

Extração de Rodovias em Imagens de Satélite Usando Segmentação por Limiarização e Morfologia Matemática

Camila F. Fraga, José R. Soares

Departamento de Ciências da Computação

Universidade de Brasília

Brasília, Brasil

camilizx2021@gmail.com

robertointeraminense@gmail.com

Resumo—Este trabalho tem como objetivo reproduzir e validar o método proposto por Ma et al. para a extração de rodovias em imagens de satélite de alta resolução, que utiliza segmentação por limiarização e operações de morfologia matemática. Aplicamos as técnicas descritas no artigo original, avaliando sua precisão e versatilidade em diferentes cenários, como áreas urbanas e naturais. O estudo também explora as limitações enfrentadas, como interferências de sombras e obstáculos, e discute a reproduzibilidade dos resultados.

Index Terms—Image Processing, Segmentation, Mathematical Morphology, Remote Sensing, Road Detection.

I. INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto (RS), a qualidade e a riqueza das imagens obtidas por esses sistemas têm aumentado significativamente, permitindo a captura de dados da superfície terrestre com maior precisão e nível de detalhe. Entre as principais vantagens dessa técnica, destacam-se três aspectos: a ampla cobertura de grandes áreas, a capacidade de monitoramento em tempo real e a abundância de informações geoespaciais. Consequentemente, a extração de informações dessas imagens tornou-se essencial em diversas áreas, como o planejamento urbano, a gestão de transportes e a atualização de mapas digitais, com especial destaque para a identificação e mapeamento de redes rodoviárias.

O artigo *Road Information Extraction from High Resolution Remote Sensing Images Based on Threshold Segmentation and Mathematical Morphology* [1] apresenta uma abordagem para a extração de informações rodoviárias usando segmentação por limiar e morfologia matemática. Essas técnicas separam de maneira eficaz as áreas de interesse, como redes de estradas, dos elementos de fundo, como edificações e áreas naturais.

A morfologia matemática, por meio de operações como dilatação, erosão e fechamento, é amplamente usada no sensoriamento remoto para refinar a segmentação de imagens, removendo ruídos e destacando elementos como estradas. Já a segmentação por limiarização separa objetos do fundo, definindo um ponto de corte que classifica os pixels com base na intensidade, identificando com precisão as áreas de interesse. A segmentação por limiarização separa objetos do

fundo com base em um ponto de corte na intensidade dos pixels, classificando-os como pertencentes ao objeto ou ao fundo.

Este trabalho tem como objetivo reproduzir ou melhorar as técnicas descritas no artigo original, para avaliar sua aplicabilidade e eficiência na extração de imagens de redes rodoviárias de alta resolução em sensoriamento remoto. Para validar os métodos propostos e garantir sua eficácia em diferentes cenários, é fundamental reproduzir pesquisas científicas. Dessa forma, o estudo atual de replicação tenta confirmar a precisão das técnicas aplicadas e investigar a reproduzibilidade dos resultados apresentados no artigo original.

II. METODOLOGIA

A. Obtenção das Imagens

Para reproduzir os métodos propostos, foi utilizado o software QGIS, uma ferramenta livre e de código aberto para manipulação de dados geográficos, com suporte a vários formatos e fontes de imagens de satélite. As imagens foram obtidas por meio do complemento QuickMapServices, que permite acesso ao Google Satélite. Foram exportadas imagens de Brasília para realização dos testes como a Figura 1.



Figura 1: Rodovias em Brasília-DF

B. Linguagem e bibliotecas utilizadas

Para o desenvolvimento do projeto foi escolhida a linguagem Python por possuir diversas ferramentas que facilitam a manipulação dos dados. As bibliotecas utilizadas foram OpenCV, NumPy e Scikit-Image.

C. Binarização da Imagem

O primeiro passo é realizar a binarização da imagem utilizando o método OTSU [2]. A conversão direta para a escala de cinza, que considera apenas o brilho da imagem, não é adequada, pois as rodovias geralmente não são os objetos mais brilhantes na imagem. Para solucionar esse problema, a imagem é convertida para o espaço de cores HSV, que é composto pelos componentes hue (matiz), saturation (saturação) e value (valor). Ao separar e analisar os três canais, identificamos que os canais H e S (invertido) são bons candidatos para o processo de limiarização, como mostram as Figuras 2a e 2b. Assim, aplicamos o método OTSU individualmente ao canal H e ao canal S (invertido), e posteriormente combinamos os resultados usando uma operação lógica AND. Os resultados mostraram uma segmentação eficaz das rodovias.

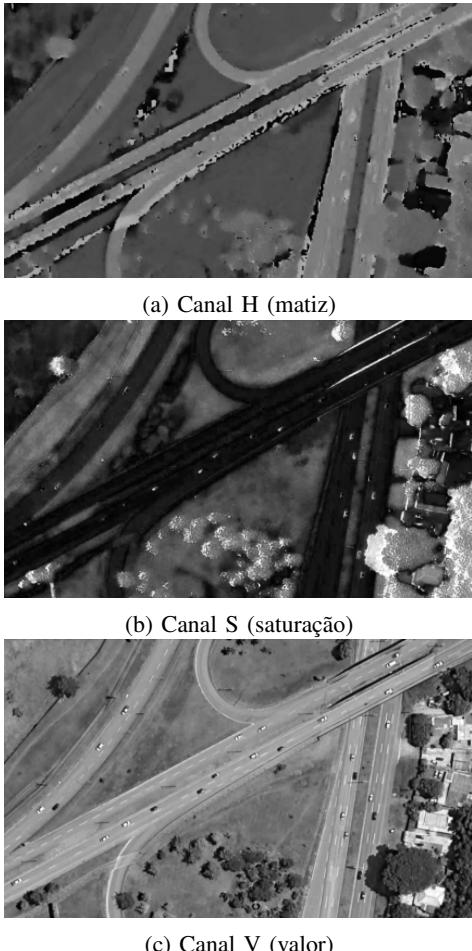


Figura 2: Visualização dos canais H, S e V

A inversão do canal S é necessária porque a cor cinza, predominante nas rodovias, possui baixa saturação. Essa ca-

racterística facilita a segmentação, pois as rodovias apresentam baixos valores de saturação, permitindo sua distinção do restante da imagem. O resultado da operação AND pode ser vista na Figura 3.



Figura 3: Imagem Binarizada

Analizando-se separadamente os três canais (HSV) das imagens do artigo original [1], percebemos algumas diferenças quando se comparado com as imagens obtidas a partir do QGIS. Acredita-se que a imagem do artigo original tenha passado por algum pré-processamento utilizando-se algum filtro que tenha deixado a imagem levemente azulada.

D. Remoção de componentes pequenos

A Figura 3 mostra que a binarização inicial da imagem contém bastante ruído, que correspondem às áreas residenciais, estacionamentos ou áreas naturais.

Essa etapa foi implementada com o objetivo de remover componentes com área inferior a um valor mínimo especificado. Esse processo é útil para remover pequenos ruídos na imagem binarizada. Com isso, a função filtra e mantém apenas os componentes com áreas maiores que o definido. Esse processo é feito calculando a área de elementos conectados. O resultado desse primeiro filtro é visto na Figura 4.



Figura 4: Componentes pequenos removidos

E. Conexão com a borda

Como apontado pelos autores no artigo [1], rodovias em imagens de sensoriamento remoto geralmente possuem duas características principais: as rodovias se estendem até a borda das imagens e são intersectadas por outras rodovias.

Para identificar e marcar as áreas que são conectadas à borda da imagem, primeiramente é realizada uma operação de dilatação para expandir os pixels brancos da imagem, conectando possíveis áreas das rodovias que estejam desconectadas, para que não haja perda de estradas.

Em seguida é realizado um algoritmo de Busca em Largura (BFS) para explorar a conectividade dos pixels. Os pixels brancos nas bordas da imagem são adicionados a uma fila, e a BFS propaga essa conectividade explorando os seus vizinhos em todas as 8 direções (vertical, horizontal e diagonal). Dessa forma, o resultado é uma imagem que mantém apenas os componentes conectados à borda, removendo alguns ruídos, Figura 5.



Figura 5: Componentes conectados à borda

F. Fechar buracos pequenos

Após extrair apenas os elementos que têm conexão com a borda, é necessário preencher os pequenos buracos presentes dentro desses componentes, normalmente causados por carros ou faixas na estrada. Para isso, um algoritmo similar ao implementado na etapa de remoção de pequenos componentes foi implementado.

A ideia principal é inverter a imagem e delimitar um tamanho máximo para os buracos. Todos os buracos que possuem área menor que um limite A , são fechados. A constante A empiricamente, foi definido como, onde S representa o número de pixels da imagem:

$$A_{\max} = \frac{\sqrt{S}}{2}$$



Figura 6: Buracos Fechados

G. Segmentação de Rodovias pelas características geométricas

Conforme descrito no artigo [1], as rodovias em imagens de sensoriamento remoto apresentam uma característica geométrica marcante: uma grande extensão em comprimento em relação à sua largura, o que resulta em uma baixa razão entre área e perímetro. Essa particularidade foi utilizada para diferenciar as rodovias de outros elementos da imagem. A equação abaixo foi utilizada para calcular o parâmetro t para cada componente conexo da imagem, onde A representa a área e C o perímetro de cada componente:

$$t = \frac{\sqrt{A}}{C}$$

Antes de aplicar essa segmentação baseada no valor de t , foi realizada uma operação de fechamento morfológico nas imagens segmentadas. Essa operação é fundamental para unir áreas próximas que podem ter sido separadas por pequenos ruídos ou interrupções, como sombras ou pequenas falhas no processo de segmentação. O fechamento morfológico suaviza as bordas e conecta regiões adjacentes, garantindo que os componentes conexos sejam tratados como um único objeto.

Em seguida, a equação de t foi aplicada, classificando os objetos da imagem com base no valor calculado. Como as rodovias possuem o menor valor de t (devido à sua proporção comprimento-largura), os componentes com valores de t abaixo de um limite definido foram selecionados, eliminando outros ruídos e elementos irrelevantes, como edifícios ou áreas residenciais. Essa abordagem permitiu isolar com precisão as rodovias presentes na imagem, destacando seus traços geométricos e eliminando a maior parte dos ruídos indesejados. O resultado final pode ser visto na Figura 7.



Figura 7: Segmentação Final

H. Extração de Contorno e Esqueletização

Por fim, para melhorar a visualização e facilitar a interpretação dos resultados da segmentação, aplicou-se a extração de contorno e a esqueletização na imagem segmentada (Figura 7). Essas técnicas são importantes para destacar a estrutura das rodovias e permitir sua análise em diferentes contextos, como planejamento urbano ou atualização de mapas.

A extração de contorno foi realizada utilizando o gradiente morfológico, que é o resultado da diferença entre a dilatação e a erosão. Esses contornos são então sobrepostos à imagem original em tons de cinza, proporcionando uma visualização clara e detalhada das bordas das rodovias, que pode ser usada em etapas posteriores de análise. As figuras 8 e 9 foram os resultados dos processos descritos.



Figura 8: Extração de Contorno



Figura 10: Esqueletização



Figura 11: Esqueletização sobreposto à imagem



Figura 9: Contorno sobreposto à imagem original

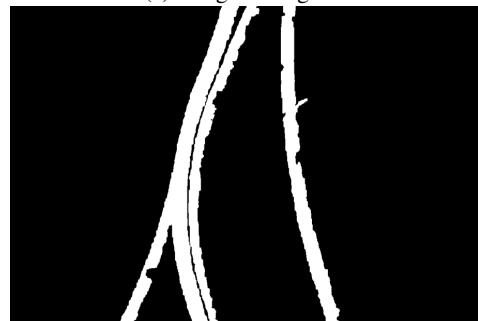
A esqueletização, também conhecida como thinning ou aguçamento, é uma técnica que reduz a área das rodovias a uma linha central, chamada de "esqueleto". Esse esqueleto representa o centro geométrico da via, facilitando a análise e utilização em diversas aplicações, como a construção de redes rodoviárias ou sistemas de navegação. Durante o processo, são removidos elementos indesejados, como pequenos ramos ou extremidades curtas, que podem surgir devido a interferências, como sombras ou a presença de veículos. Essa refinamento garante uma representação precisa e contínua da via, preservando sua estrutura principal para análises futuras. O resultado do processo de esqueletização e a sobreposição na imagem original (em escala de cinza) podem ser vistas nas figuras 10 e 11.

III. RESULTADOS

As imagens selecionadas são da cidade de Brasília - Distrito Federal, obtidas com o software QGis.



(a) Imagem Original



(b) Resultado da segmentação

Figura 12: Experiência de extração de estradas



(a) Imagem Original



(b) Resultado da segmentação

Figura 13: Experiência de extração de estradas

variações nas imagens, como sombras de árvores, carros e diferentes características geométricas das rodovias. No entanto, ainda há desafios, como a necessidade de pré-processamento para lidar com grandes sombras e a melhoria da precisão nas áreas onde as rodovias estão parcialmente ocultas por obstáculos.

Para trabalhos futuros, será importante investigar técnicas que possam lidar melhor com essas situações, especialmente no que diz respeito à remoção de sombras e à melhora na detecção de rodovias em áreas densamente urbanizadas. A integração com algoritmos de inteligência artificial e aprendizado de máquina pode fornecer maior automação e precisão à extração de rodovias, além de aprimorar o desempenho em termos de tempo de processamento e aplicabilidade em áreas com alta complexidade geomorfológica.

REFERÊNCIAS

- [1] H. Ma, X. Cheng, X. Wang, and J. Yuan, "Road information extraction from high resolution remote sensing images based on threshold segmentation and mathematical morphology," in *2013 6th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)*, vol. 2, pp. 626-630, 2013, doi: 10.1109/CISP.2013.6745242.
- [2] D. Liu and J. Yu, "Otsu method and K-means," in *2009 Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, vol. 1, pp. 344-349, 2009, doi: 10.1109/HIS.2009.74.



(a) Imagem Original



(b) Resultado da segmentação

Figura 14: Experiência de extração de estradas

IV. CONCLUSÕES

A utilização de técnicas de morfologia matemática, combinadas com segmentação por limiarização, mostrou-se eficaz na extração das rodovias e na remoção de ruídos indesejados, como áreas urbanas e naturais. A versatilidade do método permitiu sua aplicação em diferentes cenários, adaptando-se a