

# Boletim

Instituto **do**  
**geográfico**  
do **Exército**





ISSN

0872 7800

**Propriedade**

Instituto Geográfico do Exército  
Av. Dr. Alfredo Bensaúde  
1849-014 LISBOA

Tel. – 21 850 53 00

Fax – 21 853 21 19

E-mail – [igebe@igebe.pt](mailto:igebe@igebe.pt)

Homepage – [www.igebe.pt](http://www.igebe.pt)

**Director**

Manuel Mateus Costa da Silva Couto  
Coronel de Cavalaria, Eng<sup>o</sup> Geógrafo

**Articlistas**

José Ramos Rossa  
Tenente Coronel de Artilharia, Eng<sup>o</sup> Informático

José Guerreiro Martins  
Tenente Coronel de Artilharia, Eng<sup>o</sup> Informático

Eduardo Garcia Fernandes  
Tenente Coronel de Infantaria

Álvaro Estrela Soares  
Tenente Coronel de Artilharia

Luis Nunes  
Tenente Coronel de Artilharia, Eng<sup>o</sup> Geógrafo

António Cavaca  
Major de Artilharia, Eng<sup>o</sup> Geógrafo

Francisco Gomes  
Major de Artilharia, Eng<sup>o</sup> Geógrafo

Madalena Fernandes  
Eng<sup>o</sup> Geógrafa

Domingas Cardoso  
Eng<sup>o</sup> Geógrafa

Carla Rebelo  
Eng<sup>o</sup> Geógrafa

**Gratismo e Paginação**

Paulo Caeiro  
Tenente RC de Artilharia

**Fotolito, Montagem e Impressão**

LT Designers

**Tiragem**

1 000 Exemplares

## Índice

<b>Editorial</b>	3
<b>As condicionantes da insularidade na aquisição de dados para Cartografia Topográfica</b>	4
<b>A exactidão posicional em cartografia digital</b>	14
<b>Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)</b>	38
<b>Informação Raster</b>	44
<b>VMAP3: Uma realidade</b>	50
<b>Uma estória da Carta Militar de Portugal 1:25.000</b>	56
<b>Do digital para o analógico</b>	71
<b>O caminho da certificação do Sistema de Gestão da Qualidade e Ambiente no IGeoE</b>	78

# Editorial

**O** Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) assume-se hoje como um produtor de informação geográfica onde a qualidade dos dados constitui uma preocupação constante e permanente em todas as fases do processo produtivo, englobando a concepção, o desenvolvimentos e a produção da informação.

No virar deste novo milénio, onde não é só necessário fazer, mas fazer bem, o Instituto procura, como aliás o vem fazendo desde sempre, adequar o saber e a tecnologia adquiridos a tudo aquilo que faz, por forma a que a informação geográfica resultante tenha qualidade, precisão e rigor, e assim, os seus produtos, possam ser considerados como dos melhores. Para tal adoptou-se uma política em que não é só preciso dizer que se faz, mas é necessário fazer o que se diz e demonstrá-lo de forma inequívoca.

O IGeoE, cuja Missão, para além do seu carácter essencialmente técnico-científico, estabelece, de forma inequívoca, um claro apoio à comunidade civil, através da disponibilização de informação geográfica. Fá-lo tendo em conta as necessidades cada vez mais exigentes de uma comunidade de utilizadores de informação georeferenciada, sendo os seus produtos sujeitos a um rigoroso controlo de qualidade, preservando o meio ambiente, indo ao encontro das normas internacionais aplicáveis, através de um Sistema Integrado de Qualidade e Ambiente.

O IGeoE é hoje um organismo certificado segundo as normas ISO 9001 e 14001 relativas, respectivamente, a Sistemas da Qualidade e Sistemas de Gestão Ambiental.

Conscientes da importância e da responsabilidade que as certificações referidas assumem, pela optimização e racionalização dos processos, pela redução dos desperdícios e tratamento dos resíduos produzidos, iremos prosseguir na senda da melhoria contínua, disponibilizando informação geográfica de elevada qualidade, devidamente validada e controlada.

Hoje em dia, a investigação científica e o desenvolvimento tecnológico, a par da garantia da qualidade e do respeito pelo meio ambiente, estão indissociavelmente ligados ao progresso, à modernização e ao desenvolvimento de um País, e é obrigação de todos os responsáveis, ao seu nível e no âmbito das suas atribuições, promovê-los e desenvolvê-los.

Esperamos assim, com o nosso contributo, concorrer para a eficiência do Exército, das Forças Armadas, e para o desenvolvimento Nacional.



Manuel Mateus Costa da Silva Couto  
Cor Cav Eng<sup>o</sup> Geógrafo

# As condicionantes da insularidade na aquisição de dados para Cartografia Topográfica

Trabalho apresentado no Encontro de Cartografia e SIG:  
Pico – Açores – Outubro 2002

➤ *António Cavaca, Major Art, Eng.º Geógrafo*

*Para cartografia topográfica vectorial, a média/grande escala, só a aquisição privilegiando a utilização da banda da luz visível, pode dar simultâneas garantias de grau de pormenor adequado, rigor geométrico e precisão numérica compatível na aquisição de dados de orientação, de modo a obter uma geometria de representação realista e uma georeferenciação suficientemente precisa.*

*Os sensores da banda do visível, analógicos ou digitais, têm uma componente funcional óptica significativa, o que lhes impõe janelas de operabilidade, face à conjugação de condições atmosféricas, luminosidade e morfologia do terreno, mais restritas que os sensores operando noutras bandas do espectro.*

*As ilhas atlânticas de origem vulcânica, apresentam especificidades em termos de relevo, períodos e áreas de exposição solar e condições climatéricas, geradoras de condicionantes na utilização da banda do visível.*

*Cartografar ilhas, impõe desde logo ao planeador e ao planeamento, um conjunto de variáveis não controláveis, cujo resultado prático se traduz num considerável grau de incerteza nos prazos de execução, nos custos de produção, e na qualidade final do trabalho.*

## Os sensores e a aquisição topográfica de ilhas

Nos tempos que correm, é vasta a gama de sensores para aquisição de dados que se coloca à disposição da cartografia moderna, utilizando diferentes bandas do espectro electromagnético e possibilitando diferentes graus de pormenor na aquisição de dados objecto.

A natureza e o objectivo da cartografia, o grau de verosimilhança pretendido (figuras 1 e 2) entre o objecto e a sua representação, a escala a que se pretende representar ou é cartograficamente representável o objecto, condicionam, tecnicamente, a opção pelo sensor a utilizar.

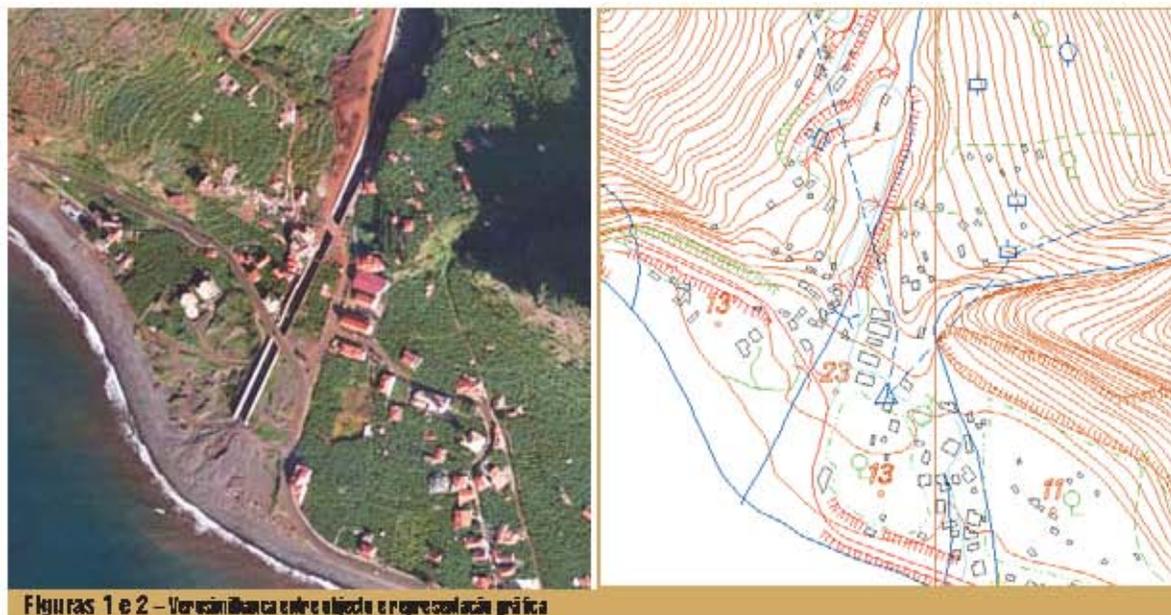
Na cartografia topográfica, vista pela perspectiva da essência do conceito de topografia, a pretensão é, claramente, a de representar graficamente e de forma inequívoca um determinado lugar, no respeito pela diversidade geométrica e toponímica dos objectos e realidades do terreno, que agrupados, consubstanciam os vários temas de informação geográfica de base territorial.

A exigente capacidade de discriminação propiciadora de elevados graus de pormenor topográfico, e o necessário rigor geométrico das entidades gráficas que, na representação, caracterizam os objectos, condicionam à partida a escolha do sensor principal para a aquisição de dados.

Se a esta ideia se juntar o facto de, as por vezes pequenas dimensões das áreas a representar, só terem expressão topográfica a médias ou grandes escalas (figuras 3 e 4), só um sensor de elevado poder resolvente poderá dar uma resposta eficaz.

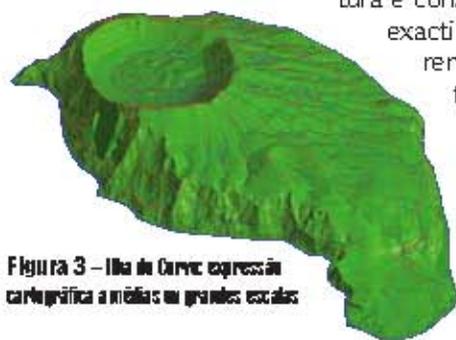
Tratando-se de cartografia de base, que se pretende concebida à custa de informação geográfica georeferenciada, e considerando os métodos de orientação directa, por si só, insuficientemente precisos para médias ou grandes escalas, então, a orientação terá de ser, inevitavelmente, condicionada a uma mais ou menos densa malha de pontos terreno.

Quanto maior for o poder resolvente do sensor, menor será a margem de incerteza nas leituras dos pontos terreno no espaço imagem, possibili-



**Figuras 1 e 2 – Verossimilhança entre objeto e representação gráfica**

tando maiores precisões na obtenção dos dados numéricos de orientação da cobertura e conseqüentes maiores exactidões de georeferenciação nos produtos cartográficos.



**Figura 3 – Ilha de Curuç: expressão cartográfica a médias e grandes escalas**

No que se refere aos dados saídos dos vários sensores disponíveis, é também de considerar, neste domínio da cartografia, a elevada certeza possível de ocorrer na interpretação ou tratamento de uma imagem real, RGB ou pancromática, por contraste com a inevitável incerteza na interpretação ou tratamento de



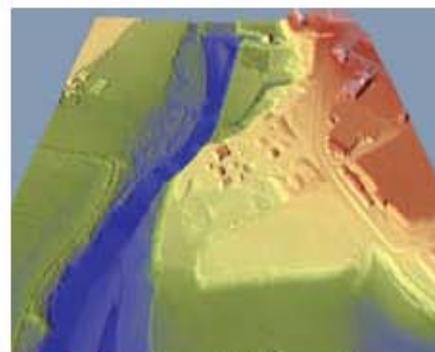
**Figura 4 – Selvagem pequena: expressão cartográfica a grandes escalas**

uma imagem complexa ou sintética, mesmo que, no segundo caso, tal seja feito em ambiente digital recorrendo a algoritmos de processamento robustos e relativamente fíaveis (figuras 5 e 6).

Ossensores da banda do visível, com um grande peso histórico na aquisição de dados para cartografia, são, sem dúvida, os que continuam a melhor responder aos requisitos a que até agora se fez referência, sendo pacificamente aceites como os mais adequados na aquisição para produção de cartografia topográfica, a média ou grande escala.



**Figura 5 – Uma imagem RGB: maior certeza na interpretação**



**Figura 6 – Uma imagem LASER (processada): maior certeza na interpretação**

Tal como em outras áreas da esfera de acção técnica, também neste campo, a perfeição é algo que teima em escapar ao humanos. Comparativamente com os sensores operando na banda das microondas, ou com os sensores laser, os sensores que operam na tradicionalmente chamada banda fotográfica, são aqueles que apresentam maior susceptibilidade de serem negativamente influenciáveis pelo meio, através de factores naturais exógenos ao processo cartográfico.

### Influência das especificidades de clima e orografia

As ilhas portuguesas do Atlântico Norte, dada a sua envolvente natural, e as latitudes a que se encontram, apresentam um clima com especificidades condicionantes à aquisição eficaz de dados utilizando sensores da banda da luz visível. Os tetos baixos, os elevados níveis de humidade atmosférica, a baixa frequência de ocorrência de atmosferas totalmente limpas, a instabilidade e a por vezes não previsibilidade rigorosa das condições atmosféricas, constituem-se como factores limitadores ao planeamento de uma cobertura aerofotográfica, que se pretende sem lacunas de informação (figura 7).

Por outro lado, por se tratarem de ilhas de origem vulcânica em que o principal agente erosivo são as chuvas, apresentam uma morfologia muito característica e algo "agressiva" ao processo cartográfico (figura 8), caracterizada por relevos bastante pronunciados e com varia-



Figura 7 – Região NE / Madeira: Ocorrência de lajeis frequentemente lajeas

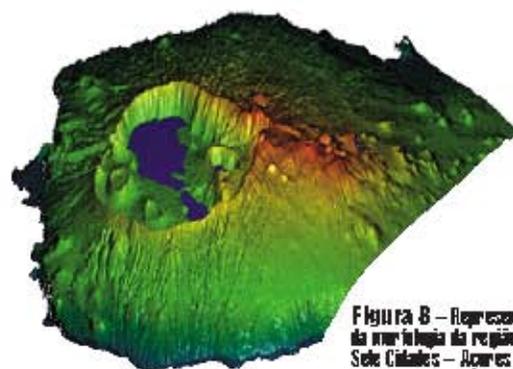


Figura 8 – Representação da morfologia da região das Sete Cidades – Açores

ções altimétricas consideráveis.

A existência de uma superfície topográfica apresentando diferenças de cotas elevadas entre linhas de fosto e talvegues adjacentes, por vezes ligados por declives bastante acentuados, limita, no tempo, os períodos de exposição solar em que é garantida a necessária homogeneidade na iluminação dos objectos de toda a área a levantar (figura 9).

Mesmo no período do ano em que a altura do sol acima do horizonte é máxima, só numa janela de tempo próxima do meio dia solar, com o sol a Sul, é possível garantir similares níveis de reflectância entre iguais objectos situados em diferentes planos de nível, com a agravante de, neste período do dia, se fazer sentir mais negativamente o efeito nefasto da luz difusa do céu.

Nas encostas mais inclinadas viradas a Norte, ou nas escarpas com a mesma orientação (figura 10), os períodos de exposição são muito reduzidos, sendo quase impossível garantir, nestas áreas, uma cobertura com luminosidade ideal. A alternância de sol e sombra, compromete o rigor da aquisição, inviabilizando-a inclusive em áreas de sombra total, por se constituírem como manchas de inexistência de informação (figura 11). Assim como não é possível alterar os tempos de exposição em partes do plano imagem do sensor, também não é possível, na revelação, processar quimicamente partes do filme de forma diferenciada, o que obriga a que, para se tentar obter os contornos dos objectos na zona de sombra, se "queime" a película na zona de maior energia, procedimento

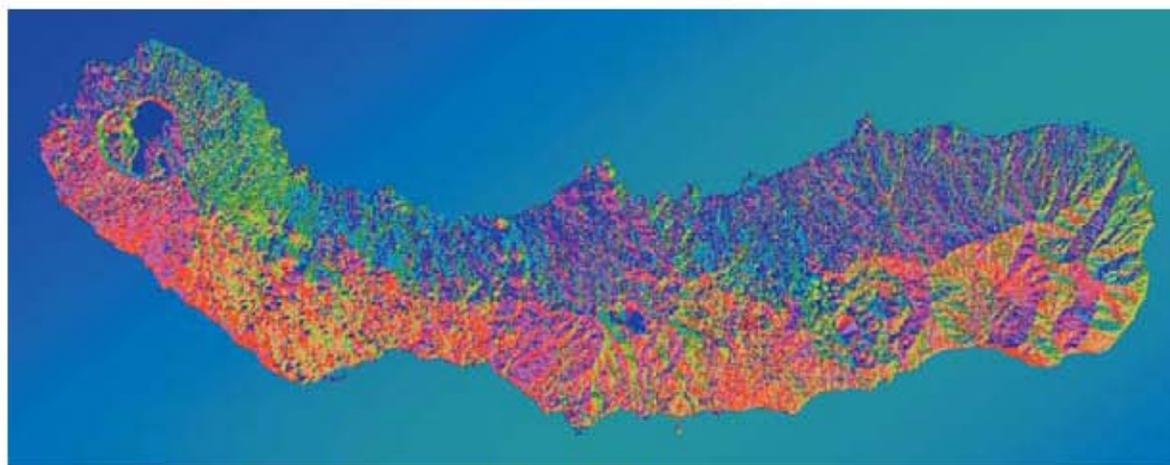


Figura 9 – Variação da exposição solar – maior tempo equivale a cores mais brilhante



Figura 10 – Madeira NE: Sombras quase permanente em escarpas viradas a norte



Figura 11 – Deserto: Orientação aproximada N/S sul e sombras quase inevitáveis

que se configura obviamente como inconsequente.

Se os factores climáticos e orográficos, quando considerados independentemente já apresentam consideráveis limitações, se analisados de forma conjunta agravam as dificuldades, dado que, são muitas as situações em que às relativamente boas condições de exposição, se juntam más condições de teto ou de transparência atmosférica, ou vice versa.

### Influências no processo cartográfico

#### Caderno de encargos

Para além da manifesta preferência, por alegadas razões logísticas, em executarem trabalhos no continente em detrimento dos trabalhos nas ilhas, negociar cadernos de encargos com empresas de fotografia aérea, para a realização de coberturas com esta envolvente geográfica, assume normalmente contornos invulgares. Desde logo na discussão das cláusulas técnicas de aceitação do trabalho, em que, a empresa tenta forçar a cláusula de aceitação das percentagens de áreas de lacunas motivadas por sombras ou nuvens, para valores acima dos normais. Se, por um lado, as percentagens acordadas forem relativamente elevadas, recairá sobre a cadeia de produção, um significativo acréscimo de trabalho de completagem e reconhecimento topo-

gráficos; se, por outro lado, as percentagens acordadas forem relativamente baixas, a probabilidade de parte da cobertura ser repetida em prejuízo da empresa, aumentam.

Do ponto de vista dos prazos de entrega do trabalho, estes só são aceites pela empresa, se não forem excessivamente restritivos, de modo a darem margem de manobra na procura das condições que permitam um trabalho lucrativo, e que satisfaça ambas as partes contratantes.

A parte financeira negociada, assume sempre valores muito superiores aos de igual área continental, não só pela distância entre a sede das empresas e o local do trabalho, mas principalmente por estas considerarem as coberturas das ilhas como um trabalho com riscos financeiros, dada a existência de uma série de variáveis não controláveis e pouco previsíveis, geradoras de impossibilidade de, à priori, se estimarem com rigor, as despesas na execução do trabalho.

### Plano de voo

A configuração geométrica de uma ilha, a orientação da sua orografia, as variações altimétricas e a escala de voo são os principais factores a ter em conta na definição da geometria da cobertura.

As ilhas, independentemente do seu processo de formação, apresentam normalmente a orientação da sua orografia mais significativa,

coincidente com a sua maior dimensão, o que definirá a direcção de orientação das fiadas de cobertura longitudinais.

Dadas as normalmente difíceis acessibilidades em ilhas, é vantajoso privilegiar fiadas de trancamento em detrimento do maior número de pontos de apoio no início e fim de cada fiada longitudinal. A forma arredondada das ilhas impõe um aumento de fiadas de trancamento, comparativamente com um bloco de voo continental com igual área, que normalmente apresenta uma forma quadrangular (figura 12).

As variações bruscas da altimetria obrigam a particionar fiadas, subindo a altitude de voo, em troços da fiada, para garantir homogeneidade de escala, ou pelo menos, para garantir uma escala média de voo com pequenos desvios em relação à média.

A escolha da escala de voo, inversamente proporcional à altura acima da cota média do solo, em ilhas, representa sempre uma solução de compromisso.

Numa situação de atmosfera limpa, o ideal é voar a uma escala o mais pequena possível, desde que, os erros inerentes sejam aceitáveis à escala da representação. A mais pequena escala possível, representará menor número de fiadas a voar, menor número de fotogramas a processar, menor número de modelos estereoscópicos em aparelho, ou seja, menores custos para o produtor da cartografia.

Em ilhas, e porque os tetos são frequentemente baixos, opta-se normalmente por escalas um pouco maiores do que o estritamente necessário, baixando a altura de voo, “à procura” de atmosferas limpas, assumindo-se, logo à partida, um aumento nos custos de produção.

Outro dos problemas que se coloca ao planeamento de voos em ilhas, surge no facto de, com alguma frequência, na proximidade de uma ilha de maior dimensão existirem ilhéus ou rochedos com ex-

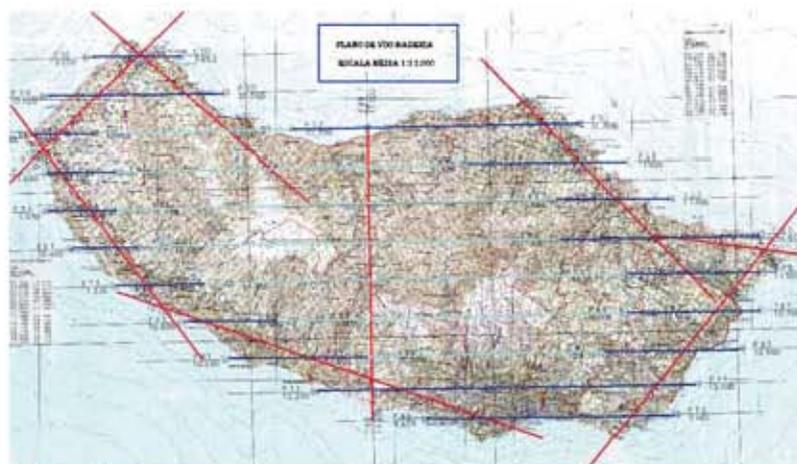
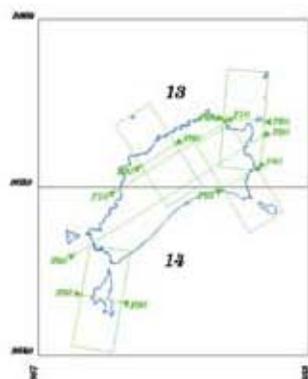


Figura 12 – Plano de Voo – Maldivas – Escala média 1/12000 – fiadas de trancamento (vermelho); fiadas longitudinais com particionamento (azul escuro / azul claro)



**Figura 13 – Ilha de Porto Santo: Plano de voo com quatro fiadas apoiadas, a dois disparos cada, para enquadrar os rochedos envolventes.**

pressão, ou valor cartográfico, para serem restituídos, mas de acessos difíceis para apoiar, senão mesmo inacessíveis.

Se os dados de orientação directa fossem suficientemente fiáveis, poder-se-ia planear uma fiada mais baixa sobre os rochedos, com dois disparos, e o problema resolver-se-ia. Como tal não é possível, a solução terá de passar por planear uma fiada mais alta do que a cobertura geral, apoiada na periferia da ilha maior, de modo a simultaneamente enquadrar parte da ilha maior e os rochedos ou ilhéus (figura 13). Com este procedimento, para além de se aumentar o número de exposições, corre-se o risco de, caso a distância entre as duas massas terrestres seja elevada, não existir um teto suficientemente alto, de modo a viabilizar esta solução técnica.

### Apoio da cobertura

Qualquer que seja o método de orientação apoiada utilizado, a malha de pontos de apoio, para ser eficaz em morfologias insulares vulcânicas, terá de ser mais densa do que o preconizado nos modelos standard para orientação de coberturas.

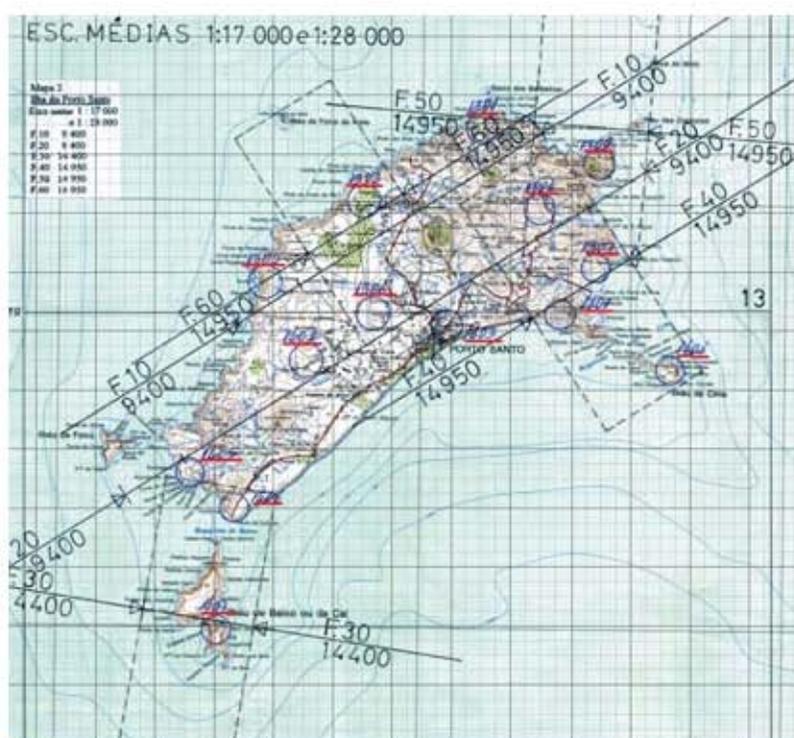
Considerando que, hoje em dia, todas as coberturas são apoiadas com apoio aéreo cinemático a precisões compatíveis nos elementos de posição, pode tomar-se como aceite, a ideia de orientações com “apoio mínimo”, no entanto, esse mínimo, no presente cenário, continua a ser considerável.

A quebra da regularidade do alinhamento das fiadas, ou a alteração de escala entre fiadas, deverá ser compensada com a existência de

pontos simultaneamente existentes no espaço objecto e no espaço imagem, de modo a garantir a necessária continuidade geométrica, para, por triangulação e ajustamento, obter os elementos de orientação da cobertura. Assim, o número de pontos fotogramétricos, aumentará fruto do relativamente elevado número de fiadas de trancamento, aumentará tanto mais quanto mais zonas de sobreposição entre fiadas de diferentes escalas existirem, aumentará também tanto mais, quanto maior for o número de partições por fiada (figura 14).

O modelo de apoio académico, nomeadamente para orientação por correlação de imagem, à custa de quatro pontos de apoio nos cantos do bloco e um no centro, não tem qualquer eficácia em blocos de voo de geometria irregular e com grandes variações de relevo, como é o presente caso.

Se a este acréscimo na necessidade de apoio corresponder um decréscimo na facilidade de acessos a alguns dos locais ideais, a complexida-



**Figura 14 – Ilha de Porto Santo: Plano de voo para um voo com apoio aéreo cinemático e respectivo apoio terreno para garantir apoio da cobertura, ligação em áreas de alteração de escala e apoio dos ilhéus.**

de do apoio da cobertura será ainda maior, traduzindo-se em custos também eles mais elevados.

### Orientação da cobertura

Para coberturas com apoio aéreo cinemático e assumindo como insuficientes as precisões associadas aos três elementos de atitude dos sistemas inerciais, a orientação terá de ser obtida por triangulação aérea, através do condicionamento a uma malha de pontos terreno. Para tal, poder-se-ão utilizar algoritmos que combinam operações de triangulação e ajustamento geométricos com operações de correlação radiométrica de imagens, ou poder-se-ão utilizar algoritmos de triangulação e ajustamento puramente geométricos.

Com o primeiro tipo de algoritmos, o êxito da triangulação e do ajustamento numéricos, depende da fiabilidade com que anteriormente as imagens do bloco tiverem sido “relativizadas” por correlação radiométrica nas áreas de sobreposição, com especial importância nas correspondentes às áreas de Von Gruber.

As manchas com elevada homogeneidade de valor de *pixel*, como é o caso das zonas de sombra total, são, por natureza, áreas que apresentam baixos índices de correlação. Quando a correlação acontece nestas áreas, nomeadamente por se ser tolerante no coeficiente mínimo de correlação imposto à priori, esta traduz-se, em muitos casos, na obtenção de soluções erráticas, dando origem às chamadas áreas de correlação suspeita (figura 15).



Figura 15 – Área de correlação suspeita: é visível que geometricamente não se tratam de pontos homólogos verdadeiros

O surgimento destas áreas suspeitas traduz-se na existência de supostos pontos homólogos em coordenadas imagem, cuja posição relativa em cada um dos referenciais bidimensionais do par, impõe desvios acima da tolerância. Na prática, se estes pontos de correlação não forem anulados, produzirão um efeito de arrastamento de uma imagem em relação à outra, impondo valores de paralaxe residual no modelo, que põem em causa a obtenção da terceira dimensão da matriz imagem, com rigor adequado.

Por outro lado, se se for mais exigente em termos de coeficiente de correlação, (próximo de 1), o algoritmo, operando em torno das áreas de Von Gruber, é suficientemente “inteligente” para se afastar das zonas de má correlação, podendo, inclusivé, não encontrar nenhum ponto de correlação fiável numa determinada área (figura 16).

Quanto mais áreas de Von Gruber estiverem na sombra, menor será a redundância no ajustamento do processo, podendo-se chegar a situações de perda de convergência, e por conseguinte ao surgimento indesejado, de modelos sem solução de correlação.

A triangulação por correlação de imagem, apresenta a vantagem de proporcionar ao utilizador elevados níveis de interacção, nomeadamente no que se refere à utilização de ferramentas de análise numérica; possibilita também a utilização de alguns automatismos, com o consequente ganho em tempo.

Em imagens com a habitual distribuição radiométrica resultante das coberturas das ilhas

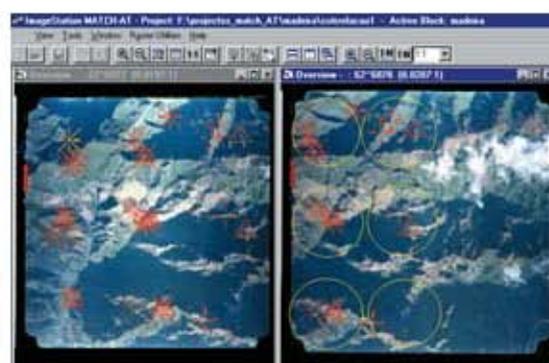


Figura 16 – Correlação com coeficiente imposto próximo de 1: O algoritmo “liga” as zonas de sombra nas áreas de correlação

em estudo, o mais seguro é triangular a partir de leituras feitas por um operador, utilizar algoritmos de triangulação puramente algébricos, executar as operações minimizando a utilização de automatismos, ou seja, com total controlo sobre os processos. Os gastos em tempo terão assim de ser substancialmente maiores, mas minimizam-se as possibilidades de ocorrência de erros numéricos nas orientações.

### Verificação e validação dos dados de aquisição

Quanto mais significativas forem as lacunas fotográficas, por sombras ou nuvens, maior será o peso dos trabalhos em matéria de reconhecimento e completagem (figura 17).

A Informação geográfica que não puder ser extraída directamente da cobertura, terá de ser obtida por outros métodos de aquisição, entrando no processo cartográfico como informação adicional (figuras 18 e 19).

O trabalho de campo assume, neste caso, um papel preponderante, no entanto, a existência de consideráveis áreas de lacunas, como é o caso habitual em coberturas das ilhas, coloca as campanhas topográficas, logisticamente próximas do financeiramente inviável.

Tratando-se de cartografia de base, e no presente de cartografia de base em formato digital, impõe-se o necessário e compatível rigor na definição geométrica e na georeferenciação dos objectos terreno. No entanto, executar em nome deste rigor, o levantamento topográfico de cada realidade terreno cartografável, por métodos de topografia clássica, ou mesmo por métodos de topografia espacial, obrigaria a um tempo de permanência das equipas no campo, que aumentariam inoportavelmente os custos de produção. A opção terá, nestes casos, de passar por uma solução de equilíbrio entre o rigor posicional e geométrico da informação adicional e o custo das campanhas topográficas.

Em alguns temas de informação geográfica que apresentem, no tempo, baixos níveis de desactualização, como é o caso da altimetria ou da hidrografia, pode utilizar-se, como informação de partida para trabalhos de campo, a correspondente às áreas de lacuna adquirida



Figura 17 – Ilha da Madeira: zona de sombra



Figura 18 – Informação vectorial altimétrica com possibilidade de ser extraída (da fig. 17)

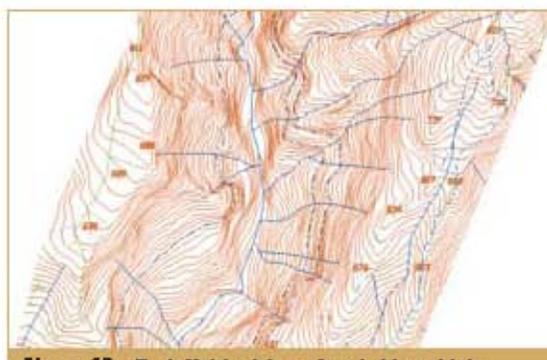


Figura 19 – Ilha da Madeira: Informação vectorial completa com informação antiga

em anteriores edições, aligeirando-se assim o trabalho relativo a estes temas, dado que, neste caso, não é necessário adquirir de novo, mas sim apenas validar.

As nem sempre boas ou fáceis acessibilidades e as frequentes condições climatéricas adversas, são também, nesta fase do processo cartográfico, factores que pesam negativamente no andamento dos trabalhos.

### Utilização dos dados de aquisição para produção

Optando pelo conceito de cartografia topográfica num sentido menos clássico, poder-se-á dividir este tipo de cartografia em duas áreas de representação complementares, por um lado englobando produtos de informação vectorial, e por outro, produtos de informação imagem.

No âmbito da cartografia vectorial, as áreas de ocultação de informação por nuvens ou sombras, condicionam fortemente a vectorização por estereo-restituição ou por qualquer outro método, na medida em que, mesmo que a sombra ou o mascaramento pelas nuvens não sejam totais, as arestas que materializam os contornos dos objectos ou são deficientemente definidas, ou se apresentam descontinuadas.

Poder-se-á, em suporte digital, através da utilização de ferramentas de manipulação, executar uma melhoria da radiometria da imagem que permita diferentes combinações de brilho e contraste nestas áreas, possibilitando assim,

de um ponto de vista teórico, uma melhor discriminação entre o objecto e o espaço circundante. As capacidades destas ferramentas são obviamente limitadas, na medida em que, não é possível retirar da imagem o que ela originalmente não tem.

No processo fotogramétrico, para produção de vector georeferenciado, estas áreas constituem-se como áreas de lacuna, aguardando a chegada de informação obtida por outros meios de aquisição, no sentido de completar a informação vectorial adquirida, para a poder enviar para uma base de dados geográfica ou directamente para edição.

Para produção de cartografia imagem, os problemas não são menores, desde logo para gerar o modelo de terreno que permita a ortorectificação das imagens.

Só existem duas formas de modelar digitalmente o terreno, ou por correlação de imagem ou por interpolação da informação vectorial. Para o primeiro caso, os algoritmos de correlação para modelar vão encontrar os mesmos problemas já referidos para os algoritmos de orientação por correlação.

No segundo caso, por interpolação do vector, a modelação será tanto mais fina e real quanto mais densa for a informação vectorial de base.

Em zonas de sombra total, abaixo de uma determinada cota, a inexistência de informação vectorial tridimensional daí extraída, vai fazer com que o algoritmo de modelação corte o terreno através de superfícies mais ou menos regulares e mais ou menos planas, obtendo-se



Figura 20 – Ilha da Madeira: Modelo obtido apenas com a informação estranha (modelo irrealista)



Figura 21 – Ilha da Madeira: Modelo obtido com a informação estranha mais antiga (modelo realista)

um modelo totalmente irreal nas zonas de lacuna (figuras 20 e 21).

Nos vales com sombra, onde o operador de fotogrametria não conseguiu traçar com rigor a respectiva linha de água, ou a traçou sem estar pousada sobre o terreno, o modelo será pouco realista, num caso, por falta de linhas de quebra no fundo do vale, no outro, por quebrar acima ou abaixo da cota certa.

Todas estas incongruências entre o modelo e o objecto, vão fazer sentir-se negativamente na geometria e na métrica da ortofotocarta.

As zonas de inexistência de informação imagem nas coberturas são muito complexas, não só por criarem um problema de difícil resolução nos patamares iniciais e intermédios da produção, como pelo facto de, no final, imporem um elevado nível de degradação da qualidade cartográfica do produto.

## Conclusões

Embora a cartografia topográfica de ilhas não possa, ou não deva, ser considerada uma odisséia, o que é certo é que, a execução de trabalhos cartográficos em áreas insulares ou em áreas continentais, traduzem diferenciadas dificuldades na aquisição de dados.

Sendo de pacífica aceitação que a qualidade do produto cartográfico, depende, em boa medida, da qualidade dos dados no terreno adquiridos, parece claro que, a qualidade da cartografia de ilhas, nas condições do presente traba-

lho, terá grandes probabilidades de ficar aquém do desejado.

O processo de produção de cartografia, levado a cabo por entidades públicas ou privadas assume custos, custos esses, que terão de caber necessariamente dentro dos orçamentos disponíveis.

A questão da aceitação à priori de alguma probabilidade de perda de qualidade na cartografia topográfica de ilhas, não é, por isso, resultado do "tecnicamente impossível", mas sim do "economicamente inviável".

Para terminar o presente trabalho e não querendo deixar uma imagem excessivamente fatalista, poder-se-á sustentar a ideia de que:

*"nem a cartografia escapa aos contratempos da insularidade"*

## Bibliografia

**FERREIRA, Amorim** – O Clima de Portugal: Açores e Madeira. Serviço Meteorológico Nacional, Lisboa, 1955.

**KIEFER, Lillesand** – *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley, Fourth Edition, New York, 2000.

**WOLF, Paul** – *Elements of Photogrammetry*. McGraw-Hill Kogakusha Ltd, Madison, 1974.

**ZI Imaging** – *Automatic Triangulation User's Guide*. Huntsville 2001. 

# A exactidão posicional em cartografia digital

> José Rossa, Tenente-Coronel Art, Eng.º Informático

*Na implementação de sistemas de informação geográfica, é utilizada uma grande diversidade de fontes de informação georeferenciada com características muito diferentes, no que diz respeito à origem, processos de produção, formas de representação e exactidão posicional da mesma. De acordo com as futuras normas da International Standards Organization (ISO) 19113 e 19114 os elementos de qualidade são: a exactidão posicional, consistência lógica, completude, exactidão temporal e exactidão temática. Neste trabalho apenas será abordada a exactidão posicional, isto é, pretende fazer-se uma abordagem sobre os erros associados ao posicionamento da informação num processo de restituição fotogramétrico digital. Foi escolhido este processo por ser considerado bastante exacto e envolver um número elevado de fontes de erro.*

## Evolução do sistema de produção cartográfico

**D**esde o início da produção da cartografia o erro da mesma assume sempre um papel importante. O erro é resultado de diversos factores. O primeiro de todos resulta da projecção cartográfica, ou seja, da transformação duma superfície curva numa superfície plana por meio de processos analíticos, como é o caso da maioria das projecções utilizadas em cartografia. À medida que a tecnologia vai evoluindo os equipamentos vão sendo cada vez mais precisos, e como consequência, o erro associado a estes vai diminuindo. No início, nos levantamentos com prancheta podíamos ter erros associados ao mau nivelamento da prancheta, às observações, registos e cálculos das direcções e distâncias, entre outros. Com o aparecimento da fotografia aérea deu-se um importante salto em frente, diminuindo bastante o trabalho de campo e os erros associados ao mesmo. No entanto, os erros passaram a ser resultantes doutros factores. Vamos ter uma fotografia que não é mais do que uma projecção cónica numa determinada escala. A distorção da lente da câmara não é uniforme, pelo que tem de ser determinada para posterior correcção. Passou a haver um erro associado ao apoio fotogramétrico, inicialmente feito par a par (entre fotografias adjacentes da mesma fiada) e hoje em dias por aerotriangulação automática. Os pontos de apoio (PA) não são perfeitamente definidos no terreno e na fotografia. A sua marcação na fotografia é materializada por um círculo que tem um determinado raio. Com a introdução da triangulação aérea (TA) em vez de ser necessário levantar seis pontos por par de fotografias (modelo), passou-se à determinação das coordenadas de vários pontos num bloco de fotografias, designados por pontos fotogramétricos (PF). Nestes pontos, estão incluídos os pontos de controlo (PC) obtidos por *Global Positioning System* (GPS). O processo baseia-se em pontos de coordenadas conhecidas com os quais vão ser calculadas coordenadas para outros pontos, pontos artificiais, que apenas são medidos nas fotografias, diminuindo assim a necessidade de apoio no campo. Neste proces-

so como vamos ter pontos, cujas coordenadas são conhecidas podemos logo à partida determinar o erro associado à compensação do bloco de fotografias. No entanto, não é possível determinar a quantidade do erro que deriva de má leitura de pontos, do erro associado às coordenadas dos pontos que são fornecidas, etc. A rede geodésica nacional é estabelecida pelos métodos do posicionamento geodésico, a partir dum datum geodésico local. Assim, são materializados pontos na superfície designados por vértices geodésicos, entre os quais são medidos ângulos de forma a constituir-se uma rede geodésica, formada por triângulos. É medida, pelo menos, uma base e um azimute astronómico. Por fim são propagadas as coordenadas geodésicas a partir do datum a todos os vértices da rede. A rede geodésica é resultado dum compensação, uma vez que são feitas leituras em todos os vértices que a compõem. No entanto o erro associado a esses cálculos é desconhecido, isto é, não é considerado já como erro, aquele que deriva do processo de triangulação e compensação da rede. A evolução continua, com o aparecimento da fotografia digital, que permite a triangulação aérea automática, tendo como base a correlação de imagens. No entanto, este processo de digitalização da fotografia ou obtenção da fotografia digital tem logo à partida um passo que vai limitar a sua exactidão, que é a discretização dum elemento que até agora era tido como contínuo e rigoroso. O único factor de limitação da exactidão era o factor de ampliação. A fotografia digital leva ao aparecimento dum novo termo no léxico cartográfico, que é a resolução da fotografia digital. Se cada *pixel* da fotografia tiver uma dimensão no terreno de 5×5 metros não podemos esperar obter uma exactidão de 0.2 metros, por exemplo. Assim, logo à partida estou a limitar o valor inferior do intervalo do erro que vou obter. O suporte de representação da cartografia também tem evoluído ao longo dos tempos. Temos cartas impressas resultantes do desenho da informação em espelho numa pedra. Estas cartas são verdadeiras obras de arte pela paciência e rigor com que a informação era desenhada. A impressão em papel

acompanhou o desenvolvimento da litografia desde o preto e branco até à cor. O processo da cor teve início com a impressão de cores directas em que é produzido um fotolito por cada cor impressa, depois evoluiu para a quadricromia, em que com quatro cores é possível imprimir imagens. Desde o final do último século, tem-se constatado o abandono da necessidade da existência do fotolito sendo a impressão feita directamente sobre as chapas que vão ser colocadas nas máquinas de impressão. Hoje em dia, o suporte da informação é digital, e por conseguinte, é possível imprimi-la a pedido em impressoras de alta resolução com uma qualidade próxima da que se obtém na litografia. Estamos na era da chamada impressão digital. Falando agora de erros, no início quando se desenhava a carta manualmente era aceite o chamado erro de graficismo, 0.2 mm da escala de desenho, o factor limitador era a espessura do dispositivo de desenho e a espessura mínima do traço que podia ser impresso. Na era da impressão digital o factor limitador é o rigor do dispositivo de impressão, e a qualidade do papel utilizado que pode alastrar mais ou menos a tinta (ganho de ponto). A espessura mínima do traço é muito superior à do processo litográfico assim como o controlo da cor ainda não atingiu a qualidade exigida em documentos cartográficos. Numa impressora vulgar do mercado com capacidade para tamanhos A0, podemos obter erros de impressão da ordem de vários mm, sem que nos apercebamos do facto. Estamos num contra censo, neste momento existe *software* que permite o desenho com um rigor muito grande, no entanto esse rigor perde-se quando é transposto para o papel. Apenas dispositivos muito caros e que utilizam processos fotográficos conseguem, até agora, manter a escala de impressão dentro dos limites aceitáveis para produção de cartografia.

Outro tipo de erro que deve ser tido em consideração são as omissões de informação ou a má interpretação da mesma. A validação deste tipo de erro não tem sofrido alterações ao longo da evolução dos processos cartográficos e foi difícil de quantificar até ao aparecimento da fotografia digital. A sua validação tem sido por

comparação de dois documentos distintos: a fotografia e a impressão da informação restituída. Actualmente tendo a informação resultante da restituição e a da fotografia, ambos em formato digital e georeferenciadas, é possível fazer a sobreposição da informação restituída sobre a fotografia digital. Com este processo é possível fazer a validação quanto aos erros de omissão, comissão, ou seja, a completude, consistência lógica e exactidão temática.

O sistema fotogramétrico analógico com aquisição digital começou de forma isolada em meados do anos 70. Actualmente o sistema fotogramétrico é também digital e completamente integrado na cadeia de produção através de redes de dados, que permitem um fluxo de informação numa forma fácil e rápida.

### Sistema de produção actual do IGeoE

#### Características dos voos

O tipo de filme usado é fundamental para se obterem imagens do terreno adequadas aos processos que vão seguir-se. O filme não é mais que uma base plástica (*poliester*) sobre a qual é espalhada uma emulsão gelatinosa contendo micropartículas de sais sensíveis a vários comprimentos de onda. A base de *poliester* não deve sofrer dilatações nem torções, isto é, deve possuir uma grande estabilidade dimensional. Outros cuidados a ter em consideração sobre o processamento de filmes e sua digitalização são descritos em Mello et al. (2001)

Desde meados da década de 90 que a cadeia de produção do IGeoE passou a utilizar exclusivamente fotografias aéreas a cores. São fornecidas pela empresa que efectua o voo juntamente com as coordenadas WGS84 dos centros de projecção de cada uma delas. Ultimamente foram feitas experiências com sucesso em que a empresa que efectua o voo fornece para além das coordenadas do centro de projecção a atitude do avião no momento do disparo, ou seja,  $\Phi$ ,  $\Omega$  e  $\kappa$ . Neste método é necessário uma prévia calibração da atitude do avião com vista a determinar  $\Delta\Phi$ ,  $\Delta\Omega$  e  $\Delta\kappa$ , ou seja, os desvios a serem utilizados na correcção. Para determi-

nação destes valores de correcção é efectuado um pequeno bloco de fotografias, utilizando o método clássico de triangulação aérea, com o objectivo de determinar os valores de  $\Phi$ ,  $\Omega$  e  $\kappa$  para cada fotografia. Estes valores são comparados com os valores fornecidos pelos instrumentos de bordo do avião e determinadas as diferenças entre ambos. No final é determinado o valor médio para o bloco, que corresponde à média dos desvios de cada fotografia para  $\Phi$ ,  $\Omega$  e  $\kappa$  e que passam a constituir os valores de correcção  $\Delta\Phi$ ,  $\Delta\Omega$  e  $\Delta\kappa$ . Após a sua determinação é voado o bloco completo e corrigido com os valores determinados pelo processo anterior. Cada vez que a câmara for retirada e colocada na aeronave, este processo de determinação dos valores de correcção terá de ser efectuado, assim como se um novo bloco a voar se situar muito distante daquele onde a calibração foi efectuada.

Actualmente está a processar-se uma grande mudança nos sistemas de posicionamento e orientação espacial (georeferenciação) de fotografias aéreas. A *Applanix* desenvolveu um sistema de posicionamento e orientação espacial (POS) que integra a precisão do GPS com tecnologia inercial de forma a fornecer continuamente os valores da posição, *roll*, *pitch* e direcção do avião. O sistema de posicionamento e orientação espacial POS/AV-DG™ é desenhado para a georeferenciação de fotografias aéreas. Integra a mais recente tecnologia de sensores inerciais, tecnologia GPS e *software* de pós-processamento. O sistema mede a posição (X, Y, Z) do centro de projecção e os elementos de rotação (*omega*, *phi*, *kappa*) para cada fotografia. Este tem uma precisão de 5-10 cm na determinação do centro de perspectiva e de 20-30 arcsec na orientação dos ângulos de rotação. Esta precisão permite a georeferenciação da fotografias aéreas sem ser necessário efectuar a triangulação aérea e com pouco ou nenhum apoio de campo, para escalas médias. Uma descrição mais completa do sistema pode ser encontrada em Mostafa (2001).

Para grandes escalas, como sejam 1/500, este sistema pode ser usado como dados de partida para a triangulação aérea automática,

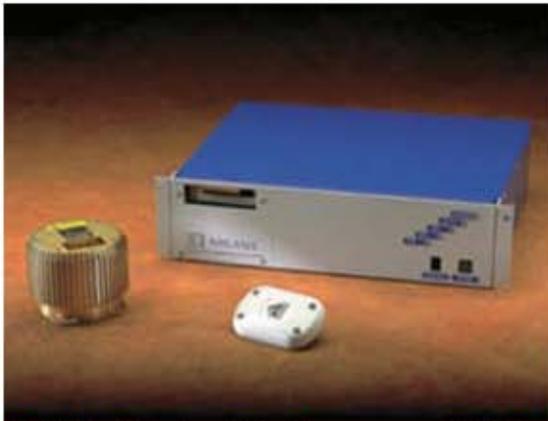


Figura 1 – Sistema de controle inercial

Fonte: D Systems

permitindo à partida uma mais rápida correlação de imagens.

Um grande avanço deste sistema será quando a correcção da atitude do avião no momento do disparo puder ser corrigida pelo estabilizador da máquina em tempo real. Desta forma, as fotografias aéreas em filme poderiam ser obtidas numa forma perfeitamente vertical, neste momento como esta correcção é feita à posterior apenas as fotografias digitais podem ser corrigidas. Existem avanços nesta área com o sistema *Forward Motion Compensation (FMC)*, ainda com algumas limitações para câmaras de fotografia aérea que utilizam filme, de acordo com Heier (2001).

A fotografia aérea digital também está a sofrer um grande desenvolvimento, neste momento existem duas correntes tecnológicas: uma ba-

seada numa linha de sensores e outra baseada numa matriz de sensores.

A primeira está a ser desenvolvida pela *LH Systems* e é designada por *Airborne Digital Sensor 40 (ADS40)*. Esta câmara tem três linhas de sensores, capturando informação pancromática, uma capta informação para a frente da direcção de voo, outra à vertical da direcção de voo e a última para a retaguarda da direcção de voo. Na solução desenvolvida para a ADS40 cada sensor é constituído por duas linhas de 12 000 células *Charged Couple Device (CCD)* desfasadas de meio *pixel* ( $3.25 \mu\text{m}$ ). Conjuntamente com estes três sensores esta câmara contém quatro linhas de sensores com 12000 células para aquisição de informação multiespectral. A aquisição é feita nas seguintes bandas do espectro electromagnético: vermelha ( $535\text{-}660 \mu\text{m}$ ), verde ( $430\text{-}490 \mu\text{m}$ ), azul ( $430\text{-}490 \mu\text{m}$ ) e infra-vermelho próximo ( $835\text{-}885 \mu\text{m}$ ). Desta forma este sistema integra a capacidade de produção de informação para fotogrametria assim como para detecção remota.

Utilizando a mesma corrente tecnológica de linha de sensores no domínio da fotografia aérea digital temos ainda a *High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A)*, originalmente desenvolvida para as missões aeroespaciais a Marte, desde 1997. É uma câmara com nove linhas de sensores com capacidade multi-espectral e multi-estereo, que fornece imagens digitais ortorectificadas e modelos digitais do terreno com uma exactidão de 20-30 cm. Cinco linhas de CCD são pancromáticas e dis-

postas de forma a captarem em ângulos diferentes segundo a direcção de voo, fornecendo várias imagens com capacidade de estereoscopia e as outras quatro têm filtros para captarem informação em comprimentos de onda específicos, fornecendo a informação multi-espectral. Para uma altitude de voo de 6000 metros, o *pixel* tem uma resolução espacial de 24 cm e uma exac-



Figura 2 – Esquema da integração de sistema inercial com o pós-processamento

Fonte: D Systems

tidão de 20 cm, em X e Y e de 30 cm em Z, segundo Lehmann (2000). A câmara está a ser desenvolvida pelo Instituto de Exploração Planetária do Centro Espacial Alemão (DLR) em Berlim. A câmara é montada numa plataforma estabilizada Zeiss T-AS e o movimento da plataforma é compensado pelo sistema de posicionamento e orientação espacial *Applanix POS*. A posição e orientação espacial durante o voo resultam da medição de forma contínua por um GPS diferencial e pelo Sistema de Navegação Inercial (INS).

A segunda é a seguida pela *Z/I Imaging*, no sistema Digital Modular Camera (DMC) 2001, (figura 3). A imagem final é obtida através da aquisição de várias imagens adquiridas por câmaras diferentes e independentes. O sistema é composto por um número variável de câmaras baseadas numa matriz de CCD operando numa forma sincronizada. Quatro câmaras paralelas podem captar informação multi-espectral nas bandas do vermelho, verde, azul e infravermelho próximo. Outras quatro câmaras podem fazer a aquisição de quatro imagens pancromáticas, que depois de efectuado o mosaico automático formam uma única imagem



Cone de lentes com cabeças pancromáticas

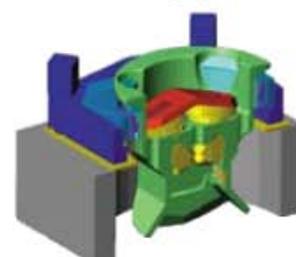


Figura 3 – Aspecto da câmara DMC 2001 com FMC Fonte: Z/I Imagers

de alta resolução. Ambas as imagens cobrem a mesma área de terreno.

Uma descrição técnica mais pormenorizada pode ser encontrada em Hinz (2000). A figura 4 esquematiza a forma como todo o sistema é instalado na aeronave, de acordo com Heir (2001).

Sobre estes dois tipos de tecnologia existem vantagens e desvantagens que podem influenciar logo à partida a exactidão posicional dos objectos existentes na imagem. À primeira vista poderá parecer que para fins fotogramétricos a solução baseada em matriz de células é mais adequada uma vez que toda a área da fotografia é obtida em simultâneo, no entanto a

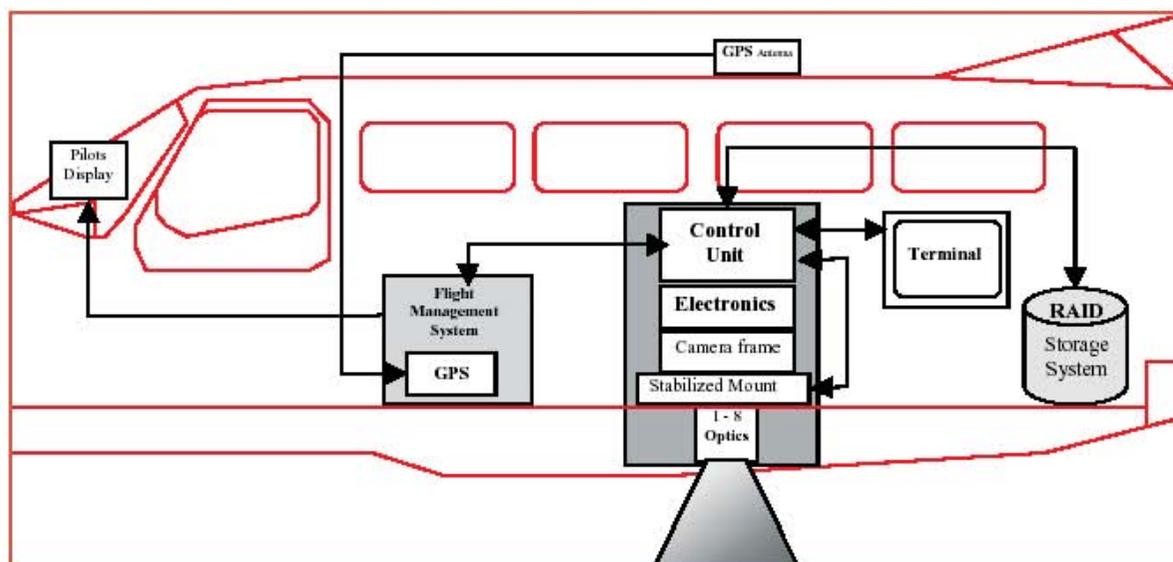


Figura 4 – Esquema da instalação do sistema na aeronave

Fonte: Z/I Imagers

obtenção da imagem de alta resolução resulta da junção de quatro imagens.

Ambos os sistemas apenas permitem imagens de alta resolução pancromáticas.

A pesquisa está a avançar em duas direcções completamente distintas: uma anteriormente exposta que vai na direcção de evitar a necessidade ou reduzir bastante o trabalho de campo, isto é, deixar de haver necessidade de executar a triangulação aérea, e desta forma diminuindo o número de processos necessários, que são sempre fonte de erros aleatórios e/ou de erros sistemáticos; e outra direcção de pesquisa que devido aos elevados custos do sistema anterior, se tem debruçado sobre a pesquisa processos de fazer a ortorectificação de fotografias a partir de câmaras fotográficas digitais não métricas. Por enquanto o objectivo tem sido a produção de mosaicos de fotografias.

Existem vários trabalhos nesta área como por exemplo em Tommaselli (2001) onde são enumerados os requisitos necessários para uma câmara não-métrica e em Ferreira (2001) é descrito um projecto em que é usada esta tecnologia.

### **Digitalização das fotografias aéreas**

Após a revelação do filme, que deve ser efectuada imediatamente após a sua exposição para que não haja degradação das cores, este encontra-se pronto a ser utilizado. Normalmente, o filme utilizado é negativo porque o processo de revelação é mais simples e rápido do que o processo positivo e permite introduzir correcções radiométricas. No entanto para obter-se a imagem digital, este terá de ser digitalizado. Se o *scanner* tiver capacidade de digitalizar directamente o filme negativo evita-se a sua transformação de negativo para positivo, utilizando o processo fotográfico, recorrendo a uma prensa de contactos e a uma nova revelação, que vai alterar os seus valores radiométricos inicialmente adquiridos. No entanto, em muitos casos recorre-se a este processo exactamente para corrigir problemas na revelação do negativo, coisa que seria impossível caso o filme inicial fosse positivo.

Pelo que, antes da digitalização das fotografias deve haver um cuidado de se fazer uma

correcção e uniformização radiométrica da fotografia no momento da realização do diapositivo, ou seja, na passagem de negativo para positivo. Existem no mercado prensas de contacto que fazem uma leitura prévia do negativo para calcular os valores da correcção na passagem para positivo. Esta fase é importante porque a imagem é corrigida localmente e não como um todo. Um aspecto importante é a verificação da densidade de CMY nos tons de cinzento que deve ser idêntica. Esta verificação é feita com um densitómetro de opacos que mede a reflectância da cor. Quando não existe uma uniformidade de CMY nos tons de cinzento temos imagens amareladas se a cor predominante for o amarelo ou azuladas se for o cian.

Outro factor importante a ter em consideração é a digitalização propriamente dita. Este processo vai transformar um documento, que tem uma continuidade radiométrica e geométrica num documento discreto. Radiometricamente o número de tons de cinzento é finito, normalmente 0-255 por canal. A digitalização é feita normalmente utilizando um filtro que permite a passagem da componente (comprimento de onda) do vermelho até aos sensor, que vai quantificar em valores de 0 a 255 conforme a sua intensidade. Existe ainda, outro filtro para a captação das intensidades da componente verde e outro para a componente azul. Podemos inferir que este processo não é uniforme em todos os dispositivos de digitalização pois os filtros não têm todos as mesmas características assim como os sensores e o algoritmo de quantificação dos valores de cinzento (VDC) são diferentes. A não uniformidade está também associada à sensibilidade de cada sensor. Um sensor diferente pode dar um valor radiométrico diferente para a mesma zona. Existem várias formas de compensar esta não uniformidade, desde ter um sensor de referência até a mesma zona ser medida por sensores diferentes com a finalidade de se obter um valor médio. Um factor a ter em consideração é o de utilizar as mesmas condições na digitalização de todas as fotografias. Como solução deste problema existem os sistemas de gestão de cor, que vão medir as diferenças entre os VDC lidos pelos sensores e os

VDC reais, criando curvas para efectuar as correcções em cada uma das cores.

Quando a fotografia é digitalizada deixa de ser um espaço contínuo passando a ser discreto, isto é, cada *pixel* corresponde uma determinada área de terreno. Dependendo do tipo de aplicação podemos ter *pixels* de 10×10 cm até 30×30 m e mais, como é o caso das imagens de satélite. Dependendo desta medida, assim temos mais ou menos quantidade de informação armazenada. A ordem de grandeza do crescimento é quadrática, ou seja, para aumentar a resolução de 20 para 10 cm o tamanho do ficheiro obtido é quatro vezes maior que o anterior. Outro aspecto a ter em consideração e que está relacionado com a resolução espacial é o valor radiométrico do *pixel*. Quanto maior for a área coberta por cada *pixel* maior é mistura de diferenças radiométricas que vão contribuir para o valor final do *pixel*. Isto, que poderá ser insignificante para valores de *pixel* na ordem de centímetros, começa a ser um factor a considerar quando temos áreas de metros. É devido a este facto que em imagens de satélite a classificação é baseada na análise estatística de grupos de *pixels* e não em *pixels* isolados. A determinação do valor radiométrico do *pixel* já de si resulta do cálculo dum valor médio, uma vez que os sensores são vistos como pontos com um certo ângulo de divergência, pelo que a energia é captada a partir duma área circular e posteriormente é convertida numa área quadrada ou rectangular. O valor não será mais que a contribuição de cada sensor para o valor *pixel*. Actualmente existem dispositivos que têm poucos sensores mas permitem obter imagens com grandes resoluções, resolução essa que resulta da forma de interpolação dos valores radiométricos lidos pelos sensores. No caso de fotografias aéreas esses dispositivos vão provocar uma diminuição do contraste e uma alteração nas cores: por conseguinte uma maior dificuldade de interpretação da informação. Um aspecto a ter também em consideração será o deslocamento da informação devido à discretização da mesma. Se por exemplo, tiver um telhado preto e o solo for branco, um *pixel* que apanhe telhado e solo em igual proporção

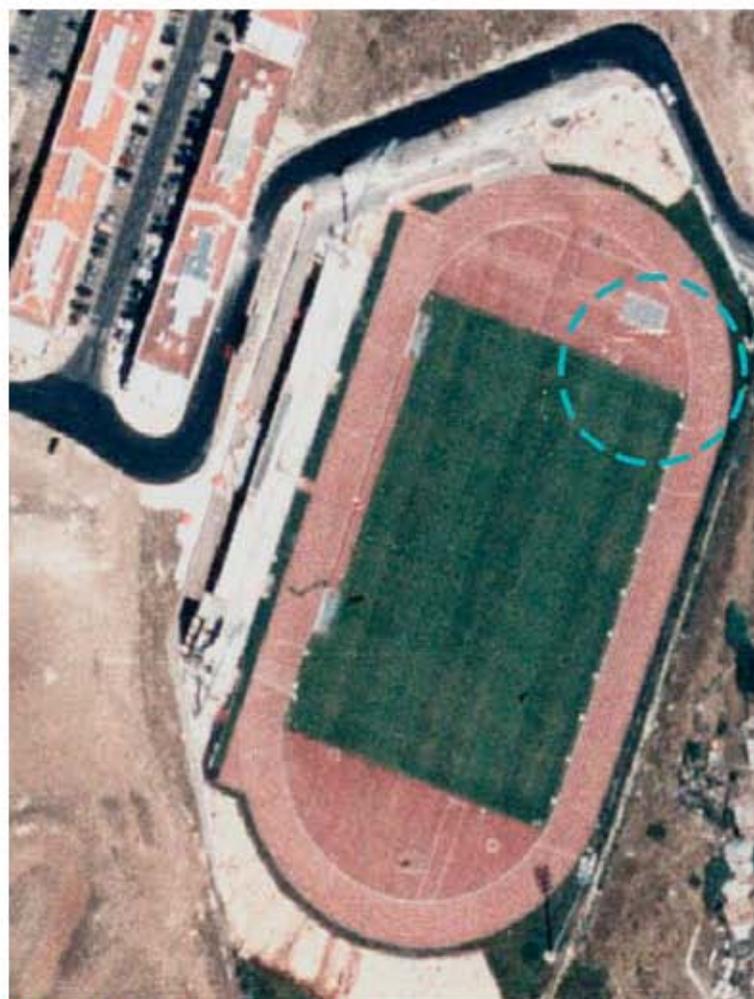


Figura 5 – Fotografia digitalizada com 14  $\mu$ m

teoricamente irá ter um valor radiométrico de 50% de tons de cinzento. No entanto, não se consegue determinar qual o ponto exacto onde termina o solo e começa o telhado. Quando se tem que determinar posições a melhor solução é a coordenada do centro do *pixel*, o qual tem um erro máximo de metade do comprimento do lado. Logo, quando a fotografia é digitalizada estamos a impor um erro mínimo a todo o trabalho, que é igual a metade do valor do lado do *pixel*. O exemplo anterior foi com preto e branco, o que o torna bastante simples e evidente. A realidade é constituída por uma diversidade de cores e tons que torna muito difícil



Figura 6 – Perímetro do campo de futebol a 56  $\mu\text{m}$ .

cada *pixel* tem uma discretização de 40x40 cm no solo. Podem observar-se alguns pontos brancos no lado direito do campo. As figuras 6 e 7, resultaram da digitalização da zona interior ao círculo azul claro com 56  $\mu\text{m}$ , ou seja, com uma discretização de 1.60x1.60 m. Ambas as fotografias têm a mesma área de fotografia, apenas se tirou e voltou a colocar o diapositivo no scanner. Podemos observar que os valores radiométricos dos *pixels* foram alterados, isto resulta do facto da área da fotografia que contribuiu para a determinação do valor radiométrico de cada *pixel* ser diferente, uma vez que não é possível colocar duas vezes o diapositivo exactamente na mesma posição no scanner. Foram utilizados 56  $\mu\text{m}$  para tornar

fazer qualquer previsão sobre qual a quantidade de reflectância com que cada objecto existente na área do *pixel* contribuiu para o valor radiométrico do mesmo. É também importante salientar o facto da dimensão mínima dos objectos que podem ser detectados ter de ser superior a *pixel*. No entanto se pretendemos reconhecer uma forma geométrica, as dimensões do objecto terão de ser bastante maiores, isto é, terão de ser constituídos por vários *pixels*. É o caso das estradas nas imagens de satélite, em que é possível detectar a sua existência, no entanto a sua forma correcta não é possível de determinar. Neste caso, apenas é possível ver as grandes variações na direcção, porque as pequenas confundem-se com o “ruído” da transição entre a estrada e a zona envolvente. Na figura 5 podemos ver perfeitamente uma figura geométrica rectangular cinzenta na zona interior ao círculo azul claro, enquanto que nas figuras 6 e 7 a forma dessa figura não é possível ser definida.

Para exemplificar a importância da digitalização das fotografias aéreas, na figura 5, temos a imagem duma fotografia que contém um campo de futebol, digitalizada com 14  $\mu\text{m}$ . Na qual,

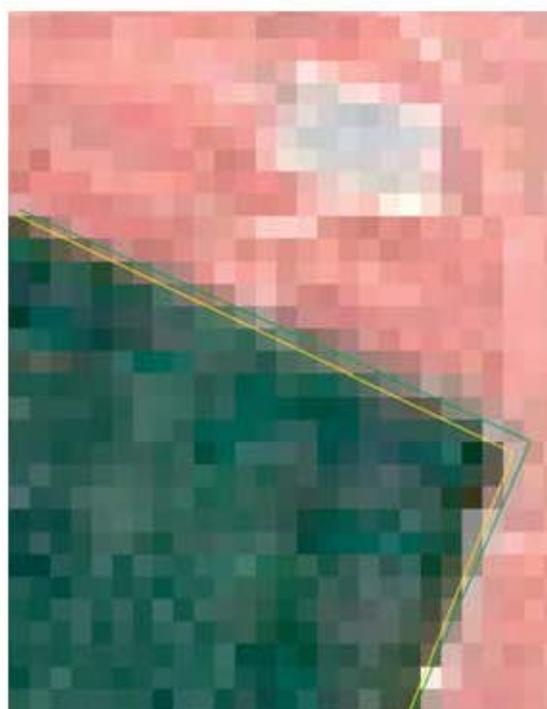


Figura 7 – Perímetro do campo de futebol a 14  $\mu\text{m}$ , após o diapositivo ter sido retirado e colocado novamente. Nesta nova posição o campo do campo ficou melhor definido que na figura 6.



Figura 8 – Imagem original depois de ortorectificada.

este aspecto mais evidente mas ele está presente sempre que há uma digitalização. Os pontos claros na margem do relvado, bem visíveis na figura 5, deixam de aparecer nas figuras 6 e 7 devido ao aumento do tamanho do *pixel* no terreno. Desta forma é evidente que a resolução condiciona a dimensão dos elementos que podem ser restituídos assim como a exactidão posicional dos mesmos.

Do mesmo modo, podemos facilmente imaginar que se fosse necessário restituir o campo de futebol pelos seus limites iríamos ter os pontos dos cantos diferentes, como pode ser observado nas figuras 6 e 7, pelas linhas verde e amarela. Este erro de posicionamento dificilmente será ultrapassado, porque só será diminuído se digitalizássemos as fotografias com uma resolução maior, só que neste caso o tamanho do ficheiro chegaria a valores difíceis de ser manipulado por computador. Este problema não surgiu enquanto se esteve a trabalhar no sistema fotogramétrico analógico, porque aumento do pormenor era apenas limitado pelo factor

de ampliação das objectivas do aparelho de restituição.

A correcção radiométrica é essencial quando se pretende produzir ortofotos, neste caso a correcção é feita por *software* e designada por *dodging*. O resultado pode ser verificado nas figuras 8 e 9. Na figura 8 temos a imagem original após ortorectificada, na figura 9 a mesma imagem depois de equilibrada radiometricamente.

### Apoio Topográfico

Deve ter-se em consideração a forma como foram determinadas as coordenadas dos pontos de apoio. Actualmente o sistema GPS é o mais usado para determinação de coordenadas. No entanto, é necessário que o número de satélites e o tempo de recepção do sinal seja adequado à exactidão posicional pretendida. Por outro lado, os sistemas de projecção mais divulgados não utilizam o elipsóide WCS84, mas sim o elipsóide de Hayford, pelo que a transformação de elipsóide é feita por processos de cálculo ao qual estão sempre associados erros devido à



Figura 9 – Imagem ortorectificada depois de compensada radiometricamente (*dodging*).

precisão dos próprios instrumentos de medição e dos arredamentos dos algoritmos utilizados. Os parâmetros de transformação também não são exactos, resultam de cálculo baseado em medições efectuadas nos dois sistemas e que produzem melhor exactidão nas proximidades dos pontos onde são feitas essas medições.

Com base neste pressupostos, Anciães (2001) descreve a forma de determinar um indicador de exactidão para o caso brasileiro que utiliza o South American Datum - SAD69. Em Portugal oficialmente é utilizado o sistema de projecção cartográfica Hayford-Gauss (Datum 73), no entanto a nível militar até Maio de 2001 tem sido utilizado o sistema de projecção cartográfica Hayford-Gauss com o Datum de Lisboa (HGM).

Até agora era necessário recorrer ao seguinte processo:

- (1) WGS 84 ( $\phi, \lambda, \eta$ )  $\rightarrow$  HGM ( $\phi, \lambda, \eta$ )
- (2) HGM ( $\phi, \lambda, \eta$ )  $\rightarrow$  HGM ( $\xi, \psi, \zeta$ )

Em (1) é utilizada uma transformação de Molodensky. Os equipamentos GPS têm *software* para fazer estas conversões (1) e (2), apenas precisam que lhe sejam introduzidos os parâmetros de transformação. No entanto é desconhecido o método e o erro associado ao cálculo dos parâmetros utilizados.

A fórmula de transformação abreviada de Molodensky, que fornece os acréscimos em latitude, longitude e altitude geodésica às coordenadas dos pontos relativas ao primeiro datum, é a que se encontra no quadro ao lado:

A transformação (2) de coordenadas geodésicas rectangulares ( $x, y, z$ ) relativas a um datum podem ser obtidas a partir das coordenadas geodésicas

elipsoidais ( $\phi, \lambda, \eta$ ), pelas expressões:

$$\begin{aligned} x &= (R_N + h) \cos\phi \cos\lambda \\ y &= (R_N + h) \cos\phi \sin\lambda \\ z &= (R_N (1 - e^2) + h) \sin\phi \end{aligned}$$

Fonte: p. 29 de Casaca et al.

De salientar o facto destas fórmulas usarem funções seno e coseno, em que um pequeno erro na sua determinação, ou baixo número de algarismos significativos, pode propagar-se nos cálculos e alterar bastante as coordenadas finais. Normalmente a latitude e longitude são mediadas em graus, minutos e segundos e posteriormente é preciso fazer a sua transformação para radianos. O número de algarismos significativos a serem utilizados nos cálculos deve ser tal que não influencie a exactidão do resultado final.

Actualmente com a alteração para o sistema de projecção cartográfica WGS 84 Militar, uma vez que o ponto de fixação é diferente assim como a sua origem num ponto fictício, esse problema já não se coloca porque não existe mudança de elipsóide.

Por outro lado temos de encontrar uma metodologia para avaliar a precisão do posicionamento da antena do GPS, uma vez que não é

**Legenda:**

$e^2$  – quadrado da primeira excentricidade  
 $a$  – comprimento do semieixo equatorial  
 $b$  – comprimento do semieixo polar  
 $R_M$  – raio de curvatura do meridiano  
 $R_N$  – raio da secção normal principal  
 $\phi, \lambda, \eta$  – coordenadas elipsoidais dum ponto em relação a um datum  
 $\Delta a, \Delta f$  – diferenças entre os semieixos equatoriais e os achatamentos dos dois elipsóides de referência  
 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  – componentes dos vectores diferença entre os centros dos dois elipsóides de referência

$$\Delta\phi = \frac{-\Delta x \sin\phi \cos\lambda - \Delta y \sin\phi \sin\lambda + \Delta z \cos\phi + (f\Delta a + a\Delta f) \sin 2\phi}{R_M}$$

$$\Delta\lambda = \frac{-\Delta x \sin\lambda + \Delta y \cos\lambda}{R_N \cos\phi}$$

$$\Delta h = \Delta x \cos\phi \cos\lambda + \Delta y \cos\phi \sin\lambda + \Delta z \sin\phi + (f\Delta a + a\Delta f) \sin^2\phi - \Delta a$$

Fonte: pp. 21, 22 e 33 de Casaca et al.

possível colocar a antena exactamente no mesmo ponto, desde que não haja uma base de centragem forçada, como existe nos vértices geodésicos de 1ª ordem. Conhecendo este valor podemos adoptar a metodologia definida no STANAG 2215, para determinar o desvio padrão final das diferenças entre os valores medidos no campo e os valores calculados, como por exemplo os valores obtidos na triangulação aérea.

### Triangulação Aérea

Após as fotografias aéreas terem sido digitalizadas, tem início o processo de triangulação aérea, quando se trata de fotogrametria digital. Pode ser efectuada uma triangulação aérea convencional, utilizando apenas os valores da medição dos pontos fotogramétricos cujas coordenadas são medidas no terreno e marcando os pontos de passagem (PUG's) para serem calculadas as suas coordenadas, ou uma triangulação aérea automática com base na correlação das imagens em que os pontos de passagem são escolhidos automaticamente. Os dois processos têm vantagens e inconvenientes, assim como os erros residuais obtidos por um processo e por outro também são diferentes. Têm sido feitos alguns trabalhos como estágios da Licenciatura em Engenharia Geográfica, em que a conclusão é de que a triangulação aérea automática tem erros residuais superiores à triangulação aérea convencional.

Se a opção for a triangulação aérea automática, para a correlação das imagens é bastante importante que as fotografias aéreas tenham um balanceamento de tons idêntico com vista a permitir uma melhor e mais rápida correlação de imagens. Neste processo torna-se ainda mais difícil controlar os erros. Enquanto que, na triangulação aérea convencional os pontos são escolhidos pelo operador de forma a minimizar o grau de incerteza entre a mesma posição, escolhida nas várias fotografias. No segundo processo, devido à automatização do mesmo o número de pontos de correlação é bastante elevado e constituído por uma mistura de pontos bons, médios e maus. Neste caso, exige que seja feita uma análise do valor residual de todos os pontos

com vista a eliminar todos aqueles menos adequados e que possam suscitar algumas dúvidas. A vantagem do segundo processo é a de não haver necessidade da presença do operador para marcação dos pontos e a determinação dum número elevado de pontos artificiais entre fotografias, muito importante quando se pretende ortorectificar fotografias com a finalidade de executar mosaicos com as mesmas.

No final da triangulação aérea devem ser verificados os erros residuais de cada ponto (PE, PA e VG que entram no processo), para que seja avaliado se não houve erros na leitura dos pontos de apoio.

Um processo para avaliar a exactidão da TA é a determinação das coordenadas dos pontos artificiais, obtidos por correlação de imagens, com GPS. Para isso devem ser escolhidos uma quantidade de pontos, da ordem dos 200, de forma uniformemente distribuída por todo o bloco. Este número de pontos baseia-se na necessidade de pontos da metodologia utilizada (teoria elementar da amostragem), isto é, para haver um conjunto de pontos para o cálculo e outro para validação. Deve ser considerado nessa escolha o agrupamento de pontos, entre 100 a 120 pontos, com o seguinte critério e/ou características:

- o maior número de fotografias em que o ponto aparece e que foram usadas para o cálculo das coordenadas do mesmo
- a proximidade de pontos fotogramétricos com erro residuais mais elevados, isto após verificar se não houve erro na leitura da coordenada imagem por parte do operador
- localizados em zonas afastadas de pontos fotogramétricos

Com estes dados podemos fazer uma avaliação inicial sobre a existência de erros sistemáticos e erros grosseiros, que devem ser eliminados antes de passar a qualquer processo baseado nos cálculos efectuados. Após a eliminação destes dois tipos de erro restam os erros designados por aleatórios, sobre os quais se pressupõe que têm uma distribuição normal, e como tal utiliza-se a metodologia descrita em (**Metodologia a ser estudada**) toda baseada neste pressuposto.



Figura 10 – Vista geral do Bloco de Santarém II.

Uma forma expedita para fazer a avaliação visual de erros sistemáticos na triangulação aérea é a de colocar em cada ponto a diferença entre o valor obtido e valor lido no terreno na forma de vectores diferença, representando a direcção, sentido e intensidade da mesma. A figura 10 mostra a rede geodésica e os pontos fotogramétrico do bloco de Santarém II.

O sistema de visualização poderia ser mais pomenorizado, como seja, de acordo com intervalos de erro baseados no desvio padrão calculado, cada seta teria uma cor diferente para rapidamente por cores ser salientado zonas de possíveis problemas. A figura 11 exemplifica conceito descrito, é uma situação criada e não



Figura 11 – Vectores diferença de erro

reflecte qualquer avaliação do bloco.

### Metadados

Um ponto a ter em consideração quando um produtor ou utilizador tem de combinar vários tipos de cartografia, são os metadados. Estes elementos não são mais do que a descrição dos elementos e do percurso porque passou a informação até ao estado actual. Um dado importante que deve ser

descrito é o valor do erro associado a cada um dos processos.

O grupo de trabalho sobre metadados do *Digital Geographic Information Working Group* (DGIWG) elaborou um documento onde pretende catalogar a forma como devem ser descritos os metadados de informação geográfica, assim como, os que são necessários para a sua descrição – *Catalog Metadata for Geographic Information* (CMGI). A norma está de acordo com o:

- DIGEST Digital Geographic Information Exchange Standard, Edition 2.0, June 1997, Digital Geographic Information Working Group
  - ISO 19115 – Geographic information – Metadata
- entre outros documentos normativos da ISO.

O *Federal Geographic Data Committee* (FGDC) que coordena a infra-estrutura de dados georeferenciados americana, desde Abril de 1997 tem trabalhado no sentido de harmonizar a sua norma de metadados com a preconizada pela norma ISO 19115. Esta norma foi aprovada como *Draft International Standard* em Setembro de 2000.

Em Março de 2000, a comissão redactora concordou que deveria haver um conjunto mínimo de metadados para todos os conjuntos de

dados. Este conjunto seria o seguinte:

- **Metadata Language Code(M)**
  - **Metadata Characterset (M)** [default = "ISO 10646-2"]
  - **Hierarchy Level Scope (M)** [default = "Dataset"]
  - Hierarchy Level Name (O)
  - Metadata Contact (O) (ie Responsible Party Name/ Organization & Responsibility Type)
  - Metadata Date (O)
  - Metadata Standard Name (O)
  - Metadata Standard Version (O)
  - **Dataset Language Code (M)**
  - **Dataset Characterset (M)** [default = "ISO 10646-2"]
  - **Abstract (M)**
  - Geographic Box Coordinates (O)
  - Geographic Description (O)
  - Spatial Resolution (O) (ie for Raster = ground spatial resolution, Vector = scale equivalent)
  - **Category (M)**
  - **Dataset Citation (M)** (Title & Date)
  - **Dataset Contact (M)** (ie Responsible Party Name/ Organization & Responsibility Type)
- (M)=Mandatory, (O)=Optional, [ ]=default value, ( )=clarification
- Fonte: FGDC/ISO Metadata Standard Harmonization

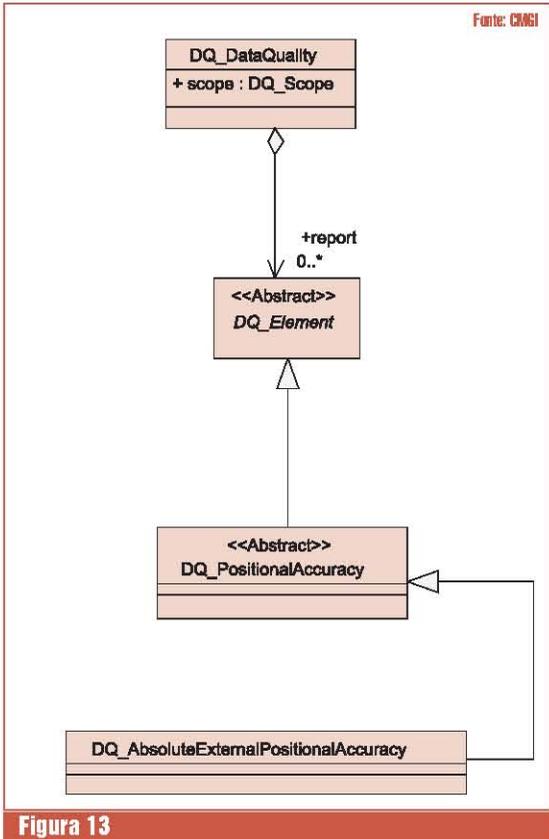


Figura 13

Nesta reunião também foi definido a forma como deveria ser mantida a consistência entre os dados do dicionário de metadados e o *Unified Modelling Language* (UML) uma vez que o projecto do esquema conceptual determinava que seria usada esta linguagem. Os metadados para descreverem os dados de informação geográfica são definidos usando

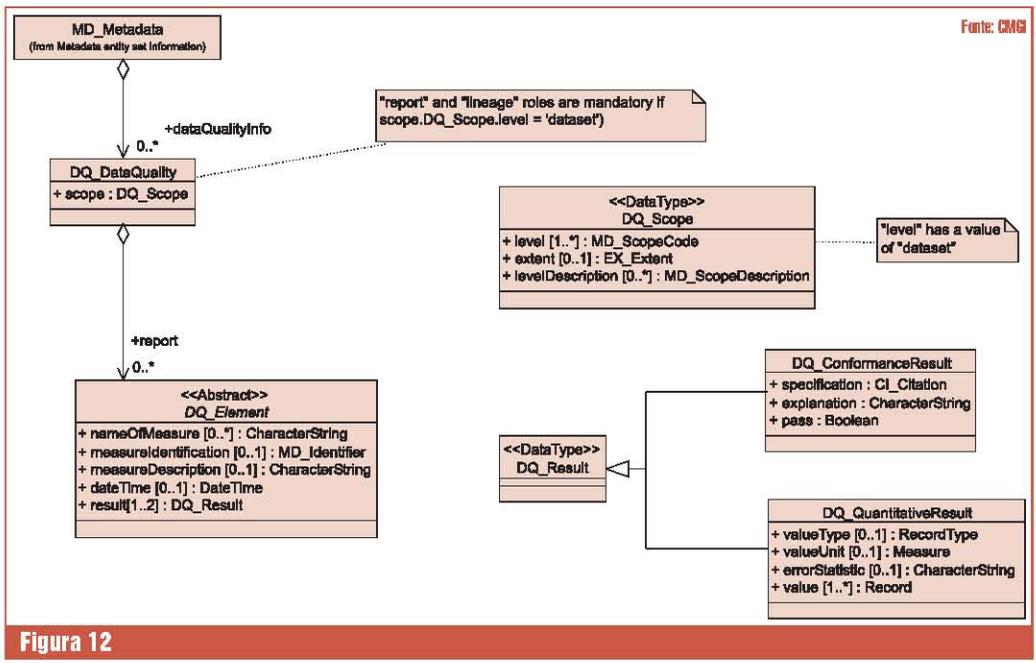


Figura 12

ID	Element	QCode	Type of test applied to the data specified by a data quality scope	The obligation from referencing object	The maximum occurrence from referencing object	Aggregated Class (DQ DataQuality) =>Abstract	
1	nameOfMeasure	measureName	name of the test applied to the data	O	1	CharacterString	File test
2	measureIdentification	measureID	code identifying a regional standard or measure	O	1	Class	DQ Measure =>Data Type =>B.2.2.5
4	measureDescription	measureDesc	description of the measure being determined	O	1	CharacterString	File test
5	scaleInfo	measureScale	ratio or range of data on which a data quality measure was applied	O	1	Class	Decimal (3.1.2)
6	result	measureResult	value (or set of values) obtained from applying a data quality measure or the set (or set of values) against a specified acceptable confidence quality level	M	2	Class	DQ Result =>Data Type =>B.2.4.2
7	DQ PositionAccuracy	DQPosAcc	accuracy of the position of features	The obligation from referencing object	The maximum occurrence from referencing object	Specialized Class (DQ Element) =>Abstract	
8	DQ Absolute/Relative/RelativeAccuracy	DQAccType	classess of reported confidence values to values accepted as or being true	The obligation from referencing object	The maximum occurrence from referencing object	Specialized Class (DQ PositionAccuracy)	
9	DQ Result	Result	generalization of more specific result classes	The obligation from referencing object	The maximum occurrence from referencing object	Class =>Data Type	
10	DQ ConfidenceLevel	ConfLevel	information about the success of evaluating the obtained value (or set of values) against a specified acceptable confidence quality level	The obligation from referencing object	The maximum occurrence from referencing object	Specialized Class (DQ Result)	

Figura 14

Fonte: OGI

Como exemplo de formas de avaliação da exactidão externa a norma tem os indicados no quadro da figura 16.

Para a avaliação da exactidão interna a norma preconiza o exposto na figura 17, como exemplos:

Como pode ser verificado ainda não existe uma harmonização total entre as normas ISO/DIS 9114 e ISO/DIS 9115 em relação aos elementos que constituem os metadados da informação geográfica. É normal que estes problemas sejam corrigidos após a passagem de ambas as normas à versão de *Final Draft International Standard (FDIS)*.

O sistema de metadados no IGeoE começou a ser implementado, antes da norma ISO definir os

do um modelo de objecto abstracto em UML. Para a qualidade dos dados o modelo UML é o representado na figura 12.

Ao nível da exactidão posicional dos elementos preconiza o modelo da figura 13.

Na figura 14 estão descritos vários objectos abstractos da classe *DQ DataQuality*.

O processo da determinação da exactidão posicional da triangulação aérea poderá ser descrito pelo seguinte diagrama de informação e acções da figura 15.

A norma ISO/DIS 19114 refere que a exactidão posição tem os seguintes sub-elementos:

- **Exactidão externa**, consiste na diferença entre as coordenadas do elemento e os valores das coordenadas tidas como verdadeiras para os mesmos pontos.
- **Exactidão interna**, consiste na diferença entre a posição relativa dos elementos no conjunto de dados e as suas posições relativas na realidade (Universo do Discurso).
- **Exactidão posicional de dados matriciais**, consiste na diferença entre as coordenadas dos pixels na matriz e as coordenadas tidas como verdadeiras, normalmente é apenas comparada a coordenada vertical (Modelo Digital do Terreno).

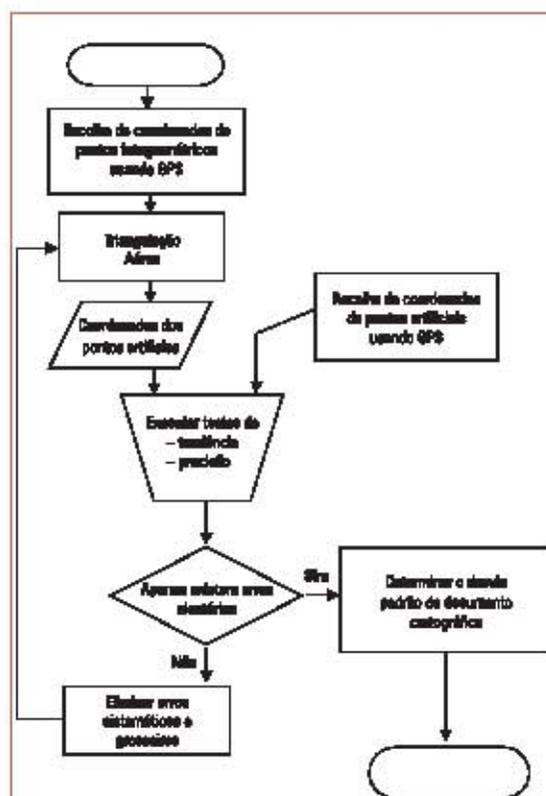


Figura 15

Data quality component	Example 19	Example 20
DQ_Scope	All nodes forming road boundaries in the dataset	All nodes forming road boundaries in the area bounded by longitudes +139 +140 and latitudes +38,0 +37,0
DQ_Element	3 - positional accuracy	3 - positional accuracy
DQ_Subelement	1 - absolute or external accuracy	1 - absolute or external accuracy
DQ_Measure		
DQ_MeasureDesc	RMSE	Percentage of items with coordinate error greater than specification limit
DQ_MeasureID	30101	30102
DQ_EvalMethod		
DQ_EvalMethodType	2 - external	2 - external
DQ_EvalMethodDesc	For each node, measure the error distance between absolute coordinate values of the node in the dataset and those in the universe of discourse. Compute RMSE from the error distances.	For each node, measure the error distance between absolute coordinate values of the node in the dataset and those in the universe of discourse. Count the number of the nodes whose error distance exceeds the specification limit (e.g. 1 m). Divide the number of the non-conforming nodes by the number of the nodes in the data quality scope. Multiply the result by 100.
DQ_QualityResult		
DQ_ValueType	2 - number	4 - percentage
DQ_Value	1,70m	25%
DQ_ValueUnit	metre	percentage
DQ_Date	2000-03-06	2000-03-06
DQ_ConformanceLevel	Not specified	Not specified
Example dataset parameters	Omitted	Omitted
Example quality result meaning	RMSE of distance of the nodes is 1,70m. Since conformance quality level is not specified, only the RMSE is reported	25% of the nodes within the data quality scope have error distance more than 1 metre. Since conformance quality level is not specified, only the percentage is reported

Figura 16

Ficheiro: p.24 do NC 14114

Data quality component	Example 21	Example 22
DQ_Scope		
DQ_Element	3 - positional accuracy	3 - positional accuracy
DQ_Subelement	2 - relative or internal accuracy	2 - relative or internal accuracy
DQ_Measure		
DQ_MeasureDesc	RMSE	Percentage of items with coordinate error greater than specification limit
DQ_MeasureID	30201	30202
DQ_EvalMethod		
DQ_EvalMethodType	2 - external	2 - external
DQ_EvalMethodDesc	For each node, measure the error distance between relative coordinate values of the node in the dataset and those in the universe of discourse. Compute RMSE from the error distances.	For each node, measure the error distance between relative coordinate values of the node in the dataset and those in the universe of discourse. Count the number of the nodes whose error distance exceeds the specification limit (e.g. 1 m). Divide the number of the non-conforming nodes by the number of the nodes in the data quality scope. Multiply the result by 100.
DQ_QualityResult		
DQ_ValueType	2 - number	4 - percentage
DQ_Value	1,50m	20%
DQ_ValueUnit	metre	percentage
DQ_Date	2000-03-06	2000-03-06
DQ_ConformanceLevel	Not specified	Not specified
Example dataset parameters	Omitted	Omitted
Example quality result meaning	RMSE of distance of the nodes is 1,50m. Since conformance quality level is not specified, only the RMSE is reported	20% of the nodes within the data quality scope have error distance more than 1 metre. Since conformance quality level is not specified, only the percentage is reported

Figura 17

Ficheiro: p.27 do NC 14114

Folha nº / nº de série	AC11 - 5 MA 125,35 Zona do Porto 1 M000
Organismo produtor	Instituto Geográfico do Exército
Fim a que se destina	BD Geográficos / Carta Militar de Portugal, escala 1: 25 000 / escala 1: 50 000 / escala 1: 250 000
Data de produção	1999 / 2000
Datum planimétrico	Base SW da Ilha da Orçoss
Datum altimétrico	Marégrafo do Porto da Horta
Elipsóide	PROS84
Projeção	PROS84UTM - Fuso 26
Fonte de aquisição de dados	Fotografia Aérea (preto e branco) e Cartas Vectorizadas
Escala média do voo	1: 15 000
Data do voo	Voo FAP 18089 de 17/NOV99, Voo FAP 10990 de 07/DEC99 e Voo FAP0995 de JUN99
Distância focal da câmara fotográfica	153,36mm para Voo FAP 18089 e Voo FAP 10990, e 152,73mm para FAP0995
Calibração da câmara fotográfica	29 de Março de 1976 para f=153,36mm e 24 de Fevereiro de 1993 para f=152,73mm
Data dos trabalhos de campo	12 Novembro de 1999 a 4 de Dezembro de 2000
Método utilizado nos trabalhos de campo	Completagem
Método de aquisição de dados	Escaneamento fotogramétrico
Data final da restituição	13 de Novembro de 1999
Resolução da digitalização das fotografias aéreas	15 µm
Equipamento utilizado para restituição	Aparelho digital DPWS 7700g1
Software utilizado para restituição	ISPM / ISDM / ISDO da Intergraph
Método de levantamento de pontos fotogramétricos	Coordenadas obtidas por GPS em tempo real
Equipamento utilizado no levantamento de pontos fotogramétricos	Receptores Trimble 4000DE e 4800
Precisão altimétrica do levantamento dos pontos fotogramétricos	0,10 m - 0,20 m
Precisão planimétrica do levantamento dos pontos fotogramétricos	0,05 m - 0,10 m
Exactidão do levantamento dos pontos fotogramétricos (distância)	0,20 m
Método utilizado para coordenar a informação	Triangulação aérea em bloco por feixes perspectivos (FATB)
Precisão dos pontos fotogramétricos na triangulação aérea	σx 0,40 m, σy 0,40 m, σz 0,25 m
Precisão das coordenadas GPS do centro das fotografias aéreas na aerotriangulação	Não aplicável
Precisão da triangulação aérea	0,18 m
Observações	Em zonas de falésia, as curvas de nível foram interpoladas através do software ISDC Data de entrega na Gestão de Base de Dados (GDB): 16 de Novembro de 2000

Figura 18 - Ficheiro Metadados

objectos e dados que deveriam constar do mesmo. A norma actualmente utilizada é interna e tem em vista recolher o maior número de informação, para que ao ser aplicada a norma ISO seja apenas uma transferência de valores da norma interna para o formato da norma ISO.

Um exemplo para a folha 11 dos Açores é o que se encontra representado na figura 18.

Neste ficheiro temos uma série de dados, desde as datas dos voo das fotografias utilizadas para a restituição da folha, como métodos utilizados nos trabalhos de campo, etc. No que se refere à exactidão dos pontos os valores referidos são os dos erros residuais. Neste ponto a norma ISO tem mais especificações do que aquelas que até agora temos estado a recolher, pelo que é um aspecto que vai passar a ser considerado.

Na continuação dos metadados a legenda de cada folha contempla o símbolo de cada elemento que é representado na série e descreve (enumera) exaustivamente todos de elementos que são representados. Este ficheiro de metadados no final deve englobar também toda a informação marginal da folha, como são, a simbologia, as declinações magnéticas, enquadramento, etc.

### Aplicação a ser desenvolvida

A medição directa começa a ser uma necessidade importante para os sistemas de informação geográfica. Pois é a única forma de melhorar a exactidão posicional dos componentes, que cons-

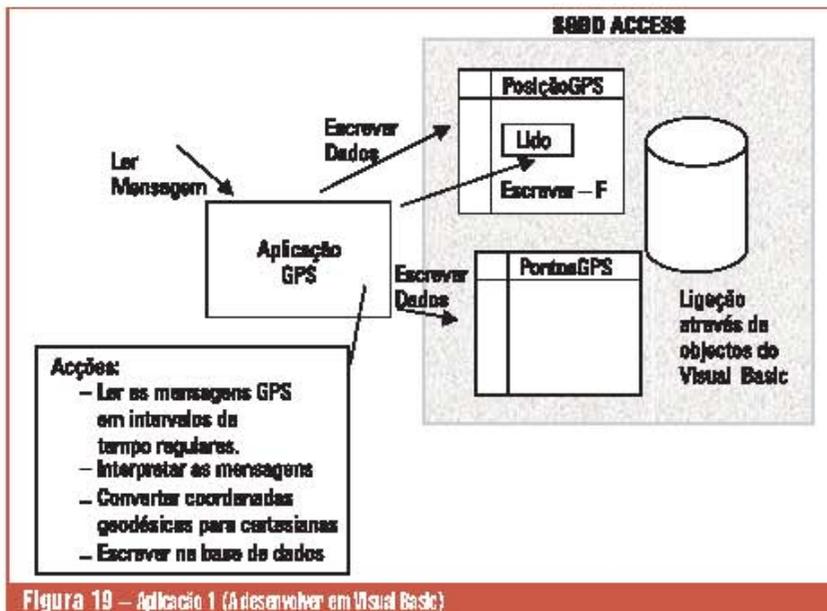


Figura 19 – Aplicação 1 (A desenvolver em Visual Basic)

títuem o sistema de informação. Tendo como base esta abordagem, a melhor forma de fazer a validação é ter simultaneamente o documento

o campo *Lido* para *Lido1*, *Lido2*, etc, ou seja, um campo para cada aplicação do tipo módulo 2. O módulo 1 colocaria todos os campos *Lido* a

cartográfico e a posição GPS em sobreposição.

Com esta finalidade está a ser desenvolvida um sistema constituído por duas aplicações (figuras 19 e 20).

Esta aplicação está na fase de protótipo e foi testada com equipamento GPS de baixa precisão. Os módulos 1 e 2 podem estar na mesma máquina, ou máquinas distintas ligadas em rede. Da mesma forma o ficheiro \*.mdb (MS Access) pode estar ainda numa terceira máquina. Logo, a aplicação pode ter um módulo 1 activado e ter vários módulos 2, bastando apenas expandir o campo *Lido* para *Lido1*, *Lido2*, etc, ou seja, um campo para cada aplicação do tipo módulo 2. O módulo 1 colocaria todos os campos *Lido* a Falso (F) e cada módulo depois ler a tabela *PosicaoGPS* colocaria o seu campo *Lido* a Verdadeiro (V).

A interface com o utilizador está representada na figura 21. Neste caso poderemos caminhar com GPS e verificar se o ponto onde estamos localizados corresponde ao da informação do documento cartográfico, isto é, se ao deslocarmos ao longo duma estrada a indicação da posição dada pelo GPS se situa sobre a estrada do documento. O passo seguinte será a implementação da validação de informação vectorial e determinação da diferença entre a posição medida e a mesma posição no documento a validar.

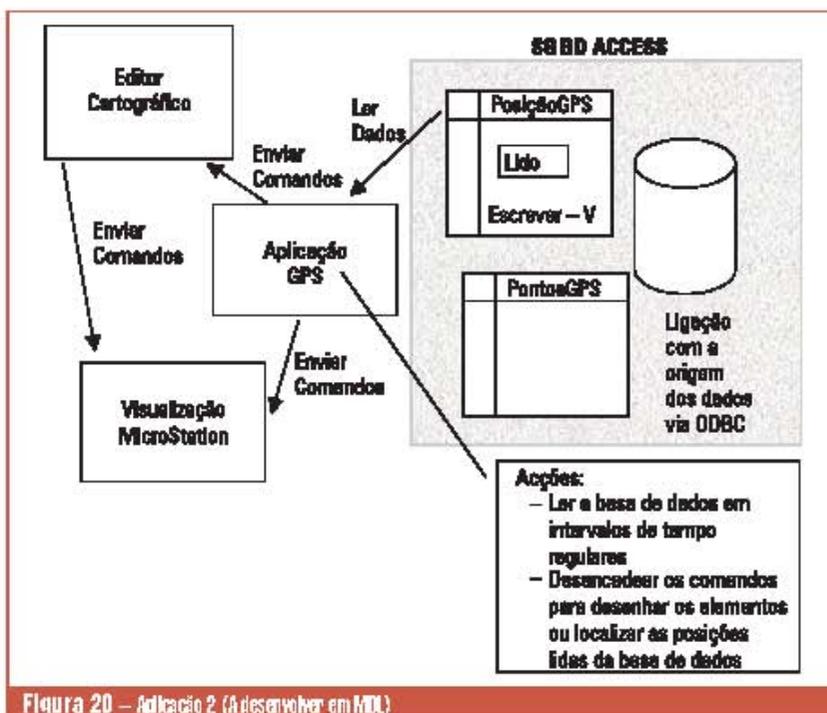


Figura 20 – Aplicação 2 (A desenvolver em MVL)

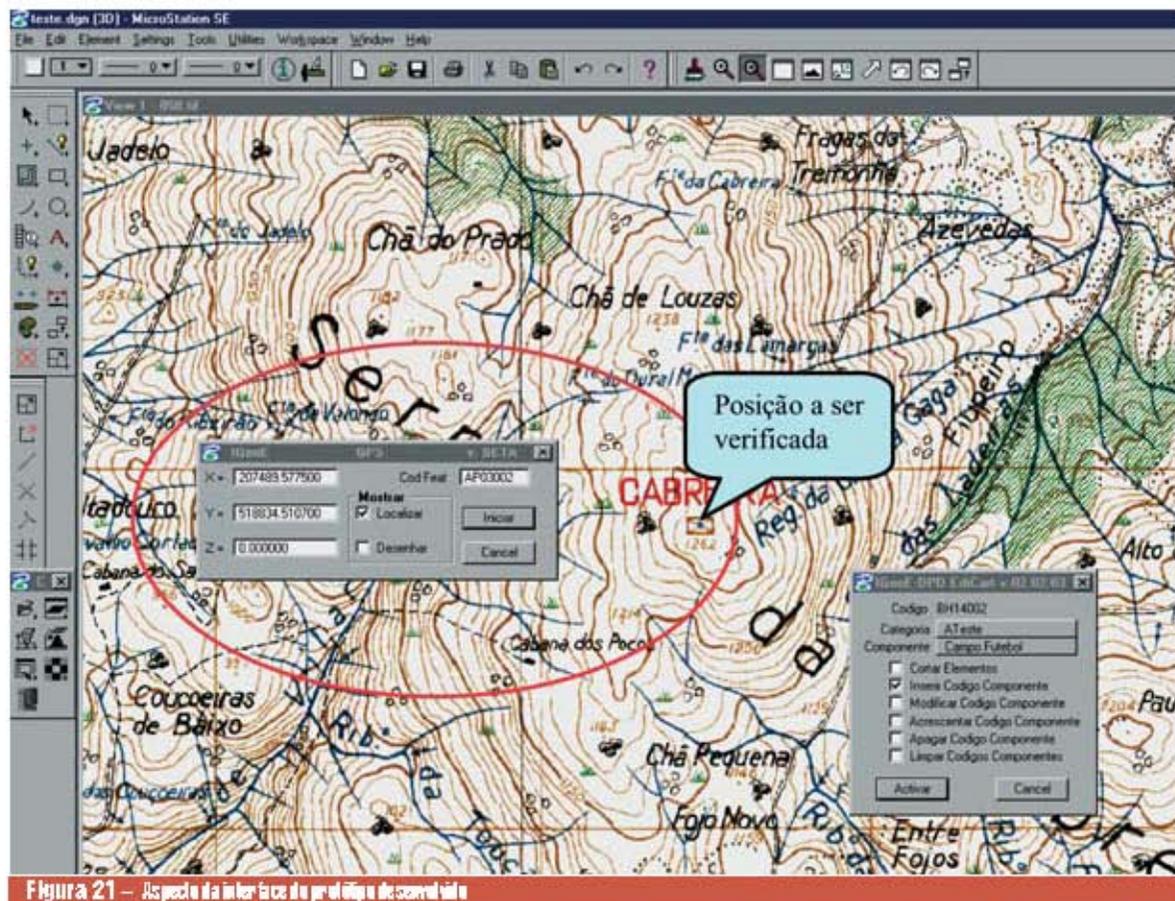


Figura 21 – Aspecto da interface de protótipo de controle

Uma descrição mais pormenorizada sobre este protótipo está em Rossa (2001).

### Metodologia a ser estudada

De entre os vários estudos pesquisados o mais interessante corresponde ao caso do Brasil. Em 1984 foi publicado um decreto-lei (Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, 1984), que define as normas que regulamentam e classificam os documentos cartográficos no que se refere à sua qualidade apenas em termos geométricos. Este controle posicional é feito por comparação dos pontos obtidos por restituição ( $X_c, Y_c, Z_c$ ), por exemplo a esquina do campo de futebol, e as respectivas coordenadas medidas com um

método de campo ( $X_r, Y_r, Z_r$ ), ou outra fonte que seja considerada precisa para ser feita a análise de qualidade. Com estes valores podemos calcular o valor médio do erro, o desvio padrão, entre outros. Um outro aspecto a ter em consideração são a realização de testes específicos para avaliar a tendência e precisão. O teste de tendência é feito com base na média das diferenças entre os valores exactos e obtidos. Se esse valor for diferente de zero admite-se que existe uma tendência nessa direcção. Uma forma gráfica de fazer-se uma análise de tendência é pelo desenho dos vectores diferença. Este método permite ter uma visão da distribuição geral dos erros, a sua direcção, sentido e intensidade. O teste de precisão é efectuado comparando a variância das diferenças das amostras testadas com valores

definidos pelo decreto-lei, tendo como resultado a atribuição duma classificação correspondente à classe em que o produto em análise se enquadra. No entanto, vários critérios estatísticos podem ser utilizados, e cada um pode conduzir a diferentes classificações, para o mesmo produto.

Um critério apresentado por Cintra (2001) tem por base o facto do Padrão de Exactidão Cartográfico (PEC) dividir os documentos cartográficos em três classes (A,B,C) de acordo com a seguinte tabela:

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0.5 mm	0.3 mm	0.50 EN	0.33 EN
B	0.8 mm	0.5 mm	0.60 EN	0.40 EN
C	1.0 mm	0.6 mm	0.75 EN	0.50 EN

**Legenda:**

PEC – Padrão de Exactidão Cartográfico

EP – Erro Padrão

EN – Equidistância Natural das curvas de nível

**Tabela de Valores do PEC**

e parte dos seguintes pressupostos :

- 1- 90% dos pontos bem definidos no documento cartográfico, quanto forem confrontados com os valores lidos no terreno para os mesmos pontos não deverão apresentar um superior PEC planimétrico estabelecido.
- 2- 90 % dos pontos isolados no terrenos, cuja altitude é obtida por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno para os mesmos pontos não deverão apresentar um superior PEC altimétrico estabelecido.

Desta forma, o PEC não é mais que uma medida de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, e que corresponde a

$$PEC = 1.6449 EP \quad (1)$$

Este processo é idêntico ao determinado pelo STANAG 2215 – *Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic*

*Data da NATO*. O documento estabelece que o erro circular, corresponde à exactidão posicional no plano horizontal. Consiste no comprimento do raio do círculo com centro na posição estimada e dentro do qual a verdadeira posição se encontra com uma certa probabilidade dada pelo grau de confiança. O grau de confiança é baseado também no desvio padrão do erro circular e assim para o STANAG 2215 a exactidão posicional absoluta no plano horizontal (*Absolute Horizontal Accuracy – CMAS*) é dada por:

$$CMAS = 2.146 \sigma_{CM} \quad (2)$$

$$\sigma_{CM} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}} \quad (3)$$

Este valor define a incerteza da posição do ponto no plano horizontal devido a erros aleatórios e sistemáticos. É expresso também em termos de erro circular com um grau de confiança de 90%. Uma forma como pode ser calculada a probabilidade do erro circular está descrita em Gillis (1991).

Temos assim duas abordagens diferentes: uma em que os valores de x e y são tratados de forma separada, a norma brasileira; e outra em que esses valores são vistos como uma coordenada, norma NATO. Em ambos os casos os graus de confiança são 90%.

Quando calculamos intervalos de confiança, partimos do princípio que os valores seguem os da distribuição normal em que:

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma} \sqrt{n} \quad (4)$$

$\sigma$  desvio padrão da população

$n$  número de amostras

$\mu$  média da população

$\bar{x}$  média da amostra

Fonte: 242 Siegel

Contudo a situação normal é desconhecemos o desvio padrão e valor médio da população, porque esse é exactamente o nosso

objectivo. Assim, vamos substituir o desvio padrão da população pelo desvio padrão da amostra. Estes novos valores não seguem os valores da distribuição normal, mas também têm uma forma simétrica, em forma de "sino". Esta nova distribuição é designada por distribuição "t" de Student<sup>1</sup> com (n-1) graus de liberdade. A distribuição "t" de Student é caracterizada por ter o valor médio em 0, no entanto as extremidades da curva são mais abertas. A forma exacta da curva de distribuição "t" de Student depende dos chamados graus de liberdade, que correspondem ao número de amostras n menos uma unidade. Quanto maior for o número de amostras, mais próximo é o valor do desvio padrão estimado do valor do desvio padrão da população. Daí este tipo de distribuição enquadrar-se na teoria das pequenas amostras, ou seja, na ordem das 100 amostras.

A análise estatística da exactidão posicional descrita em Cintra (2001) que é composta por duas fases:

- a análise de tendências para determinar a existência de erros sistemáticos;
- e a análise de precisão.

Estes testes são baseados em hipóteses sobre a média e o desvio padrão amostral das diferenças observadas em cada uma das duas direcções planimétricas.

O Teste de Tendências, ou de "t" de Student, é realizado para um nível de confiança (1- $\alpha$ ), que no caso concreto é de 90%, pelo que  $\alpha = 0.1$ . Esta verificação equivale a testar se a variação média dos desvios é zero. Podem também ser realizados utilizando os valores da distribuição normal, caso o número de amostras seja elevado. Portanto, neste teste vão ser verificadas as hipóteses:

- $H_0: \Delta X = 0$  então existe NÃO tendência em X
- $H_1: \Delta X \neq 0$  então existe tendência em X

No caso da distribuição amostral duma estatística S normal, com média  $\mu_s$  e desvio padrão  $\sigma_s$ , a distribuição da variável reduzida com média 0 e variância 1 o valor de z é dado pela expressão:

$$z = \frac{X - \mu_s}{\sigma_s} \quad (5)$$

Fonte: U. 202 Siegel

Existem valores tabulares que podem ser encontrados em livros de estatística, ou numa folha de cálculo, e cujas fórmulas não são objecto de descrição neste trabalho, que permitem saber os valores de z para diferentes graus de confiança, conforme a tabela seguinte:

Nível de Confiança	99 %	98 %	95 %	90 %	80 %	68.27 %	50 %
Z	2.58	2.33	1.96	1.645	1.28	1.0	0.6745

Valores de z para distribuição normal para os diversos níveis de confiança

Da tabela podemos dizer que para termos 95% de confiança de que uma hipótese é verdadeira, o valor de z duma estatística S, terá de estar compreendido entre [-1.96, 1.96], uma vez que a curva da distribuição normal é simétrica em relação ao valor da média, que é zero como é mostrado no gráfico abaixo. No entanto, podemos escolher uma amostra aleatória e verificar que o valor de z dessa estatística, está fora desse intervalo. Neste caso, concluímos que a probabilidade deste acontecimento é de 0.05% se a hipótese estabelecida for verdadeira. Diz-se que esse valor de z difere de modo significativo daquele que seria esperado. Assim, 0.05% é o nível de significância do teste, ou seja, é a probabilidade de erro na rejeição da hipótese.

Para o caso concreto que estudar, vamos ter

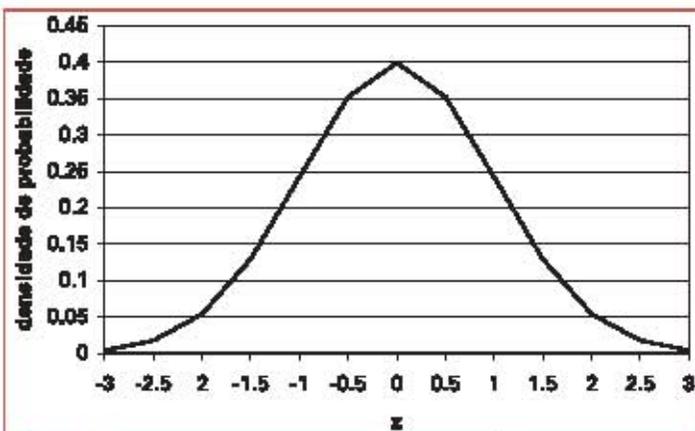


Figura 22 - Curva de distribuição normal criada numa folha de cálculo.

1 - Descoberta por William Gosset (1876-1937), que trabalhava na fábrica de cerveja Guinness e precisava duma distribuição que pudesse ser usada com poucas amostras. Como a fábrica não permitia que publicasse os resultados da sua pesquisa, decidiu publicá-los sob o pseudónimo de Student.

de calcular para cada coordenada a diferença entre o valor lido no campo (C) com GPS e o valor obtido no ficheiro digital (D), para X, Y e Z.

$X^D$  – Coordenada do ficheiro digital  
 $X^C$  – Coordenada obtida por GPS

então

$$\Delta X = X^C - X^D$$

o valor médio não é mais que

$$\overline{\Delta X} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}{n} \quad (6)$$

o desvio padrão

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \overline{\Delta X})^2}{n-1}} \quad (7)$$

O valor  $n-1$  surge do facto de representar melhor a estimativa do desvio padrão quando o número de amostras é reduzido.

Substituindo na expressão (4), a média da amostra  $\bar{x}$  por  $\overline{\Delta X}$  e substituímos o desvio padrão da população pelo desvio padrão da amostra, uma vez que o valor da média da população  $\mu = 0$ , vamos obter a seguinte equação, para determinar o valor de  $z$ , neste caso como se trata duma distribuição de "t" de Student é designado por t:

$$t = \frac{\overline{\Delta X} \sqrt{n}}{S_x} \quad (8)$$

das tabelas vamos ler o valor  $t_{n-1, \alpha/2}$  de tal forma que:

$$|t_x| < t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \quad (9)$$

Como o valor de  $n$  é determinado, porque é o número de amostras, o grau de significância é

dado por  $\alpha$ . As tabelas podem ser consultadas em livros de estatística, como é o caso do mencionado na bibliografia.

Até agora apenas foi referido o procedimento para a coordenada X. Para as outras coordenadas poderíamos seguir o mesmo procedimento ou então agrupar os pares (X,Y) e fazer esta validação para o erro circular. Para este caso não existem valores tabulares exaustivos, ou seja, para cada caso estes teriam de ser calculados. A outra solução seria apenas usar os valores que estão nas tabelas do STANAG 2215.

O outro teste mencionado é o chamado Teste de Precisão em que há uma comparação de variâncias, ou seja, uma comparação entre a variância preconizada duma população  $N$ , com a variância obtida numa amostra  $n$ . Assim para o documento estar dentro da precisão preconizada tem de se verificar a seguinte desigualdade:

$$\chi_{X,n}^2 \leq \chi_{n-1, \alpha}^2 \quad (10)$$

Neste caso as hipóteses a testar seriam:

–  $H_0: S^2_X = \sigma^2_X$  o resultado é devido aos erros aleatórios (ocasionais)

–  $H_1: S^2_X > \sigma^2_X$  variância é maior

Define-se a estatística  $\chi^2$  como:

$$\chi_{X,n}^2 = N \frac{S_x^2}{\sigma_x^2} \quad (11)$$

considerando-se a amostras de tamanho  $N$  retiradas duma população normal, com o desvio padrão  $\sigma$ . Se para cada amostra for calculado o valor  $\chi^2$  podemos obter uma distribuição amostral desses valores.

Em Cintra (2001) é subentendido que o erro padrão (EP) em planimetria é composto por duas variáveis estatisticamente independentes, pelo que o desvio padrão ( $\sigma$ ) para a direcção X e Y é dado pela expressão (13).

Fórmula da propagação dos erros em cálculos

$$\Delta \bar{w} = \sqrt{(\Delta \bar{x})^2 + (\Delta \bar{y})^2} \quad (\text{para duas variáveis})$$

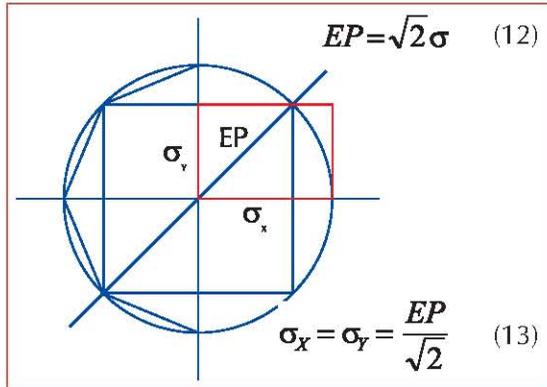


Figura 23 – Relação do EP com  $\sigma$  usada em Cintra (2001)

Também é citado em Cintra (2001), que o decreto, brasileiro, considera equivalentes os termos Erro Padrão, Desvio Padrão e Erro Médio Quadrático (EMQ)<sup>2</sup>. A forma de cálculo do STANAG 2215 para o desvio padrão circular é diferente, como podemos ver pela expressão (2), ou seja, considera a média dos desvios padrão na direcção X e direcção Y.

Por exemplo, no caso de termos  $\sigma_x = 0.3$  mm como valor máximo do desvio padrão para uma escala 1/25 000 e que corresponde a 7.5 metros, se obtivermos uma amostra aleatória de 20 pontos, com um  $S_x = 10$  metros e pretendermos saber se no nível de significância 0.10 devemos considerar o documento cartográfico conforme, não temos mais que calcular o valor de  $\chi^2$  :

$$\chi^2 = 20 * 10^2 / (7.5)^2 = 35.56$$

mediante o emprego dum teste unilateral à direita, rejeita-se a hipótese  $H_0$ , no nível de significância 0.10, quando o valor amostral  $\chi^2$  é superior a  $\chi^2_{19, 0.90} = 27.2$ . Portanto a hipótese  $H_0$  é rejeitada no nível de significância de 0.10. Logo o documento tem um desvio padrão superior a  $\sigma_x = 0.3$  mm, pelo que o desvio padrão da amostra não é devido apenas a erros aleatórios para nível de significância referido. A distribuição de  $\chi^2$  não é simétrica como a distribuição normal e este teste de 0.10 pode ser efectuado de várias formas, como seja à es-

querda,  $[\chi^2_{n-1, 0.05}, \chi^2_{n-1, 0.95}]$ , etc e em cada um deles teríamos interpretações diferentes.

Assim poderíamos ir aumentando o valor de  $\sigma_x$  até obter um valor de  $\chi^2_{n-1, \alpha}$  superior, ou como seria mais lógico, resolver a equação em ordem a  $\sigma_x$ , uma vez que  $n-1$  é conhecido. O objectivo é o de determinar o  $\sigma$  da exactidão posicional associado ao documento cartográfico e que deve ser colocado nos metadados do documento. A escala adequada para a informação deve ser alvo duma tabela em que é definido o erro máximo da informação para cada escala. Esse erro máximo deve ser estipulado pelo organismo responsável pela produção cartográfica.

A estatística  $\chi^2$  também pode fornecer uma medida de discrepância entre as frequências observadas (o) e as frequências esperadas (e), quando expressa na seguinte forma:

$$\chi^2_{X,k} = \frac{(o_{1X} - e_{1X})^2}{e_{1X}} + \frac{(o_{2X} - e_{2X})^2}{e_{2X}} + \dots + \frac{(o_{kX} - e_{kX})^2}{e_{kX}} \quad (14)$$

$$\chi^2_{X,k} = \sum_{i=1}^k \frac{(o_{iX} - e_{iX})^2}{e_{iX}}$$

Fonte: p. 202 Spiegel

Quando as frequências teóricas e observadas concordam exactamente temos  $\chi^2 = 0$ , enquanto que quando isso não acontece temos  $\chi^2 > 0$ .

Quando a frequência total é N (número total de amostras) temos:

$$\sum o_{iX} = \sum e_{iX} = N \quad (15)$$

Uma expressão equivalente a (14) é

$$\chi^2_{X,k} = \sum_{i=1}^k \frac{o_{iX}^2}{e_{iX}} - N \quad (16)$$

Neste processo poderemos dividir a distribuição normal em intervalos iguais, por exemplo, de uma unidade de erro, tal como está representado no gráfico da figura 24, e calcular a área de cada intervalo, que vai corresponder à probabilidade de obtenção de valores nesse intervalo (frequência estimada) e compará-lo com os valores duma amostra (frequência observada).

2 – A qualquer medida de tendência central duma distribuição pode ser associado um valor de erro. Se  $f$  for uma boa medida do centro da distribuição, essa qualidade é verificada em termos do valor do quadrado do erro médio (Mean Square Error – MSE). Demonstra-se, que a variância é o valor mínimo do quadrado do erro médio e que este valor mínimo ocorre quando  $f$  é o valor médio. Pelo que, o desvio padrão é o valor mínimo da raiz quadrada do quadrado do erro médio (Root MSE ou mais usualmente RMS) e esse mínimo ocorre quando  $f$  é o valor médio. A expressão EMQ (Quadratic Mean Error), é normalmente usada quando a média aritmética do conjunto de dados tem o valor zero e designa a raiz quadrada do quadrado do erro médio, ou seja, o RMS.

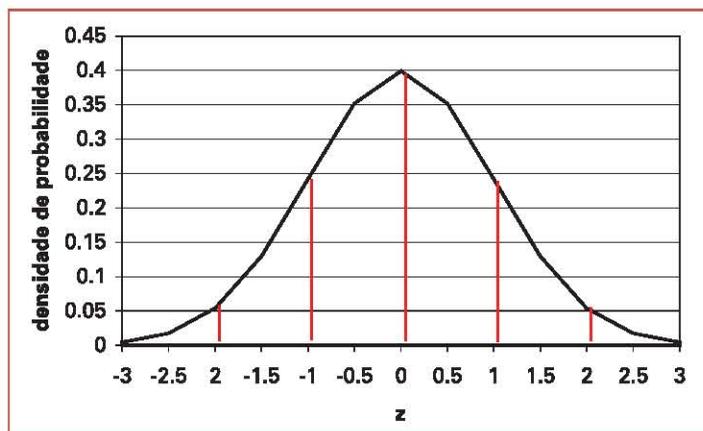


Figura 24 – Curva de densidade de probabilidade com intervalos de uma unidade de erro

No caso de termos 36 amostras, que pasaremos a designar por amostra  $A$ , com desvio padrão  $\sigma A$ , pretendemos saber o grau de aproximação duma distribuição normal  $N(0, \sigma A)$ . Portanto, para o exemplo anteriormente descrito terá a seguinte distribuição:

Intervalo	Área da Classe	F. Esperadas	F. Observadas
$]-\infty, -2\sigma_A[$	0.02275	0.82 (1)	2
$[-2\sigma_A, -1\sigma_A]$	0.13591	4.89 (5)	3
$[-1\sigma_A, 0]$	0.34135	12.29 (12)	13
$[0, 1\sigma_A]$	0.34135	12.29 (12)	14
$[1\sigma_A, 2\sigma_A]$	0.13591	4.89 (5)	2
$[2\sigma_A, +\infty[$	0.02275	0.82 (1)	2

**Nota:**

*Frequências Esperadas* – resulta da multiplicação do valor da área da classe pelo número de amostras

*Frequências Observadas* – resultam dos valores observados que para este exemplo são simulados

Ao efectuar os cálculos utilizando a expressão (14) obtemos o valor  $\chi^2_A = 5.017$ .

Para consultarmos as tabelas precisamos de determinar o número de graus de liberdade. O número de graus de liberdade  $v$  é dado por:

- (1)  $v = k - 1$ , quando as frequências esperadas puderem ser calculadas, sem que seja preciso fazer estimativas dos parâmetros populacionais, a partir de estatísticas amostrais. É

subtraído 1 a  $k$ , devido à restrição (15) que se estabelece que sendo conhecidas  $k - 1$  frequências esperadas, a outra pode ser determinada.

- (2)  $v = k - 1 - m$ , quando as frequências esperadas apenas puderem ser calculadas mediante estimativas de  $m$  parâmetros populacionais, a partir de estatísticas amostrais.

O número de parâmetros usados para a avaliação da frequência esperada são  $m = 2$ , isto é, a média e o desvio padrão da distribuição normal, temos  $v = k - 1 - m$ .

Neste caso temos o valor  $k = 6$ , ou seja, o número de intervalos que são estipulados para fazer o teste de aderência, pelo que neste caso temos  $v = 3$  graus de liberdade.

Por último, a nossa hipótese é de que o desvio padrão dos valores observados é aproximadamente idêntico ao da distribuição normal. Se para esta hipótese o valor de  $\chi^2$  calculado

usando (14) ou (16), for maior do que alguns valores críticos, tal como  $\chi^2_{3,0.90} = 6.251394$ , concluir-se-ia que as frequências observadas diferiam de modo significativo das frequências esperadas e portanto a hipótese seria rejeitada no nível de significância 0.10. No caso contrário, e que é o correspondente ao exemplo descrito devemos aceitar a hipótese, ou pelo menos não a rejeitar. A figura 25 mostra a forma de determinar o valor de  $\chi^2_{3,0.90}$  utilizando uma folha de cálculo.

No entanto o resultado mais interessante é saber qual o nível de significância que temos para frequência dos valores observados estarem próximos da distribuição normal, ou seja, efectuar o cálculo inverso. A figura 26 mostra o valor desse resultado, também utilizando a folha de cálculo.

Assim podemos concluir que a não aceitação da hipótese tem um nível de significância de 0.17, isto é, maior valor crítico considerado de 0.10, para aceitação. Embora a concordância

seja boa os resultados obtidos estão afectados ainda por uma quantidade razoável de erros amostrais que devem ser analisados.

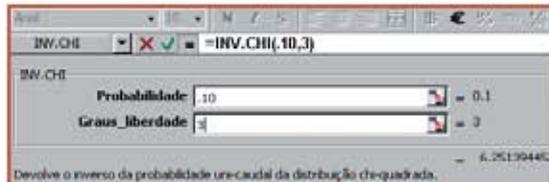


Figura 25 – Cálculo de valor  $\chi^2_{0.1}$  usando uma folha de cálculo. A probabilidade corresponde ao nível de significância pretendido.

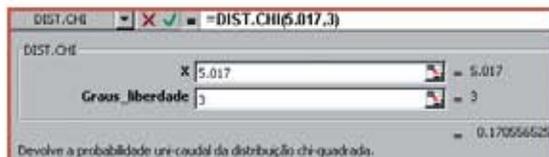


Figura 26 – Cálculo de valor de nível de significância para um dado valor de avaliação da distribuição.

## Trabalho futuro

Com base nos conceitos teóricos atrás descritos é necessário fazer a sua aplicação em valores amostrais obtidos a partir de trabalhos de campo.

A primeira fase do trabalho seria estabelecer uma malha de pontos de apoio no sistema de projecção cartográfico WGS84 Militar na zona a ser validada, com um rigor bastante superior ao da informação a ser verificada. Esta rede apesar de não ter um erro nulo, seria tomada como tal para servir de base de partida.

Com esta rede poderíamos avaliar o erro que é cometido ao transformar a informação restituída no sistema de projecção cartográfica Hayord-Gauss Militar, para o sistema WGS84 Militar.

A avaliação da triangulação aérea seria baseada na validação dos pontos artificiais utilizados na mesma, com vista à detecção de erros grosseiros e sistemáticos.

A informação vectorial seria agrupada por tipos de informação: pontos, linhas e áreas. Seria feita uma comparação entre os valores das coordenadas do vector com as coordenadas obtidas no campo para o mesmo ponto. Uma

forma de fazer os agrupamentos seria:

- casas (medição das esquinas)
- estradas (restituição pelos limites e determinar a linha média para comparar com a linha restituída)
- etc,

Para a informação raster a validação seria com base em pontos bem visíveis na fotografia ortorectificada e no terreno. Utilizando o processo do vector diferença, poderíamos fazer uma avaliação georeferenciada da exactidão posicional. Com esta informação poderiam ser detectados, por exemplo, problemas no modelo digital do terreno que ocasiona erros posicionais nos pixels da imagem.

Outra área a ser explorada seria a geoestatística cujo objectivo principal é fazer estimações com base num modelo de como o fenómeno se comporta.

Para fazer este trabalho vai ser necessário desenvolver aplicações que liguem o sistema de recolha de dados e o software que manipula a informação vectorial.

Com este software poderíamos, por exemplo avaliar no campo a exactidão posicional do elemento medido com o GPS diferencial, no momento em que a medição está a ser efectuada. Uma forma de avaliar a exactidão da restituição dinâmica duma estrada, seria fazer a restituição ponto a ponto dos seus limites com o GPS, calcular a linha central e determinar a distância de Hausdorff, ou o erro médio utilizando o método das áreas.

Face ao objectivo de obter a certificação em Qualidade e de acordo com a exigência da nova norma ISO 9001:2000 é necessário a construção de processos que descrevam a metodologia usada na determinação da exactidão posicional do documento cartográfico. Esse objectivo constituiria o resultado final deste trabalho.

## Conclusões

No processo de aquisição de informação georeferenciada existem vários tipos de erros. Esses erros podem ser agrupados em: erros

grosseiros, erros sistemáticos e erros aleatórios. A metodologia proposta pretende determinar a existência dos erros grosseiros e sistemáticos, com vista à sua eliminação. Após esta primeira fase pressupõem-se apenas a existência de erros aleatórios com uma distribuição normal. Com base neste pressuposto é determinado o desvio padrão, que é um estimador da exactidão posicional do documento cartográfico.

É importante desenvolver uma metodologia e um sistema modular para avaliação da exactidão posicional em cartografia digital. Pois só com este dado é possível integrar com êxito informação georeferenciada produzida por fontes diferentes em sistemas de informação geográficos. Este sistema teria todo o interesse em ter um módulo para facilitar a orientação das equipas no trabalho de campo, pois tornaria mais fácil a execução do trabalho planeado.

## Bibliografia

**Anciães**, Cláudia L. C., 2001 – Indicador da Exactidão e Precisão das Coordenadas SAD69 Obtidas por GPS – XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre – RS, 2001.

**Casaca**, João, Matos, João, Baio, Miguel – Topografia Geral – © Lidel Edições Técnicas.

**Cintra**, Jorge P., Nero, Marcelo A., 2001 – Documentos Cartográficos: Determinação do PEC – XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre – RS, 2001.

**Ferreira**, Jaime M. C., Brito, Luís N. e S., 2001 – Geração de Ortomosaico a partir da Câmara Fotográfica Digital não-métrica Kodac DC265 – XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre – RS, 2001.

**FGDC/ISO Metadata Standard Harmonization** – [www.fgdc.gov/metadata/whatsnew/fgdciso.html](http://www.fgdc.gov/metadata/whatsnew/fgdciso.html)

**Gillis**, J. T. – *Computation of the Circular Error Probability Integral* – Technical Research Report, TR91-12r1, 1991

**Heier**, Helmut, 2001 – *Deploying DMC in today's workflow* – Photogrammetric Week 2001

**Hinz**, Alexander, Dorstel, Christoph, Heier, Helmut, 2000 – DMC – *The Digital Sensor Technology of Z/I-Imaging* – GIM International, vol. 14, n.8 Agosto 2000 – p. 45-47

**ISO/DIS 19113** – *Geographic Information – Quality Principles*, [www.isotc211.org](http://www.isotc211.org)

**ISO/DIS 19114** – *Geographic Information – Quality Evaluation Procedures*, [www.isotc211.org](http://www.isotc211.org)

**ISO/DIS 19115** – *Geographic Information – Metadata*, [www.isotc211.org](http://www.isotc211.org)

**Lehmann**, Frank, Hoffmann, Andrea, Renouard, Laurent, Van der Vegt, Jan W., 2000 – *The High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A)* – GIM International, vol. 14, n.7 Julho 2000 – p. 12-17

**Mello**, Emanuele T. O. de, Wojcikiewick, Klaus E. M., Loch, Carlos, 2001 – A influência da obtenção e revelação de imagens na fotogrametria digital – XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre – RS, 2001.

**Mostafa**, Mohamed, Hutton, Joe, Reid, Blake, 2001 – GPS/IMU products – *The Applanix approach* – Photogrammetric Week 2001

**Rossa**, José M. R., 2001 – Ligação do GPS ao MicroStation – Boletim do IGeoE, 2001

**Spiegel**, Murray R. – *Theory and Problems of Statistics* – Schaum Publishing Co., 1961

**STANG 2215** – *Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data* – NATO, Military Agency for Standardization, Edition 5, 1989

**Tommaselli**, Antonio M. G., 2001 – Mapeamento com Câmaras Digitais: Análise de Requisitos e Experimentos – XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre – RS, 2001.



# Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)

↳ Luis Nunes, Tenente-Coronel Art.º Eng.º Geógrafo

*Em Fevereiro de 2000, a NASA enviou para o espaço o veículo espacial Endeavour, com a finalidade de obter a mais completa base de dados topográfica digital de alta resolução do Globo na actualidade, tendo o varrimento sido executado a uma velocidade de 1747 quilómetros quadrados por segundo, o equivalente a adquirir Portugal em cerca de 170 segundos, proporcionando dados 3-D de mais de 80% do Globo, aproximadamente em apenas 10 dias.*

## Requisitos da Missão

Em 1995, os Chefes de Estado-Maior das Forças Armadas dos Estados Unidos da América, estabeleceram os requisitos para um produto topográfico digital a nível mundial, baseados em especificações sugeridas não só pelos militares americanos, bem como por outras agências governamentais de carácter civil. Os pilotos de aeronaves militares

requeriam informação topográfica exacta para planeamento de voos e navegação, os restantes militares necessitavam de informação precisa para efectuar treinos, operações em tempo real, estudos do terreno para preparação do campo de batalha pelas informações (*Intelligence Preparation Battlefield*), para o estudo de colocação de radares e distintos equipamentos,

bem como para o guiamento de mísseis aos objectivos, entre outros, sendo que, o mais importante denominador comum a todos os eles era a tridimensionalidade dos dados, porque só com esta componente se podem obter mapas topográficos. Ou seja, a geolocalização planimétrica é deveras importante para a navegação em tempo real e outras actividades, mas, para efectuar o tipo de estudos atrás referidos, o essencial é a informação detalhada da altimetria do terreno porque, militarmente, do aproveitamento do terreno pelos contendores se condiciona a vitória ou a derrota, o sucesso ou o desastre. Não surpreendentemente, as forças terrestres, nomeadamente o Exér-



cito e o Corpo de Fuzileiros (*Marines*), apresentaram os requisitos mais elevados. Após apurados estudos, a *National Imaging and Mapping Agency* (NIMA) e o *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) para responderem às exigências dos seus principais “clientes”, concordaram em executar e voar uma das missões mais ambiciosas, espectaculares e importantes para as ciências geográficas, a missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). O objectivo, consistia em obter a mais completa base de dados topográfica digital de alta resolução do planeta Terra, desde os 60 graus Norte a 55 graus Sul do Equador. Em Fevereiro de 2000, a NASA (*National Air & Space Administration*) enviou para o espaço o vaivém espacial *Endeavour*, e a cobertura mundial foi executada a uma velocidade de 1747 quilómetros quadrados por segundo, o equivalente a adquirir Portugal em cerca de 170 segundos, proporcionando dados 3-D de mais de 80% da superfície da Terra, aproximadamente em 10 dias.



Figura 1 – Lançamento de Endeavour

## A tecnologia Radar

Para efectuar um mapa global da Terra, a tecnologia radar de abertura sintética foi a escolhida, essencialmente pela razão de ser uma ferramenta menos sensível do que os sensores ópticos existentes, permitindo não só operar de dia ou de noite sem interrupção, mas ainda porque os radares emitem a sua própria iluminação, não necessitando assim de outras fontes de luz. Outra razão, assenta no facto de os comprimentos de onda radar serem mais elevados que os do visível ou infravermelho, permitindo assim que os radares de abertura sintética possam “ver” em condições nubladas ou de reduzida visibilidade derivada de poeiras ou efeitos atmosféricos, que encobririam instrumentos nas bandas do visível e infravermelho, tendo ainda a vantagem de poder penetrar em camadas sucessivas de nuvens. Para determinadas regiões do Globo, se isso não acontecesse, seria necessária uma missão muito mais alongada no tempo, o que além de a encarecer, não garantiria a cobertura total do território a cartografar após o regresso do *Endeavour* a casa. Um radar de recolha de imagens trabalha sensivelmente como uma máquina fotográfica com flash. Uma máquina fotográfica com *flash* envia um pulso de luz – o *flash* – e impressiona em filme a luz que é reflectida através da lente da máquina fotográfica. Em vez de uma lente de máquina fotográfica e filme, um radar utiliza uma antena e um computador digital para gravar os pulsos reflectidos da “luz” do radar, o que compõe as suas imagens. Numa imagem radar, o utilizador apenas pode observar a luz que foi reflectida e enviada de retorno para a antena do radar. Um radar típico (acrónimo para *RADio Detection And Ranging*), mede a força e o tempo de viagem de ida e retorno dos sinais de microondas, que são emitidos por uma antena de radar e que tenham sido reflectidos em superfícies ou objectos distantes. Um radar de abertura sintética recorre a uma técnica assente numa antena muito comprida, combinando ecos recebidos pelo radar enquanto se desloca na sua trajectória de voo. O termo “abertura”

refere-se à antena do radar. Uma abertura “sintética” é construída movendo uma abertura real ou antena, através de uma série de posições ao longo da trajectória descrita durante o voo. A resolução na direcção do azimute da imagem é determinada pela largura do feixe, que por sua vez é proporcional ao comprimento físico ou à abertura sintética da antena do radar, ao longo do trajecto descrito pelo *swath*. Quanto maior a antena, melhor será a resolução nesta dimensão. Para a missão SRTM foram desenvolvidos os radares utilizados em duas missões que tiveram lugar em 1994. O radar *Shuttle Imaging Radar-C* (SIR-C) e o radar *Synthetic Aperture Radar* banda X (X-SAR) que tinham voado a bordo de um veículo espacial, tendo essencialmente recolhido dados sobre a componente ambiental da Terra. O SIR-C foi desenvolvido integralmente pela NASA. O X-SAR foi desenvolvido através de uma cooperação conjunta entre as agências espaciais da Alemanha e Itália.

### A chave do sucesso: uma nova técnica de interferometria

Alguns dos métodos radar existentes então para a aquisição de dados, incluíam os satélites Canadano/Americano RADARSAT e alguns Europeus, que eram relativamente de baixa resolução e conseqüentemente de precisão e exactidão não adequáveis, aos requisitos propostos pelos diversos organismos governamentais e pelas forças armadas.

Desde o lançamento do primeiro veículo espacial com tecnologia radar, as imagens 3-D foram criadas voando numa órbita muito próxima da área a adquirir, com repetição de passagem, de modo a proporcionar perspectivas diferentes do mesmo local. Este tipo de operação de dupla passagem, era aceitável para objectivos individuais, mas requeria uma navegação extremamente precisa na segunda passagem, e não era prática numa missão de aquisição contínua de dados geográficos.

O JPL, tendo em atenção a redução de custos e tempo, propôs utilizar algum do equipamento do *Space Radar Laboratory* (SRL), com o qual

tinha efectuado duas missões do veículo espacial em 1994, recorrendo a uma inovação técnica, a interferometria de passagem única. A proposta do JPL, apontava para a utilização de um mastro extensível de 60 metros, com um segundo jogo de antenas.

Recorrendo a interferometria, duas antenas voando em “formação”, poderiam adquirir dois conjuntos de dados simultaneamente. O mastro da SRTM permitia assim medições simultâneas separadas por uma distância fixa. No porão de carga do SRL foi montada uma antena com capacidade de transmissão/recepção, que funcionava como uma “lâmpada gigantesca” permitindo “iluminar” a Terra com frequências de microondas. O sinal reflectido era recebido pela antena na baía de carga, e pela antena externa localizada no extremo do mastro desdobrável.

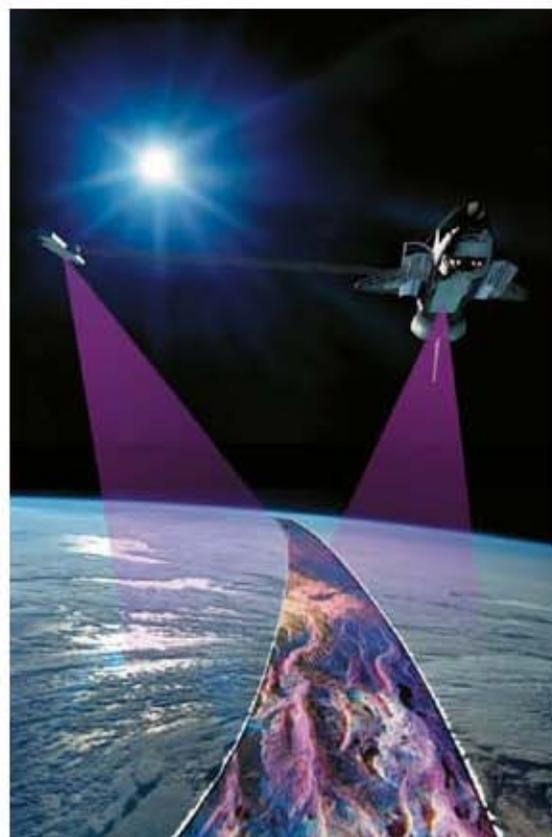


Figura 2 – Um mastro com um comprimento de 60 metros foi a estrutura mais comprida alguma vez lançada e voada no espaço, para permitir interferometria IFSAR.

Em termos simples, pode dizer-se que a segunda antena permitia “visão estereoscópica,” semelhante ao processo como os nossos dois olhos determinam uma distância. Em termos técnicos, a diferença do comprimento de onda do sinal de radar, ao viajar através das duas antenas e após a sua reflexão na superfície terrestre, origina alterações no seu ângulo de fase, de acordo com o tipo e características do local onde ocorre. A diferença no ângulo de fase, pode assim ser utilizada para determinar a distância precisa entre o vaivém e um objecto no terreno, sendo possível calcular a sua altura recorrendo a vulgares cálculos trigonométricos.

A chave do sucesso da missão, era assim aquela antena adicional colocada num longo mastro, para que o sistema pudesse operar como um interferómetro de passagem única, recolhendo eficazmente e com precisão, os dados da elevação. Um mastro com um comprimento de 60 metros foi assim a estrutura mais comprida alguma vez lançada e voada no espaço. A técnica utilizada designou-se por aquisição de dados radar de abertura sintética através de interferometria de passagem única, ou, *same-pass interferometric synthetic aperture radar (IFSAR)*.

Para aumentar a qualidade dos dados, a missão utilizou ainda diversas componentes, como um localizador de estrelas para permitir detectar, medir e posteriormente corrigir, as mudanças na posição da antena relativamente ao vaivém. Um telémetro comercial foi utilizado para determinar constantemente a distância à antena externa localizada no extremo do mastro, porque essa distância era fundamental para os cálculos posteriores da elevação. Receptores de GPS (*Global Positioning System*) foram colocados em diversos locais do vaivém, para determinar com grande rigor e precisão a sua localização no espaço.

### Resultados da missão

A altitude orbital do vaivém foi escolhida para aperfeiçoar as actividades de mapeamento, de modo a que, no fim da missão, não exis-

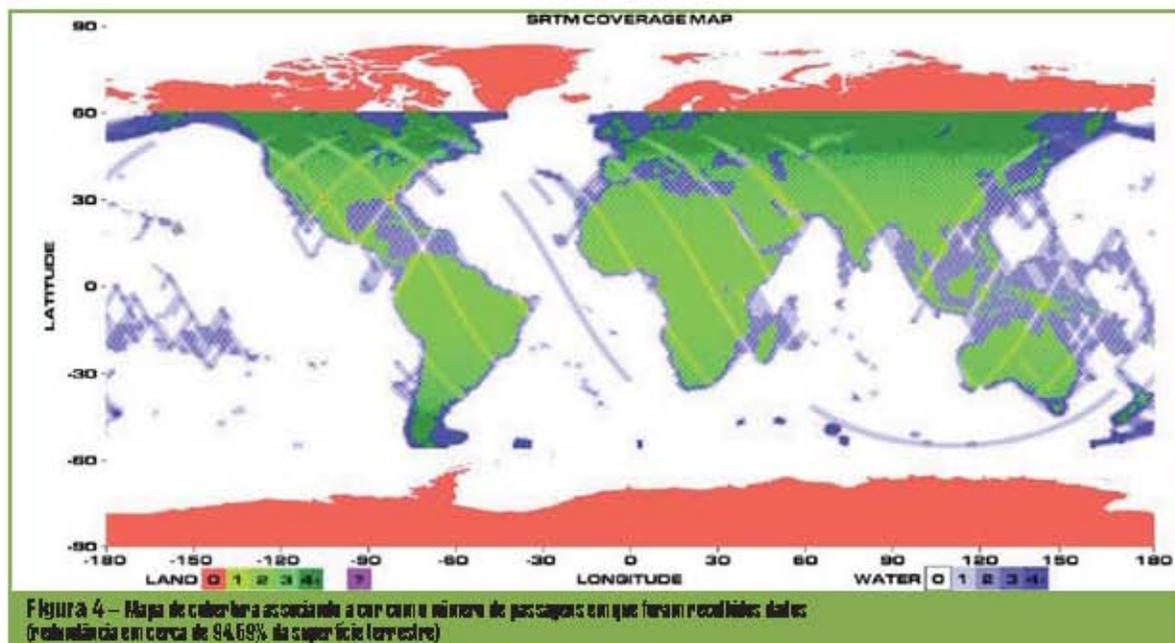
tissem zonas com lacunas de dados. A uma altitude de 223 quilómetros, voando em órbitas sucessivas entre os 57 graus Norte e os 57 graus Sul do Equador, na 160ª órbita iniciava-se a sobreposição com a primeira órbita. Isso permitiria que o vaivém pudesse montar o sistema de radar após o lançamento, efectuar a aquisição de dados e voltar à Terra, em apenas 10 dias.

O *Endeavour* passou assim nove dias, seis horas e 23 minutos em que adquiriu praticamente a informação altimétrica do Globo. Excluindo o tempo em cima dos oceanos, os radares necessitaram de 99.2 horas para efectuar o levantamento da superfície terrestre.

Aproximadamente 99.96% da área terrestre entre os 60 graus Norte e 55 graus Sul, 119.05 milhões de quilómetros quadrados, foram adquiridos pelo menos uma vez, o equivalente a 80% da zona coberta de solo da Terra. Aproximadamente 94.59%, cerca de 112 milhões de quilómetros quadrados, foram capturados duas vezes, ou seja 75.3% da área continental da



Figura 3 – Imagens da missão sobre a Antárctica



Terra. Não foram adquiridos apenas cerca de 50 000 quilómetros quadrados em relação ao planeado, principalmente na zona dos Estados Unidos, mas que se encontram já cobertos por séries cartográficas nacionais desse país.

A quantidade de dados foi absolutamente impressionante. Um total de 326 cartuchos de fita de alta densidade foram recolhidos com dados das bandas radar C e X. Em termos de um vulgar computador, estamos a falar de 11.7 terabytes de dados, quase equivalente à quantidade de informação existente em qualquer uma das maiores bibliotecas no mundo. Se os dados fossem armazenados em CD-ROMs normais, teriam que ser utilizados vinte mil e seiscentos (20600) CD-ROMs para armazenar todos os dados da missão SRTM.

O financiamento da missão SRTM foi assegurada pelo Departamento de Defesa, através do NIMA. A NASA forneceu o equipamento radar SIR-C, o veículo espacial *Endeavour*, o lançamento do mesmo, os sistemas de apoio em terra, as operações da missão e o apoio ao processamento dos dados. O Centro Aeroespacial Alemão (DLR) e a Agência Espacial Italiana (ASI) forneceram o equipamento radar X-SAR, alguns sistemas em terra, algumas operações da

missão, e apoio ao processamento dos dados.

O NIMA também forneceu algum controlo em terra e trabalhou com o JPL para determinar erros existentes nos dados SRTM. O NIMA também formatará, arquivará e distribuirá os dados para o Departamento de Defesa (DoD) dos Estados Unidos, países da NATO (*North Atlantic Organization*), restantes aliados e projectos específicos.



Figura 5 – SRTM DTED 2 combinado com imagem de satélite Landsat. Formatos manuseados, processados e disponibilizados ao público pelo NIMA

O formato dos dados mais importantes, os da elevação, será o normalizado pela NATO e pela ISO (*International Standard Organization*) e desde há longos anos utilizado pelo IGeoE, os tão conhecidos *Digital Terrain Elevation Data* (DTED Nível 1 e DTED Nível 2), pelo que, o manuseamento e processamento dos mesmos não constitui segredo para os técnicos do Instituto Geográfico do Exército.

Todos os dados da missão são **NÃO CLASSIFICADOS**, existindo dois tipos de distribuição:

- 1- Público em geral (responsabilidade de distribuição pela NASA através do *United States Geological Survey EROS Data Center*)
  - Historial dos Dados (Cobertura dos E.U.A.)
  - Imagens não rectificadas (Cobertura mundial)
  - SRTM DTED 1 (Cobertura mundial)
  - SRTM DTED 2 (Cobertura dos E.U.A.)
  
- 2- Distribuição Limitada (sob controlo do DoD e responsabilidade de distribuição pelo NIMA)
  - Historial dos Dados (Cobertura fora dos E.U.A.)
  - SRTM DTED 2 (Cobertura fora dos E.U.A.)
  - *Terrain Height Error Data* (THED)
  - Mosaicos de Imagens Ortorectificados (OIM)
  - Outros

### Considerações finais

Os dados continuam a ser processados no JPL, tendo parte deles já sido extremamente úteis na guerra ao terrorismo (*Global War on Terrorism*), prevendo-se que em 2004 toda a informação altimétrica digital do planeta Terra, esteja definitivamente disponível. Sobre a precisão e exactidão dos dados recolhidos, deixar-se-á esse tema para outra oportunidade, no entanto, interessa salientar

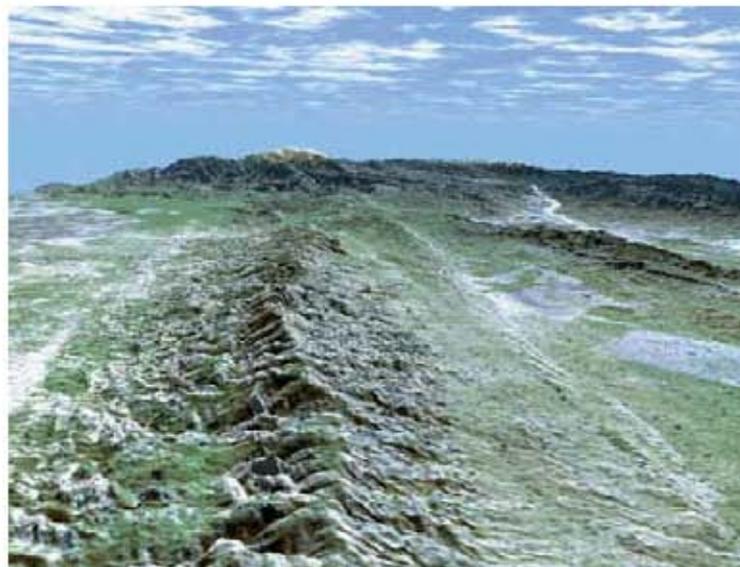


Figura 6 – Modelo 3-D gerado com dados SRTM da falha de Santo André, Califórnia, E.U.A.

que a informação recolhida permitirá estudos da mais variada ordem, que poderão revolucionar, incrementar a utilização e desenvolvimento maciço, por parte de cientistas, investigadores e demais utilizadores, nas diversas áreas das ciências geográficas e ciências afins, além do seu óbvio aproveitamento na área militar para estudos de situação, navegação, preparação de missões, guiamento de mísseis, segurança de voo e outras.

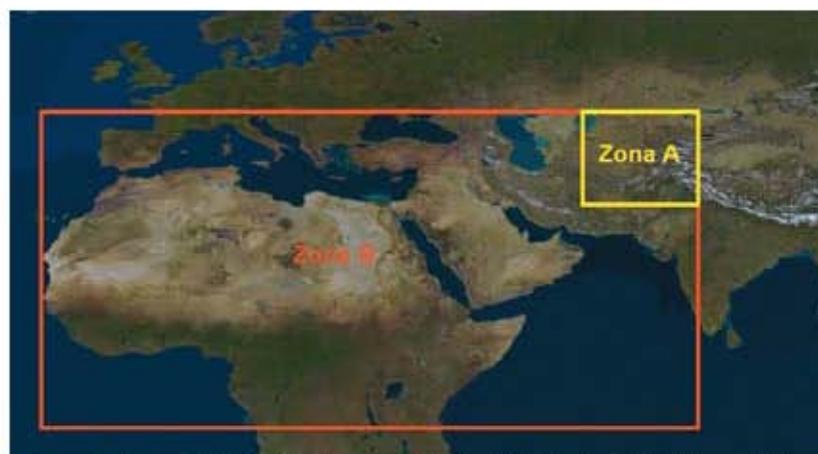


Figura 7 – Para produzir o SRTM DTED 2 correspondente à Zona A (9 Cds) e Zona B (426 Cds), para Gestão de Crises, foram necessários 6 meses por parte da totalidade do Jet Propulsion Laboratory

# Informação Raster

> Carla Rebelo, Eng<sup>a</sup> Geógrafa

*Este artigo centra-se na aquisição de dados matriciais a partir de informação analógica existente através de uma digitalização por varrimento (scanning), em que a mais pequena unidade de informação ou pixel (picture element) disposta em forma de mosaico ou matriz, define a resolução que variará para os diferentes procedimentos e sistemas. Este processo de digitalização automática executado pelo scanner consiste numa discretização em elementos imagem individuais (pixel) e numa quantificação de cada um desses elementos com valores de cinzento (0-255, para conversores de 8 bits) resultantes de uma tabela previamente definida, onde cada pixel estará associado a uma determinada posição.*

**A**ctualmente a Informação em formato Raster é uma fonte de dados geográficos indispensável para o planeamento e desenvolvimento de diversas actividades no domínio militar, público e privado. A facilidade de manuseamento e rapidez com que se acede a este tipo de informação, e a quase ausência das deformações e distorções localizadas inerentes a um suporte como o papel, devido ao uso de técnicas apuradas de rectificação e georeferenciação, levou a que a aquisição e disponibilização da informação geográfica existente através de técnicas de varrimento digital, fosse um objectivo requerido ao Instituto Geográfico do Exército pelas comunidades civil e militar.

Em termos de conteúdo, esta informação digital serve de apoio para a captura de dados por vectorização, constituindo uma importante fonte de actualização de informação cartográfica, podendo ser ainda informação de base para a construção de um sistema de informação geográfica.

## Digitalização automática

A Informação Cartográfica a ser capturada através do *scanner* deve estar a sujeita a um conjunto de procedimentos e a um manuseamento bastante cuidado em termos de digitalização. A atenção e rigor postos neste passo reflectir-se-á no resultado final. Uma digitalização deste tipo inicia-se, naturalmente, com a escolha do *scanner* a utilizar, dependendo do documento de que se dispõe. Posteriormente, segue-se a escolha da resolução geométrica, onde é definido o tamanho do *pixel* que geralmente é medido em DPI (*dots per inch*) ou  $\mu\text{m}$ , e a resolução radiométrica que quantifica os valores de cinzento do *pixel*, e por fim o formato pretendido para o ficheiro *raster* (sequencial ou comprimido).

Geralmente a digitalização de um documento é efectuada no *scanner* de tambor *Eagle 4080 C*, da *Anatech*, pelo facto de permitir a digitalização de documentos a cores, com uma resolução máxima de 800dpi, e ainda a digitalização de



**Figura 1** – Definições de rasterização no software Scansmith.

grandes formatos analógicos, com um comprimento máximo de 110 cm.

Na caixa de diálogo da figura 1 são definidos todos os parâmetros que se pretendem obter para a imagem final, como o formato, resolução e dimensões do documento analógico.

O scanner Eagle 4080 C é constituído por um sistema óptico de sete câmaras on-

de a informação vai sendo registada pela luz emitida verticalmente por essas câmaras e que passa sobre o documento que também está iluminado por uma luz externa.

### Erros inerentes a uma digitalização automática

Como em qualquer processo automático a inserção e propagação de erros é inevitável. Estes só poderão ser minimizados se forem adoptados métodos rigorosos, onde a verificação do estado de conservação do documento analógico e do próprio scanner são medidas vitais para o sucesso deste processo.

O deficiente estado de conservação dos documentos a converter, como deformações dos suportes provocados por variações de tempe-

ratura e humidade, sujidade dos suportes analógicos a converter, do próprio sistema óptico do scanner (câmaras) e do tambor, deficiente identificação dos elementos existentes no suporte (por falta de contraste entre eles), ou a existência de vincos, dobras ou qualquer outro dano analógico, transmitir-se-ão para o formato digital. Alguns destes defeitos são incontornáveis pelo que interessa controlar aqueles que dependem directamente do processo de digitalização.

A calibração do scanner e a sua limpeza são processos que devem ser efectuados com alguma frequência, como garantia de qualidade na imagem antes de um processo de digitalização, corrigindo desta forma algumas variações de intensidade de luz e de cor que possam existir, por forma a aproximar a tonalidade da imagem ao original.

Na figura 3 podemos ver um exemplo de um documento analógico em mau estado de conservação sujeito posteriormente a um tratamento digital.

O tratamento digital é indispensável não só na



**Figura 2** – Processo de digitalização



**Figura 3**

aquisição de dados raster das séries cartográficas produzidas, como também na área da Cartografia Antiga existente na Cartoteca do Instituto Geográfico do Exército onde desta forma foi possível assegurar a “imortalidade” de alguns documentos que há uns anos atrás se consideravam irrecuperáveis ou perdidos (figura 4).

### Geo-referenciação

A seguir a estes procedimentos de digitalização e processamento digital de imagem, segue-se a inserção de uma determinada dimensão geográfica à matriz de pixels. Este processo, denominado Geo-referenciação tem uma precisão que é função da resolução do scanner (geométrica e radiométrica), do estado inicial do documento analógico, do cuidado do operador responsável e do próprio software utilizado.

A Geo-referenciação das diferentes Séries

Cartográficas produzidas no Instituto, de Portugal Continental (M888 e M782) e Ilhas (M889 e P821) num sistema de Coordenadas Rectangulares tem por base a Teoria da Digitalização onde de uma forma grosseira o tamanho do *pixel* deve ser no mínimo metade do valor do erro de graficismo no terreno, dado por:

$$et = \varepsilon_g \times N$$

onde,  $\varepsilon_g$  é o erro de graficismo na carta e  $N$  o módulo da escala da carta.

A teoria da Digitalização refere que a frequência de digitalização a ser considerada deve ser no mínimo o dobro da mais alta frequência de sinal da carta analógica. Como tal, a resolução geométrica, isto é a dimensão do pixel será dada por

$$A_{Ny} \leq \frac{1}{2 \cdot f} [m]$$

onde,

$A_{Ny}$  – frequência de digitalização necessária ou dimensão do *pixel*;

$f$  – frequência de sinal mais alta que aparece na carta analógica, em que para um par de linhas (traço na carta) por mm a frequência da carta é  $f = 1/0.2$  mm (0.2 mm é o erro de graficismo usual).

Sendo assim,  $A_{Ny} = 0.1 [mm]$  multiplicado pelo módulo da escala da carta corresponderá à dimensão mínima do *pixel*.

É importante salientar que mediante todos estes procedimentos para a aquisição de informação raster tornou-se imprescindível a criação de ficheiros Metadados por forma a clarificar a natureza e qualidade dos dados adquiridos. O IGeoE disponibiliza geralmente estes dados à comunidade civil juntamente com a informação raster.

A Geo-referenciação das restantes séries cartográficas, Ex-Colónias e NATO em Coordenadas Geográficas é mais complexa porque a dimensão do *pixel* será função da zona geográfica do globo a representar para além da escala da informação. Neste caso a teoria da digitalização revela-se insuficiente. Por tal razão a geo-referenciação basear-se-á no projecto CRP



Figura 4 – Documento cartográfico recuperado

Designação dos dados	RASTER M889 - folha 1 - 2ª edição
Objectivo da Recolha	Null
Data da recolha	2002
Naturaza dos Dados	Geográficos
Entidade produtora dos dados	IGoE
nome do ficheiro	A1_2.tif
formato do ficheiro	TIFF
tamanho do ficheiro	25.619
versão do ficheiro	2
tipo de dados	Derivados
dados de base	Série Cartográfica M889
comentários	Null
sistema de coordenadas cartográficas	Coordenadas UTM_Fuso 25 (Elipsóide WGS84, Datum WGS84, k=0.9996, dx=500000m, dy=000000m, long=33:0:0.0W, lat=0:0:0.0N)
modelo de dados	Raster
resolução espacial	2.5
unidades do pixel	metros
formato do ficheiro	binário
formato dos dados	byte
legenda	Null
tipo de processamento	digitalização, tratamento de imagem, Geo-Referenciação

Figura 5 – Ficheiro de Metadados referente à folha 1, da série M889

(Compressed Raster Product), um projecto que tem como fim estabelecer um arquivo comum para a informação raster a nível mundial.

O CRP fundamenta-se em normas específicas da NATO, onde o formato *standard* considerado é o TIFF (*Tagged Image Format File*), com uma resolução geométrica de 100mm (254 dpi) e uma resolução radiométrica de 8 bits (*Indexed color*).

O Sistema de referência do CRP é o Equal Arc-Second Raster Chart (ARC). Este sistema divide o globo em dezoito zonas segundo a latitude, nove em cada um dos hemisférios, incluindo as zonas polares, como está representado na figura 6.

Assim, qualquer uma das Séries Cartográficas Internacionais Geo-referenciadas em coordenadas Geográficas será abrangida pelo sistema de referência ARC do CRP, onde a resolução geométrica será adoptada em função da zona onde ela esteja inserida em termos de latitude e longitude e da escala da informação cartográfica.

Na figura 7 podemos ver alguns exemplos de coberturas internacionais geo-referenciadas com base neste sistema.

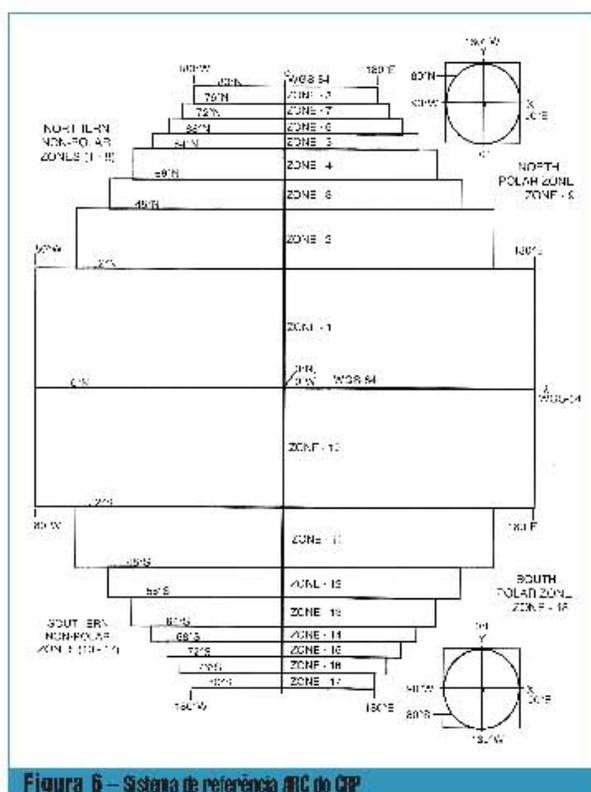


Figura 6 – Sistema de referência ARC do CRP

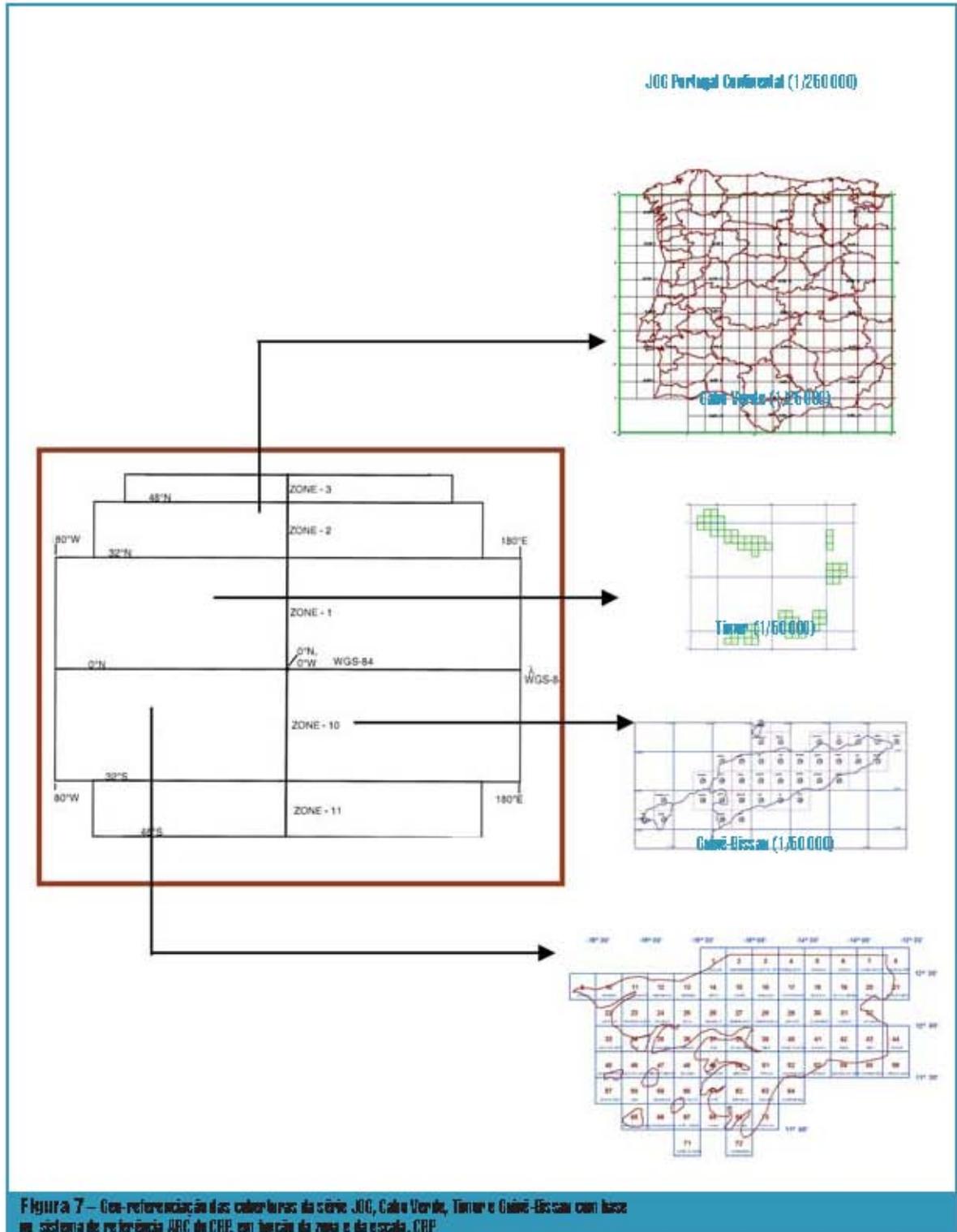


Figura 7 – Geo-referenciación das redeiras da série JOC, Calvo Verde, Timor e Calvo-Bissau con base no sistema de referéncia ARC do CRP, en función da zona e da escala. CRP

## Disponibilização da informação raster

Para cada imagem de uma folha da carta militar é disponibilizado um conjunto de quatro ficheiros: o de metadados referido anteriormente, um ficheiro *raster* com uma resolução de 254 dpi e uma resolução radiométrica de 8 bits (*indexed color*) em formato *standard TIFF* com matriz de geo-referenciação no header do ficheiro, um ficheiro com extensão TFW (*World file*) e um ficheiro com extensão TAB (para o software *Mapinfo*), permitindo assim que a imagem seja interpretada pelos softwares mais utilizados no mercado.

### Séries Nacionais produzidas pelo IGeoE

#### PORTUGAL CONTINENTAL

Série M888 – 1/25 000  
 Série M782 – 1/50 000  
 Série M586 – 1/250 000  
 Carta Itinerária 1/500 000  
 Lisboa 1/10 000

#### AÇORES

Série M889 – 1/25 000

#### MADEIRA

Série P821 – 1/25 000

### Séries Internacionais GEO-REFERENCIADAS em coordenadas geográficas

Série 1501 da JOG  
 (Joint Operations Graphic)  
 versão AIR e GROUND  
 Série G811 – Cabo Verde  
 Série de TIMOR – 1/50 000  
 Série G745 – GUINÉ BISSAU

Angola 1/ 2 000 0000  
 Moçambique 1/ 2 000 0000

### Conclusão

A Cartografia em formato analógico assumiu uma importância inquestionável ao longo dos tempos que nos chega naturalmente através de registos históricos, porque desde sempre o homem se confrontou com decisões que seriam certamente mais difíceis e menos acertadas sem documentos que o posicionassem relativamente ao mundo que o rodeia.

O progresso que se fez sentir nos últimos anos no desenvolvimento de tecnologias, trouxe novidades no processamento e na manipulação de dados que até à alguns anos atrás era impensável.

Diariamente chegam notícias que se baseiam em dados digitais, seja em situações de conflitos bélicos, confrontos étnicos ou catástrofes naturais, onde este tipo de informação se tornou imprescindível para a tomada rápida de decisões e subsequente actuação, ou tão só na consulta de páginas *Web* para fins privados ou públicos.

A era da globalização também se reflecte na cartografia digital, tornando-se fundamental a adopção de formatos normalizados (*standard*) para que toda a informação possa ser interpretada em qualquer ponto do globo terrestre de igual modo e com a mesma facilidade.



# VMAP3: Uma realidade

> *Madalena Fernandes, Eng<sup>a</sup> Geógrafa*  
> *Francisco Gomes, Major Art, Eng<sup>o</sup> Geógrafo*

*O Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), consciente do desenvolvimento das tecnologias da informação, considera ter um papel fundamental como órgão produtor de dados geográficos de base, por esta razão inclui nos seus planos para um futuro próximo a realização de um projecto designado VMAP3 (Vector Smart Map - Level 3) a partir da única série que cobre o território nacional na totalidade, a Carta 1/25 000.*

*O VMAP3 assenta em três pressupostos fundamentais: informação fotogramétrica precisa e validada por forma a integrar um SIG; dados alfanuméricos provenientes do cadastro militar e uma estrutura normalizada de transferência conhecida por Vector Product Format (VPF). O VPF vem realçar a contínua participação do IGeoE em comissões técnicas e grupos de trabalho quer a nível nacional quer internacional – dos quais se destaca o Digital Geographic Information Working Group (DGIWG), no intuito de, cada vez mais, produzir informação estruturada e normalizada de acordo com as regras em vigor a nível internacional.*

*O IGeoE continua, desta forma, a acompanhar os novos desafios que todos os dias são propostos aos grandes produtores de informação geográfica, certo que desta forma assegurará as responsabilidades assumidas perante as comunidades militar e civil, no âmbito da produção de dados precisos, coerentes, estruturados e normalizados.*

## O projecto

O projecto VMAP3 (Vector Smart Map nível 3) é um sistema de informação geográfica de base, que visa colmatar uma lacuna existente no universo de produtos disponíveis no IGeoE no que respeita à área das novas tecnologias da informação. Este projecto surge por reconhecimento da importância de um outro – VMAP1, iniciado em meados da década passada, com o objectivo internacional de cobrir todo o globo terrestre, à escala 1/250 000. A motivação, comum aos países envolvidos, consistia também em facilitar a permuta de informação, tendo cada produtor de VMAP1 que disponibilizar a informação produzida aos seus congéneres.

O VMAP3 nasce para permitir o aproveitamento da riqueza e precisão dos dados adquiridos para a produção da carta 1/25 000 (Série M888), tirando partido da experiência adquirida na produção do VMAP1. Por esse facto a estrutura dos dados é semelhante, sendo efectuadas as alterações necessárias para garantir a integração de todos os dados pretendidos e para facilitar o manuseamento destes pelo utilizador habituado à Série M888.

São três os pressupostos considerados para a concepção deste produto: informação fotogramétrica; dados alfanuméricos vários e uma estrutura normalizada. Os dados adquiridos por métodos fotogramétricos são tratados por forma a integrarem um sistema de informação geográfica, sendo manipulados num espaço orientado para objectos que permite topologia em tempo real. Este tratamento é realizado sempre com o cuidado de manter inalteradas as posições dos objectos observados pelo operador de restituição. A informação cartográfica é complementada com os dados passíveis de serem retirados da própria cartografia bem como das normas de restituição que a originaram e, em simultâneo com um documento designado Cadastro Militar que é resultado dos trabalhos de completagem para cada uma das folhas da Carta 1/25 000. Os dois tipos de dados referidos anteriormente são moldados e adaptados

a um catálogo de objectos internacional que originou um Guia de Extracção específico para a Série M888.

## As normas

As entidades que produzem, distribuem ou utilizam informação geográfica a qualquer nível beneficiam, naturalmente, com a utilização de normas. A normalização facilita o armazenamento, a modelação, a simulação, independentemente de nos referirmos a produtores de informação de base ou a utilizadores.

Em 1983, foi constituída uma comissão internacional que apesar de não ser considerada um grupo de trabalho militar surgiu sob os auspícios da NATO com a designação DGIWG (*Digital Geographic Information Working Group*). Não sendo um organismo oficial dessa organização, os trabalhos de normalização do DGIWG têm sido reconhecidos e adoptados através da sua representação na Conferência Geográfica NATO (NGC).

O objectivo do grupo era definir regras para a produção de informação geográfica, criando assim estruturas de normalização de dados para facilitar o intercâmbio de dados geográficos independentemente de ser informação vectorial, *raster* ou matricial.

O documento mais conhecido cuja produção pertence ao DGIWG é o DIGEST (*Digital Geographic Information Exchange Standard*), concebido com o objectivo de normalizar a produção de informação geográfica, permitindo assim a troca dessa informação entre diferentes entidades produtoras e/ou utilizadores. O fundamento de base deste documento é a troca de dados entre diferentes sistemas sem a necessidade de tradutores, o que requer dados uniformes e compatíveis quanto ao modelo, à estrutura e ao formato. A importância do DIGEST é reconhecida, sendo classificado como STANAG 7074 (*NATO Standardization Agreement 7074*) tornando-se o documento base da co-produção entre nações, de diversos produtos de suporte a aplicações civis e militares.

Para atingir o objectivo normalizador, o DIGEST surge com quatro partes: a 1ª Parte

contém uma descrição geral da norma; a 2ª Parte descreve modelos teóricos, estruturas de transferência e suas especificações; a 3ª Parte possui códigos e parâmetros e a 4ª Parte é um dicionário de dados constituído por um esquema códigos para features, atributos e valores desses atributos designado FACC (*Feature Attribute Coding Catalogue*).

Destas quatro partes destacam-se a segunda e a quarta que se passam a descrever.

## O formato

Na Parte 2 do DIGEST é especificado um modelo relacional aplicável a dados vectoriais denominado VRF (*Vector Relacional Format*) que é descrito como sendo um formato de uso directo baseado em tabelas. Neste formato todos os objectos são descritos sob a forma de tabela relacional composta por colunas que definem a sintaxe de cada campo e linhas que contêm os dados.

O modelo geo-relacional providencia assim uma estrutura para uma base de dados espacial, permitindo a produção de dados que facilmente são manipulados por *software* que contenha regras e operadores baseados em topologia, geometria e objectos relacionais em forma de tabelas. Este trio composto por geometria, topologia e tabelas relacionais providencia uma robusta arquitectura de base de dados.

O projecto VMAP3 utiliza uma implementação deste formato VRF designada VPF (*Vector Product Format*). O VPF surge assim como modelo geo-relacional, e foi concebido para ser compatível com uma grande variedade de aplicações e produtos, permitindo que *software* aplicacional leia dados sem qualquer necessidade de conversão. Sendo um exemplo prático da estrutura VRF, pode ser utilizado com quaisquer dados geográficos digitais em formato vectorial, que possam ser representados usando nós, arcos e polígonos.

No caso concreto do VPF, os diferentes tipos de dados geográficos são armazenados como simples registos na forma de ficheiros, que permitem o acesso directo por localização espacial e conteúdo temático. Este ficheiros podem ser de três tipos: directorias, tabelas e índices. A di-

rectoria é o ficheiro que identifica os nomes de uma colecção de ficheiros, o seu tipo, endereço e tamanho. São as tabelas, no modelo de dados VPF, que organizam e modelam todos os dados geográficos. Possuem uma estrutura comum básica obrigatória, sendo constituídas pelas seguintes componentes: cabeçalho, identificador de linha e conteúdo da tabela. Os índices estão associados às tabelas e servem para que se possa identificar rapidamente um registo ou conjunto de registos.

As componentes do modelo de dados VPF estão organizadas em vários níveis. No nível inferior encontram-se as primitivas, agrupando-se em tabelas de features. As coberturas são compostas por tabelas de features e por sua vez organizam-se em bibliotecas que no seu conjunto constituem a base de dados.

O VPF conquistou a confiança de um vasto número de utilizadores (inicialmente apenas na

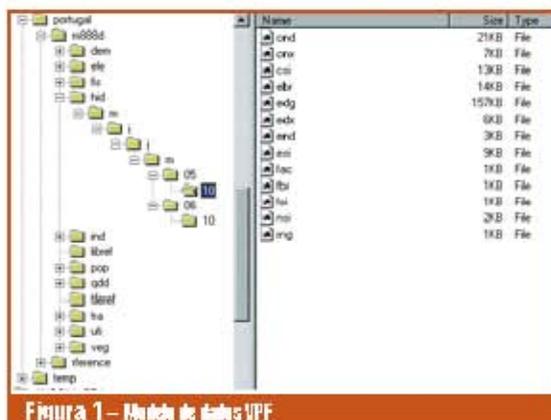


Figura 1 – Modelo de dados VPF

comunidade militar, mas posteriormente e cada vez mais na comunidade civil), utilizadores esses que lhe reconhecem as seguintes vantagens:

- compatibilidade. O modelo de dados utilizado é compatível com uma grande variedade de aplicações e permite manipular, editar, analisar e produzir dados.
- integração. A facilidade de integração com quaisquer dados geográficos desde que devidamente geo-referenciados.
- independência. O formato é independente do software (actualmente os softwares co-

ID	Code	Feature Name	Feature Type
F_CODE	1	FACILITY	CHAS VPT
AIRWAY	1	Airway Category	CHAS VPT
AIRSPACE	1	Airspace Category	CHAS VPT
LOC	1	Location Category	CHAS VPT
LINE	1	Line/Track Number	CHAS VPT
MARK	1	Mark Category	CHAS VPT
NAME	1	Name	CHAS VPT
ROAD	1	Road/Passway Surface Type	CHAS VPT
WATER	1	Water Type Category	CHAS VPT
WALKWAY	1	Walkway Type Category	CHAS VPT
WIDE	1	Maximum Transit Width	CHAS VPT
WIDEN	1	Widen Feature ID	CHAS VPT
WIDEN	1	Widen Feature ID	CHAS VPT

Figura 2 – Tabela VPF

merciais mais utilizados a nível internacional conseguem ler VPF).

- flexibilidade. Se o utilizador necessitar pode apenas ver e manipular uma única célula.
- continuidade. Suporta uma base de dados não fragmentada, existindo sempre topologia continua entre células.

## Os objectos

A outra parte do DIGEST a destacar, a Parte 4, é normalmente designada por catálogo de objectos com claras vantagens como a de permitir uma rápida identificação na base de dados e de ser facilmente reconhecido pelos utilizadores. Este catálogo tem duas partes: na primeira possui, dentro de cada tema, um vasto número de códigos cada um deles contendo uma definição permitindo assim, tanto quanto

DIGEST Part 4  
Edition 2.1, September 2000  
Annex A-Feature Codes

G - Aeronautical Information

GA - Aeronautical Information-Air Routes

GA005 Airspace  
Designated airspace within which some or all aircraft may be subjected to air traffic control.

GA010 ATS Route Segment/Leg  
A portion of an Air Traffic Service (ATS) Route identified by two electronic NAVAIDS at the extremities and/or reporting points.

GA015 Special Use Airspace  
Airspace of defined dimension identified by area on Earth's surface where activities must be confined because of their nature and/or where limitations may be imposed on aircraft operations not associated with these activities.

GA020 Airspace Boundary Segment  
Single segment of an Airspace (GA005).

GA025 Special Use Airspace Segment  
Single segment of a Special Use Airspace (GA015).

GA030 Off Route Radial/Bearing  
Captures the Off Route Radial/Bearings (directions and distance from a NAVAID to a Waypoint).

GA035 Lead Radial  
A radial or bearing which provides at least 2 miles of lead to assist in turning onto the

Figura 3 – Features FACO

BCT	999	Other
<b>BDC</b>	<b>Bridge Design Category</b>	
Structural design characteristics of the bridge or bridge segment.		
BDC	0	Unknown
BDC	1	Arch
BDC	2	Cantilever
BDC	3	Deck
BDC	4	Slab
BDC	5	Floating Bridge
BDC	6	Girder
BDC	7	Stringer (Beam)
BDC	8	Truss
BDC	9	Suspension
BDC	11	VALUE INTENTIONALLY LEFT BLANK (Other)
BDC	12	Transporter (Ferry Bridge)
BDC	997	Unpopulated
BDC	998	Not Applicable
BDC	999	Other

Figura 4 – Atributos BDC

possível, uma identificação inequívoca de cada um dos objectos; na segunda parte está definido um grande conjunto de atributos podendo cada um destes tomar vários valores sendo assim possível definir diferentes produtos.

Os objectos estão organizados de acordo com uma estrutura temática herdada da família de produtos VMAP, que se passa a descrever:

- **Demarcação:** linha de costa, limites administrativos, marcos de fronteira.
- **Elevação:** curvas de nível, curvas batimétricas, pontos cotados.
- **Fisiografia:** escarpados, aterros, desaterros.
- **Hidrografia.** linhas de água, rios, lagoas, albufeiras.
- **Indústria:** fábricas, minas, áreas extractivas (areeiros, saibreiras).
- **População:** agregados populacionais, edifícios relevantes, igrejas, santuários.
- **Qualidade dos Dados:** os utilizadores conhecem as folhas da 25mil, pareceu importante preservar essa ligação e este tema surge com a delimitação de cada uma das folhas indicando a data e precisão dos dados cartográficos e a dos dados alfanuméricos.
- **Transportes:** rede viária, rede ferroviária, obras de arte.
- **Utilidades:** bombas de combustível, linhas de alta tensão, centrais eléctricas.
- **Vegetação:** pomares, vinhas, arvoredos, arbustos.

Inevitavelmente uma base de dados de um

país implica uma grande quantidade de dados. A manipulação desses dados impõe limitações quanto à dimensão do conjunto de informação a ser processada. Para facilitar a produção e gestão, os objectos estão organizados em unidades mínimas designadas células. As células são um método usado para dividir os dados e garantir que o seu manuseamento seja tão rápido quanto possível, tanto na produção como na manipulação do produto final por parte do utilizador. A implementação do projecto é assim realizada com a segmentação dos dados numa estrutura de células que será função do produto em questão, nomeadamente da escala da informação de base (como ilustrado nas figuras 7 e 8). O esquema utilizado na família de produtos VMAP é baseado no sistema de referência global GEOREF, sendo a dimensão de cada célula um requisito específico de cada produto.

Esta divisão traduzir-se-ia numa desvantagem se existisse perda de continuidade entre células adjacentes. O VPF resolve este problema referindo-se aos arcos utilizando um ID triplo que contém uma referência interna para o polígono ou arco na célula em questão e quando neces-

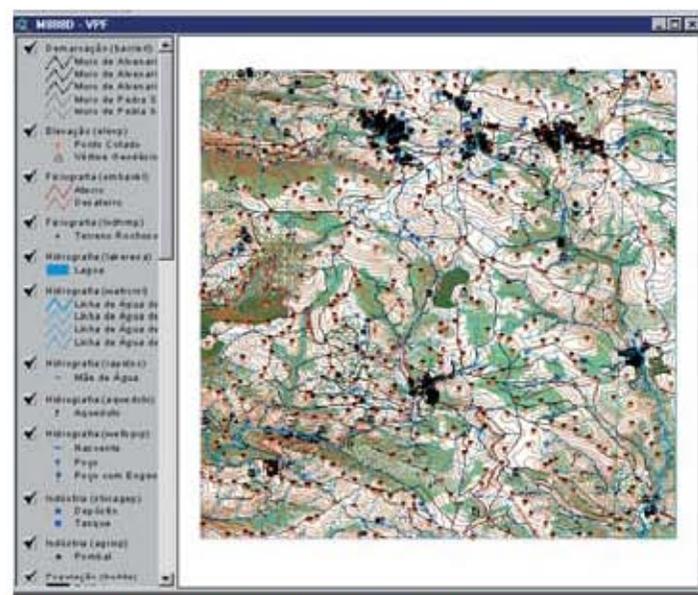


Figura 5 – Estrutura temática numa aplicação comercial

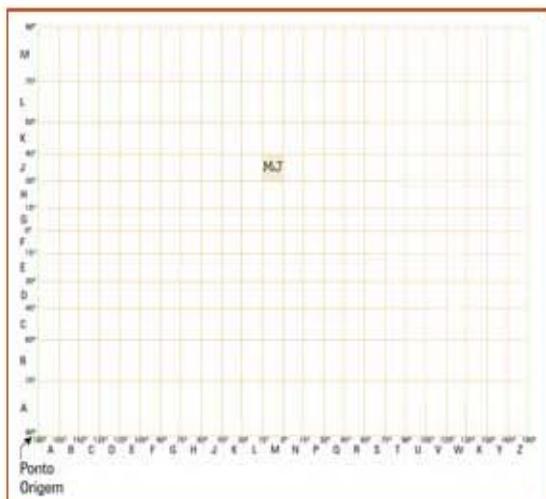


Figura 6 – Sistema GCRREF

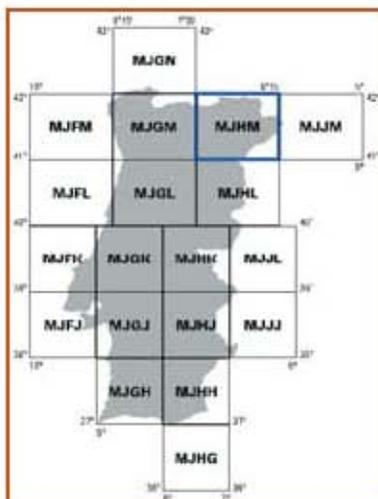


Figura 7 – Células VMAP1

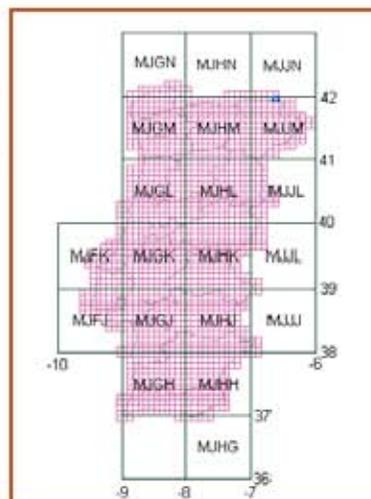


Figura 8 – Células de VMAP3

são esse ID contém também uma referência externa na célula adjacente.

Para facilitar a rapidez de acesso e de manipulação, a informação do VMAP3 está estruturada em células de 5'x 5' sendo a topologia contínua entre células adjacentes o que torna cada elemento contínuo enquanto os seus atributos o forem.

### Normas Internacionais

Actualmente o DGWIG não se encontra isolado das restantes entidades normalizadoras a nível internacional, podendo destacar-se as crescentes tentativas de aproximação entre o DIGEST e outras normas como o *International Hydrographic Organization S-57*, os *Geographic Information/Geomatics* da ISO/TC211 e os ISO. ITC1.SC24 para processamento de imagem.

As vantagens destas medidas de normalização são, principalmente, a diminuição de custos de produção, a maior capacidade de partilha de dados, a facilidade de integração de vários produtos com diferentes origens, evitar a utilização de vários programas para poderem visualizar e manipular a vasta informação actualmente disponível no mercado, criando assim medidas activas de gestão. Na actualidade é mais importante a gestão da informação do que propriamente a possibilidade de posse da mesma.

### Exemplos de normalização no IGeoE

- **Informação Vectorial:** Os projectos VMAP1 e VMAP3.
- **Informação Raster:** O IGeoE dá neste momento os primeiros passos na conversão de informação *raster* para um formato normalizado *Arc-based* utilizado a nível internacional denominado CADRC (*Compress Arc Digitized Raster Graphics*).
- **Informação matricial altimétrica:** Projecto DTED (*Digital Terrain Elevation Data*) matriz de dados altimétricos, utilizando o sistema de referência global e permitindo a análise do terreno como seja o cálculo de perfis, áreas e volumes, zonas vistas e não vistas, declives, entre outros.

Cada produto referido tem características próprias e adapta-se a diferentes situações e solicitações. Enquanto que os dados vectoriais são importantes na representação de estradas, de limites administrativos, na descrição de pontos, linhas e polígonos, os dados matriciais são melhores para representar superfícies contínuas como são os dados de elevação do terreno, já as imagens em formato *raster* que utilizam um código de cores para representar os objectos

são importantes para observar por exemplo manchas de vegetação.

Sendo possível integrar todos estes produtos, ou escolher aquele que melhor se adapta à situação em causa, o utilizador pode obter vantagem e rentabilizar o seu investimento optimizando o tempo de resposta assim como a solução a encontrar. Deve evitar-se a degradação da precisão dos produtos com a necessidade de transformações de coordenadas, para que isso aconteça o sistema de coordenadas deve ser único para toda a produção, sendo a excepção e não a regra a utilização de um diferente sistema de coordenadas para um trabalho específico. Por esses factos é que se sente a necessidade de normalização dos produtos criando sinergias e dinâmicas para o esforço conjunto.

### Síntese conclusiva

As actividades relacionadas com a cartografia têm uma longa tradição em Portugal e os militares sempre intervieram vigorosa e determinante na produção cartográfica do país. É conhecida a sua preponderante ingerência na realização da triangulação fundamental que, iniciada em 1778, deu origem às 37 folhas da Carta Corográfica de Portugal à escala 1/100 000, premiada pelo Congresso Internacional de Ciências Geográficas, em 1875. Destacaram-se também pelos trabalhos que realizaram em territórios ultramarinos que tanto contribuíram para o desenvolvimento das técnicas cartográficas e para difusão do conhecimento geográfico de terras remotas, ignoradas até então.

Perante as inúmeras e diferentes solicitações que a informação geográfica digital tem vindo a adquirir nos últimos tempos, torna-se necessário estabelecer normas relativamente aos conceitos e aos formatos deste tipo de informação, proporcionando, assim, a possibilidade de troca de elementos entre diferentes entidades produtoras.

O VPF é um exemplo de modelo de dados

que pelas suas características (modelo geo-relacional que pode ser utilizado com qualquer tipo de dados geográficos em formato vector; permite acesso aos dados quer por localização espacial, quer temática; tem um carácter flexível; estabelece relações topológicas, etc.), permite a organização de grandes bases de dados geográficos e a permuta entre organismos produtores de informação neste formato e a sua leitura pode ser feita pela maior parte das aplicações hoje disponíveis no mercado como o *VPFView*, o *Geomedia*, o *ArcView3.x* (e *ArcGis8.x*), *GeoConcept*, *MapInfo*, *TNT*, *PCI Geomatics*, etc.

O VMAP3 constitui um exemplo prático de utilização do formato VPF em informação geográfica digital que manifesta a sua importância por constituir um sistema de informação geográfica de base da maior escala que cobre o país na totalidade.

A participação do IGeoE em projectos internacionais, que originam troca de informação geográfica entre diversos países, proporcionou a consciencialização da necessidade de normalizar a informação geográfica. O desenvolvimento de técnicas de integração das diversas origens dos dados, assim como a manipulação dos vários produtos produzidos pelo Instituto, dão uma versatilidade e uma possibilidade de escolha variada, optimizando os recursos disponíveis nas instituições.

### Referências

**Henriques, C.;** Serras, F. Utilização do Vector Product Format na produção de informação geográfica digital. Exemplo de uma aplicação: o Vector Smart Map. Lisboa, 1996.

**Fernandes, M.;** Serras, F.; Silveira, F. Vector Smart Map Level1, Lisboa, 1999.

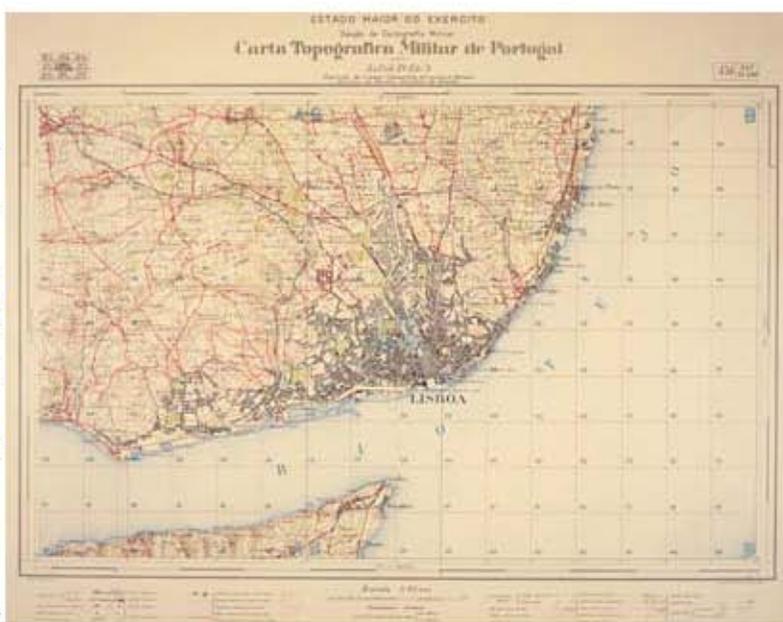
**DMA,** Interface Standard for Vector Product Format. USA, 1996.

**DGIWG DIGEST.** USA, 1995.



# Uma *estória* da Carta Militar de Portugal 1/25 000

▷ Eduardo Garcia Fernandes, Tenente-Coronel Inf



*A Carta Militar de Portugal 1/25 000 é ainda hoje, passados 70 anos desde o seu nascimento, a Carta Base de Portugal, considerando-se Carta Base, como aquela que cobre todo o país à maior escala. Na impossibilidade de abarcar todo o conhecimento, relativo à Carta Militar de Portugal 1/25 000, não me julgo com competência para fazer a história da mesma, antes pretendo aqui contar uma estória da Carta Militar de Portugal 1/25 000. Através dela, poderemos ver como e quando aparece a informação digital, em Portugal, todas as dificuldades e obstáculos que tiveram de ser ultrapassados e todo o caminho que se teve de percorrer, para que hoje, calmamente sentados em frente ao computador possamos utilizar meia dúzia de linhas em aplicações SIG.*

## Introdução

**B**reves, breves, são estas palavras para descrever tamanha obra, tamanho feito, o de cartografar o mundo português, levada a cabo por uma nação reconhecida como de marinheiros e cartógrafos. Pesada herança, esta, que nos foi deixada, quando em 24 de Novembro de 1932, são criados os Serviços Cartográficos do Exército. Herdeiros desta tradição, os SCE iniciam uma notável obra, da qual apenas pretendo contar uma *estória*, da história, pois esta ainda é cedo para a fazer, uma *estória* feita de palavras avidamente absorvidas dos boletins da casa, de palavras contadas à hora do almoço ou ao balcão tomando a bica, uma *estória* contada por aqueles que foram possuídos pelo bichinho, que nos corrói, quando nos deixamos levar pela aventura das cores com que descrevemos este mundo, o nosso mundo, o mundo da cartografia, aquele que ajudamos a criar, que nele interferimos e que quando o deixamos, parte da nossa vida também nos deixou.

Mas se pensamos que este frenesim, é algo pessoal, estamos enganados, ele está-nos no sangue, no sangue dum povo que teve em D. Henrique o pai da cartografia moderna, ao instituir a primeira política cartográfica do

mundo, expurgando para fora das suas cartas náuticas as fabulosas serpentes marítimas, monstros devoradores de embarcações, para deixarem tão somente o essencial à arte de navegar. Como acentua Gago Coutinho, “as dificuldades, reais, não eram puras superstições, eram de ordem náutica”, e se o Infante quis vencê-las definitivamente teve de resolver o problema da navegação em alto mar, estudando os ventos e as correntes marítimas teve, em resumo, de “inventar a navegação para a Guiné”, pois, “nenhum outro povo fazia na primeira metade do século de 1400 a navegação em alto mar”.

E, se Sagres foi o berço da Cartografia Portuguesa, uma “nova Sagres”, renasce passado séculos, nas instalações dos SCE, hoje IGeoE, pois por incomparável que seja, a Carta Militar de Portugal 1/25 000, só tem paralelo, pela importância que assume para o desenvolvimento do País, com a cartografia dali saída. De uma forma alegórica, podemos dizer que se Sagres foi o berço da cartografia, o IGeoE é a ama que vela junto a ele, para que hoje e sempre, Portugal disponha de uma cartografia ao seu serviço e condizente com as suas tradições.

Parafraseando Fernando Pessoa, que canta em formas de beleza, a glória infinita do Infante,

*“Em seu trono entre o brilho das esferas,  
Com o seu manto de noite e solidão,  
Tem aos pés o mar novo e as mortas eras,  
O único Imperador que tem, deveras,  
O globo mundo em sua mão”*

dedico estas páginas a todos aqueles, cujos rostos, permanecem em minha memória e cuja vida dedicaram à casa mãe da Cartografia Militar Portuguesa, tal como anteriormente o fizeram outros à cartografia, cujos nomes me escuso a mencionar, com medo de que de algum me esqueça. Em especial o meu reconhecimento a quem me iniciou nesta aventura, o “mestre”, o Sr. Capitão QTS Avelino de Sousa e a todos aqueles a quem tive o prazer de chefiar enquanto Chefe da Secção de Fotogrametria, pois a eles se deve a quase totalidade da informação digital, a esta escala, que hoje e no futuro, poderá ser usada, por qualquer utilizador de SIG.

## Antecedentes

A cartografia nacional tem uma notável tradição, que arranca da época dos descobrimentos; as cartas então produzidas estavam, sob um ponto de vista científico, entre as melhores, aproveitando ao máximo o que os conhecimentos técnicos possibilitavam. É que essas cartas e o seu rigor eram vitais para o progresso do conhecimento que serviam, o conhecimento de novos mundos.

As cartas seiscentistas representavam, ao nível de então, uma harmoniosa união da ciência, da técnica e da arte. E que outra idealização se poderia procurar para o produto do homem se não a junção do conhecimento, da eficiência e da beleza?

Nunca esta tradição foi totalmente abandonada, de então para cá, mesmo se inelutavelmente se perdeu o lugar cimeiro que um dia foi o nosso. A cobertura interna do Continente na escala 1/25 000 feita em 20 anos pelos então Serviços Cartográficos do Exército é um bom exemplo da eficiência, se, se tiver em conta as possibilidades técnicas e humanas de que se dispunha nessa altura.

Foi o 2º Visconde de Santarém, Manuel Francisco de Barros e Souza de Mesquita de Machado Leitão e Carvalhosa (1791-1856), que pela primeira vez usou a palavra “cartografia” numa carta escrita de Paris, em 8 de Dezembro de 1839, ao célebre historiador brasileiro Francisco Adolfo Varnhagen, que diz: “*invento esta palavra (cartografia) já que ahi se tem inventado tantas*”. Posteriormente foi registada em dicionários espanhóis e franceses, pelo menos.

Entre nós, encontramos-la em 1873, pela primeira vez, no segundo volume do “Grande Dictionario Portuguez” de Domingos Vieira que define:

– “CARTOGRAPHIA s. f. (De Carta e do grego *graphein*, escrever). A arte de traçar cartas geográficas. – Collecção de cartas geográficas”.

A triangulação fundamental do País, confiada inicialmente ao Dr. Ciera, lente da Real Academia da Marinha, teve início nos finais do século XVIII (1788) e foi terminada em 1863, já sobre

o impulso dos Generais Pedro e Filipe Folque. Em 1891, com base nesta rede geodésica, foi realizada uma carta do território na escala 1/100 000 (Carta Geral do Reino), composta inicialmente por 25 folhas e ampliada posteriormente para 37, sendo que todos os cálculos envolvidos neste projecto foram executados por Oficiais do Exército. Como curiosidade refira-se que no levantamento desta carta, a colaboração dos Oficiais de Infantaria, arma a que pertencem, foi da ordem de 70%, sendo que os restantes 30%, se dividiram entre a arma de Cavalaria (11%), Engenharia (10%), Artilharia (4,5%) e S.E. Maior (4,5%).

Esta obra notável, entre as mais notáveis, do estrangeiro, mereceu a “Carta de Distingção” com que foi premiada pelo Congresso Internacional de Ciências Geográficas da Sociedade de Geografia de Paris, reunida em 1875.

Embora as tradições militares na Cartografia Portuguesa remontem aos anos mais longínquos da nossa história e tendo mesmo em consideração que, em 1802, a Rainha D. Maria I criou o Real Arquivo Militar, diremos que a verdadeira responsabilidade do Exército pela cartografia militar começaria nos finais do século XIX com a criação da Secção de Cartografia do Estado-Maior do Exército e com ela a publicação da carta do estado-maior, na escala 1/20 000, denominada Carta dos Arredores de Lisboa. A primeira folha desta carta foi publicada em 1889 e a última em 1931, tendo-se em 42 anos publicado apenas 85 folhas desta carta, revelando o período conturbado da altura. Em 1926, após nova renovação é criada a nova Secção de Cartografia Militar do Estado Maior do Exército, que tem como missão proceder ao levantamento, no prazo de 40 anos, da Carta Militar do País à escala 1/25 000. Infelizmente, a carência de recursos materiais, a falta de pessoal especializado e uma menos esclarecida compreensão do que representava para a Defesa Nacional o levantamento da Carta Militar do País, obstaram a que a cartografia militar sáísse, por assim dizer, do ponto morto em que se encontrava.

O resultado deste desenlace, seria a publicação de apenas uma folha da nova carta

1/25 000, em 1928, a título experimental, correspondente à cidade de Lisboa, aproveitando e actualizando o levantamento já efectuado à escala 1/20 000.

Em 1929, foi suprimida a Secção de Cartografia Militar, passando para o Instituto Geográfico e Cadastral os serviços a seu cargo, bem como o pessoal que dela fazia parte, ficando apenas no Estado-Maior do Exército o material topográfico existente, por ser considerado necessário à mobilização. A situação criada lançava a cartografia militar numa ambígua posição, desraizada do seu ambiente próprio e transplantada para um organismo civil, empenhado e talvez até absorvido, por um outro trabalho de fundamental importância para a economia do País, a carta cadastral. Os trabalhos cartográficos que vinham sendo realizados, com vista às necessidades militares da época foram praticamente interrompidos. Durante o período de fusão dos dois serviços, militar e civil, que durou até 1932 não foram levantadas folhas da Carta 1/20 000; desenharam-se apenas seis folhas para uma nova tiragem, que se fez na Litografia do Instituto Geográfico e Cadastral.

Por decisão ministerial é, então, nomeada uma comissão encarregada de estudar a reorganização dos serviços de cartografia do Exército e em 1932, depois de muito tempo perdido, foram criados os Serviços Cartográficos do Exército.

### Os Serviços Cartográficos do Exército

“...foi o mais importante diploma da especialidade até hoje publicado em Portugal”. Nestes termos se referia então o historiador, TCor do Exército Brasileiro Sebastião da Silva Furtado, na sua obra intitulada “A Cartografia Luso-Brasileira – Cartografia Portuguesa, Roteiro de Glórias”, ao Decreto Lei 21 904, de 24 de Novembro de 1932 que põe em execução o regulamento dos Serviços Cartográficos do Exército.



## O início

A triangulação geodésica do País tinha sido estabelecida, essencialmente, com vista ao levantamento da Carta Corográfica de Portugal à escala 1/100 000. A sua finalidade não exigia o estabelecimento de uma rede densa de vértices geodésicos, razão porque, ao passar-se para levantamentos de escalas maiores havia de surgir a necessidade de adensar a rede na proporção das novas escalas.

Ao iniciarem-se os trabalhos da carta 1/25 000, verificaram-se inúmeras dificuldades em reconhecer a rede geodésica, visto que muitos vértices dessa rede, por carência de uma lei de protecção e por falta de manutenção, tinham desaparecido ou estavam escondidos na vegetação.

Os SCE tiveram, então, que tomar sobre si a tarefa de reconhecer o terreno, de pesquisar dentro de cada zona os vértices geodésicos, de proceder à sua identificação e sinalização e de determinar novos vértices, uns para substituição dos vértices desaparecidos e outros para adensar a rede para apoio do levantamento na nova escala. Assim, em 1934, são criadas Brigadas expressamente nomeadas para aquele efeito. Até ao final da campanha de 1946, 162 vértices foram reparados e 449 foram reconstruídos.

De 1932 a 1937, a cartografia era efectuada através de processos clássicos, ou seja todos os levantamentos eram efectuados no campo, adoptando-se os métodos anteriormente utilizados para a carta à escala 1/20 000.

A introdução dos processos fotogramétricos nos levantamentos topográficos militares do nosso País, só teve lugar quando no estrangeiro já aqueles processos eram considerados correntes. Como curiosidade, refira-se que o nascimento da fotogrametria, ocorre em 1850, com a aplicação da fotografia a levantamentos topográficos feitos pelo francês Laussedât, que por isso, é hoje considerado o seu fundador. Entre nós, as actividades fotogramétricas, iniciaram-se por volta de 1928, nos Serviços do Ministério da Agricultura, pelo método de ROUSSILE, aplicado no traçado da planimetria de terrenos sensi-



Foto 1

velmente planos e completado por nivelamento clássico. No entanto, foi a Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos L.da (S.P.L.A.L.), a primeira entidade particular que aplicou os processos fotogramétricos com o levantamento da Costa do Sol (1/2 000 e 1/5 000), perante o seu quê de reacção dos que, apegados aos processos clássicos, descreiam da excelência dos novos meios, muito embora as provas dadas fossem, já nessa altura, bem concludentes.

Com a aquisição em 1935 dos *Multiplex Bausch&Lomb* (foto1), os SCE, introduzem em 1937, os processos fotogramétricos, na cadeia de produção tendo, em 1940, abandonado por completo o método clássico, e as folhas da carta 1/25 000, passaram a ser restituídas, por fotografia aérea, sendo a folha 523 (Pias) a 1ª folha a ser totalmente restituída por este processo nesse ano, tendo sido publicada em 1939. Era o tempo dos WILD A5, WILD A6 (foto 2) e dos BAUSCH&LOMB, acoplados a mesas de desenho com pantógrafos, naquilo a que se chamou o tempo do "lapi-nhos de pau".



Foto 2

### O tempo dos "lapinhos de pau"

Na impossibilidade de os SCE, tomarem sobre si a totalidade dos trabalhos de restituição, foi resolvido ceder, por concurso, parte das tarefas a empresas particulares. Com excepção do ano de 1938, em que os trabalhos foram adjudicados à Empresa Nacional de Estudos Técnicos (7 folhas), foi a anteriormente referida Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos L.da, a entidade particular, que desde 1937 até fins de 1946, colaborou com os SCE na restituição da Carta 1/25 000.

Com a aquisição, em 1939, de uma câmara aérea Zeiss-Aerotopograf R.M.K.f.204.5, os SCE adquiriram a faculdade de execução de voo e restituição, conquistando assim a sua independência nesta área.

Nesta altura, a aquisição dos elementos era feita directamente para o papel, à escala em que se pretendia que a carta fosse publicada, ou seja os dados eram recolhidos numa prancheta de alumínio, forrada a papel de um lado e outro. A utilização do alumínio, justificava-se em virtude de este ter um coeficiente de dilatação muito pequeno, isto evitava que o papel sofresse grandes dilatações. A restituição, era assim feita, do seguinte modo:

- Havia continuidade dos elementos, ou seja, por exemplo, os cursos de água e as vias de comunicação não eram interrom-

pidos nas pontes e as curvas de nível também não eram interrompidas nas casas;

- Os símbolos eram desenhados à mão, ou seja, o operador colocava um ponto no centro do símbolo e depois com a lapiseira desenhava esse mesmo símbolo. Como curiosidade, pode-se referir, que para o desenho de símbolos redondos, como por exemplo, um poço, o operador usava de um pequeno truque, afiava a mina em cunha e depois rodava de modo a fazer um círculo;
- Após a restituição muitos elementos eram avivados à mão, com excepção dos símbolos pois estes já tinham sido efectuados à mão. Este procedimento era indispensável à fase seguinte, o desenho manual.



Foto 3



Foto 4



Foto 5

Finda a restituição da carta, esta era entregue no desenho, que redeseenhava tudo na própria prancheta. Este redesenhar, consistia da padronização manual dos elementos, nomeadamente casas, vias de comunicação (só era restituído o eixo das mesmas), símbolos, etc.

Daqui se retêm duas referências, uma aos símbolos e outra à padronização. Após quase 70 anos, continuamos a usar símbolos e padronização, com o mesmo objectivo da altura, tornar legível uma carta.

A partir dos anos 50 aparecem os WILD A8 (foto 3), WILD A7(foto 4) e WILD B8 (foto 5), sendo que o A8, foi aquilo que poderemos considerar o Volkswagen dos estereo-restituidores, estando ainda em serviço em muitas empresas de carto-

grafia. É também nesta altura, que se introduzem os coordenatógrafos nas mesas de desenho dos estereo-restituidores, excepção feita ao B8, que só permitia o uso do pantógrafo.

Nesta altura, regista-se uma pequena evolução na cadeia de produção, os dados relativos à planimetria e à altimetria, que até então eram desenhados na mesma prancheta de alumínio, passam a ser obtidos em separado. Os dados relativos à planimetria continuam a ser registados na prancheta, enquanto que os dados relativos à altimetria, nomeadamente curvas de nível e pontos de cota e os dados relativos à hidrografia, nomeadamente linhas de água, passam a ser registados num *cronaflex*, uma película com emulsão de um lado e doutro, aquilo a que correntemente os operadores designavam por cronar.

Os motivos que levaram a esta separação prendem-se com o facto de se ter dado início à separação de cores. A prancheta de alumínio era fotografada, para obter o negativo do encarnado e do preto, que davam origem a um *stabilene*, indo depois para o desenho onde juntamente com os *stabilenes* do azul e do siene, gravados directamente do cronar e dos verdes e do azul claro, gravados directamente da prancheta de alumínio, num cronar, cada uma, se obtinham as seis cores que davam origem à carta.

De realçar o facto, de nesta altura já a informação estava dividida por cores/temas (*layers*) e que a sobreposição desses temas dava origem à carta. Claro que não se pode inferir daqui, que houvesse outro propósito que não fosse o de fazer uma carta.

### Os primeiros passos a caminho do digital

Em 1969, nos SCE, o Capitão Eng.º Geog. Vasconcelos Nunes, efectua uma experiência que tinha por finalidade demonstrar que é possível digitalizar um modelo durante a restituição, e a partir das informações digitais obter:

- um documento cartográfico;

- vários documentos em que as diversas cores aparecessem separadas;
- vários documentos com a selecção de determinados acidentes;
- desenhar as informações em várias escalas.

Utilizando para o efeito, o autógrafo *Wild A7*, através do EK 5 (utilizado na aquisição de dados para a Triangulação Aérea) permitiu registar em fita perfurada parte de um modelo estereoscópico. Uma vez digitalizado o modelo, restava representá-lo graficamente. Foi para o efeito elaborado um programa que permitiu utilizar o “traçador de gráficos” do computador NCR-4100 da “National Cash Register” instalado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil. O programa destinava-se pura e simplesmente e sem outras preocupações a representar graficamente um conjunto de informações numéricas. Esta experiência, coroada de êxito e notável entre nós viria mesmo a ter certa repercussão internacional.

### O sistema Kongsberg Vappentfabrikk/Applicon

Em 1974, têm início os trabalhos de uma equipa liderada pelo Major Eng.º Geog. Mendes Geraldês de que resultaria a instalação em Outubro e Novembro de 1977, do Sistema *Kongsberg*. Pioneiro em Portugal, trata-se de uma das primeiras configurações em todo o mundo a cobrir de forma inteiramente compatibilizada, ainda que na modalidade *off-line*, a estereodigitalização dos modelos fotogramétricos, a correcção e o completamento gráficos, quer em *batch* quer interactivamente, bem como o traçado e gravação automáticos de matrizes cartográficas. A informação que até então era apenas em formato papel, passa também a ser armazenada em formato digital. A primeira folha a ser obtida através deste sistema foi a folha 435 de Vendas Novas, em 1978.

A introdução deste sistema obrigou a alterações profundas na cadeia de produção. Denominado de sistema de cartografia automática, era constituído por três sub-sistemas, que funcionavam *off-line*.

### O sub-sistema de aquisição de dados

(foto 6)

O Registrador Fotogramétrico Kongsberg S/N 1028, era constituído por:

- Computador PDS-M8 (*Photogrammetric Digitizing System*);
- *Video Display* (alfanumérico);
- *Keyboard*;
- Leitor de fita perfurada;
- Unidade de banda magnética;
- Pedal.

O sistema PDS-M8, era um sistema de gravação digital, controlado por computador que podia facilmente ser ligado aos aparelhos fotogramétricos, através de um *encoder* para cada eixo (x, y, z). O *encoder* permitia transformar os movimentos lineares em impulsos eléctricos.

O coração deste sistema, a sua unidade central de registo, era um microprocessador do tipo INTEL 8008, que controlava todas as sequências e executava todas as operações. Possuía uma memória de 8K bytes, com possibilidade de extensão a 16K.

O serviço possuía duas destas unidades, ligadas a dois A8.

### O sub-sistema de processamento de dados

(foto 7)

O processador central era um minicomputador PDP 11/35 da DEC com 96K de memória, com possibilidades de expansão até 124K. Este sistema, entre outros periféricos, dispunha de um monitor de fósforo e de *software* que lhe permitia seleccionar, apagar, mover, copiar, ampliar (*zoom*), intersectar, juntar, digitalizar, entre outras várias funções. Havia ainda, *software* específico para transformação de coordenadas, filtragens, ligação de modelos e formatação de dados.

### O sub-sistema de desenho

(foto 8)

O equipamento que integrava o sub-sistema de desenho era, genericamente e de acordo com a terminologia de origem, o "KONCSBERG



Foto 6



Foto 7



Foto 8

DRAFTING SYSTEM DC 300/1216", constituído pelas seguintes células:

- Controlador DC 300 KONGSBERG;
- Mesa de Desenho Automático DM 1216 KONGSBERG, incluindo:
  - Cabeças-suporte de acessórios de escrita e gravação;
  - Canetas esferográficas;
  - Canetas de tinta;
  - Pontas de gravação em *stabilene* com controlo tangencial;
  - Episcópio

A mesa de desenho, possuía uma área útil de 1,60 x 1,20 m e tinha uma precisão de  $\pm 0,075$  mm. Associados à mesa de desenho, estava um sistema de ar comprimido, o qual proporcionava a pressão adequada, automática e/ou manualmente controlada aos acessórios de desenho de acordo com o seu tipo, e um sistema de vácuo que assegurava a desejada fixidez ao material suporte de desenho.

### A Cadeia de Produção

A introdução deste sistema obrigou a algumas alterações nos procedimentos realizados até então. A nova sequência de procedimentos, passou a ser a seguinte:

#### Na Fotogrametria

- orientação do modelo na prancheta (cronar);
- introdução do programa de orientação no PDS-M8;
- orientação no computador;
- introdução do programa de restituição no PDS-M8;
- restituição digital e gráfica (cronar de planimetria e cronar de altimetria).

O operador tinha de introduzir um código para cada pormenor que fosse adquirir e definir o modo de aquisição, ponto ou fluxo (*stream*) e neste caso a relação de tempos (*delay*). A informação era adquirida em formato ASCCII e visualizada nesse mesmo formato, no *video display*.

O operador precisava da mesa para ver o trabalho realizado, pois no *video display* apenas via caracteres alfanuméricos. O sistema dispunha de um *buffer* de 256 caracteres, que ia armazenando a informação até esse montante, após o qual, descarregava para a banda magnética. A informação era, então, gravada em bandas magnéticas que eram enviadas para a cartografia automática, juntamente com as pranchetas.

#### Na cartografia automática

Em termos de sequência, pode-se dizer que, havia duas fases no tratamento dos dados. Uma primeira, chamada de Compatibilização e Limpeza onde, de forma automática, com base em *software* adquirido com o sistema, se fazia a:

- transformação de coordenadas (em virtude de os modelos virem com coordenadas aparelho);
- ligação de modelos (junção dos modelos de modo a fazer a carta);
- filtragem (permitia expurgar os dados de todos os pontos errados ou supérfluos).

Uma segunda fase, chamada de Completamento e Correção onde, pela primeira vez se visualizava o modelo, em virtude de disporem de monitores de fósforo e que consistia:

- no preenchimento de lacunas;
- introdução da simbologia;
- correção interactiva;
- padronização.

De realçar, o facto de ter sido aqui que aparecem as primeiras livrarias de células (símbolos). Finda a edição, procedia-se à gravação dos *stabilenes*, um por cada cor, na mesa *Kongsberg*, após o que se enviavam para o desenho manual para acabamentos, retoques e introdução da toponímia, convenções, etc.

### Os Censos de 80

O sistema *Kongsberg* foi o garante de apoio aos censos de 80. De Julho de 79 a Dezembro de 80, os dois A8 com o sistema PDS-M8, trabalharam "25" horas por dia, a quatro turnos

de seis horas, sendo que havia 30 minutos de sobreposição entre os turnos diurnos. Nesse tempo, muito pessoal exterior ao serviço veio cá colaborar neste trabalho, pagando-se na altura 180\$00 à hora.

O voo utilizado no trabalho era à escala 1/30 000, realizado pela FAP, o que perfazia duas fiadas por folha 1/25 000 e dava cerca de 12 modelos por folha. O trabalho foi efectuado à escala 1/25 000 e depois ampliado para 1/10 000 e consistia essencialmente na aquisição de informação relativa aos seguintes pormenores:

- casas;
- vias de comunicação que dessem acesso a povoações ou casas;
- cursos de água mais importantes;
- rede geodésica;
- malha de pontos de 500 em 500 metros.

Foram restituídas cerca de 150 folhas 1/25 000, nomeadamente da folha 1 à folha 147, relativas ao norte do país, sendo que depois estas eram divididas em quatro cartas 1/10 000, no formato standard 50cmx80cm de mancha.

### A era do VAX

Em Março de 1986, inicia-se a era do VAX/VMS (*Virtual Address Extension/Virtual Memory System*) com a introdução do Sistema *Intergraph 200* (foto 9). Este sistema apresentava uma arquitectura baseada numa CPU standard ( $\mu$ VAX II) e em periféricos provenientes de várias origens. Os SCE foram também dotados de uma moderna rede de *Ethernet*, o que permitiu que todo o sistema estivesse *on-line*. Tal como o sistema *Kongsberg* era constituído por três sub-sistemas:

### O sub-sistema de aquisição de dados (foto 10)

A aquisição de dados continua a ser feita nos estereo-restituídos analógicos, só que agora, ligados às *InterMaps* (*Intergraph Mapping System*). Este sistema, dispunha de um *software* de orientação, o SDI (*Stereo Digitizing Interface*) e de um *software* de restituição, o IGDS (*Interactive Graphics Design Software*).

As suas características fundamentais eram as seguintes:

- todos os pormenores restituídos eram visualizados no monitor;
- dispensava os coordenatógrafos e as pranchetas;
- funcionava *on-line*;
- dispunha de um menu customizado para a nossa cartografia;
- dispunha de uma livreria de células;
- a informação era estruturada de acordo com nível, cor, espessura e estilo;
- dispunha de funções importantes a nível de restituição, como sejam por exemplo, o *snap*, o *merge* e a possibilidade de trabalhar com ficheiros de referência.

### O sub-sistema de processamento de dados (foto 11)

Apesar de inicialmente, se ter mantido o



Foto 9



Foto 10



Foto 11



Foto 12

sistema existente, este mais tarde foi substituído por outro, constituído por estações gráficas interactivas, mas estas mais *inteligentes* e dotadas de dois ecrãs tipo *raster* (um deles a cores) que permitia o tratamento em *batch* ou por via interactiva da informação digitalizada.

### O sub-sistema de desenho

Continuou a ser o mesmo existente, baseado na mesa de desenho automático *Kongsberg*, que apresentava ainda as melhores características do mercado.

É, assim, a partir desta data, que podemos falar de informação digital, pois a sua estrutura mantém-se, de algum modo, inalterável até aos dias de hoje.

O modo de aquisição da informação, sofre então algumas alterações. O aparecimento de novas ferramentas, nomeadamente as *multi-lines*, leva a que se optasse pelo uso das mesmas na aquisição da rede viária. O uso desta ferramenta implicou, que no momento da aquisição se fizesse também edição, com o afastamento dos pormenores que se encontrassem dentro das *multi-lines* para fora das mesmas. É preciso aqui realçar que o único objectivo da aquisição da informação, nesta altura era a feitura da carta papel 1/25 000 e nada mais. Foi pois, perante este objectivo, que se definiram as regras de aquisição, que hoje poderemos considerar ultrapassadas, mas que à altura eram perfeitamente legítimas e que hoje podemos considerar como problemas da informação digital mais antiga, dos quais se destacam os seguintes:

- uso de *multi-lines* na rede viária;
- edição em simultâneo com a aquisição;
- os arruamentos eram definidos pelas casas;
- o mato não tinha limite;
- os rios e a rede viária eram interrompidos nas pontes e em outros pormenores;
- as áreas não eram fechadas.

### As InterPro

Em 1993, os Serviços Cartográficos do Exército, passam a designar-se Instituto Geográfico do Exército.

Nesse ano aparecem as *InterPro* (foto 12), com o sistema operativo UNIX e que dispunham do *software* de orientação SPIM e do *software* de aquisição de dados *Microstation*. Este *software*, que foi evoluindo de versão em versão, é ainda o *software* utilizado hoje em dia na aquisição de

dados por estereo-restituição.

Em 1994, dá-se início à restituição essencialmente virada para a constituição de uma Base de Dados de média escala, da qual se extrairá depois a carta 1/25 000. Com base nesta situação, todos os detalhes anteriormente referidos, são alterados e procura-se que a nova informação digital vá de encontro às solicitações de um futuro utilizador da mesma, para inserção num SIG. Claro que falamos de informação sem topologia, pois é ponto assente, que no momento da aquisição esta não deve ser associada à informação alfanumérica, em virtude dos elevados custos, quer dos aparelhos, quer dos operadores de fotogrametria. Esta associação poderá ser feita à posteriori, num PC banal e de baixo custo e por um operador não tão especializado como o anterior. Estas breves palavras sobre este assunto não relatam toda a discussão gerada, nesses anos sobre a matéria, não em Portugal claro, mas sim a nível internacional.

### As estações digitais

Em 1995, começam a chegar as primeiras estações digitais, as *Image-Station* (foto 13) da *Intergraph* que, pouco a pouco, começam a tomar o lugar dos velhos restituidores analógicos. Este tipo de estereo-restituído, permite a superimposição da informação vectorial à imagem. Os diapositivos, são assim dispensados na restituição

e passa-se a trabalhar com a imagem *rasterizada* do mesmo. A aquisição destas estações obriga à aquisição do *PhotoScan PS1* (foto 14), um *scanner* fotogramétrico, que permite a *rasterização* dos diapositivos a várias resoluções. A resolução escolhida, na altura foi a de  $14\mu$ , o que tendo em consideração que a escala média das fotografias era de 1/22 000, obtinha-se

*pixels* de cerca de 30 cm de resolução. As primeiras estações, bem como o *PhotoScan*, trabalhavam em UNIX. Passados apenas dois anos, chega um novo *scanner*, o *PhotoScan TD* (foto 15), este a trabalhar já em NT e com inovações tecnológicas extremamente interessantes, que permitiram reduzir em 2 terços o tempo de *rasterização* e o espaço de um ficheiro. Com ele chegam também mais estações digitais, estas últimas também em NT e neste momento coexistem pacificamente os dois tipos de estações na fotogrametria, tendo-se abandonado por completo os aparelhos analógicos e analíticos, tendo-se entrado por completo numa linha de produção digital.



Foto 13



Foto 14



Foto 15

### Triangulação aérea

A triangulação aérea (TA), constituiu um dos maiores avanços da tecnologia no apoio à georeferênciação dos modelos e à fotogrametria.

Inicialmente, era efectuado o apoio par a par, ou seja por cada foto era

necessário dois pontos de coordenadas (x,y,z) conhecidas, vulgo pontos fotogramétricos (pf's), para que se pudesse efectuar a orientação absoluta dos modelos (geo-referênciação). Por outras palavras, pode-se dizer que eram necessários quatro pontos num modelo (constituído por duas fotos), para se efectuar a orientação absoluta. Dois pontos para escalar o modelo, um terceiro para nivelá-lo e um quarto para confirmação. Esta situação que obrigava a um trabalho de campo gigantesco, lembre-se que estes pontos eram obtidos utilizando-se teodolitos, foi mantida por mais de 30 anos (1937-1968) e só em 1968 é que aparece o EK-5, que, ligado ao WILD A7, permitiu o uso desta técnica, que consistia na substituição de muitos desses pf's, por pontos artificiais. Estes, denominados vulgarmente de pontos pugados (PUG's), pois eram obtidos através de um aparelho chamado PUG (foto 16), que cavava na emulsão do diapositivo ou negativo um pequeno círculo (100µ), eram depois lidos no A7, para se obterem as suas coordenadas aparelho, bem como os pf's. Com o registo destas coordenadas, obtidas pelo EK-5 e com as coordenadas terreno dos pf's, procedia-se então ao cálculo das coordenadas terreno para os pontos dos quais dispúnhamos apenas de coordenadas

aparelho. O software de cálculo utilizado na altura, foi desenvolvido pelo Doutor Rui Agonia Pereira, Investigador do Centro de Cálculo Científico da Gulbenkian e pelo Capitão Eng.º Geógrafo Vasconcelos Nunes deste serviço e baseava-se num ajustamento de polinómios fiada a fiada. Nesta altura, havia já um software de TA, "Program for the Adjustment of Strips and Blocks by Polinomial Transformation" do Prof. SCHUT do National Research Council of Canada, mas o seu manuseamento implicava um computador com requisitos não existentes na Península. Em 1973, o EK-5 é substituído pelo EK-8 (foto 17), que é usado até 1987, data em que os serviços adquirem o seu primeiro estereorestituidor analítico, o IMA da Intergraph (foto 18), que assim substitui quer o EK-8, quer o A7 na aquisição de dados para a TA. Entretanto, em 1982, torna-se possível a utilização do programa do SCHUT, pelo que este é adoptado, só sendo substituído em 1994 pelo PATM e pelo PATB-GPS, que nos dão uma precisão muito superior ao programa do SCHUT. Em 1991, o IMA é também substituído pelo ZEISS



Foto 17

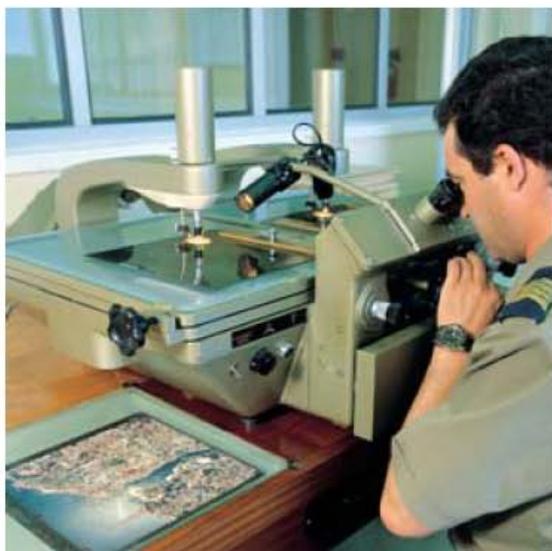


Foto 16



Foto 18



Foto 19

P3 (foto 19), um dos melhores aparelhos analíticos jamais construídos e que utilizava marcas flutuantes de  $15\mu$  para leitura dos PUG's. Este facto, aliado à saída dos B8 da cadeia de produção, pois tinha marcas flutuantes de  $70\mu$ , permitiu a alteração dos rascadores do PUG de 100 para  $60\mu$ , menos não se podia utilizar, pois continuávamos dependentes das marcas flutuantes dos restantes aparelhos em produção, que eram exactamente de  $60\mu$ . De qualquer dos modos com esta redução, evidencia-se um ganho em exactidão, pois a margem de erro em leitura é menor.

Em 1995, é efectuado um voo, o voo do Porto, com GPS. Este voo, o primeiro em Portugal, efectuado pela empresa alemã, MAPS, permitiu-nos obter as coordenadas do centro de projecção da câmara e assim, mais uma vez diminuir drasticamente o número de pfs utilizados para apoio. Em conjugação com o software PATB-GPS, esta experiência, foi coroada de êxito, sendo a primeira efectuada em Portugal e uma das primeiras efectuada na Europa, num bloco tão extenso. Até aí, havia apenas algumas experiências feitas em blocos pequenos e bem apoiados.

Hoje em dia, todas as empresas dispõem de GPS nas suas câmaras aéreas e a evolução con-

tinuou de forma drástica, de tal modo que com a adopção de uma linha de produção totalmente digital, este modo de triangulação tornou-se obsoleto e tirando partido das capacidades de correlação das imagens, a TA tomou-se automática, atingindo aquilo que neste momento parece o último grau de evolução possível nesta matéria.

## O GPS

Em 1992, os velhos teodolitos, que tanto serviço prestaram a esta casa, começam a ser substituídos por um novo sistema, que permite, a partir do processamento dos sinais de rádio-frequência (RF), emitidos por uma constelação de satélites artificiais, determinar as coordenadas tridimensionais dos pontos onde foram posicionados os pratos das antenas de recepção. Estamos em presença daquilo a que designamos por GPS (*Global Positioning System*). Este tipo de GPS, no caso o TRIMBLE 4000SE (mono-frequência) e mais tarde o 4000SSE (dupla-frequência – foto 20), obrigam a um pós-pro-



Foto 20



Foto 21

cessamento através de um *software* apropriado ao efeito, o **TRIMNET**, de modo a se obter as coordenadas correctas. As coordenadas obtidas por este sistema são em WGS84, o que obriga também a que se efectue uma transformação de coordenadas, para o sistema pretendido. Neste tempo, em virtude da rede de 24 satélites ainda não estar totalmente operacional, era obrigatório proceder-se ao planeamento do trabalho a efectuar, para determinar qual o horário em que havia satélites disponíveis na zona, sendo o planeamento efectuado com o **TRIMPLAN**.

Com o evoluir da tecnologia aparecem os **RTK** (*Real Time Kinematic* – foto 21), aparelhos que utilizam a técnica diferencial GPS. Como em qualquer técnica diferencial, baseia-se numa estação de referência, colocada num ponto cujas coordenadas são conhecidas com rigor. No caso do **RTK**, a estação fixa recebe a informação proveniente dos satélites GPS e, com base nas diferenças calculadas entre as coordenadas correctas e as obtidas pelo sistema, determina as correcções diferenciais. Estas correcções podem ser difundidas a partir de qualquer sistema de comunicações, por exemplo VHF ou UHF, GSM, RDS ou mesmo de satélites de comunicações e recebidas pelos receptores das equipas que as aplicam à informação recolhida, corrigindo desta

forma os erros comuns aos receptores da estação de referência e das equipas.

Esta tecnologia, mostrou-se inteiramente válida e tem sido utilizada, com alguma frequência, mormente na actualização da rede viária.

### Considerações finais

A Carta Militar de Portugal 1/25 000 é ainda hoje, passados 70 anos desde o seu nascimento, a Carta Base de Portugal, considerando Carta Base como aquela que cobre todo o país à maior escala, o que é bem demonstrativo do valor da mesma. Com uma riqueza de conteúdo mais próprio de uma escala 1/10 000, com curvas de nível de 10 em 10 metros, esta Carta está cada vez mais actual, fazendo parte do nosso quotidiano. É, sem dúvida, uma informação com que todos os utilizadores de SIC poderão contar, hoje e sempre. Se ao ler estas linhas sentir que elas estão incompletas, a verdade é essa mesmo, muito ainda poderia ser dito, nomeadamente na parte relativa ao trabalho de campo, ao desenho e controlo de qualidade e aos processos que conduzem à impressão da carta. No entanto, o meu objectivo foi orientado para a aquisição de dados e dar a conhecer, mais em pormenor, essa situação, a todos aqueles que usam informação digital e muitas vezes não sabem o caminho que se teve de percorrer até ela chegar às suas mãos. De qualquer dos modos, penso que este documento é mais um contributo para a história, da carta militar. Considero-o a primeira parte, deixarei a outros a tarefa de escrever a segunda parte.

Lamento a desactualização de algumas das folhas mas, infelizmente, tal como na história passada, o esforço desenvolvido pelo Instituto esbarra em alguma falta de visão cartográfica. Os cortes nas verbas, a falta de pessoal, a não compreensão do trabalho dos tarefeiros, expediente a que esta Casa sempre recorreu desde os seus primórdios, podem dar origem a uma nova estagnação da Cartografia.

Mas, se o “Exército é o espelho da Nação”, esperemos que a Carta Militar 1/25 000, continue a ser hoje e sempre o reflexo do País.

### Referência bibliográficas

**Soares, S.**, (1926), "A Evolução da Fotogrametria"; Boletim do SCE, Número 1-7, PP.47-51.

**Coutinho, L.P.S.**, (1948), "A Actividade da Cartografia Militar Desenvolvida até 1932"; Boletim do SCE, Número 1-7, PP.61-70.

**Ribeiro, O.** (1967), "Materiais para um Atlas Nacional de Portugal"; Boletim do SCE, Número 4, PP. 44-49.

**Pereira, R.A** (1967), "Do computador à resolução do problema Formação – Compensação Fiada – Bloco"; Boletim do SCE, Número 11, PP. 17-38.

**Valença, E.F** (1967), "Cartografia Nacional, Centralização, Descentralização, Coordenação"; Boletim do SCE, Número 12, PP. 3-25.

**Soares, R.** (1968), "O Mapa Numérico"; Boletim do SCE, Número 19, PP. 28-36.

**Malaquias, J.M.G.**, (1969), "A Automação na Fotogrametria"; Boletim do SCE, Número 20, PP.15-28.

**Pereira, A., Nunes, J.V.**, (1968), "Um Livro Sobre Triangulação Aérea"; Boletim do SCE, Número 20, PP.40-42.

**Nunes, J.V.**, (1969), "Desenho Cartográfico"; Boletim do SCE, Número 21, PP.3-18.

**Freitas, L.M.**, (1969), "Novos Horizontes da Cartografia"; Boletim do SCE, Número 25, PP.3-18.

**Furtado, S.S.**, (1969), "A Cartografia Portuguesa, Roteiro de Glórias"; Boletim do SCE, Número 25, PP.28-43.

**Thigpenn, J.A.**, (1971), "O Passado, o Presente e o Futuro"; Boletim do SCE, Número 38, PP.3-14.

**Daveau, S.**, (1973), "A Carta Militar de Portugal na Escala 1/ 25 000"; Boletim do SCE, Número 42, PP.37-48.

**Belo, J.M. , Albuquerque, G.C. , Geraldés, D.A.M. , Sousa, A.** (1977), "Sistema de Cartografia Automática do S.C.E"; Boletim do SCE, Número 46, PP.3-16.

**Gonçalves, M.TA** (1978), "Êxito na Instalação de Equipamento Cartográfico em Lisboa"; Boletim do SCE, Número 47, PP.3-9.

**Almeida.** (1979), "Alguns Dados Históricos sobre Topografia e Cartografia"; Boletim do SCE, Número 48, PP. 37-44.

**Albuquerque, G.C., Fernandes, E.J.M., Maroto, J.I.P.**, (1979), "Processamento Electrónico de Dados Cartográficos"; Boletim do SCE, Número 48, PP.59-73.

**Malha, F.M.S** (1986), "Sistema *Intergraph* - 200 para Cartografia Automática"; Boletim do SCE, Número 49, PP. 3-13.

**Pedro, H.A** (1986), "O Dia 24 de Novembro de 1986"; Boletim do SCE, Número 50, PP. 1-6.

**Júnior, P.** (1988), "O 55º Aniversário do SCE"; Boletim do SCE, Número 51, PP. 1-15.

**Pedro, H.A.**,(1988), "Bases de Dados Geocartográficas do S.C.E"; Boletim do SCE, Número 51, PP.49-58.

**Castanheira, A.S.**, (1993), "O Apoio Topográfico da Folha de Carta na Escala 1/25 000 – Uma Aplicação para o GPS"; Boletim do SCE, Número 55, PP.9-21.

**Fernandes, E.M.G.**, (1995), "Triangulação Aérea Automática"; Boletim do IGeoE, Número 57, PP.13-20.

**Fernandes, E.M.G.**, (1996), "Triangulação Aérea Suportada por GPS"; Boletim do IGeoE, Número 58, PP.16-21.

**Mateus, M.R.N.**, (1997), "Actividade Desenvolvida pelos Serviços Cartográficos do Exército"; Boletim do IGeoE, Número 59, PP.14-17.

**Soares, F.**, (1998), "A Cartografia Militar e o GPS"; Boletim do IGeoE, Número 60, PP.14-21. 

# Do digital para o analógico

## Implementação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) Analógico

— Projecto conjunto entre a Comissão Nacional Especializada em Fogos Florestais (CNEFF), Direcção Geral das Florestas (DGF), Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) e Instituto Geográfico do Exército (IGeoE)

> Domingas Cardoso, Eng<sup>a</sup> Geógrafa

> José Martins, Tenente-Coronel Art, Eng<sup>o</sup> Informático

O planeamento e a condução de operações de combate a fogos florestais requer a possibilidade de cruzamento de diversa informação geo-referenciada: cartografia, informação sobre o uso do solo, informação sobre áreas ardidadas, informação sobre infraestruturas de apoio e/ou combate a fogos florestais tais como quartéis de bombeiros, postos de vigia, locais de captação de água, casas de guarda, etc.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são por excelência a ferramenta, adequada a processos de análise espacial e temporal, para apoio à decisão e planeamento.

A CNEFF é um órgão nacional de coordenação de actividades ligadas aos florestais, dependente do Ministério da Administração Interna e que tem como missão "...fomentar a cooperação entre Comissões geograficamente contíguas, analisar

as propostas que aquelas apresentam, elaborar os planos de actuação, assegurar a ligação entre as diversas entidades e incentivar a investigação científica ...". Neste contexto decidiu lançar, em conjunto com a Direcção Geral de Florestas (DGF), Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) e Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) um projecto de SIG analógico, para o planeamento de actividades ligadas aos fogos florestais quer ao nível distrital (escala 1/100 000) quer ao nível concelhio (escala 1/50 000). A razão pela escolha do suporte analógico deveu-se inicialmente ao facto de nem todos os destinatários dispõem de equipamento, ferramentas de SIG, informação e/ou formação adequada. Porém e ainda que assumindo as insuficiências de um SIG deste tipo, é possível colmatar lacunas ao nível da informação disponível e consequente exploração e análise, bem como constituir-se como um estímulo à sua utilização e evolução para o mundo digital.

A passagem da informação de carácter espacial em formato digital para formato analógico levanta um vasto conjunto de problemas que têm essencialmente a ver com as especificidades do suporte de apresentação e do destinatário final (o Homem), e a forma como este apreende e interpreta a informação que lhe é apresentada.

## Introdução

Os SIG são hoje em dia a ferramenta, por excelência, para exploração e análise de informação de carácter espacial. O seu início é anterior à era das tecnologias de informação (TI), uma vez que a técnica de sobreposição bases cartográficas, com diversos níveis de informação já tinha sido utilizada, pelo menos no séc. XIX. A evolução das TI, a par do desenvolvimento de teorias de processos espaciais em diversas áreas, e o crescente interesse por novas questões em que a perspectiva espacial é de extrema importância (ambiente, etc) impulsionaram os SIG definitivamente para o mundo digital, onde as potencialidades de representação, exploração e análise dos dados são incomensuravelmente superiores às do suporte analógico. Assim um SIG é hoje entendido no sentido essencialmente digital e não analógico, pelo que uma variante analógica de SIG é seguramente uma versão mais pobre, estática, e muito menos potente em termos de análise e de um vasto número de outras possibilidades do que o seu equivalente digital.

Porém, nalguns casos como o presente em que nem todos os destinatários dispõem de equipamento, ferramentas de SIG, informação e/ou formação adequada, o suporte analógico pode ser a forma mais prática, ou mesmo a única forma de implementação e utilização de um SIG.

Na produção de um SIG com estas características, levantam-se questões como utilização da(s) cor(es), sobreposição entre as diversas camadas de informação (base e transparentes), simbolização (áreas, linhas, elementos pontuais, textos, omissão de objectos, exagero, etc.), tipos de suporte que, sendo aspectos tipicamente cartográficos têm um ênfase especial pelo facto de a sobreposição de diversos transparentes temáticos causar frequentemente efeitos imprevisíveis e indesejados, tais como alteração das cores originais, sobrecarga de informação, etc.

Mudanças de escala da informação cartográfica, calibração dos equipamentos de impressão relativamente a cor, tipo de suporte, dimensões das impressões, entre outras, são ain-

da questões que surgiram durante a execução e às quais teve que ser dada uma solução adequada.

## Objectivo e ambiente de implementação

O objectivo do projecto envolve a execução, e impressão em formato A0 (1188mm× 840mm), de uma base cartográfica opaca e de três transparentes temáticos: cobertura de uso do solo, infraestruturas de combate a fogos e áreas ardidadas. Para produzir a base cartográfica à escala 1/100 000, foi utilizada informação da Base de Dados Geográfica do IGeoE, na escala 1/250 000, enquanto que para a escala 1/50 000, está a ser utilizada imagem de satélite SPOT com a resolução de 10m, falsa cor, e informação da Base de Dados Geográfica do IGeoE (BDG), na escala 1/25 000. O tema do uso do solo foi produzido pelo CNIG, bem como as infraestruturas de apoio e/ou combate aos fogos, tendo a DGF produzido o tema das áreas ardidadas correspondentes ao período 1990-2000. A área coberta corresponde ao território de Portugal Continental.

A escala 1/100 000 envolveu a produção das seguintes saídas gráficas (figura 1):

- Base cartográfica do IGeoE na escala 1/250 000;
- Transparente de uso dos solos;
- Transparente de áreas ardidadas;
- Transparente de infraestruturas de combate aos fogos.

Na escala 1/50 000 as saídas gráficas em produção são as seguintes (figura 2):

- Base cartográfica: imagem de satélite SPOT, resolução de 10m, falsa cor com processamento visando realçar a cobertura vegetal;
- Transparente com as infraestruturas de combate aos fogos e informação cartográfica;
- Transparente com a rede viária e rede ferroviária na escala 1/25 000;
- Transparente com as áreas ardidadas.

O projecto decorre nas instalações do IGeoE, e conta com o envolvimento directo de uma

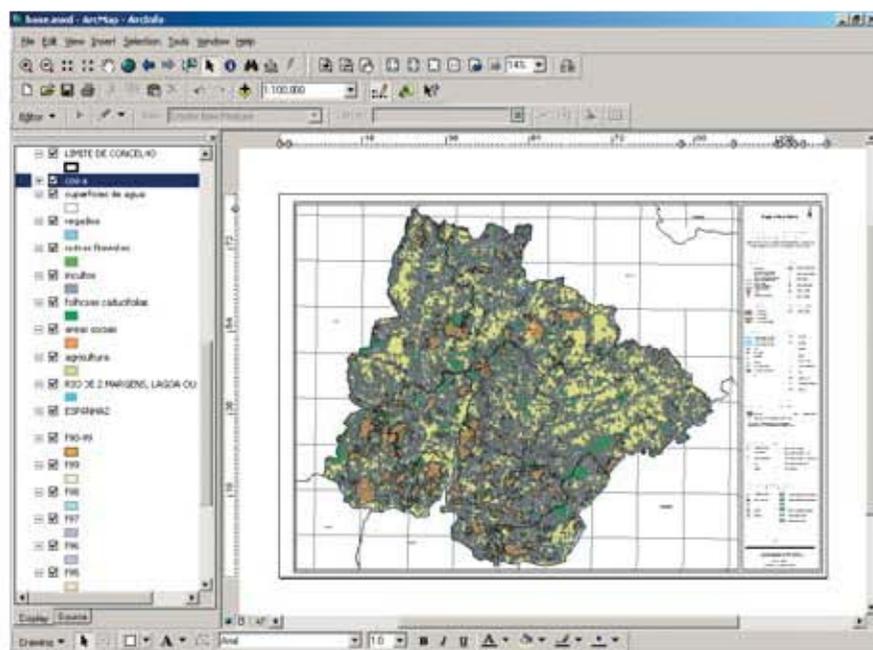


Figura 1 – Vista em ArcMap da sobreposição base geográfica e transparentes temáticos na escala 1/100 000

equipa constituída por três colaboradores: um Técnico Superior e dois Técnicos.

O equipamento principal incluiu três estações gráficas e dois *plotters HP 5000 PS*, sendo que as principais ferramentas de software incluíram as seguintes suites: *Microstation (Bentley)*, *ArcGIS (ESRI): ArcMap, ArcInfo, ArcPress* e *Photoshop (Adobe)*.

A principal ferramenta utilizada é o pacote *ArcGIS*. Este pacote do qual foram utilizados os módulos *ArcMap, ArcInfo* e *ArcPress* apresenta grandes potencialidades ao nível de simbolização (por ex: bibliotecas de símbolos, possibilidade de criação de nova simbologia, etc.), de criação rápida de *layouts, bookmarks* espaciais, facilidade de alteração de escala, de sistema de coordenadas, fá-

cilidade de utilização, entre outros aspectos.

O projecto foi estruturado em duas fases:

- 1ª fase, com a duração de cerca de três meses, terminada em Abril de 2002 e que envolveu a produção das saídas gráficas na escala 1/100 000;
- 2ª fase, a decorrer no período Abril 2002 – Março 2003, e que envolve a produção das saídas na escala 1/50 000;

Foi estimado em cerca de 7500 (incluindo quebras) o total das saídas gráficas a executar durante todo o projecto.

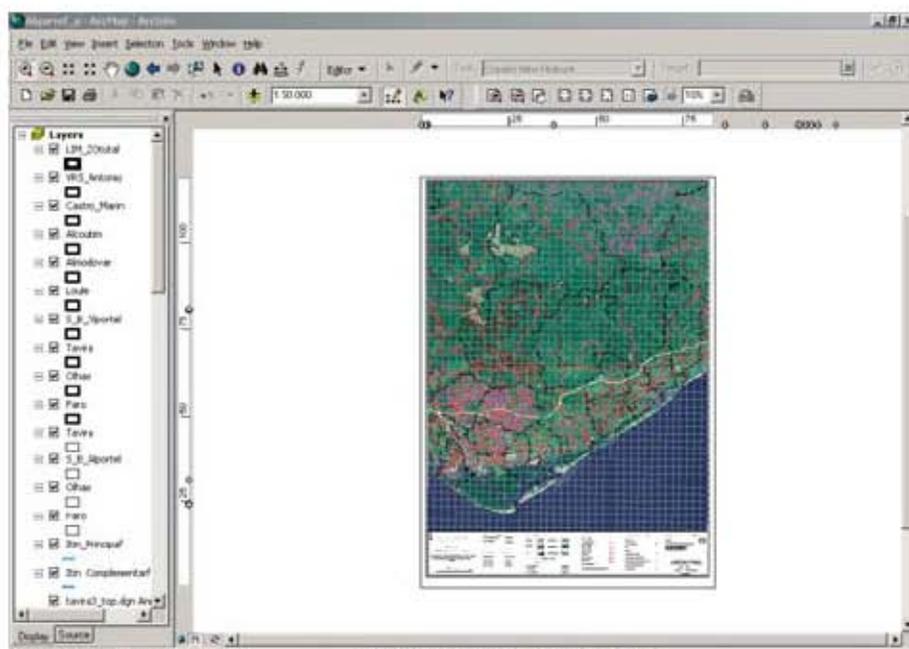


Figura 2 – Vista em ArcMap da sobreposição da base geográfica e transparentes temáticos na escala 1/50 000

## Dados

No quadro 1 encontram-se resumidos os principais dados utilizados no projecto.

A razão da escolha da imagem de satélite como base cartográfica na escala 1/50 000, resulta do facto de ser uma informação mais actual, para além de enfatizar a cobertura vegetal, informação relevante para o objectivo do SIG que é o do planeamento do combate a fogos florestais.

É ainda de referir que o projecto se encontra aberto à inclusão de dados mais actualizados na posse de outras instituições, tal como aconteceu com a inclusão da rede viária do Algarve cedida pela Comissão de Coordenação Regional do Algarve, sempre que tal se afigure possível e seja possível chegar a acordo com as entidades detentoras desses dados.

Tal como já acima referido, estes dados foram estruturados em camadas (base e transparentes) tal como são organizados num Sistema de Informação Geográfica.

## Aspectos técnicos relevantes

### Simbolização

Nas bases cartográficas procurou manter-se a simbologia usualmente utilizada na representa-

ção dos produtos cartográficos do IGeoE, uma vez que os utilizadores estão familiarizados com essas convenções.

Quando se sobrepõe informação, em termos cromáticos, um dos efeitos é a mistura de cores entre as diversas camadas de informação (transparências), pelo que se tornou necessário a aplicação de regras como:

- evitar, através de exaustivos testes de cor, a sobreposição de cores que origine outras já em utilização;
- simbolizar a informação base, por forma a que esta se constitua como um fundo neutro e suave, e assim possibilite que a informação sobreposta possa realçar; neste ponto há ainda a referir que a suavização da base (fundo) também ocorre nas imagens de satélite, onde o processamento digital das respectivas imagens, também teve em conta, entre outros, este objectivo;
- efectuar o preenchimento de áreas, quer na base, quer nos transparentes temáticos, utilizando tons suaves, e pelo motivo já acima mencionado; já aos elementos lineares e pontuais foi associada uma cor mais forte e com boa definição com vista a melhorar o contraste quer com as áreas, quer com o fundo.

A gestão da cor é um problema a ter em conta quando se pretende executar saídas gráfi-

	Tipo	Resolução/Precisão	Escala de Impressão	Data	Origem
Cartografia	Vector	1/250 000	1/100 000	2002	IGeoE
Cartografia (viária)	Vector	1/25 000	1/60 000	1986-2002	IGeoE
Cartografia (vias Algarve)	Vector	10m	1/60 000	2002	Comissão de Coordenação Regional (CCR) do Algarve
Imagem Satélite SPOT	Raster	10m	1/50 000	1998-2002	SPOT IMAGE
Áreas ardidas	Vector	1/50 000	1/100 000, 1/50 000	1990-2000	DGF (ISA)
Reclassificação da Carta de Uso dos Solos	Vector	1/25 000	1/100 000	1990	CNIG
Infraestruturas de combate a fogos florestais	Vector	Inferior a 1/25 000	1/100 000, 1/50 000	2002	CNIG

Quadro 1 – Principais dados utilizados no projecto

cas, uma vez que os vários dispositivos interpretam a cor de forma diferente.

No processo de formação de cores existem dois processos de produção de cores: mistura aditiva de cores (RGB) e mistura subtractiva de cores (CMYK). Estes métodos usam cores primárias diferentes e possuem significados distintos para o branco e para o preto.

As cores primárias aditivas são: vermelho, verde e azul. No processo aditivo, o preto é gerado pela ausência de qualquer cor, indicando que nenhuma luz é transmitida; o branco é a mistura de todas, o que indica que uma quantidade máxima de vermelho, verde e azul é transmitida.

As cores primárias subtractivas são: magenta, amarelo e cyan, pois o seu efeito é subtrair, isto é, absorver alguma cor da luz branca. Quando a luz branca passa por um objecto, ela é parcialmente absorvida pelo objecto. A parte que não é absorvida é transmitida, e eventualmente atinge o olho humano, determinado assim a cor do objecto. No processo subtractivo, o branco é gerado pela ausência de qualquer cor e o preto é a presença de todas.

- **Cyan:** absorve a componente vermelha da luz branca reflectida; a luz branca é a soma das cores azul, verde e vermelho; assim, em termos de cores subtractivas, cyan é a soma de verde e azul.
- **Magenta:** retira a componente verde da luz branca, sendo assim, a soma de vermelho e azul.
- **Amarelo:** subtrai a componente azul da luz branca reflectida; é a soma do verde e vermelho.

A explicação para que um determinado ficheiro quando visionado em diferentes dispositivos, nomeadamente monitor e impressora ter uma aparência diferente, reside no facto dos monitores serem dispositivos que utilizam o modelo RGB e em contrapartida as impressoras serem dispositivos que utilizam o modelo CMYK.

Ainda que estes dois modelos RGB e CMYK sejam equivalentes em termos teóricos, em termos práticos o espectro de cores passíveis de

serem representadas no modelo RGB, é superior ao modelo CMYK, daí que a mesma imagem possui uma aparência diferente quando visualizada num monitor ou quando impressa numa impressora. Daqui a impossibilidade de determinadas cores observadas num monitor não poderem ser recriadas num dispositivo que utiliza o modelo CMYK, por exemplo, uma imagem no formato CMYK é sempre mais escura que a imagem original RGB; isto explica-se da seguinte forma: as cores cyan, magenta e amarela quando misturadas não conseguem produzir a cor preta pura ou então graus de cinzento.

Uma das formas de resolver este problema é através de processos de calibração, mediante os quais são gerados filtros que se aplicam aos ficheiros a imprimir, e que se destinam a eliminar as diferenças de cor entre os dois tipos de dispositivos. Porém, devido ao fluxo de trabalho implementado, não foi possível a aplicação de filtros pelo que o processo de calibração teve que ser efectuado recorrendo a comparação e ajuste visual, entre os valores de cor RGB lidos no monitor e a cor obtida no dispositivo de impressão. Este processo expedito de calibração visual foi efectuado por <Monitor, Impressora, tipo de Suporte>.

### Sobreposição

A sobreposição entre as diversas camadas (*layers*) de um SIG é um dos tipos de operações mais utilizadas em Sistemas de Informação Geográfica. Neste sentido é imperioso garantir a coincidência espacial entre todas as camadas envolvidas, pelo que funcionalidades como *Bookmarks* Espaciais, são uma preciosa ajuda. Esta funcionalidade da ferramenta *ArcMap* permite costumizar os limites das janelas dos mapas, associar-lhes um nome, e utilizá-las quando necessário, garantindo que a áreas geográficas cobertas pelas diversas camadas (saídas gráficas) sejam absolutamente coincidentes.

Devido ao facto de o processo de impressão envolver grandes formatos (A0), a diferença entre as dimensões especificadas na aplicação e as dimensões efectivamente obtidas, pode atingir uma expressão significativa. Assim, e para garantir a coincidência entre as várias impres-

sões há que assegurar que as dimensões das saídas estejam dentro de uma tolerância pré-estabelecida: cerca de 1mm no caso presente, pelo que deve ser compensada:

- por impressora /plotter;
- por tipo de saída (*portrait / landscape*);
- por tipo de suporte (filme, papel opaco, e dentro de cada tipo de suporte, sempre que as especificações ou a marca mudaram);
- à medida que o suporte é consumido pelo dispositivo de saída.

Este problema foi resolvido escalando o desenho a imprimir, por forma a compensar as diferenças entre as dimensões especificadas e as efectivamente obtidas, utilizando para este efeito uma regra de 3 simples, em que se pretende obter o valor de X

$$\begin{array}{l} D1 \rightarrow O1 \\ X \rightarrow O2 \end{array}$$

em que

D1 – dimensão especificada (no momento da calibração)

O1 – dimensão obtida (no momento da calibração)

O2 – dimensão obtida (por monitorização visual)

X – dimensão a especificar em face de O2

Para detectar a dimensão a aplicar (X), é necessário monitorizar as saídas gráficas, de forma visual e permanente, por forma a detectar desvios superiores à tolerância estabelecida: 1mm. Uma vez que se trata de uma acção correctiva e a posteriori, este processo causa algum desperdício, nomeadamente até que estejam disponíveis dados estatísticos que possam permitir uma acção preventiva.

### Outros aspectos

A escolha de imagem de satélite como base geográfica de referência implicou o processamento das imagens que resumidamente envolveu as seguintes etapas:

- fusão de imagem (Pancromática e multiespectral) com compensação da intensidade;
- criação de uma banda sintética para simulação

da cor natural;

- ortorectificação das imagens;
- mosaico das imagens e compensação do bloco.

A dimensão das saídas gráficas (A0), e a resolução exigida (300 dpi) determinaram a opção pelo formato *Encapsulated Post Script* (EPS) uma vez que o processo de exportação é simples e rápido, gera ficheiros de menor dimensão e transfere parte do processamento para o periférico de saída (*plotter*). No entanto a escolha deste formato e a implementação do respectivo fluxo de trabalho inviabilizou a aplicação de filtros para compensar as diferenças entre a cores especificadas e as obtidas, o que forçou a opção por um processo de calibração visual e mais expedito.

Outro aspecto importante relacionou-se com a não existência de informação cartográfica base, nas escalas 1/50 000 e 1/100 000, pelo que foi utilizada informação nas escalas 1/25 000 e 1/250 000, respectivamente. Assim, se a representação à escala 1/50 000 de informação na escala 1/25 000 se resumiu a uma questão de generalização, já a representação à escala 1/100 000 de informação na escala 1/250 000 não é propriamente usual uma vez que o conteúdo e a precisão são inerentes a uma escala 1/250 000 (série M586) do IGeoE e como tal tem menos objectos do que seria de esperar (para a escala 1/100 000), e a geometria apresenta a generalização (simplificação) correspondente à escala 1/250 000). No fundo tudo se passa como se se tratasse de uma mera ampliação. Porém, para além do facto de não se encontrar disponível outra informação nesta escala, a sua utilização em face dos objectivos que são essencialmente planeamento e em que o rigor exigido não é determinante, não compromete os objectivos do SIG e consequentemente a sua utilização.

### Conclusões

Em termos técnicos, a criação deste SIG implicou o recurso a uma grande quantidade

de testes, principalmente de simbolização, uma vez que está envolvida uma grande quantidade de informação, de grande diversidade e estruturada em várias camadas. Adicionalmente e como anteriormente referido, muitos aspectos não puderam ser objecto de automatização (calibração da cor, acerto automático da dimensão das saídas, etc), pelo que foi necessário recorrer a soluções menos rigorosas e expeditas.

Em termos de avaliação dos objectivos do projecto e apesar das limitações inerentes a um SIG analógico, em particular o seu carácter estático, os resultados obtidos até ao momento são satisfatórios, porque permitiram suprir algumas necessidades de informação de carácter espacial, e têm encorajado algumas entidades destinatárias a demonstrar interesse no acesso à versão digital da informação utilizada, com vista a tirar partido das potencialidades da informa-

ção digital, como sejam flexibilidade de utilização, de apresentação e simbolização dos dados, de actualização, e inclusivamente implementar SIG digitais, cumprindo assim este projecto o objectivo de estimular a utilização e exploração de informação geográfica digital nos processos de planeamento e decisão neste área de actividade.

### Agradecimentos

Os autores desejam expressar à equipa directamente envolvida no projecto (IGeoE, CNIG, CNEFF e DGF) o seu reconhecimento público, pela capacidade de iniciativa, empenho e generosidade demonstradas. Ao pessoal do IGeoE, em particular do Centro de Produção Cartográfica (CPC), pela permanente disponibilidade no apoio às inúmeras e inesperadas solicitações e questões surgidas no decorrer do projecto. 

# O caminho da certificação do Sistema de Gestão da Qualidade e Ambiente no IGeoE

↳ Álvaro Estrela Soares, Tenente-Coronel Art

O Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), casa mãe da cartografia militar portuguesa, assume-se no início do século XXI como uma organização eficiente, moderna e responsável, granjeando elevado prestígio entre os utilizadores de cartografia e o respeito das instituições congêneres, nacionais e estrangeiras. Como organismo militar, inserido no Comando da Logística do Exército Português, tem cumprido a missão que lhe está atribuída, sendo reconhecido nacional e internacionalmente como uma instituição de referência na produção de informação geográfica e na investigação científica e desenvolvimento tecnológico. Existe também, por parte da Direcção, um claro compromisso de proteger o ambiente e assegurar a todos os colaboradores as melhores condições de trabalho, no respeito integral das normas vigentes ao nível do Ambiente, Higiene, Segurança e Saúde Ocupacional.

Através de uma filosofia de espírito de missão e vontade de bem servir, tem sido prática corrente, assumida por todos os colaboradores do IGeoE, adequar o saber e a tecnologia existente, com vista a conceber, desenvolver e produzir informação geográfica com elevados parâmetros de

qualidade, precisão e rigor, sem descuidar os aspectos ambientais resultantes da sua actividade.

Tendo por base estes princípios, a Direcção do Instituto decidiu, em Janeiro de 1999, implementar um Sistema Integrado de Qualidade e Ambiente, tomando como referencial normativo as ISO 9001 e 14001, respectivamente.

Após a nomeação de um Grupo de Trabalho, que deu posteriormente origem ao Gabinete de Qua-



lidade e Ambiente, iniciou-se um processo de formação dos seus elementos, ficando estes responsáveis por elaborar e emitir a documentação base do sistema, constituída pelo Manual, Procedimentos e Instruções de Trabalho.

Durante um período de aproximadamente um ano, procedeu-se à elaboração, verificação e aprovação de documentos, a par de um planeamento de acções e de programas de gestão de qualidade e ambiente, onde constavam as metas e objectivos a atingir, bem como a delegação de responsabilidades nas várias áreas funcionais do Instituto.

Para proporcionar a todos os colaboradores do IGeoE um melhor entendimento do Sistema que se pretendia implementar, foi necessário realizar algumas acções de sensibilização, para se familiarizarem com os requisitos das normas e com a documentação distribuída e utilizada para esse efeito. Nesta fase de implementação do Sistema, foi de extrema importância a posição que a Direcção do Instituto tomou em torno deste assunto, de forma a obter um maior envolvimento e empenho da Gestão de topo e dos colaboradores em geral.

Definiu-se ao mais alto nível do Instituto, quais os objectivos que se pretendiam atingir, as referências e factores de sucesso a ter em conta e a política assumida no âmbito da qualidade e do ambiente.

Como a elaboração documental teve início em meados de 1999, o referencial das normas da família ISO 9000 adoptado, foi a versão NP

EN ISO 9001:1995, visto no momento ainda não existir a versão 2000.

Em finais de 2000, toda a estrutura documental estava aprovada, distribuída e difundida. O Sistema Integrado de Qualidade e Ambiente (SIQA) estava em implementação, fornecendo já indícios e evidências sobre a sua adequação e conformidade com as normas em referência.

Foi então necessário proceder a auditorias internas, no âmbito da Qualidade e do Ambien-

te, com vista verificar e aferir e adequar o Sistema implementado, que numa fase inicial carece de muitas correcções. Como a bolsa de auditores internos era reduzida e estava ainda em formação, o IGeoE apoiou-se na experiência dos seus consultores externos, que nos orientavam na implementação do Sistema, para coordenar e superintender a realização das primeiras auditorias internas.

Porém, nesta fase inicial do Sistema, constatou-se que em algumas áreas funcionais do IGeoE, existiam dificuldades de implementação no âmbito da Qualidade, por falta de evidências necessárias ao cumprimento dos requisitos da norma.

Contrariamente, o Sistema de Gestão Ambiental estava bem alicerçado e reunia todas as condições para a sua certificação; todo o trabalho desenvolvido em 2000, em prol da implementação do Sistema de Gestão Ambiental, já tinha sido formalmente reconhecido através da obtenção do "Prémio Defesa Nacional e Ambiente – 2000", instituído pelos Ministérios da Defesa Nacional e do Ambiente.



Por razões internas derivadas dos compromissos assumidos, nomeadamente no âmbito do apoio cartográfico ao "Censos 2001", o Instituto Geográfico do Exército decidiu avançar inicialmente com a certificação do seu Sistema de Gestão Ambiental, embora continuassem a desenvolver-se, de um modo integrado, a implementação de acções da qualidade.

Em Junho de 2001 e culminando um período de árduo trabalho, o Sistema de Gestão Ambiental do Instituto foi certificado em conformidade com as normas NP EN ISO 14001, constituindo um reconhecimento externo da nossa actuação responsável em prol de um desenvolvimento sustentável.

Seguiu-se então o processo de certificação do Sistema de Garantia da Qualidade, segundo o referencial NP EN ISO 9001:1995, com a realização de uma pré-auditoria ao sistema.

Com a subsequente adopção de acções correctivas para o cumprimento dos requisitos da norma, e dada a necessidade de obter um maior envolvimento de todos os colaboradores, foram nomeados elementos de todas as áreas funcionais do IGeoE, para funcionarem como delegados junto do Gabinete de Qualidade e Ambiente, permitindo deste modo a aplicabilidade do Sistema e simultaneamente uma acção descentralizada. Estes elementos tiveram uma grande importância ao participarem activamente nas acções de melhoria contínua de alguns processos, mais especificamente na concepção, no controlo e medição de actividades directamente relacionadas com a produção e o apoio ao cliente.

Como corolário de todo este empenho e vontade, o Instituto não só renovou a sua certificação ambiental, como também obteve a tão desejada certificação em Qualidade, já em Julho de 2002, dando assim expressão ao sentimento comum a todos os colaboradores do IGeoE, que "Hoje, como ontem, na senda do progresso" ... se irá alicerçando o futuro.

Obtidas as certificações do Sistema Integrado de Qualidade e Ambiente (SIQA), qual o rumo agora a seguir?

A transição para a nova versão da norma ISO 9001:2000 implica, desde já, o arranque de uma nova etapa do Sistema, que se pretende rápida e eficiente.

A necessária adaptação da documentação do SIQA bem como o levantamento de todos os processos decorrentes da actividade do IGeoE, são actualmente a principal preocupação do Gabinete da Qualidade e Ambiente.

Iniciou-se o processo de formação de alguns dos novos quadros do Instituto, para constituir e alargar a actual bolsa de auditores internos do IGeoE,

garantir a continuidade do Sistema e prever a futura integração de mais um Sistema de Gestão relacionado com a Segurança, Higiene e Saúde Ocupacional.

O caminho está traçado... as certificações obtidas são apenas os primeiros passos de uma jornada, que se pretende longa e duradoura, na busca contínua pela melhoria dos nossos processos, produtos e serviços, não descurando as questões ambientais em prol de um desenvolvimento sustentável.

