

CONSTRUÇÃO DE UM INDICADOR DE DETECÇÃO DE FEIÇÕES CARTOGRÁFICAS A PARTIR DE IMAGENS ORBITAIS

A. Teixeira¹, R. S. De Barros², C. B.M. Cruz²

¹Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasil

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

A proposta desse trabalho é apresentar e discutir o conceito de interpretabilidade de imagens orbitais usadas para a produção de base cartográfica de referência. Nesse contexto, entende-se por interpretabilidade a adequação de uma imagem para finalidade de interpretação, de forma que seu conteúdo permita a detecção e identificação de objetos sobre a superfície terrestre. Para finalizar, este trabalho esmiúça o conhecimento sobre questões centrais na definição de sensores mais apropriados para se alcançar a exatidão prevista para uma dada escala cartográfica.

Palavras chave: Interpretabilidade. Extração de feição cartográfica.

ABSTRACT

The purpose of this study is to present and discuss the concept of interpretability of orbital images used in the production of a reference cartographic base. In this context, interpretability means the suitability of an image for purposes of interpretation, in such a way that its content allows the detection and identification of objects on Earth's surface. Finally, this paper deeply analyzes the knowledge on key issues in the definition of the most appropriate sensors to reach the expected accuracy for a given cartographic scale.

Keywords: Interpretability. Cartographic Feature Extraction.

1- INTRODUÇÃO

Um estudo metodológico do IBGE (2011) descreveu a avaliação da qualidade das imagens ortoretificadas do sensor AVNIR-2 em termos de exatidão cartográfica, indicando que as imagens usadas no trabalho são compatíveis com a escala 1:50.000 do ponto de vista posicional. Porém, o trabalho ressalta que a resolução de 10 metros não favorece a interpretação de elementos nessa escala, tendo em vista que não é possível distinguir todas as feições cartográficas apropriadas para esta escala. Ou seja, a sua resolução espacial, bem como as demais resoluções, limita o processo de interpretação. Sendo assim, as imagens de um sensor podem atender ao rigor da exatidão posicional em uma determinada escala, mas não possibilitar uma extração e classificação adequadas, em virtude da falta de detalhamento dos objetos.

Por isso, esse estudo tem como objetivo estabelecer o Indicador de Detecção (IDET). Para sua formulação, optou-se por desmembrá-lo em parâmetros de qualidade para a avaliação de feições lineares e poligonais. Para a obtenção desse indicador de qualidade da detecção foram estabelecidos os seguintes parâmetros: Qualidade da Segmentação (QS), Qualidade da Detecção das Extensões (QDE), Qualidade da Detecção dos Objetos (QDO), Qualidade da Forma (QF) e Qualidade Posicional (QP).

Para cada parâmetro de qualidade, será estabelecido um valor numérico, com intervalo entre zero e um, cuja associação permitirá obter o Indicador de Detecção, cujo objetivo é mensurar o potencial de extração nas imagens de um determinado sensor.

2-CONSTRUÇÃO DO INDICADOR DE DETECÇÃO

2.1 Qualidade da Segmentação (QS)

O primeiro parâmetro para avaliar a detecção dos elementos, constitui o critério para analisar o início da extração das feições cartográficas, denominado de Qualidade da Segmentação. Nesse estudo são utilizados algoritmos de segmentação baseados em similaridades e descontinuidades, cujos resultados são segmentos expressos através de áreas.

Para se mensurar o nível de homogeneidade entre os pixels de um determinado segmento, propõe-se usar a proposta de Espindola (2006), denominado de Índice de Homogeneidade Interna. Neste estudo será denominado de Qualidade de Homogeneidade Interna (QHI), calculado a partir da equação 1, onde v_i é a variância dos níveis de cinza dos pixels de uma região segmentada e a_i é a área dessa região.

$$QHI = \frac{\sum_{i=1}^n ai.vi}{\sum_{i=1}^n ai} \quad (1)$$

O valor de QHI mensura a variância média de todas as regiões resultantes do processo de segmentação de forma ponderada, cujo peso é dado pela área da região segmentada. Dessa forma, as áreas pequenas, principalmente as que apresentam valores distorcidos, acarretarão menos instabilidades no valor da QHI.

Espindola (*op. cit.*) também estabelece o Índice de Separabilidade entre Segmentos Vizinhos, que nesse estudo é denominado de Qualidade de Separabilidade entre Segmentos Vizinhos (QSSV). O objetivo é comparar o conjunto de pixels de uma determinada região com o seu vizinho. Para se atingir esse índice, propõe-se o uso do método de autocorrelação espacial parâmetro estatístico que mede a correlação de uma variável de um determinado local em relação à sua vizinhança, cujos valores variam de -1 a 1. Valores próximos de zero, indicam a inexistência de autocorrelação espacial significativa entre os valores dos objetos e seus vizinhos. Valores positivos para o índice indicam autocorrelação espacial positiva.

Calculado a Qualidade de Homogeneidade Interna (QHI) e a Qualidade de Separabilidade entre Segmentos Vizinhos (QSSV) é possível estabelecer um parâmetro que integre os dois índices e permita mensurar a qualidade da segmentação gerada.

Espindola (*op. cit.*) denomina de Função Objetivo (FO) o parâmetro que integra os dois índices, sendo descrito na equação 2, onde (v) e (I) representam os índices QHI e QSSV respectivamente:

$$FO = F(v, I) = F(v) + F(I) \quad (2)$$

Nesse estudo, usou-se a mesma abordagem de Espindola (2006) ao se realizar uma normalização nas funções $F(v)$ e $F(I)$, optando-se pelo método de normalização linear no intervalo [0,1] para os índices QHI e QSSV (na equação 3 são expressos por X), visando enquadrá-los em uma faixa numérica que possa ser comparada com os outros índices de interpretabilidade, representando a Qualidade da Segmentação (QS).

$$F(x) = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3)$$

Bons resultados da segmentação são representados por baixos valores de QHI e QSSV, ou seja, a região é bastante homogênea internamente e heterogênea com as regiões adjacentes. Dessa forma, baixos valores de QHI e QSSV retornam respectivamente altos valores de $F(v)$ e $F(I)$

2.2 Qualidade de Detecção das Extensões (QDE)

De uma forma geral, o termo completude está associado à integridade do dado, seja pela componente espacial ou o atributo em um banco de dados. Para a fase de interpretação, a tarefa ideal é poder extrair os traçados de forma integral, sem elementos omissos ou excedentes. Essa abordagem da completude, de caráter espacial, está associada à definição de uma avaliação que auxilie a mensurar a quantidade de traçados. O uso da expressão traçado serve apenas para destacar que o foco nesse estudo é conseguir detectar na imagem uma quantidade elementos cartográficos representativos em uma escala determinada, a partir do processo de interpretação de imagens.

Sendo assim, é importante avaliar, por exemplo, o percentual de feições que deixam de ser extraídas (erro de omissão) ou extraídas de forma excedente (erro de comissão) por conta da ineficiência de interpretação de uma imagem.

Para avaliar a omissão, duas abordagens podem ser estabelecidas. A primeira diz respeito a uma forma de avaliação das extensões efetivamente detectadas, seja através do comprimento das linhas ou de extensões das áreas dos polígonos, cuja unidade de medida é estabelecida através de padrão métrico. Já a segunda abordagem pode ser analisada sob o enfoque da quantidade de elementos detectados, contabilizando-se o número de objetos presentes.

A equação 4 expressa a taxa de omissão (OM), onde x é o total da extensão dos perímetros dos polígonos e comprimentos lineares para cada classe em um determinado recorte geográfico, enquanto y é o total da extensão dos perímetros e comprimentos lineares das classes na base cartográfica de referência.

$$OM = \frac{\sum x}{\sum y} \quad (4)$$

Para o cálculo do parâmetro de qualidade da omissão das extensões, denominada Qualidade da Detecção das Extensões (QDE), calcula-se o percentual efetivamente extraído, expresso a partir da equação 5.

$$QDE = 100 - OM \quad (5)$$

Através desse resultado, é possível saber o valor do comprimento e perímetro não omissos, expresso também em porcentagem. O resultado é um valor no intervalo entre 0 e 1, cujos valores mais altos se traduzem em bons resultados.

2.3 Qualidade de Detecção dos Objetos (QDO)

A segunda forma de avaliação da omissão dos dados extraídos pode ser estabelecida através da contagem do número de linhas e polígonos extraídos com os respectivos objetos presentes na base cartográfica de referência. A exatidão do produtor e do

usuário são formas de analisar a exatidão temática específica de cada classe, diferente do índice Kappa, que analisa a exatidão geral. A exatidão do produtor possibilita conhecer os erros de omissão, já que corresponde ao relacionamento entre o número de elementos detectados corretamente com o valor total da base de referência de cada classe. O valor resultante corresponde ao percentual do número de linhas e polígonos detectados, diferentemente da avaliação da extensão em metros ou quilômetros do parâmetro de qualidade de detecção mencionado anteriormente. Por isso, esse parâmetro é denominado de Qualidade da Detecção dos Objetos (QDO), cuja equação 6 é representada abaixo. n_{jj} é o número total de unidades de amostras detectadas, enquanto n_{+j} é o número total de unidades de amostras da base de referência.

$$QDO = \frac{n_{jj}}{n_{+j}} \quad (6)$$

2.4 Qualidade da Forma (QF)

Além da avaliação da segmentação e da quantidade das linhas e polígonos extraídos, o terceiro parâmetro envolvido para a geração do Índice de detecção objetiva avaliar o contorno dos traçados. Para isso, busca-se analisar o vértice, unidade estruturante de qualquer segmento, seja linear ou poligonal.

Propõe-se nesse estudo a elaboração de um parâmetro, denominado de Qualidade da Forma (QF), cujo propósito é verificar se a forma do traçado extraído está aderente ao contorno da linha ou polígono de uma base cartográfica de referência, podendo ser um mapeamento mais detalhado possível da área ou um levantamento de campo. A quantidade dos vértices presentes na extensão de uma feição define a sua forma, ou seja, o seu traçado deve possuir um número de vértices adequado para uma boa representatividade da feição geográfica. Um baixo número de vértices ocasiona uma delimitação pouco precisa, enquanto um número excessivo de vértices apenas acarreta no aumento do tamanho do arquivo gerado, tendo em vista o armazenamento de cada vértice.

Para se conhecer a relação da forma existente entre a base extraída e de referência, algumas amostras de linhas e polígonos foram selecionadas na área de estudo de forma aleatória. Para cada elemento foram obtidos:

- Número de vértices e cálculo do perímetro do segmento de referência, sendo o x a sua distância média entre os vértices;
- Número de vértices e cálculo do perímetro do segmento extraído, sendo o valor z a sua distância média entre os vértices;

A equação 7 representa a relação de forma (RF), onde o valor de x é a distância média do número de vértices do perímetro dos polígonos e linhas de referência. Já y é razão entre a distância média

do número de vértices do perímetro dos polígonos e linhas extraídas.

$$RF = \frac{\sum x}{\sum y} \quad (7)$$

A equação estabelece a relação de forma existente, estabelecido a partir da razão entre o somatório das amostras de x com o somatório das amostras de y . Caso o valor dessa equação seja igual a 1, significa que a distância médias dos vértices dos traçados extraídos e de referência são semelhantes. Valores menores que 1 traduzem que o número de vértices extraídos é menor que o número de vértices da base de referência. Nos casos onde o número de vértices extraídos é maior que o número de vértices da base de referência, o resultado é traduzido por valores maiores que 1. Dessa forma, considera-se que os valores próximos de 1 constituem um bom resultado.

A Qualidade de Forma (QF), proposta desse estudo para avaliar o grau de detecção é calculada a partir da normalização dos valores obtidos, de forma que os maiores valores representam os melhores resultados.

2.5 Qualidade Posicional (QP)

Na avaliação da detecção, optou-se testar o método de Influência do Vértice. Segundo Santos (2015), o método aseia-se na medição da distância euclidiana a partir dos vértices da linha de referência (LR) para a linha teste (LT). Estas distâncias são ponderadas em função do comprimento dos segmentos adjacentes ao vértice aplicado. Dessa forma, obtém-se o valor ponderado das distâncias entre os vértices de referência para a linha teste.

Logo, propõe-se uma análise de um conjunto de amostras de perímetros da área de estudo, através do cálculo da média aritmética ponderada usando o comprimento dos perímetros (peso) para obter o valor da discrepância média (D) entre os dois segmentos lineares do perímetro, conforme é apresentado na equação 8. O valor de m é número de vértices da linha de referência (LR); dh_k : distância horizontal mínima entre o vértice k da LR para linha teste (LT); l_{k-1} e l_{k+1} : comprimento dos segmentos adjacentes ao vértice k na LR; CL_R : comprimento da linha de referência.

$$D_i = \frac{\left[\sum_{k=1}^m (dh_k * (l_{k-1} + l_{k+1})) \right]_i}{2 * CL_R} \quad (8)$$

Santos (*op.cit.*) aplica o método da Influência do Vértice, utilizando o padrão de acurácia posicional brasileiro. Propõe-se, neste estudo, dividir as classes do PEC de acordo com a qualidade do erro posicional esperado para cada escala. O valor da discrepância média é normalizado em um valor entre 0 e 1, sendo estabelecido o valor da Qualidade Posicional (QP), cuja referência está na associação com o intervalo da

escala segundo o PEC. Serão consideradas as escalas mais usadas no contexto da cartografia de referência para a produção do mapeamento topográfico, ou seja, será feito um recorte entre as escalas 1:25.000 e 1:250.000. Caso fossem consideradas todas as escalas previstas na ET-EDGV, apenas as escalas voltadas para o mapeamento cadastral teriam valores do IEP alto. Dificilmente valores de tolerância dos erros encontrados nessa faixa de escala são encontrados quando se trabalha com insumos de imagens de média resolução espacial.

Dessa forma, a qualidade posicional (QP) igual a 1 será o intervalo de classe com tolerância menor que 7 metros, critério estabelecido a partir da classe A do PEC-PCD, documento que trata da revisão do PEC para produtos cartográficos digitais (PCD). Optou-se por utilizar um valor um pouco menor que 12,5 metros, limite para o enquadramento, segundo o PEC, para a escala 1:25.000 classe A. Se considerar o valor de abaixo de 7 metros como perfeito para atendimento das escalas mais usuais e 200 metros como limite dentro desse intervalo, é possível estabelecer uma escala entre o perfeito, com valor da QP igual 1, e inadequado, com valor da QP igual a 0. Dessa forma, são 11 classes da QP, com intervalos de 0,1. Para que a divisão não fosse estabelecida a partir de número decimais grandes (caso a divisão fosse por 12 classes), optou-se por limitar o valor mais alto em 200 metros, tolerância da escala 1:250.000 classe B, ao invés de 250 metros, tolerância da escala 1:250.000 classe C. Valores acima de 200 metros, o valor da QP é zero.

2.6 Indicador de detecção (IDET)

A equação 9 expressa o IDET, sendo a média aritmética dos cinco parâmetros estabelecidos como importantes para avaliar o grau de detecção. Cada variável gera um resultado, cujo intervalo de valores varia obrigatoriamente entre zero e um, de maneira que os valores mais altos constituem os melhores resultados de detecção. Dessa forma, o resultado do IDET compreende valores entre 0 e 1.

$$\text{IDET} = (\text{QS} + \text{QDE} + \text{QDO} + \text{QF} + \text{QP}) / 5 \quad (9)$$

3- EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES

3.1 Área de estudo

A escolha da bacia hidrográfica do rio São João como área de estudo deve-se por apresentar uma diversidade significativa de elementos naturais e antrópicos, possibilitando trabalhar com interpretação de diferentes feições cartográficas, como por exemplo a hidrografia, vegetação e sistema de transporte.

3.2 Extração das feições cartográficas

Para a extração das feições lineares do sistema de transporte foram utilizados os métodos de análise de imagens baseados na Morfologia Matemática como referência, especificamente os filtros de caráter

morfológicos. O primeiro processo foi buscar algoritmos de processamento digital de imagens contendo funções de detecção de bordas e filtros, auxiliando no reconhecimento de formas específicas, como por exemplo, as rodovias, arruamentos e ferrovias. Todas essas feições possuem características próprias de traçado, cuja representação se dá através de uma estrutura linear. No ambiente Arc Gis® 10.2 (ESRI), a imagem resultante da filtragem morfológica foi submetida a um filtro de moda com janela de convolução de tamanho 3x3 pixels. Desta forma, a maioria dos elementos que não correspondiam a malha viária puderam ser eliminados de forma automática e o ruído restante foi limpo manualmente. A vetorização semiautomática foi realizada através do módulo Arc Scan, do Arc Gis® 10.2. Foram sobrepostas a imagem binária gerada pela segmentação e a imagem do respectivo sensor. A vetorização semiautomática foi feita através da geração de centerlines sobre os segmentos extraídos, de forma que nos entroncamentos, o intérprete definiu a continuidade do trecho ou término do segmento.

Para a extração da vegetação foi utilizada a plataforma computacional eCogintion®,8.0, desenvolvida pela empresa Trimble Geospatial Imaging. O programa é um ambiente de desenvolvimento para análise de imagens baseada em objetos (GEOBIA), e que se tornou uma referência em estudos de classificação em imagens para atender a diferentes finalidades. Nesse estudo, foram testados diversos valores de forma e compacidade, porém será enfatizada a variação de escala, cujo objetivo é gerar uma segmentação considerada ideal para a extração dos diferentes tipos de cobertura vegetal.

Também foi utilizada a plataforma computacional Ecogintion 8.0 para a segmentação de feições de hidrografia. Para a delimitação dos polígonos representativos das categorias de hidrografia foram testados parâmetros do segmentador *Contrast Split*. A segmentação denominada de Contrast Split, tem como objetivo separar objetos claros e escuros usando um limiar que maximiza o contraste do brilho dos objetos. Ao se estabelecer um determinado intervalo de valores entre os pixels, o programa aperfeiçoa a separação dos objetos mais claros e mais escuros.

4- RESULTADOS

Para o cálculo do Indicador de Detecção (IDET), foram integrados todos os parâmetros de qualidade, através do uso de uma média aritmética simples. As tabelas 1, 2 e 3 apresentam, respectivamente os valores dos parâmetros de detecção, separados por classe, para o sensor RapidEye, AVNIR-2 e OLI. Os valores de IDET refletiram o comportamento esperado de acordo com as resoluções dos sensores.

TABELA 1 – VALORES DE DETECÇÃO PARA O RAPIDEYE.

	QS	QDE	QDO	QF	QP	IDET
Arruamento	0,9	0,35	0,37	0,85	0,5	0,59
Campo	0,82	0,85	0,8	0,84	0,5	0,76
Cultivo	0,49	0,91	0,78	0,84	0,45	0,69
Ferrovia	0,63	0,88	1	0,36	0,5	0,67
Floresta	0,76	0,92	0,96	1	0,45	0,82
Mangue	0,91	1	0,94	0,78	0,45	0,82
Massa d água	0,87	0,98	0,95	0,78	0,55	0,83
Rodovia Leito Natural	0,98	0,95	0,93	0,68	0,5	0,81
Rodovia pavimentada	0,98	0,97	1	0,61	0,45	0,80
Trecho de drenagem	0,88	0,33	0,34	0,38	0,4	0,47
Trecho de massa d água	0,93	0,94	0,78	0,95	0,45	0,81
Média	0,83	0,83	0,80	0,73	0,47	0,73

TABELA 2 – VALORES DE DETECÇÃO PARA O AVNIR-2.

	QS	QDE	QDO	QF	QP	IDET
Arruamento	0,66	0,08	0,1	0,6	0,45	0,38
Campo	0,7	0,89	0,9	0,45	0,45	0,68
Cultivo	0,43	0,85	0,78	0,33	0,45	0,57
Ferrovia	0,54	0,59	1	0,1	0,45	0,54
Floresta	0,7	0,92	0,96	0,65	0,4	0,73
Mangue	0,81	0,99	0,94	0,6	0,35	0,74
Massa d água	0,84	0,94	0,84	0,67	0,45	0,75
Rodovia Leito Natural	0,94	0,87	0,75	0,51	0,45	0,70
Rodovia pavimentada	0,95	0,86	1	0,46	0,4	0,73
Trecho de drenagem	0,84	0,16	0,22	0,49	0,35	0,41
Trecho de massa d água	0,92	0,96	0,66	0,73	0,4	0,73
Média	0,76	0,74	0,74	0,51	0,42	0,63

TABELA 3 – VALORES DE DETECÇÃO PARA O OLI.

	QS	QDE	QDO	QF	QP	IDET
Arruamento	0	0	0	0	0	0
Campo	0,51	0,89	0,90	0,39	0,45	0,63
Cultivo	0,19	0,88	0,67	0,41	0,4	0,51
Ferrovia	0,32	0,43	1,00	0,00	0,4	0,43
Floresta	0,64	0,94	0,92	0,60	0,4	0,7
Mangue	0,59	0,97	0,94	0,73	0,35	0,72
Massa d água	0,79	0,91	0,05	0,66	0,45	0,57
Rodovia Leito Natural	0,89	0,71	0,64	0,34	0,45	0,61
Rodovia pavimentada	0,90	0,81	1,00	0,36	0,4	0,69
Trecho de drenagem	0,69	0,09	0,10	0,32	0,35	0,31
Trecho de massa d água	0,86	0,9	0,51	0,31	0,35	0,70
Média	0,58	0,68	0,61	0,37	0,36	0,53

5- CONCLUSÕES

Praticamente todos os parâmetros utilizados para a avaliação da detecção se mostraram apropriados para atender ao propósito de análise das características da representação espacial, estabelecidas através de estruturas linear ou poligonal. É importante considerar que a Qualidade da Forma constitui o parâmetro mais instável, ainda não propiciando uma confiança plena na sua utilização. Há a necessidade de realizar ajustes para o uso de uma metodologia que permita oferecer uma maior confiança.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais (UFRJ) e ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ESPINDOLA, G. M. Ajuste de parâmetros em algoritmos de segmentação de imagens por crescimento de regiões. Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos. 2006.

IBGE. Avaliação Planimétrica de Imagens Alos/Avnir-2. Estudo de caso: Uberlândia-MG. Relatório 2009/2010. Coordenação de Cartografia. Diretoria de Geociências. 2011.

SANTOS, A.P. Controle de Qualidade Cartográfica: Metodologias para avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 172 p. 2015.