



ESALQ

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Universidade de São Paulo

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

APONTAMENTOS DE AULA: CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

Profa. Ana Cláudia dos Santos Luciano

Piracicaba - 2022

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	3
1. INTRODUÇÃO	4
2. CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DIGITAIS.....	4
3. MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA.....	7
4. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS	8
4.1. Métodos de classificação de imagens digitais.....	11
4.2. Classificação não-supervisionada por pixel.....	13
4.2.1 ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)	13
4.2.2 K-médias.....	13
4.3. Classificação supervisionada por pixels.....	13
4.3.1 Distância mínima	13
4.3.2 Máxima verossimilhança	13
4.4. Classificação supervisionada por regiões	14
4.5. Classificação não-supervisionada por regiões.....	14
5. PÓS-CLASSIFICAÇÃO	14
6. VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO	15
7. ERROS DA CLASSIFICAÇÃO.....	15
8. RESUMO: MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS	16
9. REFERÊNCIAS.....	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação de uma imagem e diferentes resoluções espaciais para a mesma área de estudo	5
Figura 2: Representação da resolução espectral dos sensores OLI e ETM+ do satélite Landsat.....	5
Figura 3: Resolução radiométrica	6
Figura 4: Resolução temporal	6
Figura 5: Processo básico para geração de um mapa de uso e cobertura da terra com base na classificação de imagens digitais.	7
Figura 6: Diferença entre as resoluções espaciais nas áreas urbanas.....	9
Figura 7: Identificação da água.....	9
Figura 8: Identificação da vegetação	10
Figura 9: Identificação de áreas agrícolas.....	11
Figura 10: Princípios de classificação de imagem.....	11
Figura 11: Métodos e objetos da classificação de imagens	12
Figura 12: Pós-classificação, após aplicação de um processo de filtragem.....	15
Figura 13: Resumo dos métodos de classificação de imagens	16

1. INTRODUÇÃO

O procedimento de classificação de imagens faz parte de um vasto campo de pesquisas que objetiva o reconhecimento de padrões representados nas imagens orbitais. Para isso, faz-se necessário compreender, inicialmente, como os sensores orbitais realizam o imageamento da superfície da Terra em todas as faixas espectrais possíveis, com os mais variados parâmetros de resolução espacial, temporal e radiométrica.

Dessa forma, o conceito de classificação consiste no processo de extração de informação em imagens e é importante para o reconhecimento de padrões e objetos e, portanto, considera a resposta espectral dos elementos e/ou alvos presentes nas imagens.

Em relação às técnicas de classificação tem-se a supervisionada e não supervisionada. Na classificação supervisionada, para que o *software* possa efetuar a classificação, torna-se necessário que o usuário estabeleça as classes que ele deseja que sejam classificadas, orientando o aplicativo pela utilização de amostras de treinamento. No caso da classificação não supervisionada, o próprio aplicativo realiza o agrupamento das classes a partir de alguns parâmetros simples inseridos pelo usuário.

O material a seguir abordará conceitos, técnicas e exemplos de classificação de imagens digitais para o mapeamento do uso e cobertura terra.

2. CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DIGITAIS

Independentemente do tipo de sensor utilizado para aquisição de imagens digitais, é extremamente importante compreender e verificar as especificações de configuração do sensor a ser utilizado. Dentre as principais especificações dos sensores utilizados para obter imagens, destacam-se a resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal.

Resolução espacial

Representa a menor feição passível de ser identificada no terreno pelo sensor. A resolução espacial representa a capacidade do sensor distinguir objetos, isto é, a capacidade do sensor em “enxergar” objetos.

De acordo com Novo (2010), é importante distinguir entre o elemento de resolução no terreno e o tamanho do pixel. A grande maioria das imagens de sensores remotos é formada por matrizes de elementos de imagem (*picture element*) ou pixels. Os pixels das imagens são

geralmente quadrados e representam certa área no terreno, como apresentado na Figura 1.

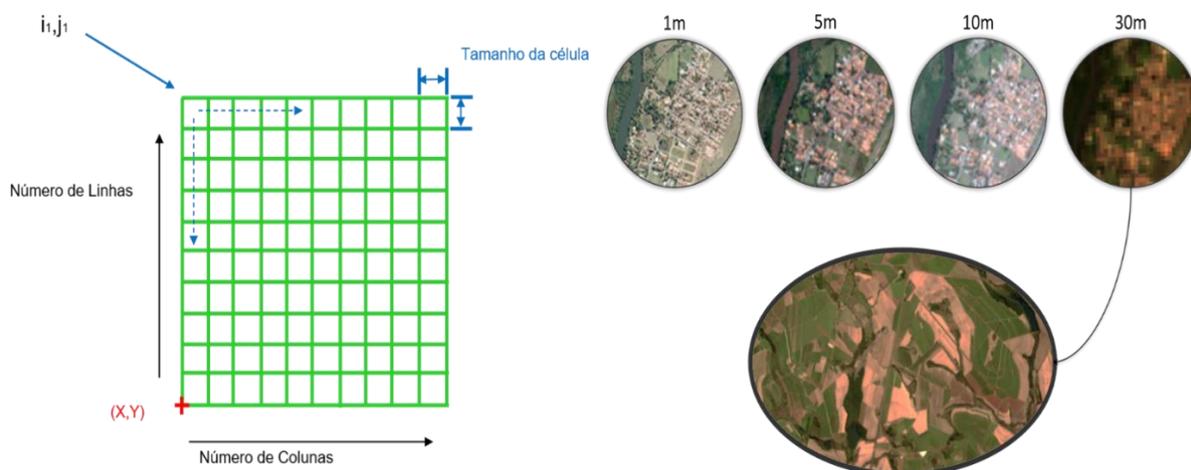


Figura 1: Representação de uma imagem e diferentes resoluções espaciais para a mesma área de estudo

Resolução espectral

A resolução espectral é definida pelo número de bandas espectrais de um sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda, ou seja, corresponde a medida de largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sensor de distinção entre níveis de intensidade diferentes (Figura 2).

Para Novo (2010), a consequência do desenvolvimento de sensores com melhor resolução espectral é a capacidade de aumentar o número de bandas disponíveis para a análise das interações entre a radiação eletromagnética e os materiais que compõem a superfície terrestre.

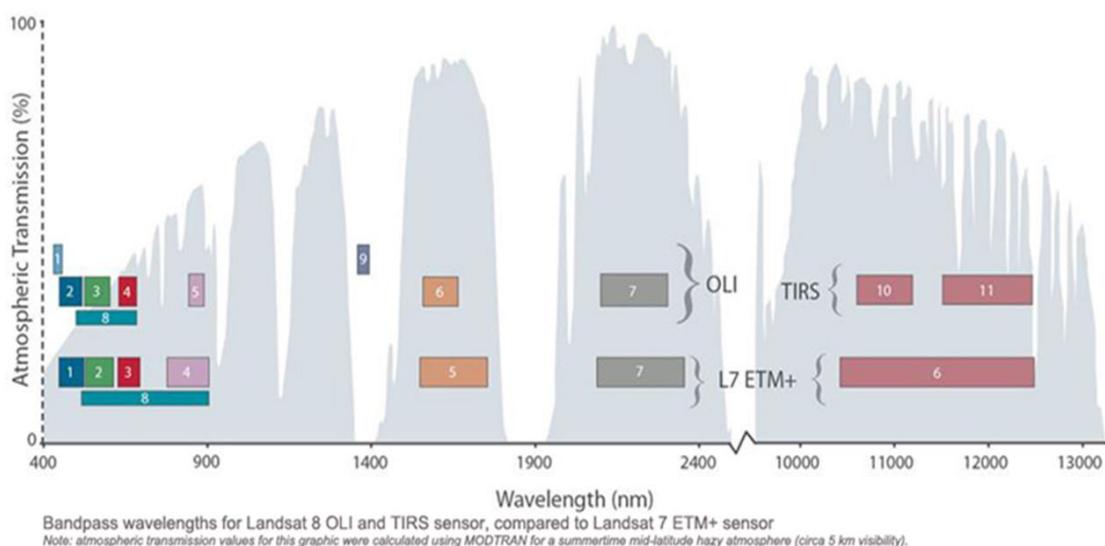


Figura 2: Representação da resolução espectral dos sensores OLI e ETM+ do satélite Landsat

Resolução radiométrica

A resolução radiométrica é correspondente ao número de níveis digitais, representados pelos níveis de cinza que expressam os dados coletados pelo sensor. Refere-se à maior ou menor capacidade do sistema sensor em detectar e registrar diferenças na energia refletida, emitida ou retroespalhada captada pelo sensor.

Assim, quanto maior for a capacidade do sensor de distinguir a diferença de intensidade do sinal, maior será a sua resolução radiométrica (NOVO, 2010). A Figura 3 apresenta a comparação entre diferentes resoluções radiométricas para um mesmo local.

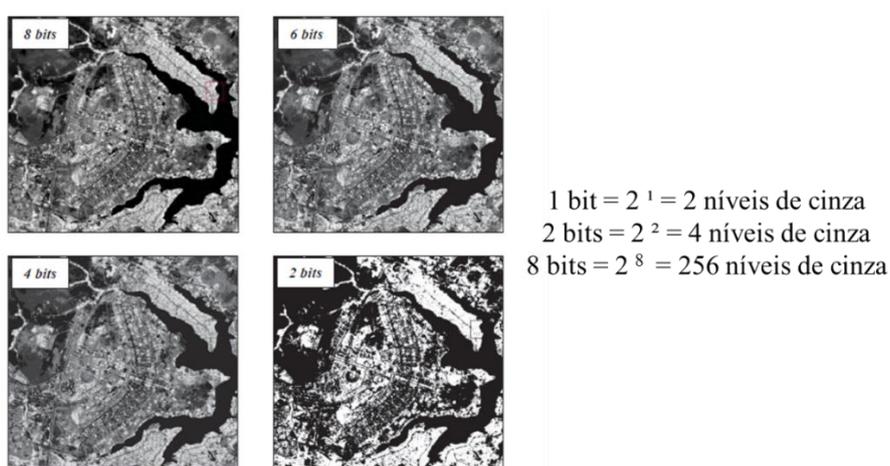


Figura 3: Resolução radiométrica

Resolução temporal

A resolução temporal (Figura 4) é dada pelo número dias para se obter uma nova imagem de um mesmo local, isto é, está relacionada com a repetitividade em que o sistema sensor adquire informações referentes ao objeto.

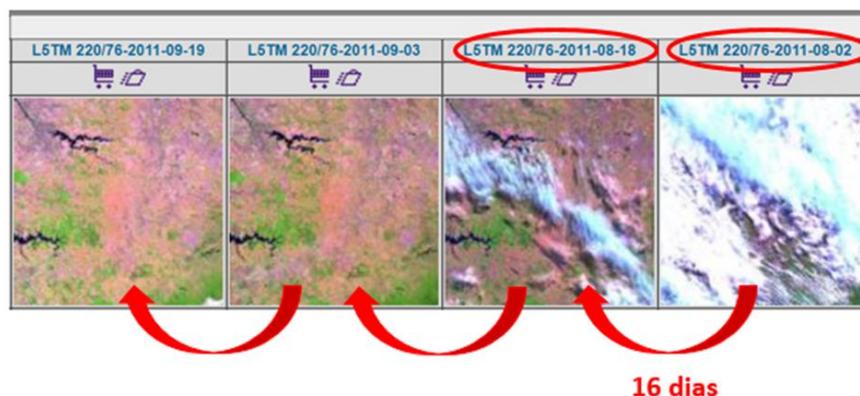


Figura 4: Resolução temporal

3. MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA

A evolução dos programas espaciais impulsionaram as pesquisas para a construção de novos equipamentos capazes de fotografar à Terra, mas não com o uso de câmeras fotográficas, mas equipamentos capazes de recobrir a superfície terrestre e de armazenar ou transmitir para à Terra os dados coletados.

Tais equipamentos receberam o nome de sensores imageadores, em razão do processo de cobertura do terreno ser feito na forma de varredura linear do terreno. Sabe-se que o sensoriamento remoto tem como um dos seus principais objetivos a extração das informações contidas nas imagens e a sua codificação em documentos que possam ser lidos nas formas de tabelas, gráficos ou mapas.

O monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil tem como objetivo espacializar e quantificar a cobertura e uso da terra de todo o território com o intuito de analisar a dinâmica do território em termos dos processos de ocupação, da utilização da terra e de suas transformações (IBGE, 2021).

Dessa forma, dentro de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é possível gerenciar as imagens de satélite, previamente obtidas, a fim de gerar mapas e demais subprodutos. Este processamento de classificação garante a extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos e, por consequência, possibilita gerar os mapas de uso e cobertura da terra (Figura 5).

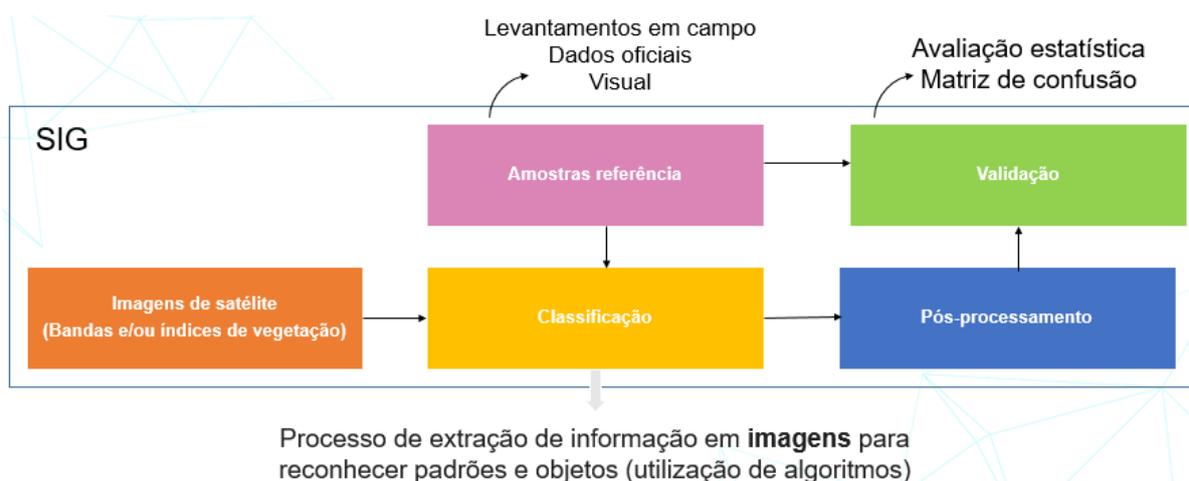


Figura 5: Processo básico para geração de um mapa de uso e cobertura da terra com base na classificação de imagens digitais

Destacam-se alguns mapeamento com classificação de imagens digitais e a combinação

ou não de interpretação visual já realizados no Brasil, sendo eles: Projeto RADAMBRASIL (1970-1985) – Avião/RADAR ; Projeto PROBIO (década de 90) – projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira; Projeto CANASAT (2003-2012) – mapeamento anual de cana-de-açúcar; Projeto TERRACLAS (2010-atual) – mapeamento do uso e cobertura da terra visando a qualificação dos desmatamentos observados na região da Amazônia Legal e Cerrado (MME, 1975; MMA, 2002; RUDORFF et al., 2012; COUTINHO et al., 2013).

Portanto, o mapeamento do uso e cobertura da terra é considerado uma importante ferramenta para um melhor conhecimento das transformações da paisagem, justamente porque permite a obtenção de informações para construção de cenários e/ou indicadores capazes de subsidiar as avaliações da superfície terrestre.

4. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

Para extrair informações das imagens é necessário estabelecer métodos de análises com regras claras e lógicas para que seja possível a replicação por qualquer analista na interpretação do significado do dado estudado. Essas regras estabelecem critérios para a análise dos elementos que compõem a paisagem utilizando-se dos conceitos de critérios de interpretação de imagens que envolvem as propriedades da tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão, localização e contexto que são específicas de cada classe de alvo.

Em relação as chaves de interpretação, salienta-se a importância da descrição dos objetos conforme sua aparência e ocorrência no terreno, a descrição de como os objetos são percebidos nas imagens, bem como as características do sensor usado (resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica e características do sistema sensor). Quanto maior é o conhecimento sobre a área de estudo, maior é a quantidade de informação que se pode obter, a partir da interpretação de fotografias ou imagens digitais desta área.

Independentemente da resolução e escala, as imagens apresentam os elementos básicos de análise e interpretação, a partir dos quais se extraem informações de objetos, áreas, ou fenômenos. O padrão pode ajudar na identificação de objetos, pois refere-se ao arranjo espacial ou à organização desses objetos em uma superfície. Alguns dos padrões mais comuns para geração de mapas de uso e cobertura da terra são: área urbana, água, vegetação e área agrícola, e podem ser identificados e classificados de acordo com o conhecimento do intérprete.

Área urbana

As áreas urbanas apresentam resoluções mais grosseiras (baixa resolução espacial), os principais padrões observados são a textura rugosa e as áreas com formas irregulares. Em contrapartida, quando estas áreas dispõem de resoluções mais finas (alta resolução espacial), nota-se formas regulares e bem definidas e próximas a estradas e rodovias. A Figura 6 exibe a diferença entre as resoluções espaciais nas áreas urbanas.

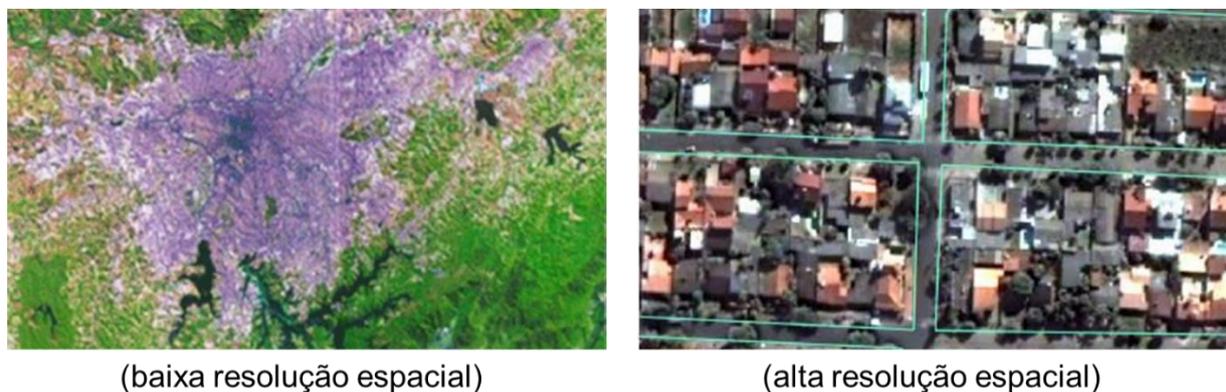


Figura 6: Diferença entre as resoluções espaciais nas áreas urbanas

Água

Os materiais que constituem os sistemas aquáticos interagem de maneira diferenciada com a energia incidente e apresentam diferentes cores, uma textura rugosa ou lisa e forma irregular (linear ou curvilínea) (Figura 7).



Figura 7: Identificação da água

Vegetação

Os materiais que constituem a vegetação natural ou plantada interagem com a REM de

acordo com o desenvolvimento e as condições de manejo e clima. Dessa forma, podem apresentar diferentes cores (variações entre os períodos de seca e chuva), baixa rugosidade para áreas plantadas e alta rugosidade para vegetação natural e formas geométricas bem definidas para áreas plantadas (silvicultura, por exemplo) (Figura 8).

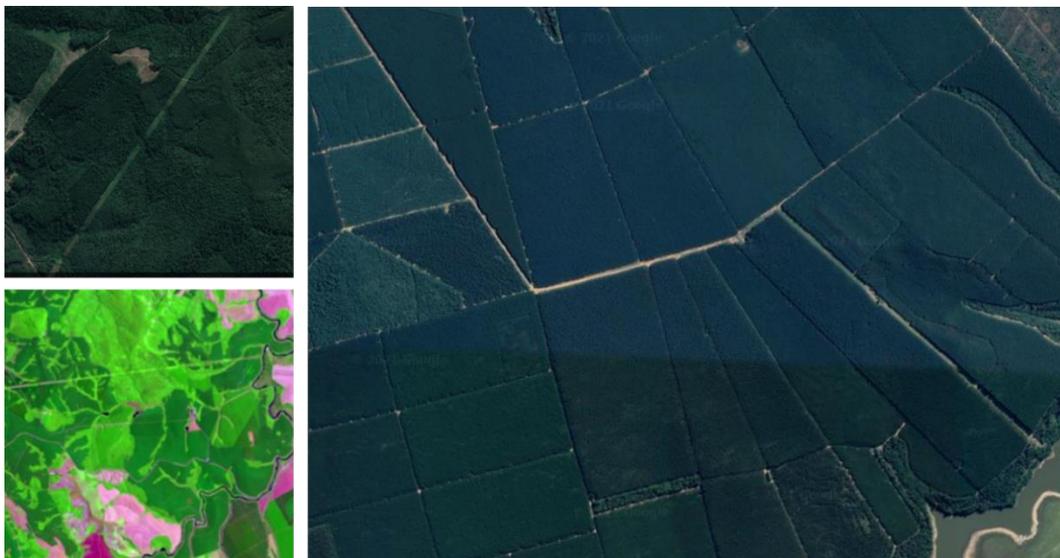


Figura 8: Identificação da vegetação

Áreas agrícolas

As áreas agrícolas interagem com a REM de acordo com o desenvolvimento e as condições de manejo e clima. Assim como a vegetação, as áreas agrícolas também apresentam diferentes cores em decorrência dos períodos de seca e chuva. Todavia, possuem uma textura rugosa ou homogênea, formas geométricas (retangulares ou circulares) e marcas de tratores e espaçamentos (Figura 9).

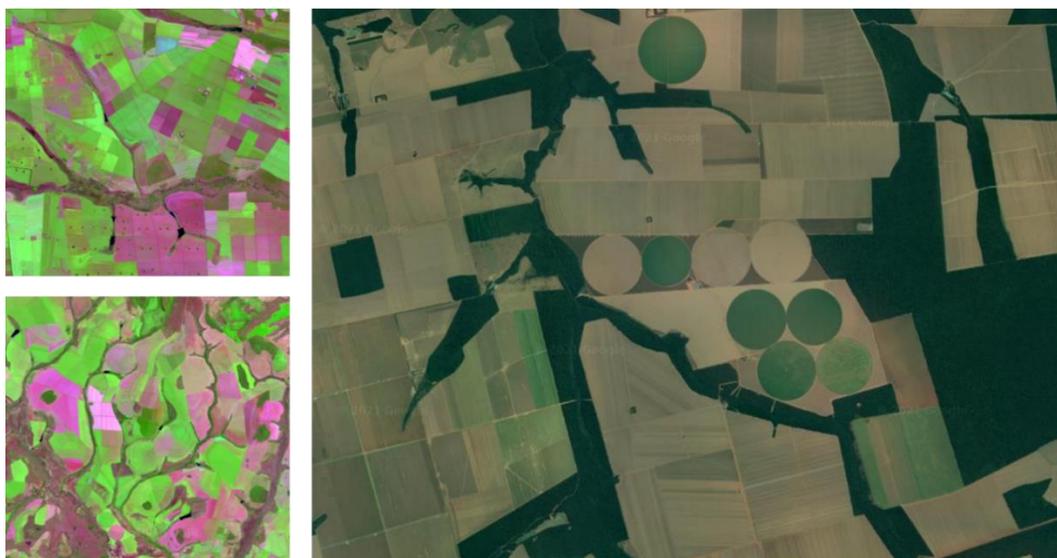


Figura 9: Identificação de áreas agrícolas

4.1. Métodos de classificação de imagens digitais

A classificação de uma imagem é dada pela identificação dos elementos através da associação de cada um de seus pixels a uma determinada classe pré-estabelecida (Figura 10).

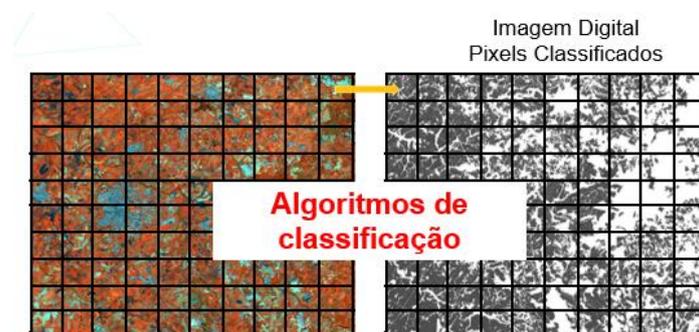


Figura 10: Princípios de classificação de imagem

De acordo com Mather (1987) existem dois modos de alocar pixels individuais às suas classes mais prováveis. Os métodos de classificação de imagens podem ser definidos como supervisionado ou não supervisionado (Figura 11). Para a classificação supervisionada, se previamente sabemos que numa área existe um número de diferentes tipos de alvos, e que nas imagens são padrões espectralmente separáveis, pode-se estimar propriedades estatísticas que descrevem e medem cada um desses padrões, e então, cada pixel da imagem pode ser comparado a cada um dos padrões e ser rotulado como pertencente ao padrão que mais similaridade encontrar.

Já para a classificação não-supervisionada, quando não se tem conhecimento dos tipos

de alvos (padrões) que possam estar presentes na imagem, são definidos arbitrariamente alguns padrões básicos e o método usado é alocar e realocar os pixels da imagem a esses padrões. Ao final de cada tentativa, quando todos os pixels tiverem sido alocados, os padrões definidos podem ser alterados, de acordo com a natureza dos pixels que lhe foram associados e, se necessário, alguns desses padrões básicos podem ser descartados ou mesmo divididos.

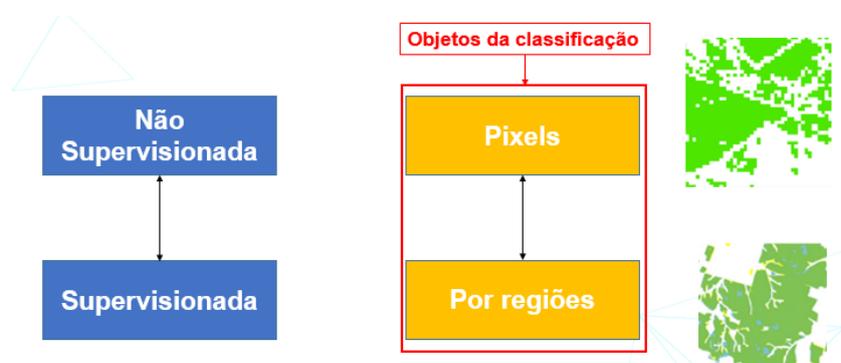


Figura 11: Métodos e objetos da classificação de imagens

Os objetos das classificações supervisionada e não supervisionada podem ser os pixels ou regiões (Figura 11). A classificação por pixels é dada pela informação espectral de cada pixel para encontrar regiões homogêneas, a partir de medidas de distâncias ou de probabilidades de um pixel pertencer a uma classe específica. Já a classificação por regiões considera um agrupamento de pixels que é usado como unidade de classificação. As áreas homogêneas (regiões) são reconhecidas nas imagens baseadas nas propriedades espectrais e espaciais dos objetos, para isso utiliza-se do processo de segmentação de imagens.

Segmentação por regiões

A segmentação – crescimento por regiões é dada pelo particionamento da imagem em células padrões (1 ou mais pixels). Cada célula padrão é comparada com as suas células vizinhas para determinar se elas são similares, usando uma medida de similaridade. Se elas são similares, agrupe as células para formar um segmento. Continue o crescimento do segmento examinando todos os seus vizinhos até que não exista regiões que possam ser agrupadas ao segmento. Rotule o segmento como uma região completa. Processe a próxima célula não completa, e repita estes passos até que todas as células sejam rotuladas.

Segmentação por bordas

As bordas na imagem caracterizam os contornos dos objetos e são bastante úteis para segmentação e identificação de objetos na cena. Pontos de borda podem ser entendidos como

as posições dos pixels com variações abruptas de níveis de cinza. Os pontos de borda caracterizam as transições entre objetos diferentes. Existem várias técnicas de segmentação baseadas em bordas. As mais simples são aquelas em que as bordas são detectadas pelos operadores gradiente (Sobel, Roberts, Laplaciano) seguidos de uma limiarização.

4.2. Classificação não-supervisionada por pixel

Nesta classificação, tem-se pouca ou nenhuma participação do analista e o processo é automatizado pelo computador. Há, também, o agrupamentos de pixels com características espectrais similares (algoritmo *clustering* usa todos os pixels da imagem de entrada para iniciar a análise) e o uso de técnicas de distância mínima (ISODATA e K-médias).

4.2.1 ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)

O uso da técnica do ISODATA utiliza a distância espectral e, em geral, o processo dividido em três etapas: 1) classifica iterativamente os pixels, 2) redefine os critérios de cada classe e, 3) reclassificação da imagem até que os padrões de distância espectral dos dados sejam definidos.

4.2.2 K-médias

O classificador K-médias minimiza a variabilidade interna do agrupamento que é dimensionada pela função soma das distâncias ao quadrado entre cada pixel e o centro ao qual é alocado. A diferença da classificação K-médias com o classificador ISOTADA é que o K-médias assume que um número de agrupamento é conhecido a priori, além de fixar um número de agrupamento, enquanto o ISODATA não mantém fixo um número.

4.3. Classificação supervisionada por pixels

Nesta classificação há o conhecimento prévio das classes de alvos, em que o algoritmo necessita ser treinado e supervisionado pelo analista. É necessário o conhecimento dos dados e das classes de objetos que existem na área. Os exemplos são: distância mínima e máxima verossimilhança. Não há restrição no número de classes.

4.3.1 Distância mínima

Agrupa as médias dos pixels das amostras coletadas para medir a distância espectral do pixel que será classificado. O método utiliza a medida de distância Euclidiana e, cada pixel é incorporado a um agrupamento através da análise da medida de similaridade de distância Euclidiana.

4.3.2 Máxima verossimilhança

A máxima verossimilhança considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Ela assume que todas as bandas têm distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica. Ademais, é um classificador mais eficiente porque as classes de treinamento são utilizadas para estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de n bandas, como também a localização do centro de cada classe.

4.4. Classificação supervisionada por regiões

A classificação supervisionada por regiões pode ser feita pelo algoritmo bhattacharya. O algoritmo não realiza a classificação de forma automática, exigindo uma etapa de treinamento de acordo com as regras da classificação supervisionada. As amostras são as regiões formadas na segmentação de imagens.

4.5. Classificação não-supervisionada por regiões

Como exemplo da classificação não supervisionada por regiões, tem-se o algoritmo Isoseg. O Isoseg é um algoritmo de agrupamento de dados (não supervisionado) aplicado sobre conjuntos de regiões que foram caracterizadas por seus atributos estatísticos (média e matriz de covariância). Agrupa regiões a partir de uma medida de similaridade entre elas.

5. PÓS-CLASSIFICAÇÃO

Aplica-se este procedimento em uma imagem classificada para uniformizar os temas, ou seja, eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança (Figura 12). Com isto, gera-se uma imagem classificada com aparência menos ruidosa. Pode-se utilizar filtros, mas com cautela e conhecimento das classes mapeadas.

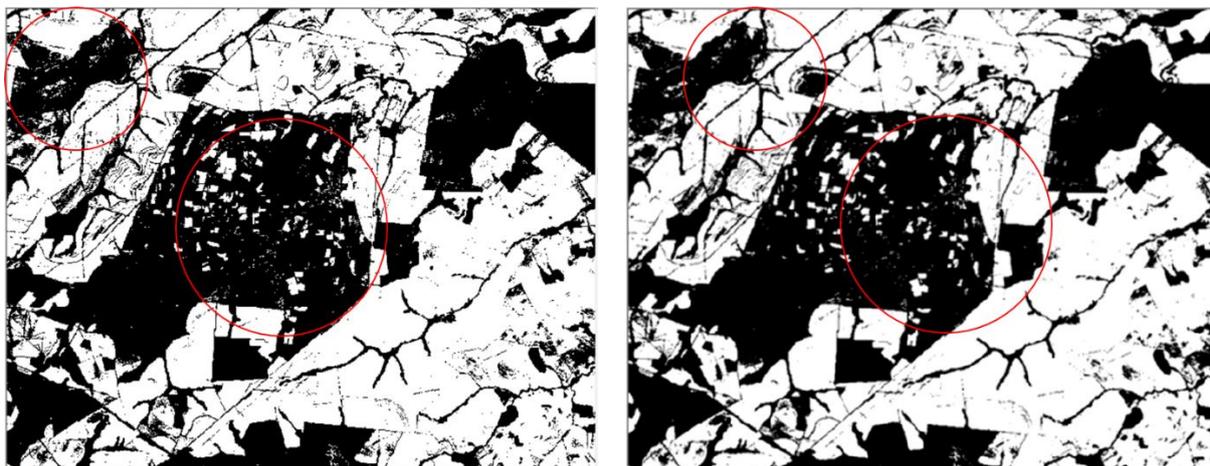


Figura 12: Pós-classificação, após aplicação de um processo de filtragem

6. VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO

A validação dos dados gerados por meio da classificação digital de imagens de satélite é de fundamental importância, evitando interpretações errôneas. A acurácia dos dados pode ser realizada por meio da matriz de erro ou confusão, isto é, por amostras de referência x amostras da classificação.

Além disso, existem índices de desempenho geral que revelam a exatidão global ou acurácia global, bem como índices por classe. Dentre os índices por classe, tem-se: erro de omissão (exatidão do produtor) em que é interesse conhecer como ocorreu o acerto da classificação; e o erro de comissão (exatidão do usuário) que garante confiabilidade ao usuário quanto aos resultados de classificação.

7. ERROS DA CLASSIFICAÇÃO

Muitos dos problemas identificados nas fotografias aéreas ocorrem de formas bastante semelhantes com as imagens digitais de sensoriamento remoto. São várias as fontes que geram esses problemas, a maioria devido aos erros e defeitos que os sensores possam apresentar ao longo de sua vida útil, e por perdas de estabilidade da plataforma que acopla o sensor. Mas há fontes de erros que independem da plataforma ou mau funcionamento do sensor.

Para isso, é necessário conhecer as amostras de treinamento, a influência da presença de nuvens e sombras, a realização correta da calibração do classificador, a qualidade das amostras, a condições da imagem (resolução espacial, temporal e espectral), além da experiência do analista. Portanto, conhecendo todas as possíveis adversidades e como resolvê-las, o resultado da interpretação visual e classificação de imagens torna-se mais confiável.

8. RESUMO: MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

Em resumo, os métodos de classificação de imagens podem ser supervisionados ou não-supervisionados (Figura 13). Além disso, estes métodos podem ser aplicados sobre objetos do tipo “pixels” ou “regiões”. Os exemplos mostrados em aula representam a capacidade de classificação de imagens de um SIG, considerando imagens de datas específicas ou um conjunto de datas.

Com os atuais adventos tecnológicos, a disponibilidade de sensores remotos capazes de adquirir imagens em diversas resoluções espaciais, espectrais, radiométrica e temporal, os métodos de classificação de imagens têm evoluído. Neste contexto, insere-se o conceito de séries temporais de imagens.

As séries temporais de imagens consistem em um conjunto de imagens ao longo do tempo e são amplamente aplicadas para análise de mudanças do uso e cobertura da terra. Para a classificação de séries temporais de imagens é necessário técnicas de classificação mais avançadas, como por exemplo, os algoritmos de aprendizado de máquina.

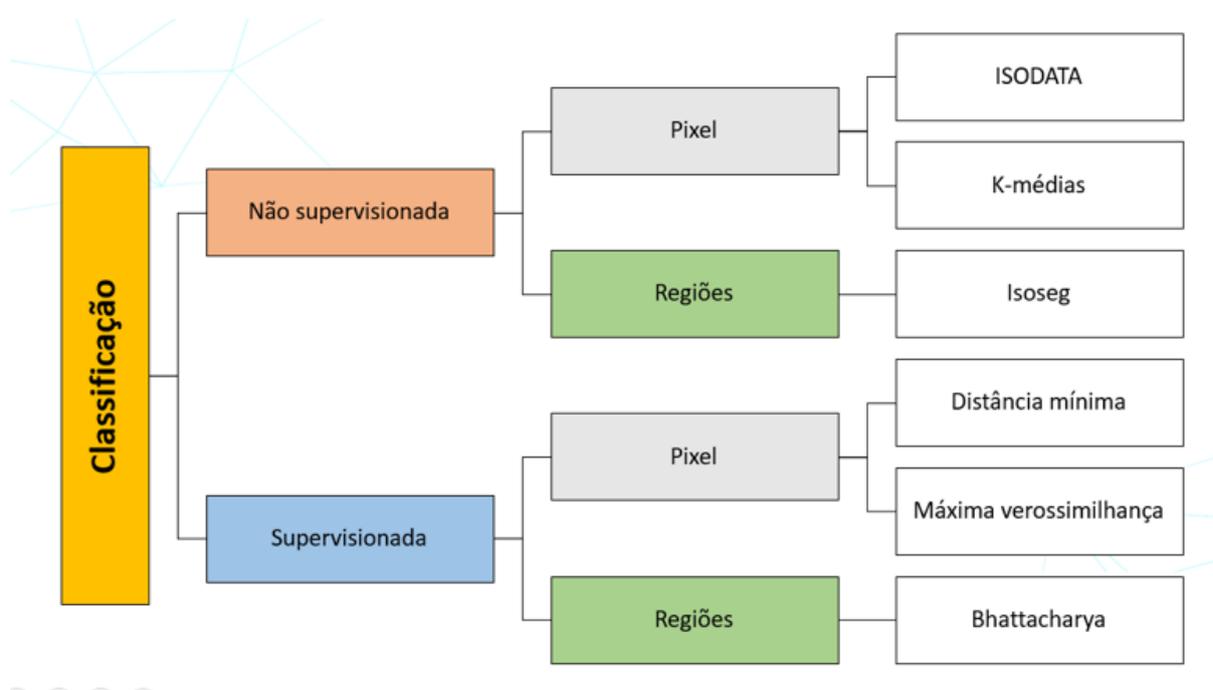


Figura 13: Resumo dos métodos de classificação de imagens

9. REFERÊNCIAS

COUTINHO, A. C. et al. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal: TerraClass 2008**. Embrapa, Brasília. INPE, São José dos Campos. 2013.

MATHER, P. M. **Computer Processing of Remotely Sensed Images: an Introduction**. St Edmundsburi Press Ltd, 1987.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MMA. **PROBIO. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira: Relatório de Atividades 1996 - 2002**. Ministério do Meio Ambiente. 73p. Brasília, 2002.

MME. **Projeto RADAM**. 418p. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro: [s.n.], 1975

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

RUDORFF, B. F. T. et al. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo state (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057–1076, 2010.