

---

## GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DE FEIÇÕES LINEARES

THATIANA LIMA VASCONCELOS  
LUCILENE ANTUNES C. MARQUES DE SÁ

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE  
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG  
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE.  
tlvasconcelos@gmail.com, lacms@ufpe.br

---

**RESUMO** - A generalização cartográfica tem uma longa história na cartografia, na arte de criação de mapas com diferentes escalas e uso. A generalização pode ser entendida como um processo de transformação que permite, através de uma seleção criteriosa dos elementos, reconstituir um mapa com maior simplicidade, clareza e objetividade. O documento cartográfico vetorial, em sua maioria, é composto por feições lineares, os esforços para automatizar a generalização cartográfica foram concentrados nas feições lineares. Algoritmos foram criados com esse fim, neste trabalho são avaliados os algoritmos de Douglas-Peucker e de Wang, que foram criados para simplificar pontos e os algoritmos PAEK e Bezier interpolation para a suavização de feições lineares.

**ABSTRACT** - The cartographic generalization has a long history in cartography in the art of creating maps with different scales and use. The generalization can be understood as a transformation process that allows, through a careful selection of elements to reconstruct a map with greater simplicity, clarity and objectivity. As a cartographic document vector, mostly composed of linear features, most efforts to automate the map generalization was concentrated in linear features. A range of algorithms have been created for this purpose, this paper will study the Douglas-Peucker algorithm and Wang that were created to simplify points. And Paek and Bezier interpolation algorithms for smoothing linear features.

---

### 1 INTRODUÇÃO

Um documento cartográfico representa um fenômeno em uma escala reduzida, se comparado com a sua ocorrência no mundo real. A informação contida no mapa pode sofrer perdas e uma série de omissões, diante das restrições que são impostas através da escala de representação.

A generalização tem como objetivo obter a maior acurácia possível de acordo com a escala do mapa, da informação geométrica, a caracterização dos elementos e formas, com maior similaridade possível em relação à natureza em formas e cores, boa legibilidade, simplicidade e explicitação da expressão gráfica e a coordenação de diferentes elementos (IMHOF, 1977). Portanto, todo mapa, de certa forma, foi generalizado para coincidir com os critérios de exibição.

McMaster e Shea (1992), concluíram que cerca de 80% da informação presente em qualquer mapa digital consiste de linhas, para tanto existe uma gama de operadores para manipular esta feição.

O artigo apresenta operadores de simplificação e suavização e as características principais dos algoritmos de suavização de feições lineares.

### 2 GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA EM AMBIENTE SIG

O termo Generalização Digital foi muitas vezes usado para enfatizar a transição do processo manual para o automático. Podendo ser definido como o processo de derivação a partir de uma fonte de dados simbólica ou um conjunto de dados cartográficos digitalmente codificados através da aplicação de transformações espaciais e de atributo. (MCMASTER e SHEA, 1992).

Uma das características da generalização manual é a subjetividade envolvida no processo, motivada pela ausência de regras. No processo manual o profissional é capaz de perceber o mapa como um todo para só então proceder com mudanças globais utilizando o processamento simultâneo de informações.

Outro problema que se apresenta é que para permitir a generalização manual em ambiente digital, é necessário incorporar os conhecimentos cartográfico e geográfico do profissional responsável pelo trabalho. (SHEA, 1991) O processo automático ainda está longe de mapear a percepção como um todo, uma vez que o computador precisa manipular as informações de forma independente e através de sequências de instruções pré-determinadas. Além do que, Zhan e Battenfield (1996), consideram que é praticamente impossível captar todos os conhecimentos para desenvolver um sistema que imite o processo de tomada de decisão.

Para Müller (1991), existem quatro razões básicas para os dados espaciais serem generalizados:

- **Necessidade em economizar:** Os dados são filtrados durante o processo de aquisição, pois depende diretamente da disponibilidade econômica e tecnológica. Portanto, a generalização começa nesta etapa, uma vez que só se pode conhecer a realidade parcialmente;
- **Necessidade de dados robustos:** O erro é um componente intrínseco de quase todas as bases de dados, introduzidos a partir da coleta de dados e em cada processo realizado sobre eles. A generalização se apresenta como instrumento para filtrar erros e consolidar tendências;
- **Necessidade de dados multifuncionais:** A generalização permite o mapeamento em menor escala a partir de um único banco de dados;
- **Necessidade de boa exibição e comunicação:** Com o propósito de alcançar maior clareza gráfica, a generalização impede efeitos indesejáveis, como colisões, por exemplo.

Apesar das contribuições geradas a partir da investigação sobre o tema da generalização, o que se tem hoje em dia resume-se a apenas alguns algoritmos de generalização. Muitas operações de generalização como simplificação gráfica, classificação, eliminação e agregação, já existem nos Sistemas de Geoinformação (SIG) comerciais e até mesmo operações mais complicadas, como deslocamento de entidades. Porém, as funções de generalização disponíveis, não têm uma importância maior que simples edição gráfica. (LOPES, 2005)

Para a automatização da generalização, é essencial ganhar uma visão mais formalizada de todo o processo. As ações da generalização foram decompostas em diversos operadores básicos agrupados em transformações espaciais e de atributos que podem ser aplicados aos dados vetoriais.

O processo de generalização tem muitas implicações, destacam-se alguns dos efeitos provocados:

- Alteração no comprimento de linhas (pela simplificação);
- Alteração nas áreas (pela amalgamação, fusão e agregação);
- Alteração da posição relativa dos objetos (por deslocamento)
- Mudança das classes topológicas (pelo colapso)
- Criação de um novo objeto ou substituição de conjuntos de objetos por outro objeto (por fusão, amalgamação, agregação); e
- Existência de atributos para objetos que já não têm representação.

## 2.1 GENERALIZAÇÃO DE FEIÇÕES LINEARES

A generalização de feições lineares pode ser considerada como um dos procedimentos mais complexos no processo cartográfico, uma série de operadores foram criados para generalizar geometricamente uma feição linear individual, como pode ser visto na Figura 1.

Os operadores apresentados na Figura 1 são definidos, como:

- Deslocamento: desloca a linha em uma determinada direção.
- Eliminação: elimina uma linha, pois a mesma seria muito pequena para ser representada.
- (*Scale-driven*): produz uma nova linha na qual a principal estrutura é mantida, mas pequenos detalhes são removidos.
- Modificação Parcial: modifica a forma de um segmento dentro de uma linha.
- Redução de Ponto (simplificação): Reduz o número de pontos e apenas os pontos críticos são mantidos.
- Suavização: Faz a linha parecer mais suave.
- Tipificação: Manter o padrão típico de curvas de linha, removendo algumas.

OPERADORES		ESCALA GRANDE	ESCALA PEQUENA
Deslocamento			
Eliminação			
Scale-Driven			
Modificação Parcial			
Redução de Ponto			
Suavização	Ajuste de curva		
	Filtragem		
Tipificação			

Figura 1 – Operadores de transformações de feições lineares individuais  
Fonte adaptada: LI (2006)

Já para um conjunto de feições lineares, as operações possíveis para as transformações geométricas são ilustradas na Figura 2, sendo suas definições:

- Omissão Seletiva: Seleciona as linhas mais importantes e as mantém.
- Colapso: Modifica a dimensão e dois tipos são identificados: *ring-to-point* e *double-to-single-line*.
- Realce: Faz as características do conjunto não perderem sua importância.
- Fusão (*Merging*): Combina duas ou mais linhas próximas.
- Deslocamento: Move as linhas uma em relação às outras.

OPERADORES		ESCALA GRANDE	ESCALA PEQUENA
Omissão Seletiva			
Colapso	Círculo para Ponto		
	Duplo para Único		
Realce			
Fusão ( <i>Merging</i> )			
Deslocamento			

Figura 2 – Operadores de transformações de conjuntos de feições lineares  
Fonte adaptada: LI (2006)

### 2.1.1 Operador: Simplificação

Em ambiente digital, na estrutura vetorial, as feições lineares são representadas por um discreto número de vértices conectados por vetores. A redução no detalhe das linhas equivale à eliminação controlada de pontos que a formam, mantendo as suas características e a sua legibilidade.

A ideia por trás dos algoritmos de simplificação foi a descoberta por Attneave (1954), que concluiu que em um objeto, alguns pontos possuem mais informações que outros, sendo estes suficientes para caracterizar a forma deste objeto. Portanto, um grande número de pontos, com menos informação, pode ser removido sem causar grandes deformações.

Nas décadas de 1970 e 1980, foi desenvolvida uma série de métodos para remover pontos a partir de elementos lineares de um mapa. No entanto, a motivação principal para o seu desenvolvimento foi a falta de espaço lógico para o armazenamento de bases de dados, ou seja, a compactação de informação.

O processo de remoção dos pontos que compõem uma linha para um caminho mais simples com o objetivo de uma redução de escala, costumava ser identificado exclusivamente como o **operador de simplificação**, um exemplo desta afirmação pode ser encontrada em McMaster e Shea (1992). A simplificação diminuiria a quantidade de

informação necessária ao representar uma linha, deixando apenas os pontos que melhor definiam a geometria para o nível de generalização desejado. Porém, os benefícios alcançados foram o de redução do tempo de mapeamento, redução no processamento de dados e espaço de armazenamento (MCMASTER e SHEA, 1992), o que foi um grande avanço, pois nessa época o espaço para armazenamento de dados era bastante limitado.

McMaster e Shea (1992) justificaram a necessidade de utilizar o operador de simplificação em feições lineares. Destacam-se algumas:

- **Redução do tempo de impressão:** a simplificação reduz o número de pares de coordenadas (x,y), o que aumenta a velocidade de impressão.
- **Redução do espaço de armazenamento:** a simplificação pode reduzir um grande conjunto de dados em até 70%, reduzindo o espaço de armazenamento necessário e conseqüentemente o custo deste armazenamento.
- **Conversão Vetor-Raster mais rápido:** um conjunto simplificado de coordenadas permite a conversão de formato *raster* para vetor mais rápido.
- **Processamento de arquivos vetoriais mais rápidos:** o tempo necessário para o processamento de rotação, redimensionamento, análises espaciais e geração de simbolização, dentre outros, são mais reduzidos no caso de dados simplificados.

O algoritmo de Douglas-Peucker é de caráter global mais utilizado para generalizar feições lineares (DUTTON, 1999). Segundo Balboa (2006), este algoritmo foi estudado, comparado e analisado em profundidade por muitos, se não, todos que trabalham com generalização. Os resultados são sempre muito bons, e se aproximam, mais do que qualquer outro, com os produtos gerados por generalização manual, também sendo largamente utilizado como parâmetro para outros algoritmos que são gerados com o mesmo fim.

O algoritmo está baseado na busca por **Pontos Críticos**, Figura 3. Os pontos críticos que formam a linha simplificada são aqueles que têm a maior distância perpendicular da linha de base para análise. A linha da primeira base será formada entre o primeiro ponto (âncora) e o último ponto (flutuante) da linha original. Em seguida, as distâncias perpendiculares são calculadas para todos os pontos entre estes dois pontos iniciais. Se qualquer uma dessas distâncias for menor que a tolerância atribuída, serão mantidos apenas os pontos de âncora e flutuante. Caso algum ponto exceda o valor da tolerância, este será mantido como um novo ponto crítico, ficando dessa forma, a linha original subdividida em duas seções e o processo se repete como se fossem duas feições distintas e assim sucessivamente até toda a extensão da feição.

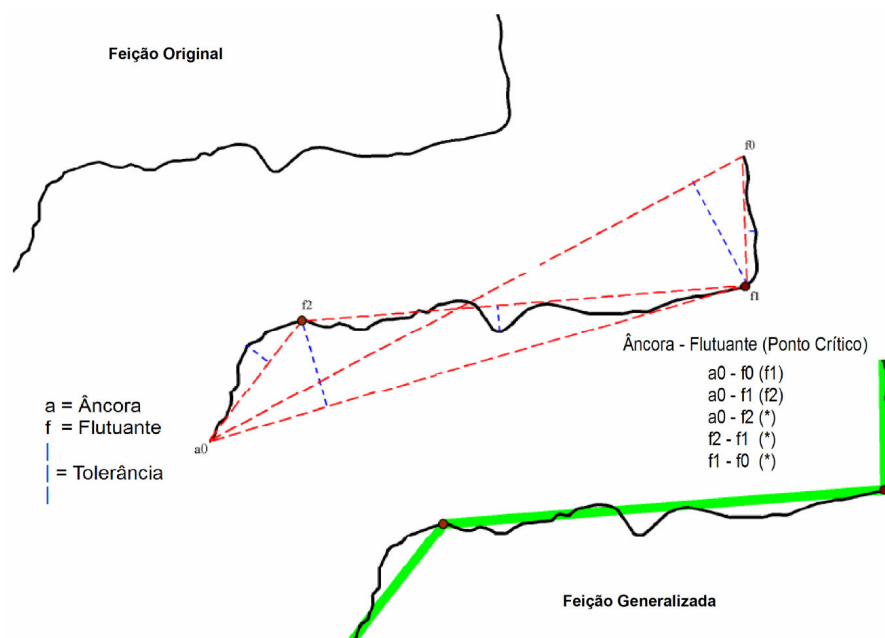


Figura 3 – Algoritmo de Douglas-Peucker  
Fonte Adaptada: BALBOA (2006)

Balboa (2003) concluiu que o maior problema com esse algoritmo é que não pode ser utilizado para mudanças em larga escala, pois o resultado não é satisfatório. Reinoso (1998) afirmou que o algoritmo de Douglas-Peucker é o que melhor mantém as propriedades de posicionamento de uma linha entre as escalas de 1:25.000 para 1: 50.000.

O algoritmo de WANG aplica técnicas para reconhecimento de *bends* (curvas), analisa suas características e elimina as curvas desnecessárias. Para WANG (1996), uma feição linear pode ser composta por uma série de curvas definidas por um sinal positivo ou negativo para os ângulos de inflexão e seus consecutivos vértices. Em feições lineares digitalizadas da esquerda para a direita, os vértices são positivos quando a inflexão da linha segue o sentido anti-horário. (Figura 4)

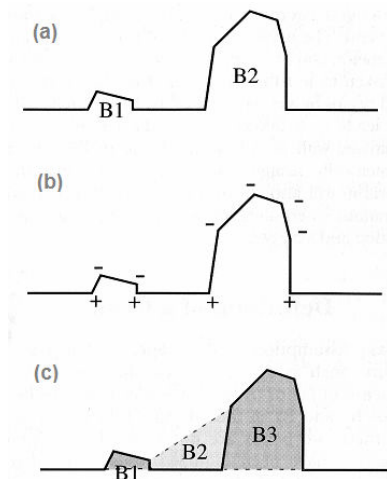


Figura 4 – *Bends*  
Fonte: WANG e MULLER (1998)

Na Figura 5 tem-se um exemplo do uso desses algoritmos e pode-se concluir, através de uma análise visual, que na utilização do algoritmo de Wang, a linha resultante segue o formato da linha original e possui melhor representação gráfica do que a gerada pelo algoritmo de Douglas-Peucker.



Figura 5 – Simplificação

### 2.1.2 Operador: Suavização (*Smoothing*)

As feições lineares em ambiente digital tendem a ser angulares e com estética não muito agradável (especialmente em escala grande). Já quando profissionais desenham as mesmas feições elas têm uma aparência mais fluida. Ao contrário da simplificação, que se esforça para reduzir detalhes a fim de remover pequenas perturbações e capturar apenas as tendências mais significativas da linha. A suavização é considerada uma operação complementar a simplificação e é usada para melhorar a aparência das linhas, ou simplesmente, realizar uma mudança estética e não é, necessariamente, relacionada com a mudança de escala. (LI, 2006)

Os algoritmos de suavização podem ser classificados de várias maneiras, a descrição de algumas de suas características podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características dos Algoritmos de suavização

Rotinas	Características
<b>Ponto Médio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Média calculada com base nas posições dos pares de coordenadas existentes e as dos seus vizinhos;</li> <li>• Apenas os pontos das extremidades permanecem inalterados;</li> <li>• Mantém o mesmo número de pontos da linha original;</li> <li>• Cada algoritmo pode ser facilmente adaptado a diferentes condições de nivelamento pela escolha de parâmetros de tolerância diferentes;</li> </ul>
<b>Ajuste de Curvas Matemáticas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de uma função matemática ou uma série de funções que descrevem a natureza geométrica da feição;</li> <li>• O número de pontos que se mantém é variável e controlado pelo usuário;</li> <li>• A manutenção dos pontos nas extremidades e intermediários da linha original dependem das opções de escolhas do algoritmo e suas tolerâncias;</li> <li>• Depois da escolha do algoritmo é permitido um pouco de flexibilidade para alterar a forma final da feição suavizada;</li> <li>• Os parâmetros da função podem ser armazenados e posteriormente utilizados para regerar a feição.</li> </ul>
<b>Tolerância</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada algoritmo utiliza algum tipo de relacionamento geométrico e de tolerância entre os pontos definidos pelo usuário para suavizar a feição em um mapa;</li> <li>• Os pontos das extremidades são mantidos, porém o número de pontos gerados para a linha suavizada, como o número de pontos interiores permanecem invariáveis com relação aos dados originais.</li> <li>• A capacidade de alteração do aspecto final da curva depende do algoritmo escolhido.</li> </ul>

Fonte: LEWIS (1990)

Os dois algoritmos de suavização de feições lineares estudados foram o *PAEK - Polynomial Approximation with Exponential Kernel* (BODANSKY et al, 2002) e o *BEZIER INTERPOLATION* que foi desenvolvido inicialmente para *design* de automóveis pelo engenheiro francês Pierre Bézier, em 1962.

O PAEK utiliza a estimação de Kernel para suavizar feições lineares a partir de uma técnica que calcula a média paramétrica contínua e sua aproximação com polinômio de segundo grau fazendo com que as coordenadas dos pontos da feição linear resultantes sejam calculadas utilizando a média da distância entre as coordenadas de todos os pontos da linha original. O resultado da feição linear generalizada não possui necessariamente todos os vértices da feição original, porém mantém os pontos das extremidades.

No algoritmo *BEZIER INTERPOLATION* são geradas curvas de Bézier entre os vértices. Curva de Bézier pode ser definida como uma curva polinomial expressa a partir da interpolação linear entre alguns pontos representativos chamados de pontos de controle. Neste algoritmo não é necessário a definição de um valor para a tolerância.

Na Figura 6 é possível visualizar o uso destes dois algoritmos de Suavização de linhas e pode-se concluir, através de uma análise visual, que o algoritmo PAEK oferece um melhor resultado.

O resultado da suavização utilizando o algoritmo PAEK depende da escolha de um parâmetro de distância entre os pontos, no caso da Figura 5, a tolerância especificada foi 75 metros. A tolerância na suavização especifica o comprimento do movimento do trajeto dos pontos ao longo da linha original, que é usado para calcular as coordenadas suavizadas. Quanto maior a distância entre os pontos, mais suavizadas são as linhas resultantes. Cada nova posição é calculada usando a média da distância entre as coordenadas dos pontos.

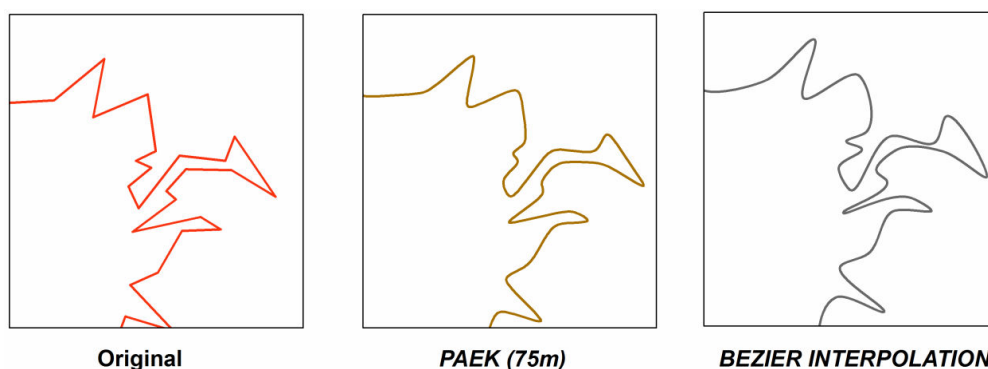


Figura 6 – Suavização de Feições Lineares

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A generalização cartográfica pode ser entendida como uma operação que permite à representação cartográfica, através de uma seleção criteriosa dos elementos, maior simplicidade, clareza e objetividade.

A maioria das plataformas de Sistemas de Geoinformação contém operadores para a generalização cartográfica de linhas e polígonos. Estes operadores incluem uma interface gráfica que permite a configuração de parâmetros com arquivos de entrada e de saída, sendo que cada operador lida com uma entrada de cada vez e tornam os dados mais detalhados e menos complexos para análise e representação em escalas reduzidas ou para outros fins especiais.

Os sistemas de Geoinformação são utilizados por diversos setores e áreas, e as diferentes necessidades exigem uma resposta eficaz e qualitativa dos sistemas. Para realizar com eficiência qualquer tarefa de generalização o profissional responsável pelo trabalho deve levar em conta a finalidade do mapa e suas características, para isso os mesmos devem seguir um procedimento holístico à generalização de uma linha manualmente. Com o objetivo de estimar como a manutenção ou a retirada de cada característica da linha refletirá no seu vizinho, bem como em toda a linha.

A generalização cartográfica automática ainda é um problema a ser resolvido. Porém, existem algumas ferramentas que procuram automatizar o processo de generalização e atender aos requisitos comuns, tanto quanto possível, onde as limitações e questões não resolvidas são conhecidas, sendo necessário um apoio à inspeção de qualidade de pós-edição ou pós-processamento. Portanto, o que existe em ambiente digital é a associação dos procedimentos manual e digital.

Keates (1973) afirma que uma vez realizada uma generalização, somente pode ser descrita como boa ou má, não como certa ou errada, uma vez que as alterações introduzidas na informação têm muitas alternativas possíveis, não havendo forma de definir uma solução absoluta.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG, ao Laboratório de Tecnologias e Geoinformação - LaTecGeo, do Departamento de Engenharia Cartográfica na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e à CAPES pela concessão de bolsa de estudo para Thatiana Lima Vasconcelos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATTNEAVE, F., **Some informational aspects of visual perception**, Psychological Review, 61(3),183–193, 1954.

BALBOA, J. L.G **Generalización de Elementos Lineales Mediante Algoritmos en el Dominio Espacial y de la Frecuencia**. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Jaén, 2003.

- 
- BALBOA, J. L.G. **Automatización de los procesos de segmentación y clasificación de vías de comunicación em generalización cartográfica.** Tese de doutorado, Universidade de Jaén, *Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría*. Espanha, 2006. 345 p.
- BODANSKY, E., GRIBOV, A., and PILOUK, M. "**Smoothing and Compression of Lines Obtained by Raster-to-Vector Conversion**", LNCS 2390, Springer, 256-265, 2002.
- D'ALGE, J. C. L. **Generalização cartográfica em sistemas de informação geográfica: aplicação aos mapas de vegetação da Amazônia Brasileira.** 2007.132p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/~julio/arquivos/Tese\\_JulioDalge.pdf](http://www.dpi.inpe.br/~julio/arquivos/Tese_JulioDalge.pdf). Acesso: 29/03/2010
- DOUGLAS, D. H.; PEUCKER, T. K. **Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its character.** *The American Cartographer*, 1973, 10(2). P. 112-123.
- DUTTON, G. **Scale, Sinuosity, and Point Selection in Digital Line Generalization.** *Cartography and Geographic Information Science*, 1999. 26(1). P. 33-53.
- HANGOUËT, JF. **Approche et méthodes pour l'automatisation de la généralisation cartographique; application en bord de ville**, Ph.D. thesis, Sciences de l'Information Géographique, Université Marne La Vallée, 1998.
- IMHOF, E. **Cartographic relief presentation.** Berlin: ESRI Press, 1982. 400 p.
- KEATES, J. S. **Cartographic design and production.** London: Longman, 1973. 240p.
- LEWIS, R. **Measurement of the geometrical error in cartographic lines induced by smoothing during map generalization.** Department of Geography, University of California, Los angeles, 1990.
- LI, Z. **Algorithmic Foundations of Multi-Scale Spatial Representation.** BocaRaton: CRC Press. 2006.
- LOPES, JOSÉ. **Generalização Cartográfica.** Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra. Faculdade de Ciências-Universidade de Lisboa. Portugal, 2005. 120 p.
- MCMASTER, R.B. & SHEA, K.S. **Generalization in Digital Cartography.** Washington, DC: Association of American Geographers, 1992.
- MÜLLER, J. C. **Generalization of spatial data bases.** En: MAGUIRE, D.;GOODCHILD, M.; RHIND, D. (eds.). *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, 1: 457-475. London: Longman, Ltd, 1991.
- REINOSO, GORDO, J. F. **Proceso de Generalización de las Vías de Comunicación de la BCN25 para la Derivación Automatizada de la BCN50.** Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Jaén.1998.
- WANG, Z. **Manual versus Automated Line Generalization,** GIS/LIS '96 Proceedings, 1996. P.94-106.
- WANG, Z.; MULLER J.C. **Line gneralization based on high-level characteristics.** *Cartography and GIS*, 1998. 25 (1).