

Contextualização da Generalização no Projecto Cartgen

José António Travanca Lopes TCor. Inf tlopes@igeoe.pt

> Neste artigo apresenta-se um método de generalização de curvas de nível com análise de contexto de entidades geográficas da mesma classe ou em associação. A curva de nível é desta forma generalizada atendendo às demais curvas de nível, aos pontos de cota e aos elementos lineares da hidrografia. A curva de nível é também generalizada com constrangimentos de proximidade com pontos de cota, evitando violações de topologia. A curva de nível ao interceptar uma linha de água volta a sua convexidade para montante, sendo este ponto de intersecção um máximo relativo. Esta propriedade deve ser preservada quando se generalizam as curvas de nível. É sugerido neste artigo uma abordagem, de forma a ter em conta esta contextualização da generalização de curvas de nível e linhas de água respeitando desta forma as leis de Brisson.

Resumo

A generalização cartográfica automática continua a ser um dos maiores desafios da actualidade na área da cartografia. As funções de generalização estão subjacentes a qualquer SIG (Sistema de Informação Geográfica) para assegurar a legibilidade da informação geográfica como produto cartográfico.

Durante o processo de generalização cartográfica, os objectos geográficos não podem ser considerados isoladamente. A forma como os objectos são processados depende claramente do seu contexto espacial.

A dificuldade associada à contextualização da generalização reside no facto dos algoritmos serem "cegos" e aplicarem os mesmos critérios independentemente do contexto geográfico. O cartógrafo tem deste modo que verificar e avaliar os resultados intermédios, intervindo no processo sempre que necessário. As situações em que estes conflitos ocorrem são tão variadas, que são de difícil padronização e assim a sua resolução é ainda hoje estudada. São várias as propostas apresentadas, com as suas vantagens e desvantagens associadas, resultando frequentemente para um número limitado de casos.

1. Introdução

Os modelos de dados geográficos representam geralmente, explicitamente um conjunto de objectos

básicos, a sua geometria e as suas propriedades. Muita da semântica do "mundo geográfico" aparece nas relações que ligam objectos [Worboys 96; Ruas 99]. Não obstante, a maioria destas relações não são representadas explicitamente nos modelos de dados que descrevem bases de dados geográficas. Geralmente, estas relações só aparecem implicitamente quando se olha para o display de uma base de dados geográfica. Isto contradiz o princípio da representação do conhecimento o qual refere que uma boa representação deve explicitar as coisas importantes [Winston 84].

Esta deficiência dos modelos de dados geográficos, é uma barreira à análise e à derivação de bases de dados geográficas, sendo este em particular o arqumento para o processo cartográfico da generalização [Lagrange e Ruas 94]. Os cartógrafos sabem que dois objectos similares situados em dois lugares diferentes não serão generalizados necessariamente da mesma maneira. Isto é devido às diferentes relações (implícitas) que estes objectos têm com outros objectos circunvizinhos. "e.g. um objecto pode ser preservado porque é um representante de um conjunto de objectos da mesma natureza, ou porque permite uma conexão aos objectos que devem ser preservados, [Lagrange e Ruas 94], e.g. um caminho de pé posto pode ser preservado pelo facto de dar acesso a um moinho". Ou seja, o processo da generalização depende do contexto espacial dos objectos. Segundo [Kilpeläinen 2000] "as regras relacionadas com o contexto são provavelmente o mais significativo do know-how para a generalização".

Os processos de generalização manuais e digitais diferem drasticamente em diversas áreas chave. O processo manual é holístico na sua percepção e execução enquanto o processo digital opera muito como a lógica finita de um computador, ou seja os algoritmos não têm uma interacção simultânea com todas as entidades cartográficas de uma determinada área.

Apesar do processo cartográfico se desenvolver no ambiente digital, a generalização de mapas ainda continua a ser um processo controlado pela mente humana.

As funções de generalização são necessárias para assegurar a legibilidade dos produtos cartográficos derivados dos SIG, nas escalas e temas obtidos a par-

tir dos dados originais, tal como para reduzir a definição espacial, temática ou temporal de dados SIG de uma forma controlada, particularmente para finalidades de análise e apoio à decisão.

2. Metodologia

O projecto de I&D (Investigação e Desenvolvimento) CartGen (Generalização Cartográfica), apoiado pelo CINAMIL (órgão de investigação da Academia Militar), em desenvolvimento no IGeoE (Instituto Geográfico do Exército), engloba uma BD (Base de Dados) do conhecimento que armazena as regras utilizadas e as prioridades das entidades cartográficas, para efeitos de generalização. Utilizou-se neste projecto o algoritmo de generalização de curvas de nível aqui apresentado, recorrendo a métodos de inteligência artificial para, através de um processo de aprendizagem, predizer os valores dos parâmetros utilizados neste algoritmo, substituindo desta forma o cartógrafo na tarefa da escolha do parâmetro a utilizar.

A metodologia proposta para a generalização de Curvas de Nível engloba 3 fases sequenciais, da sequinte forma:

1ª fase – Selecção dos PC (pontos de cota);

2ª fase – Selecção e classificação das LA (linhas de água);

3ª fase – Generalização das CN (curvas de nível).

2.1 Algoritmo de simplificação / suavização de linhas

O algoritmo usado na generalização de curvas de nível foi o apresentado em [Lopes 2006], resumindo:

O algoritmo executa 5 passos consecutivos para cada curva de nível, ver figura 1, como se seque:

1º passo – Calcular os máximos e mínimos relativos, baseado na análise da mudança da sua derivada; (*Max*, *Min*)

2º passo — Entre cada máximo e mínimo calcular o comprimento da linha e o ponto médio; (*M*)

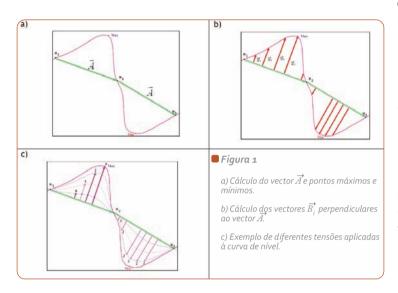
3° passo – Calcular o vector \overrightarrow{A} entre dois pontos médios consecutivos; $(\overrightarrow{A} = \overrightarrow{M_i M_{i+1}})$

 4° passo – Calcular os vectores $\vec{B_i}$ perpendiculares



ao vector \vec{A} calculado, entre este e os vértices da curva de nível;

 $5^{\rm o}$ passo – De acordo com a tensão a aplicar, reduzir a norma dos vectores $\vec{B_i}$ e calcular as novas coordenadas dos vértices da curva de nível.



3. Selecção e classificação das linhas de água no projecto CARTGEN

Pode-se considerar a rede hidrográfica como o conjunto de linhas de talvegue, incluindo desta forma as linhas de água e os cursos de água, entre outros. É por estas linhas de água onde as águas das chuvas escoam, em que a existência de água tem um carácter não permanente ao longo de todo o ano.

As linhas de água da folha da série M888, escala 1/25 ooo, são classificadas em 3 ordens, sendo a 1ª ordem a mais importante e por isso representada com um traço de maior espessura. Estas ordens são classificadas de acordo com o seu comprimento. A hidrografia é representada assim como uma árvore, onde as folhas são as linhas de água de ordem mais baixa ou seja, de 3ª ordem.

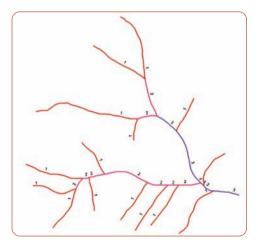
Após a aquisição da rede hidrográfica na fotogrametria, torna-se necessário classificar estas linhas de acordo com os critérios apresentados no parágrafo an-

terior; trabalho este feito de forma semi-automática devido à sua complexidade. Assim, propõe-se a adopção da metodologia aqui apresentada para a classificação das linhas de água, carecendo sempre de verificação e finalização por parte de um operador cartógrafo.

A selecção efectuada para a série M782, escala 1/50 000, é feita a partir das linhas originais da série M888 classificadas, eliminando algumas de 3ª ordem, de modo a manter a árvore hidrográfica de uma forma legível, equilibrada e ponderada.

3.1 Classificação das linhas de água pelo método de Strahler

O método de Strahler começa por atribuir o peso 1 a todas as folhas da árvore. Quando duas linhas com o mesmo peso se encontram o seu ramo descendente soma uma unidade ao seu peso. Caso contrário o ramo descendente fica com o peso do maior ascendente, ver figura 2.



■ Figura 2 −Classificação de linhas de água pelo método de Strahler

3.2 Classificação das linhas de água pelo método de Shreve

O método de Shreve também começa por atribuir o peso 1 a todas as folhas da árvore, tendo o ramo descendente um peso igual à soma dos ramos ascendentes, ver figura 3.

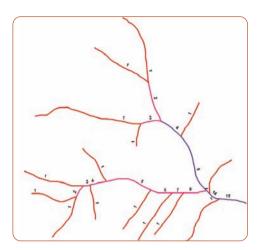
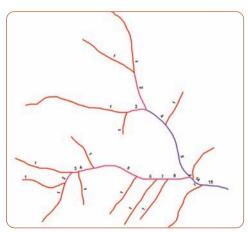


 Figura 3 –Classificação de linhas de água pelo método de Shreve

3.3 Classificação / Selecção pelo método do IGeoE

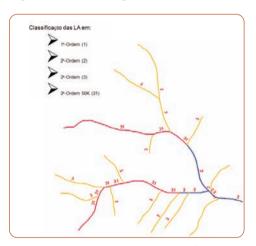
A classificação e selecção das linhas de água representadas na série M888, escala 1/25 000, para a sua representação na série M783, escala 1/50 000, segue a regra geral utilizada no IGeoE e aplicada pelo operador da secção de Controlo de Qualidade que as selecciona de acordo com o estabelecido. Na metodologia proposta e após a identificação da raiz da árvore por um operador ou, pelo facto da linha de água estar ligada a um curso de água, entidade do tipo área, começamos por construir a árvore de forma ascendente, da raiz para as folhas somando o peso 1 a cada ramo ascendente e identificando cada ramo descendente pelo seu ID (Número Identificador), conforme representado na figura 4.



■ Figura 4 –Atribuição de pesos de forma ascendente

No passo seguinte começa-se a atribuir a ordem 3 às folhas com maior peso ascendente. Adicionando os valores dos ramos descendentes num vector até ao valor do comprimento da 3ª ordem, assim o segmento seguinte será de 2ª ordem, repete-se este processo para as ordens seguintes.

Após esta classificação seleccionam-se as folhas, segmentos de 3ª ordem, com o maior peso ascendente, será seleccionado aquele que tiver maior comprimento para ser representado na folha da série M782 à escala 1/50 000. Repete-se este processo para todos os ramos da árvore, até ter toda a árvore classificada e seleccionadas as folhas a representar. Na figura 5, as linhas de água de 3ª ordem seleccionadas têm o atributo peso, igual a 31 e são designadas por 3ª ordem 50K.



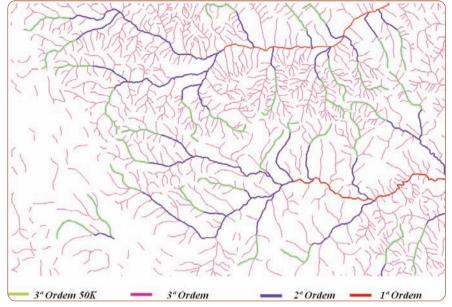
■ Figura 5 – Selecção das LA (Linhas de Água) a representar na carta militar, escala 1/50 000

O resultado desta classificação para a carta militar Nº 309 da série M888, é o apresentado na figura 6, reduzindo desta forma o trabalho de operador, que efectua a verificação final.

4. O contexto espacial

Quando se lê um mapa, o espaço geográfico é analisado de acordo com níveis diferentes de análise, desde identificação de elementos individuais a uma apreensão do espaço inteiro, efectuando uma análise dos grupos de objectos. Este aspecto pode ser uma das características mais significativas do espaço geo-





■ Figura 6 –Selecção das linhas de água a representar na folha, escala 1/50 000

gráfico [Scholl et al. 96].

Distinguem-se assim relações entre objectos do mesmo nível de análise e relações entre objectos de níveis diferentes de análise.

O contexto espacial dos objectos não é representado explicitamente nos modelos de dados, mas influencia os processos usados para generalizar dados. Por exemplo, considere-se um algoritmo que tenha em conta um paradigma mecânico e considere os objectos geográficos de forma a produzir as forças que afastam outros objectos, dependendo da distância entre eles: os objectos serão movidos um do outro sem explicitamente representar nenhum relacionamento de proximidade.

O contexto pode ser visto como parte dos dados. Neste caso, o contexto está representado explicitamente no modelo de dados (tal como os objectos). Nesta abordagem, o conhecimento que descreve o contexto espacial e o conhecimento que descreve como usá-lo estão separados. Deve-se observar que representar relações não significa necessariamente que todas devem ser pré calculadas e armazenadas, pode ser preferível calculá-las quando necessário [Theobald 2001].

4.1 Relações hierárquicas

Podemos encontrar dois tipos principais de relações espaciais que impliquem objectos geográficos de níveis diferentes de análise: as relações entre um grupo e os seus membros (e.g. uma ilha é parte de um arquipélago) e relações entre uma parte do espaço e seus elementos.

Muitos objectos geográficos tem um sentido mais preciso, sendo parte dos grupos do que no seu próprio. Por exemplo, em determinados estudos uma junção de estradas pode ser mais significativo do que as secções isoladas contidas na estrada.

A identificação de grupos significativos é muito importante durante o pro-

cesso da generalização por diversas razões [Ruas oo]. Em primeiro lugar, algumas operações de generalização não podem ser feitas olhando isoladamente para os objectos e devem ser executadas no nível do grupo (tal como agregar e tipificar). Em segundo, o facto de ser parte de um grupo significativo pode influenciar a maneira como os elementos do grupo são generalizados (por exemplo para assegurar alguma homogeneidade na transformação do grupo).

A propriedade de pertencer a uma área particular influencia as operações da generalização. Isto permite caracterizar melhor a importância dos objectos. Consequentemente, é possível determinar melhor que objectos devem ser representados no mapa e como devem ser representados.

Os objectos que são típicos de uma área, devem receber uma atenção particular durante a generalização para reflectir eficientemente o carácter global da área. Um outro interesse de caracterizar áreas deve detectar os objectos atípicos que são considerados como importantes e devem ser mantidos (e.g. um rio numa área do deserto, uma vila isolada numa área rural, uma casa num lago, etc.).

4.2 Relações não hierárquicas

Um outro tipo de contexto espacial que influenciam o processo da generalização, corresponde às relações locais que um dado objecto tem com os objectos circunvizinhos no mesmo nível de análise (e.g. uma casa está perto de uma estrada, uma casa está alinhada com uma estrada, uma estrada cruza com um rio, uma estrada é paralela a uma linha de caminho de ferro, etc.). Estas relações podem influenciar o processo da generalização de diferentes maneiras.

Em primeiro lugar, algumas destas relações devem ser mantidas. Por exemplo, se uma estrada estiver paralela a um rio ou se uma estrada cruzar um rio, pode ser importante manter estas relações durante o processo de generalização.

Em segundo, algumas relações locais podem ser enfatizadas. Por exemplo, algumas casas próximas, mas distintas, podem ser deslocadas de outras para enfatizar a relação de disjunção. Outros exemplos onde as relações entre objectos são abstraídas antes de ser representadas podem ser, uma casa perto de uma estrada que seja movida para não a tocar, no mapa.

É importante compreender que tipos de relações podem existir entre objectos, a fim de perceber como influenciam o processo da generalização: que relações devem ser mantidas? em que relações uma dada relação pode ser abstraída? etc...

Na comunidade dos SIG, as relações mais estudadas são certamente relações baseadas em topologia (e.g. o modelo das 9-intersecções de [Egenhofer et al. 89]), seguidas por relações baseadas em distância e direcção.

As relações topológicas, tais como a adjacência, devem frequentemente ser refinadas a fim de reflectir melhor as relações espaciais significativas. "Definir a conectividade unicamente na base da adjacência topológica é inadequado para estudar muitos tipos de processos naturais e sociais" [Theobald 2001].

É importante ir mais além na análise da topologia para compreender melhor a semântica das relações espaciais locais.

Por exemplo, [Mathet oo] considera que as noções de forma, distância, direcção e topologia são todas importantes. Considera também que o aspecto polimorfo de um objecto, é uma função chave para compreender as relações espaciais: um dado objecto é visto como uma linha, uma superfície ou um ponto de acordo com o tipo de relação considerada.

A fim de compreender melhor como manipular as relações espaciais durante o processo da generalização, poderia ser dispendida maior atenção no desenvolvimento de modelos cognitivos das relações espaciais.

4.3 A contextualização como noção dependente da escala

Naturalmente, todo o modelo do mundo depende da finalidade do seu uso. Assim, o contexto espacial de um objecto ser relevante, depende da finalidade dos dados geográficos considerados. Esta dependência da finalidade, é pela sua natureza, um aspecto importante para o processo da generalização que trata das duas diferentes finalidades: a finalidade dos dados iniciais e a finalidade dos dados finais. A noção da escala é importante porque se relaciona ao nível da análise de dados geográficos (e.g. é a análise feita no nível da cidade ou do país?).

A noção da escala influencia que objectos são considerados relevantes, no contexto espacial de um dado objecto.

A escala influencia a definição dos objectos de nível elevado a serem considerados para representar bem o contexto espacial.

A semântica da relação entre objectos diferentes pode mudar de acordo com a escala da análise. Por exemplo, um rio e uma estrada podem estar completamente paralelos de um ponto de vista global mas, de um ponto de vista mais local, podem não ser paralelos devido à forma sinuosa do rio. Vejamos um outro exemplo, se uma clareira estiver dentro de uma floresta, o significado da relação interna pode variar de acordo com o nível da análise: numa escala muito local, a clareira pode ser considerada como uma fronteira da floresta (onde o significado é, não há nenhuma árvore) e numa escala menor a clareira é considerada como parte da floresta (a floresta contém áreas de árvores e de clareiras).



5. Representando o contexto espacial e regras relacionadas com o contexto

O contexto espacial deve ser tido em conta durante o processo de generalização. Duas estratégias principais podem ser usadas para isso:

- O contexto pode ser visto como parte do processo: é analisado nos algoritmos de generalização. Neste caso, o contexto espacial dos objectos não é representado explicitamente nos modelos de dados, mas influencia os processos usados para generalizar dados. É o que acontece no projecto CartGen, durante a contextualização das curvas de nível com as linhas de áqua (ver ponto 7).
- O contexto pode ser visto como parte dos dados. Neste caso, o contexto está representado explicitamente no modelo de dados (tal como os objectos). Nesta estratégia, o conhecimento que descreve o contexto espacial e o conhecimento que descreve como usá-lo estão separados.

Devido à complexidade do mundo geográfico, pode ser por vezes um trabalho difícil de representar explicitamente todas as relações espaciais relevantes e úteis para uma determinada finalidade. Nestes casos, pode ser preferível considerar determinadas partes do contexto dentro dos algoritmos que transformam os dados. Representar o contexto como uma parte explícita dos dados, pode ser melhor do ponto de vista cognitivo se concordarmos que "as relações entre entidades espaciais são tão importantes quanto as próprias entidades" [Papadias e Theodoritis 97]. Isto leva-nos a desenvolver estratégias baseadas em conhecimento para a generalização, onde o conhecimento que descreve como manipular os dados é separado do conhecimento que descreve os dados (que pode assim facilitar a reutilização para outras aplicações).

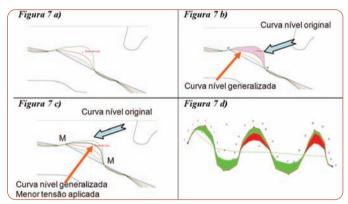
6. Generalização contextual entre curvas de nível e pontos de cota

Ao aplicar o algoritmo de generalização de linhas com determinado valor da tensão para cada curva de

nível, poderá haver a necessidade de, em casos pontuais, a aplicação de um valor de tensão diferente em locais específicos da curva de nível.

Exemplo, ver figura 7, supondo que existe um esporão, onde é necessário um ponto de cota para o definir. Após a tensão aplicada à linha, a curva generalizada passa para além do ponto de cota, havendo aqui uma nítida violação de topologia.

Num primeiro passo, para resolver esta violação é necessário efectuar uma Query espacial para detecção da violação local. Ou seja, se o ponto de cota estiver no interior da área definida pelas duas curvas de nível, original e generalizada, limitadas pelos pontos mé-



- Figura 7
 - a) Tensão aplicada à linha;
 - b) Query espacial, para detecção da violação da topologia;
 - c) Violação de topologia corrigida, menor tensão aplicada;
 - d) Aplicação de uma tensão inferior, resolução da violação de topologia.

dios, então temos um problema de violação de topologia.

Na correcção deste problema, sugere-se que seja aplicada uma tensão inferior nesta parte da curva, entre os dois pontos médios, de forma a curva não passar para além do ponto de cota. Este é tipicamente um problema a resolver de uma forma recursiva, ou seja, aplicar esta metodologia até que o ponto de cota esteja no exterior da área considerada.

7. Generalização contextual entre curvas de nível e linhas de água

Quando se efectua a generalização de uma curva de nível, particularmente no troço entre os pontos médios M_i e M_{i+1} , a tensão a aplicar à linha será o resul-

tado da metodologia apresentada anteriormente. No caso da curva de nível interceptar uma linha de água, entre os pontos M_i e $M_{i+\mu}$ então o ponto de intercepção será um máximo local, pois segundo as leis de Brisson "uma curva de nível ao atravessar uma linha de água sofre uma inflexão, voltando a convexidade para montante" [Alves, 1984].

Após a aplicação do algoritmo de generalização, esse ponto poderá não ser o máximo, se a linha de água não for paralela aos vectores $\vec{B_i}$, perpendiculares ao vector $\vec{A} = \vec{M_i M_{i+1}}$. Desta forma, torna-se necessário que o ponto de intercepção da linha de água com a curva de nível generalizada, seja um máximo local, de modo a não violar as leis de Brisson.

Neste caso o algoritmo de generalização é adaptado para esta situação concreta, executando os passos sequintes, como se pode ver na figura 8:

-1º passo: Executar uma query espacial para averiguar a existência de uma intercepção entre o troço da curva de nível e as linhas de água, será o ponto *Max*;

-2º passo: Aplicar a tensão calculada pela metodologia aqui apresentada;

-3° passo: Executar uma query espacial para averiguar a existência de uma intercepção entre o troço da curva de nível generalizada e a linha de água, será o ponto Max_{ii}

-4° passo: Calcular o deslocamento $\widehat{Max_0Max_{11}}$ paralelo a $\widehat{A_i}$:

-5° passo: Aplicar aos pontos da curva generalizada os deslocamentos proporcionais a $\widehat{Max_0Max_1}$, da seguinte forma, ver figura 8:

$$\begin{cases} deslocamento_k = \frac{\left\| \overrightarrow{M_iP} \right\|}{\left\| \overrightarrow{M_iMax_p} \right\|} \times \overrightarrow{Max_0Max_1} \\ \\ deslocamento_j = \frac{\left\| \overrightarrow{P_jM_{i+1}} \right\|}{\left\| \overrightarrow{Max_pM_{i+1}} \right\|} \times \overrightarrow{Max_0Max_1} \end{cases}$$

Deste modo, o deslocamento do ponto é máximo no ponto de cruzamento da curva de nível com a linha de água, reduzindo o seu valor à medida que nos aproximamos de M_i e M_{i+1} , sendo nulo nestes pontos.

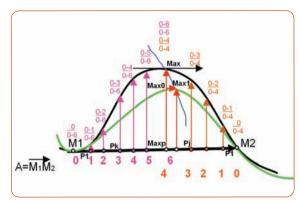
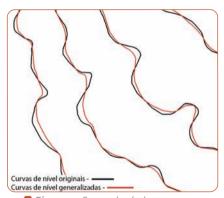


 Figura 8 –Contextualização da generalização das curvas de nível com as linhas de áqua

8. Resultados

Conforme podemos ver nas figuras 9 e 10, as curvas de nível generalizadas com os parâmetros preditos pelas técnicas anteriormente apresentadas, são adequadas para a escala 1/50.000.



■ Figura 9 – Curvas de nível generalizadas com os parâmetros obtidos

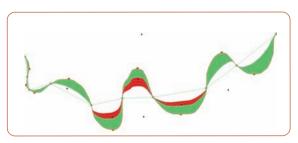


Figura 10 – Correcção das violações de topologia





Após a generalização das curvas de nível com os parâmetros obtidos com as técnicas de Inteligência Artificial e de forma a reduzir o trabalho do cartógrafo, foi necessário introduzir melhorias no sentido de evitar as violações de topologia entre as curvas de nível, os pontos de cota e ainda entre estas e as linhas de água. Desta forma reduzimos o trabalho do cartógrafo e tornando-se mais consistente a generalização utilizando este algoritmo.

■ Figura 11 – Resultados da metodologia aplicada a Curvas de nível e Linhas de água

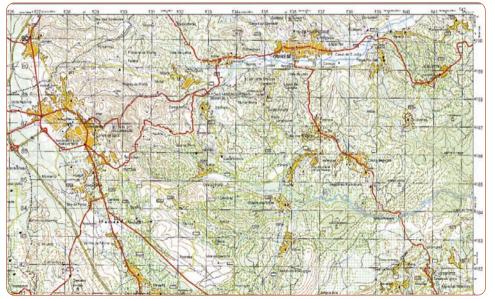


 Figura 12 – Extracto da carta militar 27-IV, escala 1/50 000, obtida com a metodologia desenvolvida no projecto CartGen

9. Conclusão

Não podemos pensar na generalização cartográfica como um somatório de operadores e algoritmos, pois é necessário obter uma visão holística de todo o processo. A representação do espaço geográfico, a simbolização dos objectos e a escala de representação, originam conflitos gráficos onde é necessário intervir e actuar de forma a obter um mapa legível. De salien-

tar ainda, que a solução algorítmica poderá não existir, sendo sempre necessário trabalho final de operador. Com esta contextualização estamos a generalizar objectos, tendo em conta outros objectos de classes diferentes o que aproxima esta metodologia mais à forma como o operador cartógrafo efectua a generalização. A aplicação desta metodologia com este algoritmo e estas melhorias vêm diminuir o trabalho do cartógrafo em tarefas de classificação e selecção.

Durante o processo da generalização cartográfica, os objectos geográficos não podem apenas ser considerados por si só. A maneira como os objectos são processados depende claramente do seu contexto espacial.

O interesse de melhor compreender o contexto espacial dos objectos geográficos não está limitado à generalização cartográfica. A maioria das análises geográficas considera o contexto dos objectos (porque estes fenómenos aparecem em determinado contexto? que aconteceria a este fenómeno se o contexto fosse mudado? etc.).

Os objectos do mundo geográfico são altamente relacionados. É assim impossível representar explicitamente em modelos de dados, todos os relacionamentos significativos entre objectos geográficos. Acredita-se que modelar melhor o contexto espacial poderia facilitar a forma e criação de modelos geográficos de dados mais ricos e mais eficazes.

Referências Bibliográficas

- Alves D., Cruz J., Norte C. (1984) "Topografia", Manual da cadeira 23E, Academia Militar, Lisboa.
- Egenhofer M.J., Frank A. and Jackson J.P. (1989) "A Topological Data Model for Spatial Databases". In 1st Int. Symp. on the Design and Implementation of Large Spatial Databases, LNCS 409, Springer-Verlag.
- Gaffuri J., (2008) "Généralisation automatique pour la prise en compte de thèmes champ le modèle GAEL", Université Paris-Est École doctorale ICMS, Institut Géographique National Laboratoire COGIT, PhD These, Paris.
- Kilpeläinen T. (2000) Knowledge Acquisition for Generalization Rules. Cartography and Geographic Information Science.
- Lagrange J.-P. and Ruas A. (1994) "Geographic information modelling: GIS and generalization". In Proc. of Int. Symposium on Spatial Data Handling, Edinburgh.
- Lopes, J. (2006) "Generalização Cartográfica", Tese de mestrado, FCUL, texto não publicado.
- Mathet Y., (2000) "New paradigms in space and motion: A model and an experiment". In Proc. of ECAI Workshop on spatiotemporal reasoning, Berlin, 2000.
- Muller, J.; Lagrange, J.; Weibel, R. (1995) "GIS and Generalization Methodology and Practice", GISDATA 1, Taylor & Francis, ISBN 0-7484-0319-1.
- Muller, J. et al., (1995) "Generalization: state of the art and issues", Geographisches Institut, Ruhr Universitat Bochum, Universitastraβe 150, 44780. Bochum, Germany.

- Mustiere S., (2005) "Cartographic generalization of roads in a local adaptive approach: A knowledge acquisition problem".
 International Journal of Geographical Information Science, 19(8-9): 937-955
- Mustière S.; Moulin B., (2002) "What is spatial context in cartographic generalisation?", in Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Symposium sur la théorie, les traitements et les applications des données Géospatiales, Ottawa
- Papadias D. and Theodoridis Y. (1997) "Spatial relations, minimum bounding rectangles, and spatial data structures". International Journal of Geographical Information Science, vol.11.
- Ruas A. (1999) "Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie". Ph.D. Thesis, university of Marne-la-Vallée, France (in French).
- Ruas A. (2000) "The role of meso objects for generalization".
 Proc. of the International Symposium on Spatial Data Handling, Beijing, China, sec.3b.
- Scholl M., Voisard A., Peloux J.-P., Raynal L., Rigaux R. (1996) SGBD Géographiques - Spécificités. International Thomson Publishing, France.
- Skopeliti, A.; Tsoulos, L. (2001) "A Knowledge Based Approach
 for the Generalization of Linear Features", Cartography Laboratory, Faculty of Rural and Surveying Engineering, National
 Technical University of Athens, H. Polytechniou 9, 157 80 Zographou Campus, Athens, Greece.
- Theobald D.M. (2001) Topology revisited: representing spatial relations. International Journal of Geographical Information Science, 2001, vol.15.
- Winston P.H., (1984) "The Key Role of Representation". In Artificial Intelligence, second edition.
- Worboys M.F., (1996) "Metrics and topologies for geographic space". In Advances in GIS research II: proc. of 7th International Symposium on Spatial Data Handling, Kraak and Molenaar (eds), Taylor and Francis.