



### 1. Introdução

A Cartografia Militar Portuguesa na sua escala 1:25000, por ser até agora a escala base do País (por definição), sempre “Serviu” a Engenharia (Militar e Civil) e, por conseguinte, Portugal. A forma de obtenção dos dados para a sua elaboração tem de acompanhar a evolução dos tempos. No caso do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), sobrepõe-se ainda a necessidade da actualização da sua Cartografia Militar de forma mais rápida e exacta, uma vez que terminou em 2006 a aquisição, em formato vectorial, de todo o Território Nacional. O método de posicionamento em modo de Base – RTK constituía a forma tradicional da Secção de Topografia do IGeoE para adquirir informação geo-referenciada, necessária aos diversos processos de produção dessa Cartografia.

A ideia do projecto SERVIR (Sistema de Estações de Referência GNSS VIRTuais) surgiu devido ao esforço, quer em meios humanos, materiais e logísticos, quer nas dificuldades encontradas na realização do apoio topográfico e respectivo tempo consumido, por parte das equipas topográficas do IGeoE, com a tradicional metodologia RTK para apoio topográfico em WGS84 (*World Geodetic System 1984*).

# A Rede “SERVIR” do IGeoE para “SERVIR” os Engenheiros e Portugal

António Afonso \*

Este projecto, liderado pelo Instituto Geográfico do Exército, utiliza a rede de comunicações do Exército, Marinha e Força Aérea sob supervisão do SICOM (Sistema Integrado de Comunicações das Forças Armadas) e do Regimento de Transmissões do Exército, numa perspectiva de optimização das infra-estruturas existentes, diminuindo assim os custos em comunicações entre as Estações de Referência e o centro de controlo e monitorização do sistema, optimizando, desta forma, o investimento efectuado pelo Estado e o erário público. Conta ainda com o apoio das Unidades Militares onde as Estações de Referência GNSS (Figura 1) estão instaladas, facilitando a manutenção e o apoio logístico, além de aumentar a segurança física das mesmas. Desde o início deste projecto que o seu parceiro estratégico é a Faculdade de Ciências da Uni-

versidade de Lisboa e mais recentemente a Universidade da Beira Interior.

Actualmente a rede tem 20 estações em funcionamento (● GPS; ● GPS + GLO-NASS) 2 em instalação ● e 3 na fase de resolução de problemas de comunicações ●.

### 2. Conceito de Base-RTK e de Rede-RTK

A metodologia associada ao RTK baseia-se no princípio de que os erros que afectam o cálculo da posição absoluta no GPS são aproximadamente iguais numa determinada área geográfica em que se esteja a trabalhar. Esses erros resultam, por exemplo, dos efeitos da ionosfera, troposfera, órbitas dos satélites GPS, osciladores dos satélites e dos receptores. Sob estas condições, em Portugal continental, as coordenadas obtidas pelos receptores GPS em modo absoluto variam entre



Figura 1 – Estações GNSS da rede SERVIR

1 a 10 metros, consoante a geometria dos satélites disponíveis no momento da aquisição dos dados GPS. Se colocarmos um receptor GPS (designado por Estação de Referência – ER), num ponto de coordenadas perfeitamente conhecidas (por exemplo um Vértice Geodésico – VG), este pode comparar as coordenadas calculadas através do GPS com as desse ponto (rigorosas). Obtêm-se assim as correcções diferenciais, que são posteriormente radiodifundidas para outro receptor GPS, denominado “Móvel”, para

a outra para manusear o receptor Móvel), e o raio de acção limitado pela distância (para coordenadas centimétricas), aumentado a degradação à medida que aumenta a distância ER-Móvel. Outra limitação que por vezes surge, para além da necessidade de obter autorização para operar com determinadas frequências rádio, é o efeito de interferência de outras estações de referência com o equipamento que estamos a operar. Sabendo que a principal limitação da metodologia base-RTK é a distância ER-Móvel, a metodologia rede-RTK utiliza uma rede de estações de referência GNSS com coordenadas conhecidas com precisão. Da análise de cada estação resulta um conjunto de resíduos que, no seu conjunto, permitirão modelar os erros sistemáticos numa dada região. Assim, as correcções diferenciais para os receptores a operarem nessa área terão uma influência reduzida desses mesmos erros, ao mesmo tempo que se aumenta a área de actuação de um receptor Móvel e se reduzem os tempos de inicialização desses mesmos receptores.



Figura 2 – Conceito base-RTK

correção das coordenadas calculadas por este (ver Figura 2).

O posicionamento DGPS (*Differential GPS*) aplica esta técnica em tempo real para correcções da pseudo distância com precisões de cerca de 1 metro. O posicionamento RTK utiliza correcções de fase fazendo uma correlação temporal e espacial dos erros, obtendo precisões centimétricas ou melhores.

O método designado por base-RTK (também conhecido na literatura por “estação-base simples”, da denominação em inglês *Single Base Station* (SBS)) tem a restrição da distância inter-receptores ser de 10 km ou inferior (Rizos, 2003). No entanto, há outras limitações, das quais se salienta o facto de serem necessários pelo menos dois equipamentos GPS, que são utilizados por duas equipas de topografia (uma para manusear a ER e

### 3. Conceito VRS

O conceito VRS (*Virtual Reference Station*) é baseado numa rede de estações de referência permanentes, ligadas entre si através de uma infra-estrutura de comunicações com o Centro de Controlo.

O *software* existente neste Centro, ao receber os dados de todas as estações de referência, vai monitorizá-los, analisando permanentemente as portadoras L1 e L2 no que respeita a:

- Erros de Ionosfera e de Troposfera;
- Erros das efemérides;
- Ambiguidades para a L1 e L2.

Terminada esta tarefa, o *software* utiliza esta informação de forma a diminuir a influência dos erros sistemáticos (ionosféricos, troposféricos...) (Luttenberger e Amor, 2004). O conceito é ilustrado pela Figura 3.

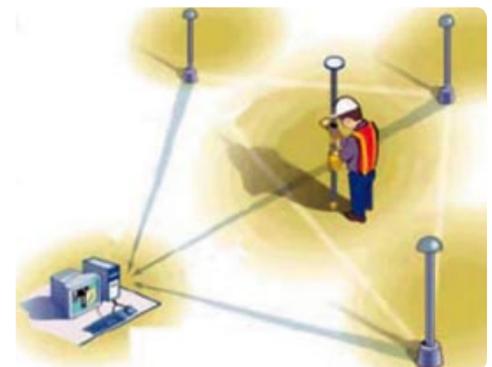


Figura 3 – Esquema da rede [Landau et al., 2002]

Por sua vez, o Móvel, através de uma ligação bidireccional (ex. telemóvel) por GSM (*Global System for Mobile Communications*) / GPRS (*General Packet Radio Service*), envia a sua posição aproximada para o Centro de Controlo, numa mensagem *standard NMEA* (*The National Marine Electronics Association*), com formato GGA (Registo NMEA – *Global Position System Fix Data*),

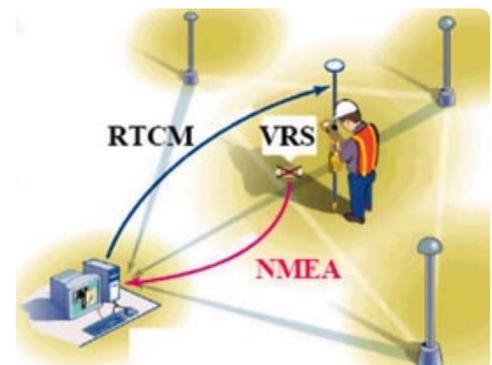


Figura 4 – Envio das correcções [Landau et al., 2002]

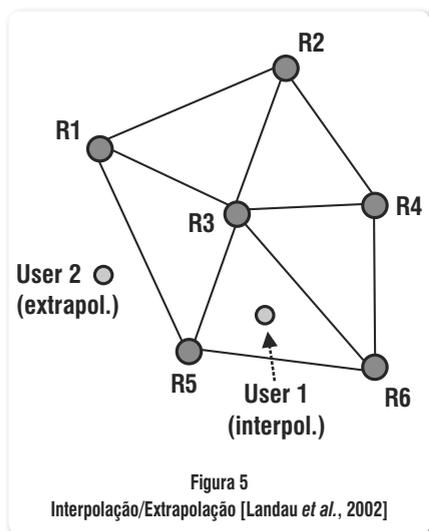
uma vez que é um formato que se encontra disponível na maioria dos receptores GNSS Móvel (ver Figura 4).

O Centro de Controlo aceita a posição e responde, enviando para o Móvel correcções em formato RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) ou em formato proprietário CMR (*Compact Measurement Record*), por exemplo (ver Figura 4).

Assim que o Móvel recebe esses dados, actualiza a sua posição para uma solução DGPS. A solução DGPS gerada tem uma precisão de cerca de 1 metro, o que é suficientemente bom para assegurar que as distorções atmosféricas e das efemérides modeladas para a totalidade da rede sejam aplicadas correctamente. De seguida envia a sua nova posição para o Centro de Controlo.

Por sua vez, o Centro de Controlo efectua um novo cálculo de correcções, que envia para o Móvel. Estas correcções aparecem como se de uma estação de referência junto ao Móvel existisse (estação virtual), sendo este o motivo do nome atribuído a esta metodologia (ver Figura 4).

Como o Móvel pode estar em qualquer ponto da rede, o *software* de cálculo utiliza toda a informação disponível, no sentido de interpolar a posição do Móvel (ver Figura 5).



Quando é feita a interpolação pelo *software* de cálculo, é usada uma técnica especial de interpolação, utilizando uma aproximação linear pesada e ajustamento por mínimos quadrados, com base na parte residual dos erros das estações de referência.

Esta técnica de interpolação, tanto permite interpolar para um utilizador no interior da rede, como extrapolar para outro utilizador

que esteja fora dessa mesma rede (ver Figura 5).

#### 4. Arquitectura da rede SERVIR

A arquitectura da rede deste projecto foi concebida de forma a garantir a maior segurança possível, fiabilidade e rapidez de funcionamento, através da redundância de cálculo (dois computadores em simultâneo); assim, em caso de alguma ocorrência inoportuna com um deles, o outro assegura automaticamente o fornecimento das correcções da rede aos utilizadores. Pode assegurar até 50 utilizadores em simultâneo (ver Figura 6).

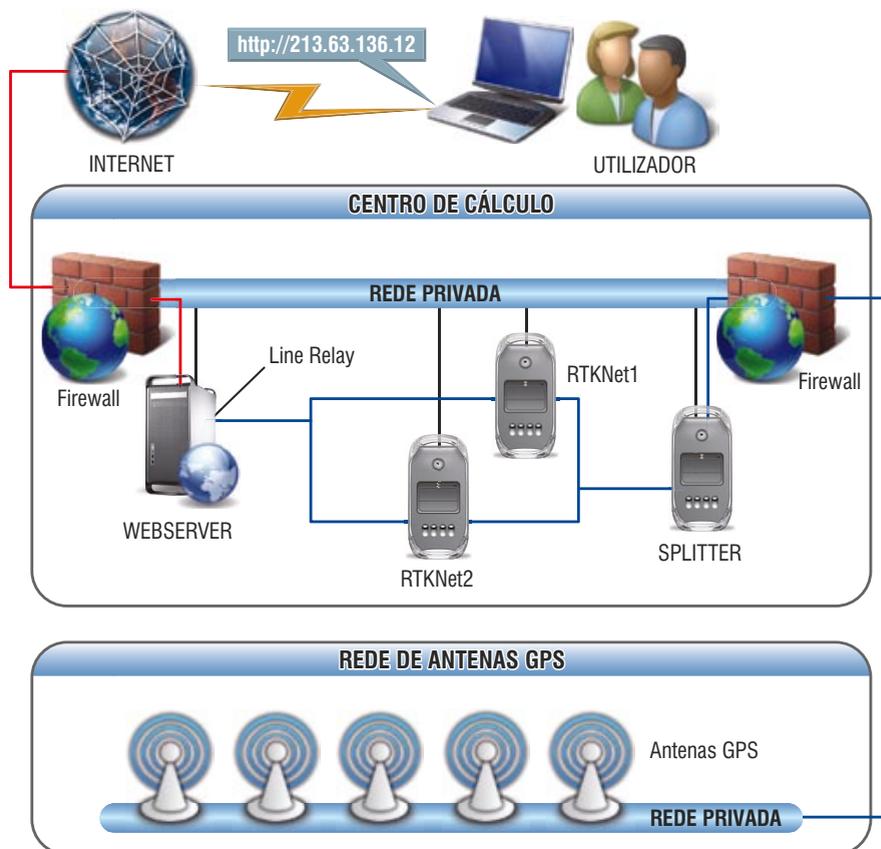


Figura 6 – Arquitectura rede SERVIR

Cada estação de referência GPS está equipada com um receptor Trimble NetRS e antena geodésica *Choke Ring* (as restantes têm um receptor Trimble NetR5 e antena geodésica *Zephyr Geodetic 2*), fonte de alimentação principal e alternativa e com uma linha de comunicações dedicada ao Centro de Controlo, via TCP / IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*).

O computador **SPLITTER** tem a função de permitir uma comunicação sincronizada com cada estação de referência GNSS, de forma a que as suas observações GNSS cheguem aos dois computadores de cálculo (**RTK-**

**Net1** e **RTKNet2**) de forma correcta. Permite também estabelecer comunicação remota com cada estação de referência de modo a evitar deslocamentos ao local.

Os dois computadores de cálculo (**RTKNet1** e **RTKNet2**) executam várias tarefas, das quais se destacam:

- Verificação da qualidade dos dados GNSS observados e importados de cada estação de referência;
- Verificação e validação dos ficheiros RINEX armazenados e posteriormente disponibilizados aos utilizadores;
- Correção do centro de fase das antenas geodésicas GNSS;

- Estimação e modelação dos erros ionosféricos, troposféricos e efemérides;
- Geração das respectivas mensagens de correcção VRS (*Virtual Reference Station*) para cada utilizador no terreno, quer em formato proprietário CMR e CMR+, quer em formato padrão RTCM 2.3 e RTCM 3.0.

A comunicação com os utilizadores é assegurada através de um quarto computador (**WebServer**), onde se encontra uma página Web que fornece informação aos utilizadores, assim como uma base de dados de permissão de acessos ao sistema.

Para estabelecer a comunicação com a rede SERVIR, os meios a utilizar podem ser via:

- **Rádio** para as unidades militares, cujas correcções diferenciais são enviadas através de um rádio modem com frequências próprias. O rádio modem é ligado ao receptor da estação de referência. O modo de posicionamento neste caso é base-RTK;
- **GSM** para receber as correcções diferenciais em modo rede-RTK, mas apenas para situações de emergência, no caso do computador WebServer não funcionar. Os oito modems GSM estão ligados directamente aos computadores de cálculo. No entanto, este meio de comunicação tem mais custos de utilização do que o GPRS e não permite, de forma directa, saber quem está a utilizar o SERVIR. Apenas se sabe qual o número telefónico que está a ser utilizado. Para efeitos comerciais a gestão é muito mais complexa;
- **GPRS** através de protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*). Dado o IGeoE já dispor de um IP para a sua Internet, é a forma mais adequada para controlar acessos ao SERVIR, além de ser mais económico que o GSM;
- **Http** (*Hypertext Transfer Protocol*) permite que os utilizadores efectuem transferência de dados RINEX através da página Web do SERVIR, utilizando a Internet do IGeoE. Os acessos estão controlados pelo registo efectuado pelo utilizador e respectiva senha (*password*) atribuída;
- **Ftp** (*File Transport Protocol*) apenas para transferência de grande quantidade de dados. Como existem problemas de segurança, nomeadamente a abertura de portas através da *firewall*, optou-se por ser o SERVIR a colocar via ftp noutra computador.

## 5. Serviços disponibilizados pela rede SERVIR

Para aceder aos serviços disponibilizados é preciso ter permissão de acesso, pelo que o IGeoE deverá ser contactado através de: [igeoe@igeoe.pt?subject=ProjectoSERVIR](mailto:igeoe@igeoe.pt?subject=ProjectoSERVIR) ou do endereço electrónico geral ([igeoe@igeoe.pt](mailto:igeoe@igeoe.pt)), disponibilizado na página Web do IGeoE ([www.igeoe.pt](http://www.igeoe.pt)), ou fazer a inscrição através da página Web das Estações de Referência (<http://213.63.136.12>). Os serviços disponibilizados são:

- **DGPS**: As correcções diferenciais são dis-

ponibilizadas no formato de mensagem RTCM 2.3

- **RTK**: As correcções diferenciais são disponibilizadas nos formatos de mensagens CMR, CMR+, cujos formatos são proprietários, ou RTCM 2.3, cujo formato é padrão, e RTCM 3.0
- A análise de dados em **pós-processamento** é possível com o *download* dos ficheiros RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) directamente da respectiva página Web (<http://213.63.136.12>).



Figura 7 – Rede SERVIR – Loja RINEX

## 6. Testes efectuados à rede SERVIR

### Em RTK

Desde que a rede ficou disponível, em Abril de 2006, que as coordenadas colocadas nas estações de referência SERVIR se encontram referidas ao referencial ITRF2000, época 2006,16.

Para que o processo de controlo de qualidade posicional fosse totalmente independente, a metodologia adoptada consistiu em:

- Escolher a base de maior dimensão na região de Lisboa de entre as estações de referência da rede SERVIR, por ser considerada a situação mais desfavorável. Essa base é formada pelas estações de referência de Santarém e Vendas Novas, correspondendo a uma distância de 68 km (actualmente a estação de Santarém foi desactivada porque a Unidade Militar transferiu-se para Abrantes);
- A meio dessa base, foi identificado, no terreno, um conjunto de vértices geodésicos, que se encontram perpendiculares à base referida e igualmente (dentro do possível) espaçados entre si, quer para o interior da rede, quer para o exterior da mesma, sensivelmente a 5, 10, 15 e 20 km (ver Figura 8);
- Foram efectuadas sessões de observação GPS de 3 h para cada VG referido, seguidas de pós-processamento em ITRF2000, época 2006,16, de modo a ser uniforme

com a mesma época de pós-processamento para a rede SERVIR;

- A recolha das coordenadas no terreno foi feita com um equipamento GNSS Móvel Trimble R8, utilizando as correcções diferenciais difundidas pela rede SERVIR.

A análise dos resultados obtidos permite concluir, apesar da necessidade da realização de mais testes de controlo de qualidade posicional e atendendo aos valores apresentados, de uma forma mais genérica e até confirmação posterior, que a rede SERVIR, quer no seu interior, quer até uma distância para fora da rede de cerca de 15 km, proporciona exactidões melhores do que 5 cm.

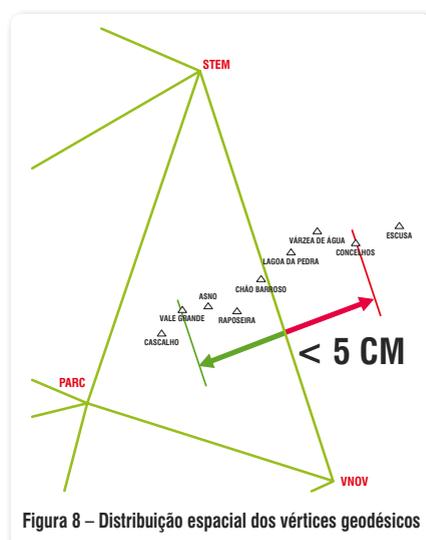


Figura 8 – Distribuição espacial dos vértices geodésicos

Efectuado este controlo de qualidade posicional, elaborou-se outro teste de campo independente do anterior, noutra local da rede, que visa determinar se realmente se confirma a exactidão de 5 cm e em média quanto tempo um utilizador leva a obter as coordenadas de um ponto pretendido.



Figura 9 – Ponto no IGeoE

Quadro 1 – Tempo e diferença de coordenadas obtidas

Ponto	T1 (s)	T2 (s)	Diferenças			
			dX (m)	dY (m)	dZ (m)	2D (m)
IGeoE	25.5	32.5	0.038	0.001	0.052	0.040

Nota: T1 – Tempo de ligação à rede SERVIR  
T2 – Após ligação até estar pronto a registar as coordenadas do ponto

No IGeoE existe um ponto de centragem forçada (ver Figura 9), com coordenadas conhecidas em ITRF2000, época 2006,16. Utilizou-se para o efeito um receptor Trimble GNSS R8 e um cronómetro. Fizeram-se em 2 dias (manhã e tarde) 100 medições espaçadas em séries de 20, cujas médias dos resultados se apresentam no Quadro 1. Da análise dos resultados conclui-se que o receptor móvel GNSS leva em média cerca de 1 minuto a inicializar e a ficar pronto para efectuar a determinação das coordenadas dos pontos pretendidos, com uma exactidão melhor que 4 cm na componente horizontal e 5,2 cm na componente vertical.

Testes em DGPS

No mesmo ponto de centragem forçada utilizado no teste anterior, efectuou-se agora um novo teste mas em DGPS. O objectivo é determinar quanto tempo de inicialização em média um utilizador espera para obter as coordenadas pretendidas e quais os valores de exactidão obtidos. Para o efeito utilizou-se um equipamento GNSS Trimble GeoExplorer XH, normalmente utilizado no campo para trabalhos de SIG (Sistema de Informação Geográfica), com 1 minuto de observação e uma taxa de registo de 1 segundo. Para comparação de resultados utilizou-se o sinal emitido pela rede SERVIR e o sinal EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service).

DGPS – EGNOS vs. SERVIR



Figura 10 – Teste em DGPS

Da análise dos dados obtidos, concluiu-se (Figura 10) que a inicialização, em média, utilizando a rede SERVIR é de cerca de 30 segundos, com uma exactidão na componente horizontal de 81 cm e na componente vertical de 82 cm.

7. A Evolução do SERVIR

Já em fase de testes de campo, utilizando para o efeito quer a rede SERVIR quer o Google Earth, está a possibilidade de monitorizar (ver figura 11) quer viaturas militares, que, por exemplo, transportem cargas perigosas, quer as equipas topográficas no campo, por forma a orientá-las em tempo quase real na melhor aquisição de PF's (Pontos Fotogramétricos).



Figura 11 – Monitorização de equipas de campo

Para os próximos anos pretende-se utilizar a rede SERVIR na monitorização e controlo da fronteira Portuguesa com Espanha. Todos os anos uma equipa militar portuguesa e outra espanhola percorrem troços da fronteira verificando o posicionamento dos marcos.

8. Conclusão

São várias as aplicações a realizar a partir da rede SERVIR, sobretudo desde que exista cobertura GPRS para trabalhar em tempo quase real, quer seja em DGPS ou RTK, quer em pós-processamento, permitindo utilizar equipamentos GNSS, independentemente das marcas exis-

tentes no mercado nacional. Os testes efectuados até ao momento asseguram que no interior da rede SERVIR e em condições atmosféricas normais, a exactidão obtida é melhor do que 5 cm. No exterior da rede e até uma distância de 15 km obtêm-se os mesmos valores de exactidão que no seu interior. Em DGPS é de cerca de 80 cm. Para haver uma coerência com a rede geodésica nacional, os utilizadores têm de efectuar uma calibração local no sistema de coordenadas pretendido. Significa que o SERVIR permite obter valores dentro dos padrões da rede geodésica nacional, isto é, melhor que 10 cm. No entanto, mais testes vão ser feitos em diversas condições de utilização com o objectivo de testar o comportamento desta rede, nomeadamente em condições adversas, e torna-se importante para nós que os utilizadores nos comuniquem as suas expectativas

para podermos melhorar. A rede SERVIR, cujo acesso é livre e gratuito para qualquer utilizador (enquanto o orçamento do IGeoE puder suportar os custos de manutenção) desde Abril de 2006, permitiu ao IGeoE efectuar os seus trabalhos de topografia de forma mais rápida, económica e com menos recursos humanos, aumentando, assim, a sua produtividade. De uma média de 8 PF's por dia e por equipa, passámos para 20 PF's. Portugal continental, nos dias de hoje, pode orgulhar-se de ter uma das mais modernas redes de estações de referência GNSS a funcionar em modo rede – RTK, não só a nível Europeu como Mundial. Tal como a Cartografia Militar, a rede SERVIR está disponível para quem necessite de a utilizar.

\* TCor. Art. Eng.º Geógrafo, IGeoE