



20 e 21 de outubro
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
São José dos Campos - SP

O papel da generalização digital na segmentação de imagens

Mário R. Pettinati¹, Lúbia Vinhas¹, Gilberto Câmara¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Av. dos Astronautas, 1758 – São José dos Campos – SP – Brasil

{mario, lubia, gilberto}@dpi.inpe.br

Abstract. *Segmentation and classification algorithms delimitates features present in images, producing vector data sets composed by polygons. The generalization process is needed in order to generate maps with different degrees of detail at different scales and to reduce data storage. This paper aims to review and suggest improvements on methods for polygon generalization, when applied to these vector data sets, trying to keep the original topology and to reduce the discrepancy of area in the output map. The data set used is part of the survey of deforestation throughout the Amazon region measured by PRODES. The results show that the efficiency of generalization can be improved, and area discrepancy reduced as well.*

Resumo. *Algoritmos de segmentação e classificação detectam feições presentes em imagens, produzindo conjuntos de dados vetoriais compostos por polígonos. Um processo de generalização é necessário para gerar mapas com diferentes graus de detalhe em diferentes escalas e reduzir o armazenamento de dados. Este artigo tem o objetivo de revisar e sugerir melhorias em métodos de generalização de polígonos, quando aplicado a estes conjuntos de dados vetoriais, buscando manter a topologia original e minimizar a discrepância de área do mapa de saída. O conjunto de dados usado é parte do mapa de desflorestamento da região Amazônica, medido pelo PRODES. Os resultados mostram que a eficiência da generalização pode ser melhorada e a discrepância de área também pode ser reduzida.*

Palavras-chave: *remote sensing, cartographic generalization, vector simplification*

1. Introdução

O uso de imagens de sensoriamento remoto para gerar mapas de uso do solo e de cobertura de grandes regiões geográficas é uma tarefa muito comum em aplicações SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Algoritmos de segmentação e classificação são capazes de detectar feições e regiões de interesse presentes nestas imagens, produzindo um

mapa vetorial composto por polígonos. Para que seja possível gerar estes mapas com diferentes graus de detalhe em diferentes escalas e reduzir o armazenamento dos dados, um processo de generalização se faz necessário. Alguns autores [Douglas and Peucker 1973] e [Visvalingam and Whyatt 1993] propõem algoritmos de generalização que atuam nas feições de forma independente, ou seja, sem considerar as relações topológicas que possam existir entre elas, como a inexistência de sobreposições e a manutenção de sua vizinhança.

Este artigo tem o objetivo de sugerir duas melhorias aos métodos de generalização de polígonos, quando aplicados a mapas vetoriais derivados de imagens de sensoriamento remoto. O estudo avalia possíveis melhorias em termos de consistência topológica e variação das medidas de área. As melhorias sugeridas neste trabalho dizem respeito às alterações que podem ser feitas nos métodos de simplificação existentes com o objetivo de fazer com que os polígonos do mapa de saída mantenham a mesma vizinhança que eles tinham no mapa de entrada. Ao mesmo tempo em que existe a preocupação com a manutenção da topologia, também existe a preocupação com a variação de área que ocorre entre os mapas de entrada e de saída. Com um mapa topologicamente consistente, com menos vértices e com a mesma representatividade, seria possível otimizar a sua disseminação ou sua análise sem a perda de informações relevantes.

Esta trabalho não sugere um novo algoritmo de simplificação, e sim alterações nos métodos existentes e uma metodologia a ser usada com os objetivos de manter a consistência topológica e tentar minimizar as alterações de área. A partir destas melhorias, espera-se ser capaz de simplificar um mapa vetorial mantendo sua topologia e tentando minimizar as alterações de área, gerando um mapa menos complexo, porém topologicamente consistente. Não foi uma preocupação deste trabalho velocidade com que os algoritmos de simplificação pudessem processar os dados.

O conjunto de dados usado como entrada para o processo de generalização é parte dos mapas de desflorestamento da região que compreende a Floresta Amazônica e que é medido pelo PRODES (Monitoramento da Floresta Brasileira por Satélite) [Camara et al. 2006], projeto desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Os resultados mostram que a eficiência da generalização pode ser melhorada com relação à manutenção das relações topológicas e que a discrepância da área entre mapa original e o mapa simplificado também pode ser reduzida. A Figura 1 ilustra uma região da Floresta Amazônica que foi segmentada e classificada, gerando os conjuntos vetoriais que foram usados como entrada para o processo de generalização.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na sessão 2 é realizada uma revisão sobre alguns métodos de simplificação de feições vetoriais. Na sessão 3 é proposta uma metodologia para se realizar a simplificação. A sessão 4 apresenta os resultados da aplicação desta metodologia sobre a área de estudo. Por fim, a sessão 5 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

Um dos algoritmos de simplificação mais citados é o algoritmo de Douglas & Peucker (D&P) [Douglas and Peucker 1973]. A idéia básica deste algoritmo é eliminar vértices que são desnecessários para representar segmentos de reta. Este algoritmo seleciona dois vértices não sequenciais e forma um segmento de reta entre eles. Em seguida, analisa



Figura 1. Exemplo de uma imagem LandSat.

todos os vértices que estão sequencialmente entre os dois vértices selecionados. Caso todos esses vértices estejam a uma determinada distância perpendicular deste segmento de reta, estes vértices são classificados como desnecessários e são removidos da linha original. Este método atua globalmente na linha, ou seja, ele é capaz de analisar a linha inteira para saber quais vértices são passíveis de remoção.

Visvalingam e Whyatt [Visvalingam and Whyatt 1993] propuseram um método de simplificação usando o conceito de área efetiva para a remoção de vértices de uma linha. Nesta técnica, são criados triângulos formados por três vértices consecutivos e sua área é calculada. Este processo é então repetido para toda a linha a ser simplificada. Ao final da análise, é escolhido o retângulo de menor área e o seu vértice central é removido. O processo é aplicado novamente até um determinado ponto de parada, que pode ser um número mínimo de pontos ou uma determinada mudança de área. Este método também atua de forma global na linha.

Estes métodos de simplificação não se preocupam com a topologia do mapa, e em alguns casos podem até gerar geometrias inconsistentes. Muller [Muller 1990] propôs algumas técnicas para remoção das intersecções que possam ter sido geradas pelos métodos de simplificação usados, tanto na geometria em si quanto para com seus vizinhos. A idéia é que estas técnicas de correção das geometrias possam ser aplicadas depois do processo de simplificação, independentemente do algoritmo que tenha sido usado. Estas técnicas tentam detectar estas intersecções de ponto contra ponto e ponto contra linha, deslocando em seguida as coordenadas envolvidas, de forma a remover as colisões entre estas feições.

Falls et al [Falls et al. 2005] também estudaram os conflitos que podem ser gerados após a aplicação de algoritmos de simplificação. Eles sugerem a aplicação de um teste antes de se remover vértices, que consiste em formar um triângulo com vértices sequenciais, onde o vértice intermediário é o candidato a ser removido. Caso existam vértices no interior deste triângulo, o vértice candidato não poderá ser removido, evitando que intersecções indesejadas sejam criadas.

3. Metodologia

O processo de simplificação de mapas proposto neste trabalho tem dois objetivos principais. O primeiro é manter a vizinhança dos polígonos e o segundo é tentar minimizar a alteração de área dos polígonos simplificados. Como já dito anteriormente, nenhum novo algoritmo é proposto e sim melhorias a serem aplicadas nos algoritmos existentes, além de uma metodologia a ser usada para o processo de simplificação de mapas vetoriais. A metodologia proposta prevê duas fases: um pré-processamento e a simplificação propriamente dita, sendo que a primeira fase analisa e prepara o mapa de entrada e a segunda fase realiza a simplificação dos polígonos contidos nesse mapa. A Figura 2 ilustra a metodologia proposta neste trabalho. Primeiramente, na fase de pré-processamento do mapa vetorial, é realizada uma coleta de informações que serão usadas na fase seguinte. Por fim, a simplificação faz uso das informações coletadas para gerar um mapa com menos vértices, buscando a manutenção da topologia. As próximas duas sessões detalham o processo de simplificação.

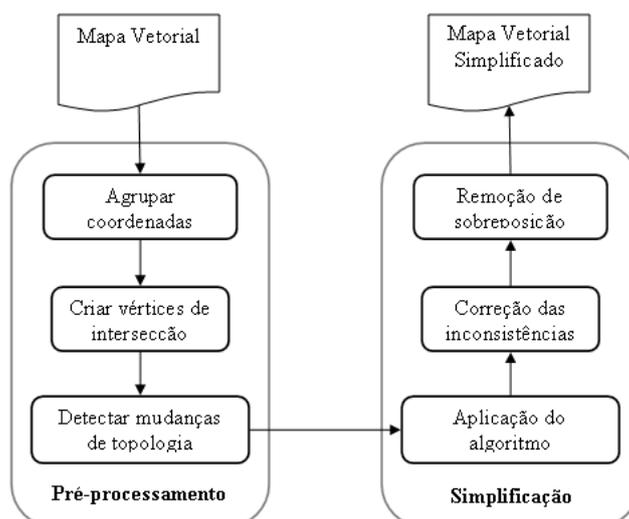


Figura 2. Fases envolvidas no processo de simplificação: O Pré-processamento coleta informações; A Simplificação faz uso destas informações para simplificar o mapa

3.1. Pré-processamento do Mapa

Como já dito anteriormente, uma das preocupações deste trabalho é manter as relações topológicas (vizinhança) entre os polígonos após a simplificação. Para que isso seja possível, alguns passos devem ser executados antes de se iniciar o processo de simplificação propriamente dito. Os passos que devem ser executados são os seguintes e serão detalhados em seguida:

- Agrupar coordenadas próximas;
- Criar vértices nos pontos de intersecção;
- Detectar as mudanças de vizinhança.

O primeiro passo é analisar todos os polígonos contidos no mapa e agrupar as suas coordenadas caso elas estejam próximas umas das outras. A idéia é fazer com que

coordenadas que não sejam exatamente iguais por causa de erros de arredondamento ou em razão de cálculos realizados durante o processo de vetorização passem a coincidir.

Em seguida, é necessário se certificar de que todos os vértices que façam parte de um trecho de vizinhança estejam em ambos os polígonos. Desta forma, é necessário detectar intersecções entre os segmentos do polígono a ser simplificado e os segmentos do polígono vizinho. Caso uma intersecção seja detectada e o vértice onde a intersecção ocorreu não exista em um dos polígonos, este vértice é criado. Este passo é importante para que se tenha uma exatidão maior no passo de detecção das mudanças de vizinhança.

O terceiro e último passo antes da fase de simplificação é o mais importante deles. Este passo tem como objetivo detectar as mudanças de vizinhança do polígono a ser simplificado e é a chave para que o mapa de saída possa manter as relações de vizinhança entre os polígonos. Para que isso seja possível, a vizinhança de todos os segmentos do polígono a ser simplificado é analisada e, sempre que houver uma mudança na sua vizinhança, o vértice onde essa mudança ocorreu é adicionado em uma lista para que ele possa ser usado durante a simplificação. A Figura 3 ilustra os locais onde ocorreram as mudanças na vizinhança do polígono.

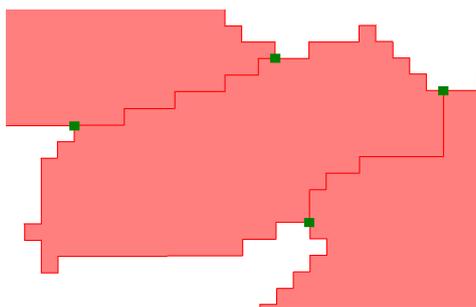


Figura 3. Vértices de mudanças de vizinhança: Os quatro quadrados em verde simbolizam os vértices onde ocorrem as mudanças de vizinhança.

3.2. Simplificação

Com todos os pré-requisitos atendidos listados na fase de pré-processamento, a etapa seguinte é o processo de simplificação do mapa. Esta simplificação também possui três passos que são executadas de forma seqüencial: aplicação do algoritmo, correção de inconsistências e remoção das sobreposições. O processo de simplificação tem como entrada um mapa vetorial composto por polígonos e tem como saída o resultado do processamento deste mapa.

Primeiramente, o algoritmo de simplificação escolhido é aplicado sobre o mapa de entrada. Seu objetivo é eliminar vértices desnecessários para representar as geometrias, baseando-se em uma determinada tolerância. Para que ambos os objetivos do trabalho possam ser alcançados, duas alterações devem ser feitas no algoritmo usado.

A primeira alteração é com relação aos vértices onde ocorreram as mudanças de topologia. Desta forma, a lista de vértices onde ocorreram as mudanças de topologia deve ser usada como restrição, onde os vértices contidos nesta lista não poderão ser removidos do polígono que está sendo simplificado. Esta alteração é a base para que os polígonos não tenham sua vizinhança alterada depois da simplificação.

A segunda alteração acontece durante a remoção de vértices. Durante a simplificação de um polígono, caso um vértice seja removido e o seu polígono adjacente também contenha este vértice, essa remoção é propagada e este também deverá ser removido do polígono adjacente. Esta alteração tem dois objetivos. Primeiramente, ela fará com que a vizinhança não seja alterada. Em segundo lugar, ela fará com que uma área removida de um polígono seja inserida em outro, e vice-versa. Assim, minimiza-se a discrepância de área do mapa original e de sua versão simplificada. Ao final da simplificação do polígono, caso ele fique com dois ou menos vértices distintos, ele será removido do mapa de saída.

Durante este passo, dois tipos de inconsistências topológicas podem ser gerados: inconsistência de uma geometria com relação a ela mesma e de uma geometria com relação à outra geometria. No primeiro caso, um exemplo de inconsistência que pode ocorrer em uma mesma geometria é a auto-intersecção. O segundo caso compreende as sobreposições que podem ter sido geradas entre os polígonos do mapa em razão das mudanças de forma destes polígonos.

Na segunda etapa da simplificação, cada um dos polígonos do mapa simplificado é analisado novamente de forma individual. Esta análise visa detectar as possíveis inconsistências geradas na primeira etapa do processo de simplificação. Caso uma inconsistência seja detectada em algum polígono, ela será corrigida e o polígono estará pronto para a terceira etapa.

A terceira e última etapa da limpeza de dados é a etapa responsável por remover sobreposições entre os polígonos do mapa. Como os polígonos do mapa sofrem deformações nas duas etapas anteriores, sobreposições podem ser geradas. Desta forma, esta etapa detecta e remove regiões sobrepostas entre os polígonos do mapa. Para que essa remoção seja realizada, é usado o operador de diferença entre dois polígonos. Neste trabalho, as áreas que foram removidas durante esta etapa não são realocadas para outras partes dos polígonos.

4. Resultados

4.1. Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho é composta por um mapa vetorial contendo polígonos extraídos de forma automática a partir de uma imagem de satélite. Esta imagem foi captada pelo satélite Landsat cuja resolução é 30 metros, e em seguida ela foi re-amostrada para 60 metros. A partir desta imagem, foram aplicados algoritmos de segmentação, classificação e conversão de dado matricial em vetorial. A algoritmo de segmentação agrupa pixel em regiões homogêneas. Já o algoritmo de classificação analisa estas regiões e detecta as que possuem pixels semelhantes, atribuindo-as à mesma classe. Por fim, o algoritmo de conversão de dado matricial em vetorial transforma estas regiões classificadas em polígonos.

Esta imagem compreende uma região da Floresta Amazônica localizada no estado do Mato Grosso, sendo que os polígonos contidos neste mapa representam as regiões que não são mais floresta. Este mapa possui 9082 polígonos, somando um total de 397.920 vértices. A Figura 4 ilustra um exemplo de três polígonos que foram extraídos de forma automática de uma imagem de satélite e que estão presentes na área de estudo escolhida.

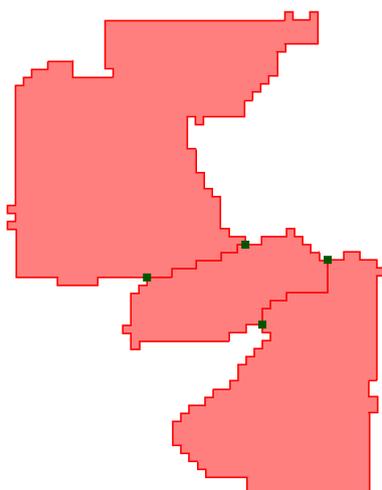


Figura 4. Exemplo de um polígono presente na área de estudo escolhida.

4.2. Algoritmos

Para que a metodologia pudesse ser aplicada a área de estudo, foram implementados dois algoritmos de simplificação de geometrias, o Douglas & Peucker e o de Área Efetiva. Os dois algoritmos foram modificados para fazer uso da lista de vértices onde ocorreram as mudanças de topologia como restrição, sendo que estes não poderão ser removidos durante o simplificação. Eles também foram alterados para propagar a remoção de seus vértices para os polígonos vizinhos. O objetivo destas midoficações foi buscar a manutenção da topologia após a simplificação. Ambos os algoritmos recebem como entrada um mapa vetorial de polígonos e uma tolerância que será considerada durante a remoção de vértices, e têm como saída um mapa vetorial simplificado. Os dois algoritmos não criam novos vértices, eles apenas removem vértices existentes na geometria a ser simplificada.

A partir do mapa de entrada, foram aplicadas as duas etapas da metodologia usando cada um dos algoritmos de simplificação implementados. A partir das características de cada algoritmo, um mapa de saída diferente foi gerado. A seguir serão analisados os resultados gerados por cada algoritmo.

4.3. Resultados da Simplificação

Ambos os algoritmos foram capazes de simplificar o mapa de entrada, removendo um grande número de pontos. As relações topológicas entre os polígonos puderam ser mantidas na maioria dos casos. Os casos onde ela não pôde ser mantida ocorreram quando um dos polígonos foi removido por ter ficado com menos de três vértices distintos após sua simplificação. A Tabela 1 resume os resultados obtidos com a simplificação usando os algoritmos de Douglas & Peucker (D&P) e de área efetiva.

O algoritmo de Douglas & Peucker foi o que mais removeu vértices, chegando a 83,6%. Sua característica de formar segmentos de reta para descobrir vértices desnecessários se adapta muito bem ao mapa de entrada. Em contrapartida, este algoritmo também foi o que mais alterou a área total do mapa, totalizando 1,34%. A Figura 5(a) ilustra a simplificação pelo algoritmo de D&P e a Figura 5(b) ilustra a comparação da versão original do polígono e a sua versão simplificada.

Tabela 1. Resultados obtidos pela simplificação.

	Vértices Removidos	Alteração de Área
D&P	83,60%	1,34%
Área Efetiva	73,90%	0,21%

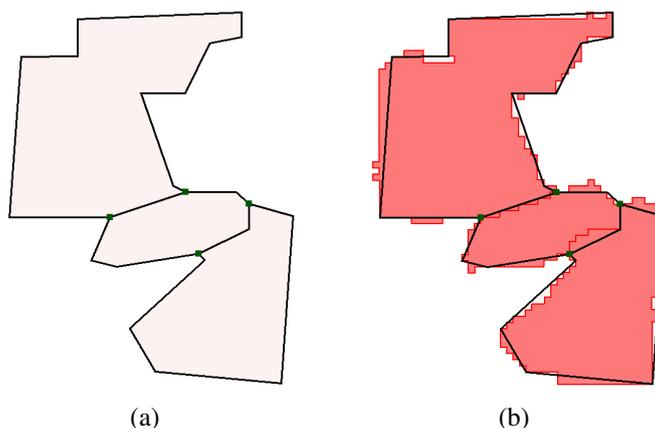


Figura 5. Resultados da simplificação usado o algoritmo de D&P: (a) Polígono simplificado; (b) Comparação com o polígono original.

O algoritmo de Área Efetiva ficou um pouco abaixo do algoritmo de D&P no que diz respeito ao número de vértices removidos, removendo praticamente 74% dos vértices. Em razão de este algoritmo ter por característica remover vértices levando em consideração o quanto a área será alterada, o resultado final foi uma alteração de apenas 0,21% da área do mapa, um número muito menor do que o do algoritmo de D&P. A Figura 6(a) ilustra a simplificação pelo algoritmo de Área Efetiva e a Figura 6(b) ilustra a comparação da versão original do polígono e a sua versão simplificada.

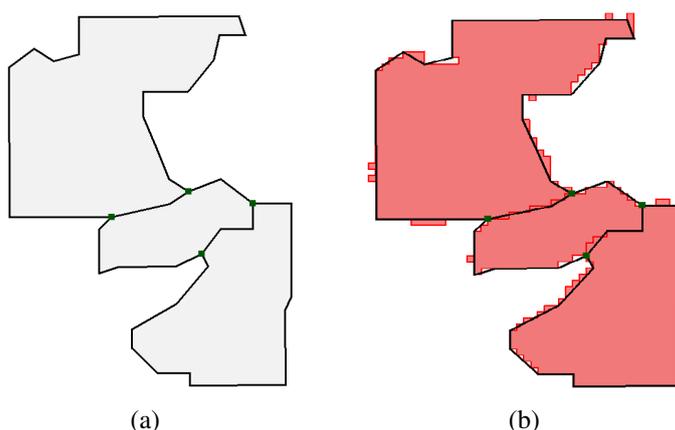


Figura 6. Resultado da simplificação usado o algoritmo de Área Efetiva: (a) Polígono simplificado; (b) Comparação com o polígono original.

Os resultados mostram que as modificações nos algoritmos de simplificação foram capazes de manter a consistência topológica do mapa de saída para ambos os algoritmos implementados. Além deste fato, ambos os algoritmos foram capazes de remover um

grande número de vértices que estavam presentes no mapa de entrada, os quais eram desnecessários para manter a representatividade dos polígonos. A manutenção da topologia pode ser verificado em ambas as figuras 5(b) e 6(b) que mostram o resultado da simplificação é que as relações topológicas entre os três polígonos se mantiveram inalteradas mesmo após o processo.

5. Conclusão

Este artigo sugeriu uma metodologia para o processo de generalização de polígonos, visando a manutenção de suas relações topológicas e a redução das alterações de área do mapa de saída. Além da metodologia, foram também sugeridas duas melhorias a serem aplicadas nos métodos de simplificação existentes visando adaptá-los de forma que sua saída possa ser topologicamente consistente. A primeira melhoria foi o uso de vértices de mudança de topologia como restrição na hora de remover vértices e a segunda melhoria foi a propagação da remoção dos vértices aos polígonos vizinhos. A partir da simplificação, os mapas poderão ser disseminados e processados de uma forma mais eficiente pelo fato de que eles conterão menos vértices, sem que para isso eles tenham perdido informações com respeito à topologia e à sua área.

Os resultados mostraram que é possível realizar uma simplificação significativa nos polígonos do mapa de entrada sem alterar sua topologia e sem que haja uma grande alteração na área do mapa de saída. Esses resultados são promissores e podem indicar uma linha de pesquisa em busca de novas formas de se realizar uma simplificação.

O processo de simplificação proposto atua apenas nos polígonos existentes no mapa. Ele não atua em espaços vazios entre esses polígonos que possivelmente não deveriam existir em razão da escala. Uma possível linha de estudo seria adicionar mais uma etapa no processo de simplificação com o objetivo de agregar estas regiões aos polígonos adjacentes, de forma que os espaços vazios deixassem de existir. Este processo talvez minimizasse ainda mais as alterações de área, além de fazer com que o mapa fique mais compatível com determinadas escalas.

Referências

- Camara, G., Valeriano, D. M., and Soares, J. V. (2006). Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na amazônia legal. *INPE*.
- Douglas, D. and Peucker, T. K. (1973). Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *The Canadian Cartographer*, 10:112–122.
- Falls, C., Liu, Y., Snoeyink, J., and Souvaine, D. (2005). Testing shortcuts to maintain simplicity in subdivision simplification. *Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG'05)*, pages 35–38.
- Muller, J. C. (1990). The removal of spatial conflicts in line generalization. *Cartography and Geographic Information Science*, 17:141–149(9).
- Visvalingam, M. and Whyatt, D. J. (1993). Line generalisation by repeated elimination of points. *Cartographic J.*, 30:46–51.