

## **Cálculo e cartografia automática dos declives: Novas tecnologias versus velhos problemas.**

Carlos Bateira

### **1. Introdução.**

a) Nos últimos anos têm-se expandido, de forma generalizada, novas tecnologias relacionadas com a difusão e tratamento automático da informação. Do que diz respeito à informação geográfica tem adquirido relevo especial a utilização dos sistemas de informação geográfica. A facilidade com que tem vindo a ser feita essa difusão advém de dois factores fundamentais:

1<sup>o</sup> A informatização da informação geográfica permite tratar as variáveis espaciais com maior facilidade. Com efeito, a cartografia produzida em suporte analógico é de difícil utilização, sobretudo no que se refere à informação geográfica. O tratamento das variáveis espaciais em suporte digital permite uma maior facilidade de utilização da informação cartográfica.

2<sup>o</sup> O planeamento físico e o ordenamento do território têm demonstrado um interesse cada vez maior na utilização de informação geográfica física para a elaboração dos relatórios e projectos de intervenção e uso da superfície terrestre. Com efeito, é crescente a consciência sobre as consequências para o meio físico da acção do homem sobre a terra.

Torna-se evidente a necessidade de acesso à informação geográfica física em tempo útil e a custos acessíveis, o que é facilitado pelo uso de novas tecnologias de acesso e tratamento da informação.

b) Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm aparecido como instrumento de trabalho essencial para levar a cabo essa tarefa. Por outro lado, os SIG têm sido disponibilizados conjuntamente com equipamento, capaz de tratar grandes quantidades de informação que, de outra forma, se tornaria dispendioso utilizar. São exemplo as actualizações do cadastro e do uso dos solos. A dificuldade inerente a estas tarefas originou, nas últimas décadas, uma desactualização da informação difícil de recuperar.

Além disso, os SIG permitem, para além do armazenamento e actualização da informação, a realização de cartografia automática. A construção de cartas a partir da selecção de informação geográfica que o operador achar relevante ou que pretender relacionar vai permitir a construção de novas cartas que resultará da interligação de diferentes tipos de informação \

A facilidade de relacionar automaticamente a informação e a elaboração de cartografia automática são uma das características dos SIG que mais interessam ao ordenamento do território. E nesta perspectiva que deve ser encarada a cartografia automática dos declives. Sendo informação imprescindível, é muito morosa o que dificulta imenso a sua utilização. Com o aparecimento dos SIG começa a ser cada vez mais considerada a utilização dos factores físicos (entre os quais se encontram os declives) como elementos de ordenamento do território<sup>2</sup>.

## **2. O meio físico: suporte ou elemento do planeamento físico e ordenamento de território.**

### **a) A imagem a três dimensões e o meio físico.**

O suporte digital da informação permitiu a criação de modelos de representação gráfica a três dimensões à semelhança dos blocos diagramas. Este tipo de representações têm permitido sensibilizar as entidades públicas para a utilização da informação geográfica física nos seus estudos e projectos que, dados os prazos de execução muito limitados, não dispõem de tempo para utilização da cartografia em suporte analógico (Rebelo, F. 1976 ).

---

1 Na escolha do melhor traçado de uma via de comunicação é possível seleccionar as áreas onde a instabilidade de vertentes seja menor, onde existem necessidades de maior acessibilidade, onde os custos de construção sejam mais baixos... Depois de interligados e confrontados todos os elementos achados essenciais é possível cartografar as áreas que constituem a melhor escolha para o traçado. De igual forma, é possível seleccionar automaticamente os sectores onde os processos erosivos resultantes do escoamento superficial difuso coincidam com determinado tipo de litologia, depósito de vertente ou classe de declives. Embora este tipo de metodologia já fosse utilizada com a informação em suporte analógico, a automatização permitiu a sua generalização.

2 É de referir que alguns diplomas governamentais mais importantes no ordenamento do território, como são os PDM(s), utilizam, nalgumas situações, os declives como critérios de definição de REN, à falta de estudos concretos das áreas em análise (ver anexo III da definição da REN).

### **b) Os declives como informação essencial para a compreensão do meio físico.**

A construção dos modelos a 3D são essenciais aos estudos sobre o meio físico, já que permitem a elaboração da cartografia automática dos declives, das exposições ou até a elaboração de perfis topográficos. Estes elementos constituem informação essencial sobre o meio físico. No caso dos mapas de declives é possível perceber muitos elementos que se referem à dinâmica natural do meio físico. Já não se trata de saber qual o suporte físico à acção humana, mas prever as consequências dessa acção nos processos e dinâmica do meio físico. Um utilizador com um bom conhecimento da dinâmica do meio físico de uma área poderá, com o auxílio dos mapas de declives, concluir e tirar ilações importantes para o ordenamento dessa área.

### **c) O meio físico: suporte da acção humana ou sistema antropizado?**

Embora o estudo sobre o meio físico já tenha permitido perceber as grandes influências entre a dinâmica desse meio e acção do homem, é possível, hoje, e de uma forma mais acessível estudar o meio físico como sistema natural antropizado e não como suporte físico capaz de absorver todas as consequências da acção humana. Os exemplos mais divulgados são os estudos de impacte ambiental. Neles o meio físico não é encarado como algo ao dispor do homem mas como sistema no qual o homem se integra e interage.

Nesse processo de análise do meio físico é essencial a informação geográfica física. Se essa informação, apesar de útil, era difícil de tratar, hoje ela está mais acessível dada a facilidade concedida pela utilização dos SIG.

Do conjunto de considerações feitas podemos concluir que a cartografia automática dos declives é cada vez mais utilizada, quer em estudos de planeamento e ordenamento do território, quer em trabalhos de investigação. Há, no entanto, necessidade de compreender a forma e metodologia de elaboração automática deste tipo de cartografia, sob pena de introdução de erros na utilização dos dados que ficam ao nosso dispor.

## **3. Métodos de elaboração das cartas de declives.**

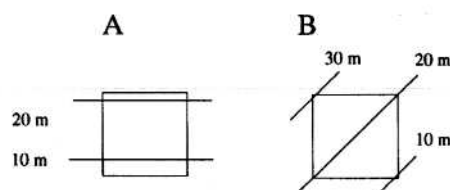
### **a) Métodos manuais, com base em suporte analógico.**

Os métodos de elaboração das cartas de declives em suporte analógico recorrem, com frequência, a cartas topográficas, utilizando a informação disponibilizada pela curvas de nível. São vários os métodos utilizados mas, é frequente encontrarem-se mapas de declives construídos a partir da utilização de uma quadrícula ou ainda medindo a distância entre duas curvas de nível.

1<sup>o</sup> O método da quadrícula.

Este método consiste na sobreposição de uma grelha sobre a área onde se pretende cartografar os declives. A dimensão da quadrícula vai depender quer da escala do mapa que temos ao nosso dispor, da informação que ele disponibiliza (equidistância das curvas de nível) e do grau de pormenor desejado. Em cada quadrado é contabilizado o número de curvas de nível que existem. Consoante as classes previamente definidas, assim é cartografada a quadrícula em análise.

Para uma quadrícula de 5 mm de lado, numa escala de 1:25 000, e considerando duas curvas de nível com equidistância de 10 m, teríamos um declive entre  $4,57^\circ$  ( $\ll 5^\circ$ ) e  $9,09^\circ$  ( $\ll 9^\circ$ ) (exclusive), desde que o traçado fosse paralelo ao lado do quadrado (fig.1-A). Nesse caso o declive máximo é de  $9,09^\circ$ . No entanto, supondo que as curvas de nível apresentam uma disposição oblíqua aos lados do quadrado, o declive lido seria diferente, embora a distância entre curvas de nível possa ser a mesma. Neste caso, o declive real é o mesmo mas o método da quadrícula introduzirá um erro de leitura (fig.1-B). Serão contabilizadas 3 curvas de nível o que poderá implicar a classificação dessa área noutra classe de declives.



**A distância entre as curvas de nível são idênticas, tanto em A, como em B.**

**Fig. 1: A disposição do traçado das curvas de nível podem influenciar a classe de declives a atribuir a uma área.**

Este erro resulta do facto de termos feito a leitura na perpendicular às curvas de nível. Se fizermos a leitura ao longo de um dos lados do quadrado pode ocorrer que, para declives reais diferentes, a leitura do número de curvas de nível seja a mesma<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Este método é perfeitamente aplicável para quem pretende fazer uma leitura global dos declives de uma área (F. Rebelo, 1976) e apresenta-se como um método menos moroso, mais simples e de efeitos práticos aceitáveis. No entanto, quando se pretende aplicar a estudos localizados ou de escala pormenorizada torna-se difícil evitar erros dos que acabamos de apresentar.

## 2º Medição de distância entre curvas de nível.

Este método é bastante mais moroso do que o método da quadrícula. Com efeito, consiste na medição da distância entre duas curvas de nível executada com o auxílio a uma régua construída de acordo com a escala do mapa topográfico. Numa folha de papel de engenharia traçam-se as distâncias máximas que duas curvas de nível deverão ter para estar integradas em determinadas classes de declives. Faz-se percorrer esta régua entre duas curvas de nível. Quando a distância das curvas de nível for inferior a uma das distâncias marcadas na régua e superior à seguinte então o espaço percorrido deverá ser colornado com a cor da classe de declives correspondente à 1- distância.

Este método parece bastante mais fiel do que o método da quadrícula. Para quem pretende fazer uma leitura de pormenor dos declives, ele ultrapassa algumas deficiências do método da quadrícula, que, como já referi, para uma leitura global dos declives de uma área apresenta-se perfeitamente aceitável (E Rebelo, 1976).

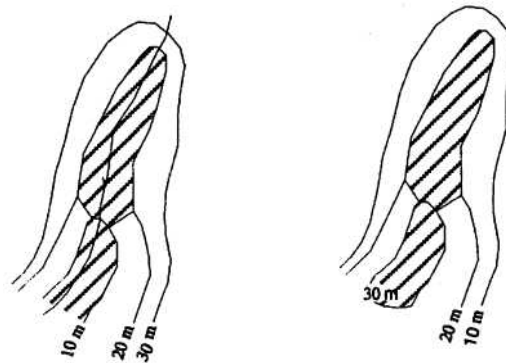
Este método apresenta alguns inconvenientes que convém tornar explícitos.

1- Sendo muito demorado de executar, conduz rapidamente ao cansaço do operador o que exige intervalos frequentes na sua execução. Caso não se proceda deste modo, a capacidade de rigor do operador diminui drasticamente o que põe em causa a utilidade que o mapa poderá ter em virtude do eventual rigor que se pretende. Acresce que, depois de um intervalo grande, as opções entre as diferentes classes nem sempre são as mesmas o que torna muito relevante o aspecto subjectivo desta cartografia.

2- A aplicação deste tipo de leitura só deverá ser feito para escalas de grande pormenor. Quando utilizado na escala de 1:25 000 (com equidistância de 10 m) é extremamente difícil distinguir entre as classes de declives mais elevados (sup. a 20°). Por vezes, a dificuldade é de tal ordem que o operador terá que fazer opções entre classes de acordo com o aspecto dos declives envolventes. Neste caso, a subjectividade volta a adquirir um papel importante. É a experiência do operador e o conhecimento da área de trabalho que permite fazer as melhores opções.

3- Quer em interflúvios estreitos, quer nos fundos dos vales (junto às linhas de água) é impossível obter duas curvas de nível para que se possa avaliar a distância entre elas e, portanto, fazer a leitura dos declives. Na fig.2 a área sombreada representa sectores onde a leitura dos declives depende, em larga medida, da experiência do operador e da percepção dos declives nas áreas envolventes. Mesmo que essa experiência seja grande, o grau de subjectividade é sempre um factor que domina a elaboração de alguns sectores dos mapas de declives, utilizando esta metodologia. Um vale dissimétrico constitui um exemplo em que o valor dos declives de ambas as margens deverá ser diferente, apesar de não termos curvas de nível para fazer a leitura das distâncias entre elas.

4- Quase sempre não se faz uso dos pontos cotados. Em áreas em que a variação das altitudes é inferior à equidistância entre duas curvas de nível, os pontos cotados constituem informação da maior relevância. Com o uso das réguas de leitura elaboradas para a utilização deste método os pontos cotados são ignorados, ou são utilizados como leitura de referência. O cálculo dos declives utilizando os pontos cotados exige a realização de interpolações muito morosas. As mais das vezes são ignorados, sobretudo se estão a meia vertente.



**Fig.2: As áreas sombreadas representam sectores onde, por falta de curvas de nível, não é possível a utilização de réguas construídas para medir a distância.**

#### **b) Cartografia automática dos declives e modelos digitais de elevação (DEM)<sup>4</sup>.**

Com a cartografia automática é possível executar expeditamente mapas de declives e, portanto, a supressão de alguns aspectos subjectivos que estão inerentes à sua elaboração. No entanto, a execução automática da cartografia exige um conhecimento das diversas metodologias que os sistemas colocam ao nosso dispor.<sup>5</sup>

Analisaremos, neste trabalho, duas metodologias utilizadas em cartografia automática que apresentam semelhanças evidentes com as que descrevemos nas páginas anteriores relacionadas com a informação disponível em suporte analógico.

---

<sup>4</sup> DEM - do Inglês Digital Elevation Models.

\* Na cartografia apresentada foi utilizado software Intergraph, disponível no Instituto de Geografia do Porto.

A construção dos modelos digitais de elevação, também designados por modelos digitais de terreno<sup>6</sup>, têm permitido a simulação de importantes intervenções no meio físico. A engenharia, com a utilização destes modelos, simula as alterações no meio físico, permitindo visualizar, antecipadamente, a três dimensões, os resultados pretendidos. E a construção destes modelos que permite a elaboração de alguma cartografia automática, nomeadamente as cartas de declives e de exposições.

A recolha da informação para a construção dos modelos digitais de elevação tem sido feita a partir de "... mapas de curvas de nível já existentes, por análise fotogramétrica a partir da estereoscopia de fotografia aérea, ou mais recentemente por análise automática de informação recolhida por imagem de satélite em estereoscopia "(S. Aronoff, 1989, p.121)<sup>7</sup>.

A partir da informação disponível procura-se seleccionar um conjunto de elementos que permitam a construção dos modelos digitais de elevação. Esses elementos deverão possuir informação de três coordenadas diferentes: latitude, longitude e altitude. A forma como seleccionamos a informação que vamos utilizar na construção do modelo é essencial para que este seja o mais representativo possível em relação à realidade que pretende representar

Ainda segundo Aronoff (1989), a selecção da informação relevante para a construção dos modelos digitais de elevação (DEM), pode ser feita de diversas formas das quais destacamos duas:

- 1) em grelha (modelo GRID)e
- 2) com rede irregular de triangulação (modelo TIN<sup>8</sup>).

No primeiro caso, são considerados pontos relevantes para construção do modelo os que constituem uma grelha justaposta sobre a carta que é fonte de informação (fig.3). Este conjunto de pontos vai constituir a informação base de todas as operações a fazer posteriormente. A altitude de cada ponto é calculada com base nas altitudes das curvas de nível mais próximas. Muito poucos pontos coincidirão com as curvas de nível o que tem reflexos evidentes no mapa já que as simplificações do modelo são evidentes. Para que os erros e simplificações do modelo sejam pequenos é necessário que a grelha seja muito fina o que se torna difícil de executar para áreas de grandes dimensões.

Por outro lado, mesmo com grelhas de grande densidade de pontos, mas sem grande pormenor no conjunto de curvas de nível disponíveis, não é pos-

---

" Na bibliografia especializada aparecem frequentemente as duas designações sem que se antevejam diferenças significativas. É, no entanto, preferível a designação de modelo digital de elevação, dando realce ao seu aspecto tridimensional, já que a noção de 'terreno' está ligada ao tipo de informação que o modelo representa.

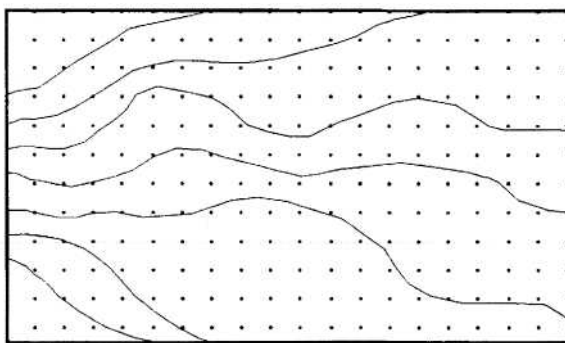
<sup>7</sup> "... existing contour maps, by photogrametric analysis of stereo aerial photography, or more recently by automate analysis of stereo satellite data"(S. Aronoff, 1989, p.121).

<sup>8</sup> Do Inglês: Triangulated Irregular Network-TIN.

sível reduzir os erros nos cálculos das altitudes dos vários pontos feita por interpolação. E, portanto, necessário estudar cuidadosamente a dimensão da grelha, a escala a que procedemos a recolha da informação e as características do relevo da área em análise.

Daqui resulta que, sendo a informação recolhida à escala de 1:25 000 e/ou 1:50 000, é extremamente arriscado proceder a ampliações dos mapas resultantes da utilização deste modelo.<sup>9</sup>

Do ponto de vista do rigor da informação, nada impede que a cartografia que serve de fonte de informação tenha mais pormenor, mesmo que a sua utilização se faça a uma escala menor. No entanto, essa opção eleva em demasia os custos da recolha, encontra dificuldades acrescidas uma vez que não existe disponibilidade de informação geográfica digitalizada, em especial em escalas de grande pormenor, e pode tornar mais difícil o trabalho com ficheiros de grandes dimensões.



**Fig.3: O cálculo dos declives para cada ponto da grelha utilizada no âmbito dos modelos GRELHA são feitos por interpolação do valor da altitude, já que a grande maioria não coincide com as curvas de nível.**

Neste modelo, cuja distribuição dos pontos da grelha é uniforme, esta questão é essencial e determinante para garantir uma boa fiabilidade dos resultados finais.

No segundo caso, o modelo (TIN) "... é produzido a partir de um conjunto de pontos elevados irregularmente espaçados... . Uma rede de lados de

---

<sup>9</sup> Como veremos, o mesmo risco está sempre presente para outros modelos, nomeadamente no modelo TIN.



triângulos são ajustados a estes pontos. As posições das coordenadas e das elevações de três pontos formando os vértices de cada faceta triangular são usadas para calcular cada um dos parâmetros do terreno tal como os declives e as exposições" (ib., p.122)<sup>10</sup>.

De notar que os pontos que servem de base para a triangulação são os que coincidem com as curvas de nível e que serviram à sua digitalização, bem como os pontos cotados.

No caso do modelo **TIN** o rigor da informação depende, no fundamental, e mais uma vez, da escala de recolha da informação e do pormenor com que foi feita a digitalização. No entanto, os pontos utilizados correspondem, em teoria, às altitudes efectivas. Estes não dependem de interpolações como no caso do modelo grelha.

As diferentes irregularidades espaciais do relevo não são disfarçadas por uma qualquer grelha justaposta ao mapa de origem, mas tão só da informação disponível. No modelo **TIN**, é a equidistância entre as curvas de nível que vai determinar o rigor da informação de base da cartografia automática. Ao contrário, no modelo grelha, para além da equidistância das curvas de nível, também o espaçamento da grelha determina o grau de fidelidade da informação construída a partir do modelo.

Acresce que, com a informação em suporte digital, é possível utilizar os pontos cotados como informação relevante para a construção dos modelos. Neste caso, a leitura do relevo entre as curvas de nível vai ser melhorada com a leitura da distância destas para os pontos cotados.

### c) Síntese.

Do que foi dito neste ponto, é fácil verificar a grande semelhança entre os métodos de cálculo de declives com informação disponível em suporte analógico e informação disponível em suporte digital. Pode ser comparado o método da quadrícula com o modelo em grelha. De igual forma, o método de medição das distâncias entre curvas de nível encontra traços comuns com o cálculo dos declives com recurso ao modelo **TIN**. Em todos os processos metodológicos utilizados calcula-se o declive do ângulo ( $\alpha$ ) de uma superfície definida por dois pontos (A e B) com a horizontal ( $\text{are tg}(\text{sen } \alpha / \text{cos } \alpha)$ ) (fig. 4)<sup>11</sup>.

---

10 "... is produced from a set of irregularly spaced elevation points .... A network of triangular facets is fit to these points. The coordinate positions and elevations of the three points forming the vértices of each triangular facet are used to calculate such terrain parameters as the slopes and aspect" (ib., p.122).

H Sen  $\alpha$  = diferença de altitude. Cos  $\alpha$  = distância entre curvas de nível e/ou pontos cotados.

**B**

sen a

cosa

**Fig.4: Declive do ângulo a) corresponde ao inverso da tangente de a), que pode ser calculada com a divisão do sen a pelo cos a.**

Por outro lado, é notória a necessidade que há de identificar as metodologias de trabalho que estão na base da elaboração da cartografia, automática ou não. Da mesma forma, parece-me extremamente relevante que se conheça o tipo de informação que serviu de suporte à constituição dos modelos digitais de elevação. É fundamental saber-se a que escala foi seleccionada a informação e sobretudo que equidistância das curvas de nível foi utilizada. A manipulação da escala é cada vez mais frequente dado o software disponível, pelo que se torna fácil produzir mapas de grande escala, promovendo generalizações abusivas mas, no entanto, difíceis de detectar para quem não conhece o terreno em pormenor.

#### **4. Questões suscitadas pela análise de alguns exemplos de mapas de declives feitos automaticamente.**

Neste ponto procuramos apresentar alguns exemplos de mapas de declives construídos automaticamente. A elaboração destes mapas permitiu-nos levantar algumas questões sobre o conjunto de cuidados a ter quando utilizamos os programas de um sistema de informação geográfica para elaboração de cartografia automática.

Os exemplos que se seguem não pretendem resultar na escolha do melhor método para o cálculo dos declives, antes pretendem chamar a atenção para os problemas associados a uma tecnologia nova na elaboração de cartografia e, eventualmente, na produção de informação geográfica<sup>12</sup>.

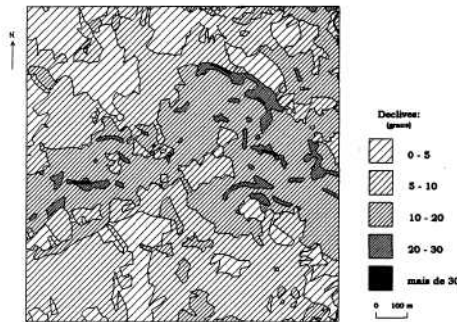
##### **a) A utilização de diferentes escalas com a mesma informação. O problema da digitalização.**

Procuramos elaborar mapas de declives para a mesma área, com base na mesma informação geográfica, mas a escalas diferentes. Considerando que

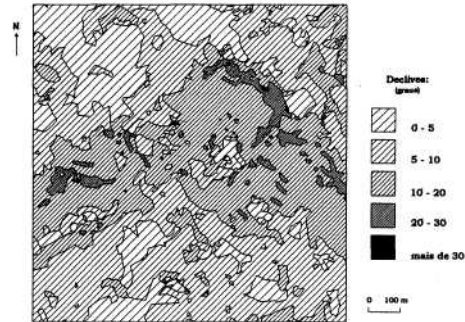
---

<sup>12</sup> Não pretendo promover a discussão sobre a possibilidade de o SIG constituir uma nova tecnologia que permite automatizar a produção de cartografia ou se também são geradores de informação geográfica, pelo conjunto de metodologias que utilizam. Talvez noutra altura.

grande parte da informação geográfica (hypsometria) não está disponível em suporte digital é necessário proceder-se à digitalização dessa informação. Neste caso, tendo como base o levantamento a 1:10 000 e 1:5 000 do Instituto Geográfico e Cadastral e com uma mesa digitalizadora com um pixel de 0,25 mm, digitalizou-se a hipsometria a ambas escalas (fig.5 e 6).



**Fig. 5: Mapa de declives (A)  
(Azurém/Guimarães).  
Hipsometria digitalizada à escala  
1:5000.**



**Fig. 6: Mapa de declives (B)  
(Azurém/Guimarães).  
Hipsometria digitalizada à escala  
1:10000.**

Da observação das áreas cartografadas com declives mais elevados ( $> 10^\circ$ ) é fácil verificar que existe uma maior variação espacial dos declives no mapa B. Poderíamos pensar que a sua variação corresponderia a um maior pormenor e portanto a um maior rigor no cálculo dos declives e elaboração dos mapas. Nada mais falso. Ao Mapa B corresponde a escala 1:10 000 o que teoricamente corresponde a uma escala de menor pormenor do que o mapa A (1:5 000). Apesar de escalas diferentes a informação de base é a mesma, já que o mapa B foi feito com base na carta a 1:10 000, reduzida da escala 1:5 000. Portanto, a informação de base é exactamente igual.

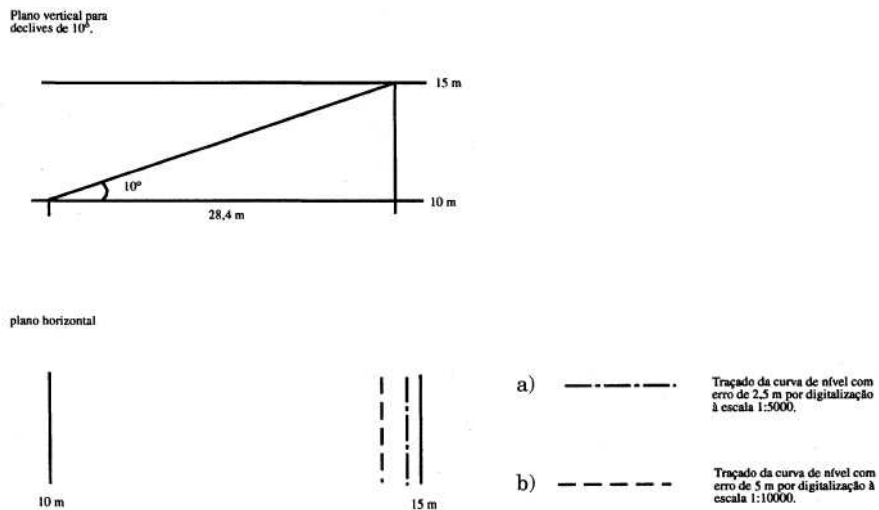
A única e grande diferença diz respeito à escala em que é digitalizada a informação. As diferenças na elaboração dos mapas de declives, neste caso, vão depender, no essencial, do processo de digitalização. A digitalização das curvas de nível (com recurso à mesa de digitalização) à pequena escala, por muito cuidadosa e rigorosa que seja, permite a realização de erros cuja repercussão em termos de cartografia final é maior do que no caso das grandes escalas (quadro 1). Um erro de 1 mm na digitalização de uma curva de nível provoca um erro de 25 m no terreno, à escala 1:25 000, ao passo que o mesmo erro na digitalização provoca um erro no terreno de 2 m, à escala 1:2 000. Este facto é

suficiente para conduzir a uma alteração de classe de declives na cartografia da área em estudo. Com efeito, a margem de erro tolerada na cartografia dos declives, numa pequena escala, é menor do que nas grandes escalas.

Escala	Erro na carta	Erro no terreno
1:25 000	1 mm	25 m
1:10 000	1 mm	10 m
1:5 000	1 mm	5 m
1:2 000	1 mm	2m

**Quadro 1**

Com uma equidistância de 5 m, e para que os declives sejam superiores a  $10^\circ$  é necessário que a distância no terreno seja inferior ou igual a 28,4 m (valor aproximado, por excesso). Com um erro de digitalização de 0,5 mm teremos um erro no terreno de 5 m (escala 1:10 000). Em contrapartida, na digitalização à escala de 1:5 000 verifica-se que um erro de 0,5 mm corresponde no terreno a 2,5 m (fig.7). Neste caso, a possibilidade de um erro de digitalização contribuir para a modificação da classe de declives a atribuir a uma área, é menor. Isto explica a menor variação dos declives à escala de 1:5 000 para valores de declives elevados.



**Fig.7: Um erro de digitalização (no exemplo, de 0,5 mm), por pequeno que seja, a diferentes escalas, pode conduzir, a variações na classificação dos declives, e portanto, a cartografia diferente. Basta que, para tal, seja cometido no limite da classe de declives previamente definida.**

Ao contrário do que se poderia supor, o mapa B, apesar de parecer mais pormenorizado, não dá mais rigor ao cálculo dos declives e ao traçado das áreas. A meu ver, é preferível a utilização de escalas maiores na digitalização da informação geográfica já que diminui o carácter subjectivo inerente a esta tarefa. O aspecto de maior pormenor do mapa B corresponde tão só ao menor rigor na digitalização das curvas de nível e reflecte uma maior vulnerabilidade ao erro daí resultante.

A digitalização em a) continua a considerar o afastamento das curvas de nível tal que o declive calculado é  $> 10^\circ$  (fig. 7). Em b) o declive calculado é inferior a  $10^\circ$ . Este exemplo permite fazer realçar os cuidados a ter na leitura dos declives calculados e cartografados automaticamente. Os problemas de escala são, porventura, os problemas mais importantes na introdução da informação geográfica que serve de base à cartografia automática (neste caso a hipsometria). O exemplo mostra como a redução da escala de 1:5 000 para 1:10 000 a que foi digitalizada a hipsometria explica as diferenças encontradas nos dois mapas. Por vezes, é frequente encontrar a mesma hipsometria a escalas diferentes<sup>13</sup>. Como já foi referido, os resultados não são os mesmos e, portanto, não são comparáveis. É essencial que, para estudos de pormenor, utilizemos a cartografia de declives cuja elaboração se fez com a recurso à informação geográfica disponível a uma escala adequada.

#### **b) A utilização de diferentes escalas com informação diferente.**

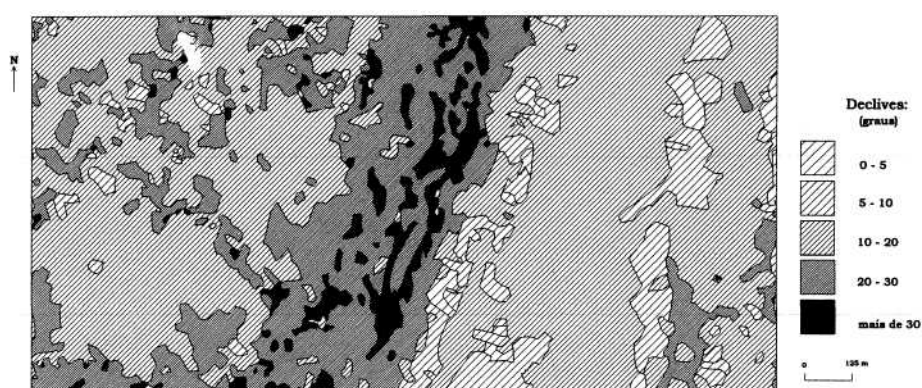
Os mapas C e D (figs. 8 e 9) foram construídos a partir da hipsometria recolhida também a diferentes escalas. No entanto, a cada escala corresponde informação diferente. No mapa C a hipsometria foi digitalizada à escala 1:10 000, com equidistância de 10 m, com base no levantamento aerofotogramétrico do Instituto Geográfico Cadastral, ao passo que no mapa D a informação foi digitalizada à escala 1:25 000, com equidistância de 10 m, com base no levantamento aerofotogramétrico do Instituto Cartográfico do Exército.

Apesar dos erros de digitalização serem mais importantes em escalas mais pequenas (ver alínea a) deste ponto), o que poderia provocar maiores variações espaciais na cartografia das diversas classes de declives, verifica-se que, no 1:25 000 há uma maior generalização sobretudo nas classes de declives menores. Esse facto poderia ser atribuído ao menor pormenor da informação disponível. No entanto, verifica-se que a equidistância das curvas de nível é de 10 m em ambos os mapas, invalidando essa explicação. Por outro lado, a informação recolhida ao 1:10 000 contribuiu para a elaboração de cartografia com maior pormenor nas áreas de declives médios ( $10^\circ$  a  $20^\circ$ ) e superior ( $20^\circ$  a  $30^\circ$ ).

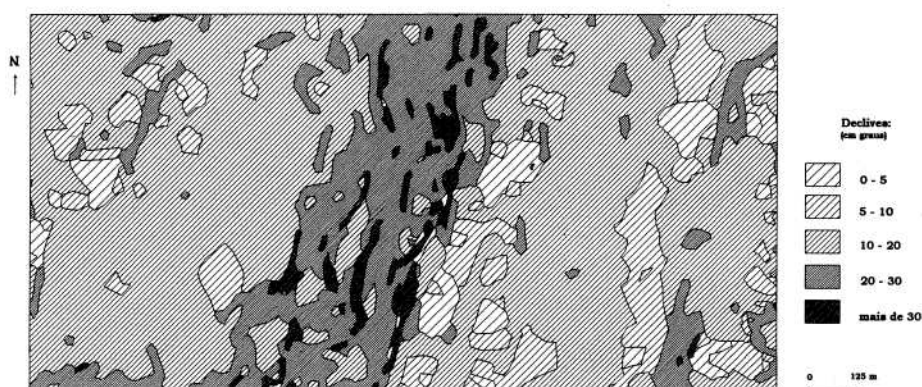
---

<sup>13</sup> Frequentemente, as autarquias dispõem da escala 1:5 000 para as áreas urbanas e 1:10 000 (reduzido) para o restante concelho.

Neste exemplo, duas explicações parecem mais prováveis. Por um lado, a informação geográfica da escala 1:25 000 não resultou da redução da informação geográfica a 1:10 000. A falta de pormenor evidenciada no mapa D resulta do menor rigor com que foi traçada a hipsometria à escala de 1:25 000, por condicionalismos que se prendem com a elaboração da cartografia a esta escala. Apesar da equidistância ser igual em ambos os mapas, a hipsometria traçada a 1:25 000 apresenta-se mais generalizada do que a 1:10 000. A escala escolhida para traçar a hipsometria condicionou o grau de aderência à realidade, impondo generalizações à escala de 1:25 000 que podem ser evitadas à escala de 1:10 000. Neste caso, não é a escala a que digitalizamos a hipsometria que condiciona o modelo digital de elevação, mas a informação que lhe serviu de base, que, por seu lado, é condicionada pela escala a que é trabalhada.



**Fig. 8: Mapa de declives (Covelo-Gerês). Hipsometria digitalizada à escala 1:10 000. (C)**



**Fig. 9: Mapa de declives (Covelo-Gerês). Hipsometria digitalizada à escala 1:25 000. (D)**

Usualmente pensamos que a escalas diferentes correspondem equidistâncias diferentes das curvas de nível. No exemplo que se apresenta, a informação geográfica é diferente nas diversas escalas, não por terem equidistâncias de curvas de nível diferentes, mas porque a hipsometria pode ter um traçado mais pormenorizado nas escalas maiores, contribuindo para uma maior aderência do modelo à realidade.

### **c) Diferentes metodologias do cálculo dos declives em SIG: os modelos GRID e TIN.**

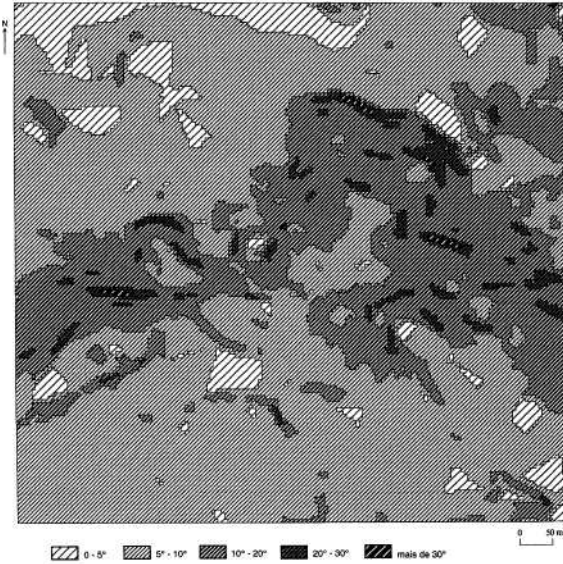
Na elaboração dos mapas de declives pelo método da quadrícula, em geral aplicada à escala 1:25 000 e com equidistância de 10 m, a dimensão do lado do quadrado é de 0,5 cm, o que corresponde, no terreno, a 125 m. Na cartografia automática o cálculo dos declives pelo modelo GRID permite uma quadrícula mais densa. No exemplo dos mapas E e F foi utilizada uma quadrícula cujo quadrado tem de lado, no terreno, 50 m. Como facilmente se verifica o pormenor dos mapas fica muito aquém do que se verifica com os mapas construídos com recurso ao modelo TIN (A e B). São várias as áreas onde a generalização dos declives é visível.

A comparação dos mapas A, B, E e F, permite ilustrar o grau de generalização deste método. Ao observarmos os mapas E e F concluímos pelo maior pormenor do segundo em relação ao primeiro. A quadrícula de 50 m, medida no terreno, consegue um cálculo mais rigoroso à escala de 1:10 000 do que à escala de 1:5 000. Embora não tenha sido construída uma grelha para ajustar à hipsometria e calcular os declives em ambas as escalas (procedimento usual no cálculo manual), o facto de adoptarmos a mesma distância no terreno, para o modelo GRID, permite concluir que foram utilizadas duas grelhas com quadrados de 1 cm e 0,5 cm de lado para o cálculo dos declives nos mapas E e F, respectivamente.

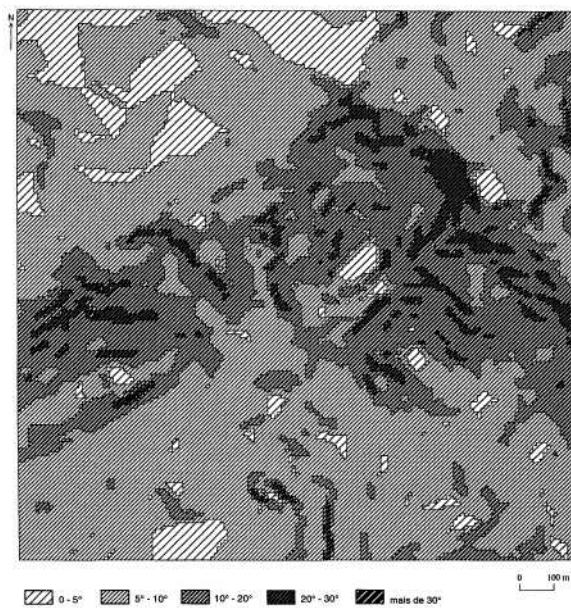
Desta forma, fica claro que o grau de pormenor da cartografia automática dos declives com utilização do modelo GRID depende, não só da distância atribuída à grelha de cálculo, no terreno, mas sobretudo da relação desta com a escala do mapa. Recordamos que a hipsometria que serviu de base a E e F são iguais (a escala de 1:10 000 resulta da redução de 1:5 000), pelo que, ao aplicarmos uma grelha de 1 cm de lado à escala de 1:5 000, devemos ter o mesmo resultado, pelo menos no plano teórico, que teríamos se aplicássemos uma grelha de 0,5 cm à escala de 1:10 000. Na prática, o conjunto de manchas da classe de 0-5° que desapareceram com a utilização do modelo GRID por comparação com o modelo TIN são mais numerosas no caso dos mapas A e E (escala 1:5 000) do que nos mapas B e F (escala 1:10 000). Daqui se conclui que só uma relação entre escalas, distância no terreno e quadrículas, sempre implícita na utilização dos modelos GRID, permite o cálculo dos declives com boa aderência à realidade.

Mais uma vez fica demonstrada a eficiência dos mapas de declives nas leituras de conjunto da morfologia da superfície terrestre. No que se refere a

leitura de pormenor, são muitas as aplicações dos mapas de declives, mas também são muitos os problemas a eles associados, mesmo quando utilizamos as novas tecnologias (SIG) e, portanto, automatizamos o cálculo dos declives.



**Fig. 10: Mapa de declives (Azurém-Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:5 000. (E)**



**Fig. 11: Mapa de declives (Azurém-Guimarães). Hipsometria digitalizada à escala 1:10 000. (F)**



## 5. Conclusões

Do que acabou de ser escrito podemos salientar algumas conclusões básicas.

- a. O cálculo dos declives é um elemento de análise do terreno cada vez mais disponível para utilização diversa. No planeamento físico ou na investigação, o cálculo dos declives continua a ser elemento indispensável para a análise da dinâmica do meio físico ou na avaliação dos custos de infra-estruturas. As novas tecnologias põem ao nosso dispor, de forma mais rápida, esta informação, o que permite a generalização da sua utilização.
- b. Há, no entanto, alguns cuidados a ter na elaboração deste tipo de cartografia. Os problemas de escala são os mais relevantes para o cálculo correcto dos declives. A resolução dos mapas, o rigor dos cálculos ou a aderência à realidade são elementos base na cartografia que condicionam as conclusões e resultados finais dos estudos a desenvolver. Estes dependem, em grande parte, dos cuidados postos na escolha da escala a vários níveis: ao nível da recolha da informação de base (hipsometria); ao nível da passagem da informação de suporte analógico para suporte digital; e também ao nível do output final, sobretudo se a informação é apresentada em suporte analógico, é fundamental precaver-nos para as generalizações realizadas quando da impressão final da informação.
- c. É sempre preferível que a informação geográfica em suporte digital resulte da vectorização de imagens "raster" devidamente corrigidas. Desta forma, se evitariam erros de digitalização que, como referimos, são muito condicionantes da qualidade dos resultados obtidos. No entanto, sabemos que, em Portugal, apesar dos esforços dos últimos anos, há uma grande carência deste tipo de informação, sobretudo a escalas de grande pormenor. Assim, há que colocar os maiores cuidados no processo de digitalização caso não seja possível obter a informação geográfica digitalizada por vectorização de imagem "raster".
- d. O cálculo dos declives revela-se essencial no estudo do meio físico. Sendo possível calculá-los e cartografá-los em gabinete, é essencial que se proceda a uma leitura crítica dos resultados obtidos. No mínimo é necessário que o utilizador tenha um conhecimento do terreno para que possa exercer a sua capacidade crítica e precaver-se para eventuais erros cometidos ao longo de todo o processo automático de cálculo.  
Em última análise, seria importante que, depois de elaborada a car-

tografia, se procedesse a cálculos localizados que testassem os resultados obtidos. Estes cálculos poderão ser elaborados com base na informação geográfica disponível em gabinete (hipsometria que serviu de base em suporte analógico) ou mesmo com medições no terreno, sobretudo em áreas onde a variação espacial dos declives é maior.

- e) Sendo uma técnica utilizada há já longa data, o cálculo dos declives revela que, quando utilizamos novas tecnologias como apoio ao nosso trabalho, não podemos esquecer as antigas questões que sempre se colocaram à geografia:
- os problemas de escala na recolha, tratamento e apresentação da informação<sup>14</sup> são questões que condicionam os resultados a obter na execução dos nossos trabalhos.
  - a facilidade de execução de tarefas outrora muito morosas não nos pode fazer esquecer as condições em que obtemos e tratamos a informação que temos ao nosso dispor e a que elaboramos.

A automatização da recolha e tratamento da informação remete-nos para uma dicotomia entre cartografia automática e cartografia manual. Como tivemos oportunidade de verificar, não é certo que a cartografia automática conduza inevitavelmente a resultados mais correctos do que a cartografia manual. No entanto, a facilidade de utilização das novas tecnologias exige cuidados redobrados no controle da informação obtida, já que parte do processo de produção cartográfica escapa ao controlo directo do produtor e utilizador. Dado o carácter, por vezes complicado, da utilização do conjunto de programas associado ao trabalho executado em ambiente SIG, verifica-se a divisão de tarefas que separa o produtor técnico da cartografia do utilizador final. Desta forma, *os velhos problemas da cartografia e o controlo sobre o tipo de informação cartográfica produzida ganham importância crescente quando nos socorremos de novas tecnologias na produção cartográfica.*

---

14 por vezes há a ideia de que, num sistema de informação geográfica, é possível reproduzir a informação em suporte analógico a diferentes escalas. De facto, isso é possível mas, pode conduzir a erros, sobretudo se a cartografia, elaborada automaticamente, se baseou em informação a uma escala pouco pormenorizada. Ao imprimir um mapa em grande escala, com base nessa informação, estaremos a cometer generalizações que não é possível sustentar como correctas.

**BIBLIOGRAFIA:**

- Aronoff, Stan (1989) - *Geographic information systems: A management perspective*. WDL Publications, Ottawa, 294 ps. Burrough, EA. (1986) - *Principies of geographical informations systems for land ressources assessment*. Clarendon Press, Oxford, 194 ps. Collet, Claude (1992) - *Systèmes d'information géographique en mode image*. Press Polytechniques et Universitaires Romandes, Paris, 186 ps. Monkhouse, EJ. e Wilkinson, H.R. (1963) - *Maps and diagrams*. Methuen & Co Ltd, Londres, 533 ps. Rebelo, F. (1976) "Mapas de declives. Análise de alguns exemplos portugueses". *Finisterra*, vol. XI, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, p. 267-283. Rebelo, E e Almeida, A. C. de (1986) "Quadriculagem ou áreas homogéneas na elaboração de mapas de declives: duas metodologias em confronto". *Actas*, IV Colóquio Ibérico de Geografia, Coimbra, p. 867-873.