

## Um exercício didático de classificação digital de imagens

Attilio Antonio Disperati<sup>1</sup>, Emerson Servello<sup>1</sup>,  
Paulo Costa de Oliveira Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Engenharia Florestal/UNICENTRO, PR  
PR 153, km 7/Riozinho/Irati, PR/ Caixa Postal 21/84500.000  
e-mail: paulocostafb@irati.unicentro.br*

### Resumo

A disponibilidade de imagens digitais e de softwares gratuitos de processamento digital de imagens facilita o aprendizado acadêmico de interpretação/classificação de imagens, mas os métodos atuais de ensino devem disponibilizar exercícios que tornem o aprendizado mais eficiente. O presente exercício proposto utiliza uma imagem colorida normal, que é fácil e rápida de ser interpretada visualmente, de ser segmentada e classificada através de diferentes algoritmos computacionais. A necessidade de interpretação visual da imagem através da digitalização, via monitor de vídeo, adiciona um fator ainda mais motivador no aprendizado. A análise dos resultados obtidos integrou aspectos qualitativos e quantitativos, seguida de análise dos aspectos positivos e negativos do exercício. Após a sua efetivação, o acadêmico estará mais apto para processar imagens satelitárias ou mesmo imagens digitais de fotografias aéreas.

Palavras-chave: Reconhecimento de padrões em imagens digitais, trabalho prático

### Summary

The availability of free digital images and softwares of digital image processing facilitates the academic learning of the classification of images. The current methods of teaching must consider exercises that become the learning most efficient. The present practical exercise uses one normal color image, that is easy and fast of being interpreted visually, computer segmented and classified through different algorithms. The necessity of visual and hands on digitalization of the image, through the monitor, still enhance the learning factor. The analysis of the results considered qualitative and quantitative aspects, followed by the analysis of the positive and negative aspects of the exercise. After the proposed exercise, the academic will be

more capable to process digitally satellite images or even digital air photograph.

Key-words: Recognition of standards in digital images, practical work

## 1. Introdução

As facilidades atuais do processamento digital de imagens satelitárias são incomparavelmente superiores há 35 anos atrás, quando do início da disponibilidade de recursos orbitais. No momento, qualquer universitário pode obter imagens satelitárias e também *softwares* gratuitos através de *download* via *Internet*, facilitando o aprendizado prático das técnicas de processamento digital de imagens, satelitárias ou não, algo anteriormente nunca imaginado pela docência universitária. Em complemento, as atividades acadêmicas necessitam também de constante aperfeiçoamento em seus métodos de ensino tornando-os mais práticos e objetivos com a realidade atual.

Em se tratando de atividades de docência universitária da disciplina de Sensoriamento Remoto, ou mais precisamente de processamento digital de imagens, a classificação de imagens poderá ocupar grande parte das atividades teóricas e práticas, visto constituir-se num dos âmagos da disciplina. Na maioria dos softwares disponíveis, de natureza gratuita ou não, ocorre a disponibilidade de diversos algoritmos classificatórios. No sentido aplicativo, quanto maior o tamanho da área em análise, a declividade do terreno, complexidade do uso do solo e o número de classes temáticas consideradas no mapeamento, mais difícil pode se tornar a avaliação dos resultados.

O presente trabalho propõe um exercício didático de classificação digital de imagens, o qual independe de trabalho de campo para obter dados comprobatórios das classes temáticas mapeadas, pois se trata do reconhecimento de padrões em uma imagem digital bem mais simples e sem qualquer relação com uso e cobertura da terra. Entretanto, para a sua efetivação, o acadêmico deverá conhecer as ferramentas de digitalização e aspectos teóricos e práticos de alguns algoritmos de segmentação e de classificação disponíveis no software a ser utilizado, os quais não serão comentados no presente artigo.

## 2. Objetivos

- Apresentar uma imagem digital adequada para efetuar a interpretação visual e avaliar o desempenho de diferentes classificadores disponíveis no software;

- Avaliar parâmetros qualitativos e quantitativos (porcentagem de cada classe temática e o tempo de processamento) obtidos com as metodologias utilizadas;
- Analisar os mapas temáticos gerados pelos algoritmos classificatórios empregados, a fim de designar a melhor representação da imagem definindo uma metodologia de apoio ao discente.
- Discutir as vantagens e as desvantagens na utilização prática do exercício proposto.

### 3. Materiais e métodos

O material utilizado refere-se a uma imagem digital e a um *software* gratuito de geoprocessamento que contém um módulo específico de processamento digital de imagens. A imagem digital é a do “corredor”, presente na pasta “minhas figuras” do Pacote Windows, com tamanho 960 x 676 pixels. O *software* utilizado é o SPRING versão 4.2 (INPE 2004), adquirido gratuitamente no endereço eletrônico: [www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring). A figura 1 ilustra o fluxograma metodológico utilizado no exercício.

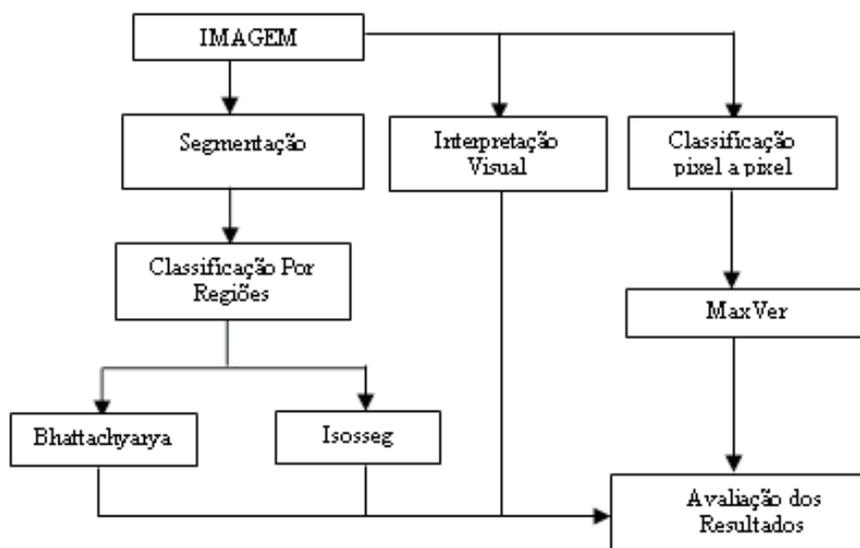


Figura 1. Fluxograma metodológico usado no presente trabalho.

A partir da imagem “corredor”, realizou-se em primeira instância, uma interpretação visual no monitor de vídeo do computador, definindo um determinado número de classes temáticas sobre os diferentes agrupamentos de pixels, com valores similares de cor (reflectância). Considerando as várias classes temáticas definidas, e uma análise preliminar sobre a imagem, realizou-se a digitalização da imagem atribuindo polígonos aos agrupamentos de pixels de mesma cor na imagem. Posteriormente, cada polígono foi associado à classe que lhe coube através da interpretação visual, aplicada com auxílio das ferramentas de análise temática presentes no *software*. A imagem, interpretada visualmente, constitui a expressão da verdade e a base para posteriores comparações.

A imagem foi submetida a processos de segmentação, por crescimento de regiões, com limiares de área e similaridade variando de 1 a 50 para ambos, respectivamente. As segmentações geradas foram comparadas com a imagem original, para fins de validação da segmentação. Os melhores limiares foram fixados e atribuídos como definitivos, para a seleção da segmentação que melhor agrupasse os pixels, definindo polígonos representativos das classes consideradas. A melhor imagem segmentada foi posteriormente classificada a partir dos algoritmos Isoseg e Battacharya. O primeiro algoritmo agrupa regiões a partir de uma medida de similaridade (distância de Mahalanobis), enquanto que o segundo trabalha com a distância de Battacharya, que é utilizada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades destas classes (INPE, 2000).

Para a classificação supervisionada usando a imagem segmentada, escolheu-se um limiar de aceitação de 95%, cujas amostras selecionadas para o treinamento, representavam a classe considerada. Para a classificação pixel a pixel e Isosseg, considerou-se o limiar de 100% viabilizando que todos os pixels da imagem fossem alocados em uma das classes consideradas.

A imagem original foi utilizada para classificação “pixel a pixel” utilizando o algoritmo MaxVer (Máxima Verossimilhança), que considera a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos na classificação (INPE, 2000). As amostras (polígonos) das diversas classes temáticas foram delimitadas observando-se a imagem original. Obteve-se um número representativo de amostras, buscando abranger toda a amplitude de nuances de cores dentro de cada uma das classes para os pontos considerados para a amostragem. Diversas iterações de classificação foram realizadas, até se obter o resultado mais adequado e, considerado como final.

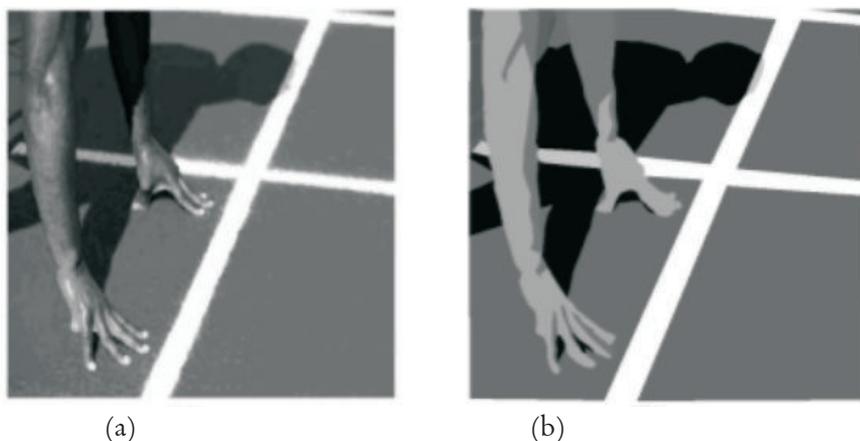
Para a comparação dos resultados obtidos, isto é, interpretação visual e métodos classificatórios, utilizaram-se os valores de área obtidos

para cada classe temática e o tempo, em minutos, gasto na execução de cada tarefa, além da comparação visual entre os resultados gerados.

#### 4. Resultados e discussão

A imagem do corredor e a respectiva interpretação visual são mostradas na Figura 2. A interpretação visual foi feita definindo-se oito classes temáticas, assemelhando-se o máximo possível à imagem original. As classes consideradas foram:

- 1) Marca branca sobre a pista: Branco,
- 2) Marca branca, sombreada, sobre a pista: Cinza,
- 3) Piso azul: Azul 1,
- 4) Piso azul com projeção da sombra do corredor: Azul em tom escurecido,
- 5) Roupa: vermelho para vestimenta,
- 6) Roupa sombreada: marrom para locais onde há sombra sobre a vestimenta,
- 7) Pele: bege para a pele do corredor,
- 8) Pele\_sombreada: um tom de escurecido de bege para detalhes da pele que continham sombras.



(a) (b)  
Figura 2. Imagem original do “corredor” e a respectiva interpretação visual em oito classes temáticas.

Vale ressaltar que: o intérprete ao realizar uma classificação, leva em consideração as diversas tonalidades de “cores” presentes na imagem. No entanto, o software não reconhece cores, e sim tons de cinza, cujos valores são as variáveis estatísticas empregadas pelos modelos nos proces-

dos classificatórios. Portanto, a sensação de cor atribuída à imagem é fruto de uma combinação de bandas com valores diferenciados, exigindo do intérprete uma boa preparação voltada ao domínio de cada algoritmo empregado e das características do *software* utilizado, para evitar interpretações errôneas e julgamentos equivocados sobre os resultados apresentados pelos modelos.

No tocante à segmentação da imagem, depois de inúmeros testes efetuados para a escolha dos limiares de área e similaridade, determinou-se subjetivamente que o melhor resultado foi obtido utilizando os valores de 12 para a similaridade e de 30 área (figura 3a). Depois disso, os segmentos foram agrupados na classificação supervisionada, gerando a “imagem classificada” que não permite a eliminação ou adição de segmentos à imagem. Portanto, dois ou mais segmentos, pertencentes a uma mesma classe, foram unidos ao atribuir-lhes a classe temática da qual fazem parte pelo método de classificação por regiões (Bhattacharya) (figura 3b).

Ação semelhante foi empregada ao se realizar a transição de categoria Imagem para a categoria Temático (processo denominado mapeamento de classes), com a imagem classificada pelo modelo Isosseg. Nesse processo, o modelo gera diversas classes e viabiliza a edição para as devidas correções, ou seja, que duas classes (consideradas diferentes pelo modelo Isosseg) ou mais classes possam ser unidas em uma mesma classe no ato do mapeamento. Este processo foi realizado em todas as classificações, sendo a única maneira possível para a determinação quantitativa de área classificada apresentada na tabela 1.

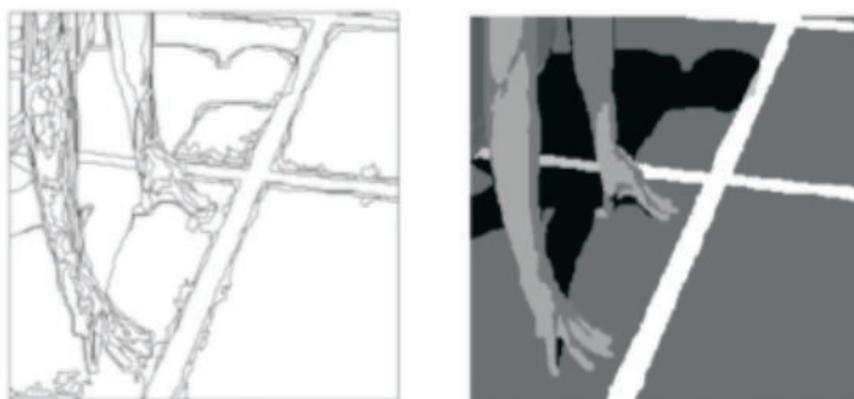


Figura 3. Imagem segmentada com similaridade 12 e área 30 (a); imagem segmentada classificada por regiões (Bhattacharya) (b).

Os resultados obtidos da classificação Isosseg e Maxver são mostrados na figura 4.

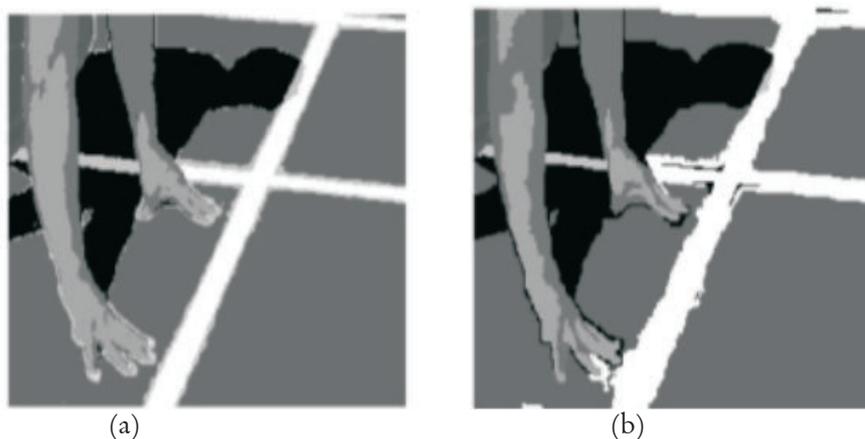


Figura 4. Resultados obtidos pela classificação Isosseg (a) e MAXVER (b).

Os resultados referentes à porcentagem de área ocupada individualmente pelas classes temáticas tanto no nível de interpretação visual como na aplicação dos algoritmos classificatórios pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Área (em %) ocupada pelas classes temáticas.

Classe Temática	Porcentagem de área ocupada pela classe temática em cada metodologia			
	Interpretação visual	Bhatacharya	Regiões isosseg	Classificação maxver
Pele	11,08	8,91	6,38	13,61
Pele_sombreada	4,95	6,67	9,26	2,29
Solo	58,01	59,91	54,37	57,06
Solo_sombreado	14,03	14,13	15,24	13,68
Faixa	9,29	7,98	12,28	7,40
Faixa_sombreada	0,87	0,62	0,62	4,21
Roupa	1,10	1,16	1,04	1,75
Roupa_sombreada	0,67	0,62	0,81	0,0000
Total das classes	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %

O tempo empregado em cada metodologia adotada está expresso na Tabela 2.

Tabela 2. Tempo gasto nas diferentes metodologias adotadas.

Atividade	Tempo gasto
Interpretação Visual	2h 00'
Segmentação	30'
Classificação Isosseg	15'
Classificação Bhattacharya	1h 45'
Classificação Maxver:	1h 30'

A análise visual e quantitativa dos resultados evidencia que o resultado mais próximo da interpretação visual foi obtido através do classificador Bhattacharya. Os classificadores Isosseg e Maxver geraram valores quantitativos parecidos ao do Bhattacharya, mas seus resultados visuais gerados apresentaram inúmeras falhas visíveis em algumas das classes mapeadas. Com base nos tempos obtidos, busca-se determinar uma metodologia de ação que sirva de referência ao educador, apoiando-o na elaboração de suas atividades docentes e transmissão dos conteúdos de sensoriamento remoto.

Como a imagem digital apresentava dimensões pequenas (960 x 676 pixels), necessitou-se duas horas para ser interpretada visualmente com as oito classes temáticas; a sua classificação através de diferentes algoritmos classificatórios também não demandou muito tempo e individualmente muito se assemelhando ao tempo necessário para a interpretação visual.

As ponderações abaixo destacam aspectos, considerados positivos, que devem ser considerados durante a efetivação do exercício:

- O acadêmico deverá tomar a decisão de quantas e quais classes temáticas a considerar no exercício, podendo ser diferente das oito classes apresentadas no exercício;
- A fim de efetuar corretamente o exercício proposto, o acadêmico deverá estar familiarizado com as ferramentas de digitalização e com a teoria dos diversos algoritmos classificatórios, cujos detalhes estão disponibilizados no software e, portanto de fácil acesso;
- O ensino correto quanto ao uso das ferramentas de digitalização das classes temáticas não é uma prática muito constante nos cur-

sos de sensoriamento remoto; a sua efetivação motiva o aluno a se empenhar mais em dominar o assunto em face de possível aplicação em outros trabalhos práticos. A utilização incorreta das ferramentas de digitalização, tais como: poligonalização, uso de nós, etc, ou a simples digitalização sobreposta de polígonos das diversas classes não propicia que o resultado final da área total das classes e do plano de informação seja igual a um, como no presente no exercício. O acadêmico deverá também decidir o contorno de cada classe (delimitação dos diferentes polígonos), principalmente, quando do uso da ferramenta zoom, ao visualizar os pixels individuais e observar que os pixels nas bordas entre as classes não são “pixels puros” como costuma acontecer com os pixels no interior da classe;

- O tamanho pequeno do arquivo digital, além de demandar pouco tempo para a interpretação visual, viabiliza um maior número de testes para a escolha dos limiares de área e similaridade da segmentação final da imagem e de iterações no processo classificatório supervisionado até obter um resultado considerado como final,
- A interpretação visual e a avaliação do desempenho de diferentes classificadores existentes em um software é uma atividade normal em sensoriamento remoto e a escolha do melhor resultado deverão estar embasados na comparação visual dos resultados entre si e em valores quantitativos que no presente exercício foi as áreas das classes temáticas mapeadas e o tempo gasto em cada metodologia. Complementarmente, outros algoritmos classificatórios, disponibilizados no software, poderão ser incluídos no exercício proposto,
- Ainda quanto aos algoritmos classificatórios, o acadêmico deverá perceber que ainda muitas etapas dependem do analista, seja tanto para a escolha dos limiares de área e de similaridade na segmentação, na junção de diversos segmentos definidos na imagem, na seleção das áreas de treinamento para as diversas classes temáticas, etc e que tais decisões subjetivas podem conduzir a diferentes resultados;
- Caso o acadêmico compare os seus resultados com os demais colegas, ele terá a confirmação do fato de que não haverá dois resultados iguais, tanto em nível de interpretação visual como de classificações automáticas e, inclusive podendo obter resultados diferentes do apresentado,
- Após a efetivação do exercício prático, o acadêmico estará mais bem preparado para interpretar visualmente e/ou classificar ou-

- tras imagens digitais, satelitárias ou não,
- Este poderá ser um dos exercícios finais aplicados na disciplina.

As desvantagens da aplicação prática do exercício proposto referem-se ao:

- Uso de uma fotografia colorido normal e, portanto com apenas três bandas espectrais, sendo que em caso real de utilização de imagens satelitárias, o número de bandas pode ser maior e com a inclusão de outras bandas que captam a refletância em regiões espectrais além do espectro visível,
- A não utilização de técnicas de pré-processamento, tais como: correção atmosférica, radiométricas e geométricas, comumente em atividades de mapeamento de uso/cobertura do solo,
- A não efetivação de trabalho de campo, em contrapartida, não possibilita a geração de matriz de confusão e/ou coeficiente Kappa, os quais são normalmente utilizados, juntamente com outros valores quantitativos, para avaliar o desempenho dos algoritmos classificatórios.

## 5. Considerações finais

A disponibilidade de imagens digitais e de softwares gratuitos de processamento digital de imagens facilita o aprendizado acadêmico de interpretação/classificação de imagens, mas os métodos atuais de ensino devem disponibilizar exercícios que tornem mais eficientes e rápidos o aprendizado.

A imagem colorido normal utilizada é fácil e rápida de ser interpretada visualmente e também de ser segmentada e classificada através de diferentes algoritmos, o que torna o aprendizado muito mais fácil e incentivador, independente do curso universitário que o acadêmico atenda,

A necessidade de interpretação visual da imagem através da digitalização, via monitor de vídeo, adiciona um fator ainda mais motivador no aprendizado.

A análise dos resultados integrou aspectos qualitativos e quantitativos e que viabilizaram a escolha do melhor resultado.

Considerações positivas e negativas da aplicação do exercício também foram consideradas realçando o aspecto prático importante na formação do acadêmico.

Após a efetivação do exercício proposto, que pode ser um dos finais da disciplina, o acadêmico estará mais apto para processar imagens satelitárias ou mesmo imagens digitais de fotografias aéreas.

## 6. Referências bibliográficas

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, *Processamento Digital de Imagens-Teórica*. Apostila do curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto. INPE. São José dos Campos-SP. 2000.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. *Geoprocessamento ao alcance de todos*. SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versão 4.2, disponível em CDrom. 2004

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M. GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

