envi e PCI. Todos os softwares

apresentam valores de KHAT perto dos 0,30 e precisão do utilizador a rondar os 40%. A classe com maior percentagem de precisão do utilizador é a classe “Regadio” com 77,6% de classificações correctas em Envi e PCI, e a pior é a classe “Sequeiro” que possui uma precisão do utilizador de apenas 5,6% nos mesmos softwares, com destaque para o Idrisi que duplica a este valor de precisão (10,4%).

O teste 2 é mais uma vez marcado pela similaridade de resultados apresentando, contudo, valores de precisão geral 15% superiores, em média, em relação ao primeiro teste, o que demonstra claramente que a redução do número de classes é benéfica para a obtenção de melhores resultados, uma vez que todas as outras variáveis se mantiveram inalteradas. Neste teste os softwares Envi e PCI apresentaram uma precisão geral bastante perto dos 60%, obtendo o Idrisi um valor próximo dos 56% no mesmo campo. A classe que apresenta melhores resultados de precisão de utilizador é a classe “Outros” que em Envi atinge os 88,2%, ficando os softwares concorrentes na casa dos 76%. A classe que regista os piores resultados de precisão do utilizador é agora a “Água” com valores que variam entre os 10,2% em Envi e os 13,5% em PCI. Verifica-se para este teste um valor médio de KHAT de 0,45.

Quanto ao último teste, apenas desenvolvido em Idrisi, os resultados são ainda mais satisfatórios, obtendo-se uma precisão geral de 64,3% e um valor de KHAT de 0,52. Por comparação directa com o teste 2 verifica-se que existe um aumento substancial das precisões do utilizador dada a adopção das novas três bandas do infra-vermelho. Destaque neste teste para a precisão do utilizador de 100% na classe “Água” e o aumento para 70% da classe “Floresta mista”, continuando a verificar-se bons resultados para a classe “Outros” (80%).

Comparando os resultados obtidos neste trabalho com os que foram alcançados em trabalho similares e usando como base de comparação o teste 3, por ser o que mais se assemelha a estes em termos técnicos por utilizar 6 bandas e 6 classes, constata-se que os resultados obtidos podem ser considerados satisfatórios. Se compararmos o valor do KHAT no teste 3 (0,52) em relação aos trabalhos de Arraut et. al (2002) e de Filho et. al (2005), verifica-se que este é mais baixo que o obtido nestes trabalhos, contudo é necessário ter em conta que estes utilizam apenas quatro classes de ocupação do solo, o que, conforme ficou comprovado neste trabalho, contribui para aumentar o valor do KHAT. Se a comparação for efectuada em relação ao trabalho de Darvish et. al. os resultados são bem mais satisfatórios, uma vez que, para este trabalho, o valor de KHAT foi de 0,44. Em suma, por comparação, o valor de KHAT neste trabalho é considerado bastante satisfatório.

No que toca às dificuldades verificadas ao longo deste trabalho destacam-se: a dificuldade em definir áreas de treino para as culturas de sequeiro (teste1) dada a sua pequena área de ocorrência (192 ha repartidos) e a sua semelhança visual com algumas ocupações do tipo agrícola e em encontrar bibliografia (tutoriais) principalmente para o Envi e PCI, sendo que o Idrisi é bem mais apetrechado a este nível.

BIBLIOGRAFIA

Arraut, E. M., Freitas, M. W. D., Soares, D. M. 2002. "Análise comparativa entre imagens dos sensores CCD/CBERS 2 e ETM+ na classificação da cobertura vegetal no semi-árido brasileiro." Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos.

Caetano, M. e Painho, M., 2006. Cartografia de ocupação do solo – Portugal Continental 1985 - 2000 (Corine Land Cover 2000). Instituto do Ambiente. Amadora.

Darvishsefat, A. A., Kellenberger, T., Shataee, S. "Forest types classification using ETM+ data in the north of Iran / Comparison of object-oriented with pixel-based classification techniques." Commission PS, Working Group VII/1.

Fernandes, J. C., Fonseca, A. D. 2004. "Detecção Remota". LIDEL - Edições técnicas, Lda. Lisboa.

Filho, S., Gonçalves, F. D., Martins, P. W. 2005. "Classificação de imagens Radarset1 e Landat – 7 para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na zona costeira amazónica". Universidade Federal do Pará – Centro de Geociências. Pará.

Eastman, J. R. 2003. "IDRISI KILIMANJARO – Guide to GIS and Image Processing". Clark Labs – Clark University. Worcester.

Matos, J. 2001. "Fundamentos de Informação Geográfica". 2ª Edição. LIDEL - edições técnicas, Lda. Lisboa.

* Licenciado em Eng. de Recursos Naturais e Ambiente, e pós-graduado em Sistemas de Informação Geográfica pela ESACB.

Errata

Na revista Agroforum, n.º 22 de Junho de 2009, na página 24, onde se lê

*Licenciada em Engenharia Florestal da ESACB

Deve ler-se

*Licenciada em Ordenamento dos Recursos Naturais da ESACB

Pelo lapso, pedimos desculpa à Eng.ª Susana Mestre e a todos os leitores.

