JORNAL DA AMRAD
Nº 7 - Dezembro de 2013

Editorial

O Jornal da AMRAD procura ser mais um meio de comunicação entre os sócios desta associação. O Jornal tem uma periodicidade trimestral e tem por objetivo dar a conhecer os trabalhos desenvolvidos por associados da AMRAD ou por convidados externos, na sua atividade profissional, ou outra.

A Direcção da AMRAD

Notícias AMRAD

Destacam-se, aqui, alguns dos envolvimentos da AMRAD ocorridos no quarto trimestre de 2013:

- **09/10 – AVE, CASAR e AMRADio na OIS; programas pedagógicos especialmente preparados para jovens de ensino secundário e crianças mais jovens;**
  http://www.amrad.pt/ave-e-amradio-na-ois/
- **06/11 – AMRAD participa na semana da C&T a convite do Ciência Viva**
  http://www.amrad.pt/amrad-na-semana-da-ciencia-e-tecnologia/
- **08/11 – 50 anos de VHF – Confraternização de antigos amigos e sócios AMRAD**
  http://www.amrad.pt/gang-de-vhf-50-anos-de-amizade/
- **22/11 – Vice-Presidente da CMO visita CS5CEP**
  http://www.amrad.pt/vice-presidente-da-cmo-visita-cs5cep/
- **28/11 – CMO manifesta interesse no ISTnanosat**
  http://www.amrad.pt/cmo-manifesta-interesse-no-istnanosat/
- **24/11 – AMRAD no Pavilhão do Conhecimento**
  http://www.amrad.pt/amrad-no-pavilhao-do-conhecimento/
- **2/12 – CMO decide apoiar ISTnanosat**
  http://www.amrad.pt/cmo-vai-apoiar-istnanosat/
- **17/12 – AMRAD apoia candidatura de OIS no projecto CANsat**
  http://www.amrad.pt/ois-em-cansat-com-apoio-amrad/
- **19/12 – Sócio da AMRAD disponibiliza espectrómetro óptico para ISTnanosat**
  http://www.amrad.pt/istnanosat-com-espetrometro-optico/
- **19/12 – Proc. Principal do ISTnanosat passa nos testes eléctricos e térmicos em estufa**
  http://www.amrad.pt/processador-principal-do-istnanosat/

Indice ***Pag.***

Editorial, Destaque e Notícias *1*
VLF o que é e o que posso receber? *Fernando Roque 2*
Receptor GPS/Galileo/GLONASS com Tecnologia SDR **Pedro Ferreira, Gonçalo Tavares 3**

Destaque

VLF

Neste número apresenta-se um primeiro artigo de uma série de três, do nosso associado Fernando Roque, CT7ABI, sobre o tema da receção de frequências muito baixas do espectro radioeléctrico em VLF "*Very Low Frequency*" aqui apresentados:

Parte I - Very Low Frequency, o que é e o que posso escutar? (neste número do Jornal);

Parte II - Recetor caseiro de VLF (próximos números);

Parte III - Antena caseira de VLF (próximos números).

Fernando Roque vai descrever o desenvolvimento do sistema completo ao longo das páginas deste nosso Jornal.

Receptor SDR, GPS/Galileo/ GLONASS

Apresenta-se um trabalho, orientado pelo nosso colega Gonçalo Tavares, inserido numa tese de Mestrado em Engª Eletrónica do aluno do IST, Pedro Ferreira, usando técnicas de SDR "*Software Defined Radio*".

O trabalho desenvolvido na tese foi publicado na internet e uma empresa canadiana teve acesso à informação e, vai daí, aproveitou a ideia. O Pedro Ferreira, com a excelente formação que adquiriu, conseguiu ganhar um lugar, muito bem pago, numa empresa Suíça de instrumentação biomédica e de implantes médicos, mas foi também contratado pela empresa canadiana para funcionar como consultor do desenvolvimento do projecto interno dessa empresa. Perde-se assim uma oportunidade de desenvolver um produto inovador em Portugal, usando esta tecnologia e ganham os estrangeiros com a emigração deste nosso promissor jovem engenheiro.

A Direção da AMRAD

VLF, o que é e o que posso receber?

Fernando Roque[1]

Very Low Frequency ou VLF é talvez, uma das muitas partes do espectro electromagnético invisível menos conhecidas pelos radioamadores em geral.

A banda de VLF situa-se na região do espectro electromagnético invisível entre as frequências de 3 kHz e os 30 kHz (ver Fig.1), ou seja, com comprimentos de onda situados entre as deca-kilométricas (de 10 km) e as hecto-kilométricas (de 100 km), região esta que está vedada ao seu uso para transmissão por parte dos radioamadores, é certo, mas que ainda assim contém muita diversidade radiofónica, digna de interesse para escuta de carácter científico, repleta de emissões de rádio artificiais, produto da mão e engenho humano, indo desde as emissões experimentais de estações de rádio de VLF em modos digitais, passando pelas comunicações de submarinos próximos da superfície (não indo muito além dos 40 metros de profundidade), balizas de controlo tais como os "*Beacons*" de navegação Alpha e "*Beacons*" temporais de navegação Beta, quer ainda pelas emissões de rádio naturais características da atividade

Designation	Frequency	Wavelength
ELF extremely low frequency	3Hz to 30Hz	100'000km to 10'000 km
SLF superlow frequency	30Hz to 300Hz	10'000km to 1'000km
ULF ultralow frequency	300Hz to 3000Hz	1'000km to 100km
VLF very low frequency	3kHz to 30kHz	100km to 10km
LF low frequency	30kHz to 300kHz	10km to 1km
MF medium frequency	300kHz to 3000kHz	1km to 100m
HF high frequency	3MHz to 30MHz	100m to 10m
VHF very high frequency	30MHz to 300MHz	10m to 1m
UHF ultrahigh frequency	300MHz to 3000MHz	1m to 10cm
SHF superhigh frequency	3GHz to 30GHz	10cm to 1cm
EHF extremely high frequency	30GHz to 300GHz	1cm to 1mm

Fig.1 – Bandas de VLF.

geofísica do nosso planeta, tais como: movimentos de placas tectónicas, trovoadas, recepção da aurora boreal, recepção de ondas de rádio da magnetosfera do planeta Terra com os seus "*Sferics*", diminutivo derivado da palavra inglesa "*atmosferic*" (ver Fig.2) "*Tweeks*" (ver Fig.3) e "*Whistlers*" (ver Fig.4) resultantes

da atividade eletromagnética gerada pelas trovoadas e pelo contacto da magnetosfera terrestre com os ventos solares repletos de partículas carregadas eléctrica-mente oriundas do Sol. Mas é sobretudo em VLF, em frequências que vão de 1 Hz até aos 100 kHz, onde se encontram com maior intensidade e maior amplitude geográfica as trovoadas, podendo com o recetor adequado e antena, escutar-se trovoadas de diferentes

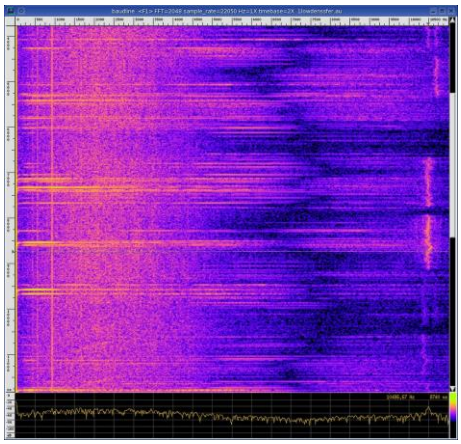


Fig.2 – "Sferic" espetrograma

partes do mundo simultaneamente, em distancias superiores a 20000 km, parecendo, por vezes, escutar coros e orquestras de uma ode sem fim, pois o nosso planeta está sempre a produzi-las, exacta-mente na medida em que o planeta Terra é nada mais nada menos do que um dínamo gigante. Todas estas emissões eletroma-gnéticas de origem natural são audíveis e facilmente visualizáveis em espectrogramas,

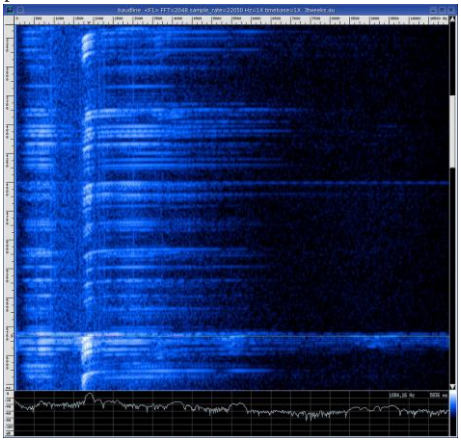


Fig.3 – "Tweek" espetrograma

sendo este da Fig. 2, um exemplo de "*Sferics*", onde se pode ver o registo visual e gráfico de várias trovoadas em descarga conjunta.

De entre estes fenómenos de RF naturais, talvez os mais conhecidos sejam as trovoadas e relâmpagos.

Uma vez dada a descarga elétrica, uma quantidade enorme de carga é deslocada, atuando de certa forma como uma antena a transmitir com o seu movimento de electrões, produzindo esta descarga de ondas electromagnéticas com o comprimento de onda e frequências que se estendem até VHF e, onde claro, se encontram em grande intensidade em VLF.

As ondas de RF da região do espectro de VLF podem viajar distâncias grandes pois elas são facilmente reflectidas pela ionosfera nas suas camadas ionizadas com electrões de volta para a superfície da terra (ver desenho das camadas da ionosfera na Fig.5).

A forte resistência ao impedimento (zonas de sombra) das ondas de VLF é de tal ordem que a dispersão e refracção de onda é pequena, tão pequena que, uma vez a RF emitida, esta pode dar mais do que uma volta ao planeta Terra, antes da difração e dispersão fazerem diminuir a energia de RF. Ora, é exactamente devido às propriedades dos enormes comprimentos de onda desta banda que as ondas podem contornar certos obstáculos, muitos deles de proporções gigantescas tais como: montes ou até mesmo vales, onde a propagação por via das ondas terrestres é uma constante, seguindo a curvatura de superfície da Terra onde, e num certo sentido, podemos mesmo dizer, que as ondas electromagnéticas de VLF ficam "aprisionadas" entre o solo e a ionosfera, portando-se como uma espécie de guia de ondas natural, se assim o podemos dizer.

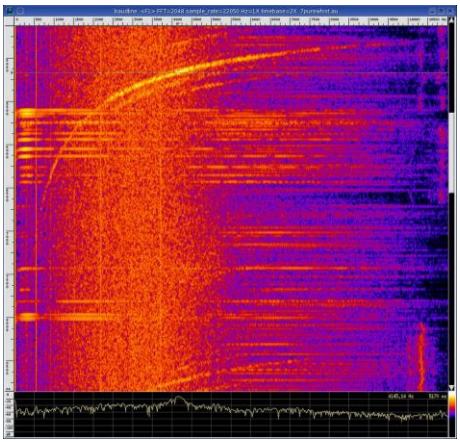


Fig.4 – "Whistler" espectrograma.

Para além da difração e da dispersão, há ainda os saltos múltiplos, *multi-hops*, fenómeno de *zig-zag* das ondas electromagnéticas de VLF entre a ionosfera, na camada D, a mais de 60 km de altitude, para as ondas de VLF no comprimento de onda dos 60 km e a superfície da Terra, que contribuem, de igual forma, para a atenuação natural da emissões de RF. Num certo sentido, aquilo que faz a propagação ser tão eficaz nesta banda, também é, o seu fim, no que respeita, claro está, aos fenómenos de propagação.

A atenuação de *Low Path* não é superior a 3 dB´s por cada 1000 km, mas... claro está que, isto também tem a ver com o comprimento de onda, pois esta atenuação é mais elevada antes de se chegar a comprimentos de onda perto dos 60 km, comprimentos de onda estes que ao ficarem aprisionados entre a ionosfera e a superfície da terra, sofrem eles sim de atenuações mas por outros motivos, não por este da atenuação de *Low path*.

Mas, regressando ao assunto dos "*sferics*";

quando uma dada descarga eletromagnética é gerada na banda de VLF, um dado sinal "*sferics*" é capaz de percorrer longas distâncias.

O fenómeno da dispersão da onda electromagnética é inevitável, de tal forma que, quando maior for a distância percorrida, maior é a dispersão.

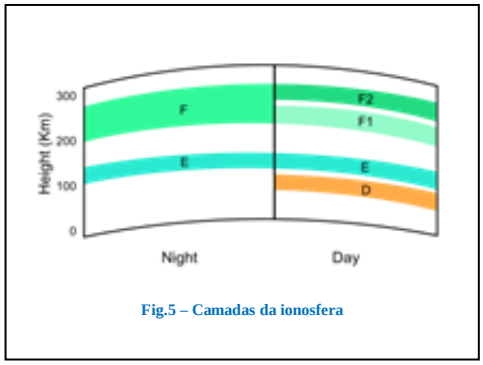


Fig.5 – Camadas da ionosfera

Este fenómeno potencia que, as frequências mais altas viajem um pouco mais rápidas do que as frequências mais baixas, fazendo com que as frequências mais altas cheguem mais depressa ao receptor com diferenças de alguns centésimos de

segundo, contribuindo para uma diferença enorme na forma com o sinal é escutado tendo ele também configurações diferentes a nível de visualização em espectrograma. Este é o caso dos "*Tweeks*" (Fig.3).

Este fenómeno de dispersão é facilmente visualizável nos "ganchos" de AF algures na região dos 2 kHz verificáveis no espectrograma da Fig.3, com intervalos de alguns segundos. "*Burst´s*" como estes, tão fortes, normalmente são acompanhados por "ganchos" harmónicos, produzindo um som que faz lembrar toques em lâminas afiadas de metal (na falta de melhor exemplo) .Os *wistlers* (Fig.4) são normalmente acompanhados por *tweeks* e são sons que fazem lembrar um assobio descendente, coisa que será facilmente escutada pelo leitor se o receptor construído e antena forem de boa qualidade e se estiverem num local livre de fontes de ignição elétrica ou de outros tipos de RFI e acima de tudo, se o circuito eléctrico estiver alimentado por uma fonte de energia eléctrica limpa e livre de harmónicas como é o caso da energia eléctrica de origem química das baterias e pilhas.

1-Fernando Roque
Sócio REP, AMRAD e ARLA
CAN CEPT Categoria 1: CT7ABI
Licenciatura Artes Plásticas e Licenciatura Filosofia
Curso de Electrónica Analógica e Digital
Professor de 3º Ciclo e ensino secundário
Formador
Contacto: ct7abi@gmail.com www.qrz.com/db/CT7ABI

Receptor SDR, GPS/Galileo/ GLONASS

Pedro Ferreira[1], Gonçalo Tavares[2]

Os sistemas de navegação global por satélite (GNSS) actualmente mais utilizados são o sistema GPS (americano), o Galileo (europeu) e o GLONASS (russo) que se encontram em diferentes graus de maturidade e desenvolvimento. Enquanto o sistema GPS já atingiu a maturidade completa, o Galileo e o GLONASS estão ainda em fase de desenvolvimento.

A utilização dos vários sistemas de GNSS pelo mesmo receptor permitirá em princípio melhorar significativamente a qualidade do serviço de geo localização. Além disso o facto dos sistemas serem operados de forma independente proporciona um nível de redundância que, em última análise, aumentará a confiança do mercado nesta tecnologia [1]. Para este efeito é, contudo, necessário que os diversos sistemas sejam interoperáveis, isto é, que os sinais de todos os sistemas sejam suficientemente semelhantes de modo a poderem ser recebidos e descodificados por um receptor com uma arquitectura única (ainda que com eventuais, pequenas modificações). Ao nível dos três sistemas de GNSS caminha-se actualmente neste sentido; por exemplo a última actualização do sistema GLONASS irá mudar a modulação utilizada de FDMA (*frequency division multiple access*) para a modulação CDMA (*code division multiple access*), utilizada pelos sistemas GPS e Galileo.

Infelizmente, ao nível dos receptores de GNSS, o caminho é mais difícil uma vez que a sua implementação é normalmente baseada em soluções (*hardware/software*) proprietárias e fechadas que não facilitam o desenvolvimento de uma solução de interoperabilidade. É neste contexto que surgem soluções de receptores GNSS baseadas em SDR (*software defined radio*). Num receptor SDR procura-se que a totalidade, ou a grande maioria, de

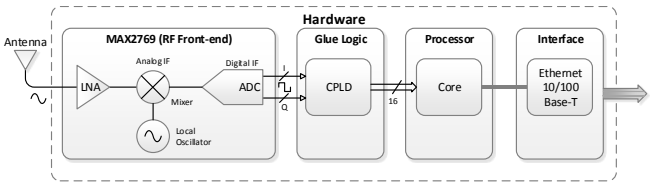


Fig. 1 – Arquitectura do receptor de GNSS-SDR (*hardware*).

funções seja realizada no domínio digital por programa (*software*), utilizando os recursos de *hardware* (DSPs e/ou FPGAs) disponíveis. Estes recursos poderão ser reconfiguráveis (particularmente no caso das FPGAs) mas nunca são alterados. Desta forma, a mesma plataforma computacional de *hardware* pode servir muitos propósitos sendo suficiente modificar a codificação das FPGAs e/ou o programa dos DSPs. Esta característica proporciona ao receptor uma grande flexibilidade de modo que, no caso de GNSS, características como a modulação em banda de base, os códigos utilizados e quaisquer outras que possam ser realizadas ou descodificadas por programa podem considerar-se como não afectando a interoperabilidade.

De modo a demonstrar este conceito, foi desenvolvido um receptor de GNSS-SDR (denominado EtherGNSS), que permite receber os sinais dos três sistemas. O receptor tem uma componente de *hardware* responsável pela captura do sinal GNSS e uma componente de *software* onde é realizado todo o processamento de sinal necessário. Nesta implementação, a componente de *software*, que implementa todo o processamento de sinal e de navegação, é realizada num computador pessoal utilizando a ferramenta Matlab e um programa disponível em regime de *open source*. Este tipo de solução é atractiva em sistemas que já disponham de um processador que possa ser utilizado para implementar a componente de *software* (por exemplo, máquinas fotográficas que poderão guardar fotografias com informação da localização onde foram obtidas).

A arquitectura da componente de *hardware* do receptor encontra-se representada na Fig. 1.

A parte de radiofrequência do receptor é realizada pelo circuito integrado MAX2769 [2] e é composto por um amplificador de baixo ruído, um misturador em quadratura (seguido de filtragem) que transfere o sinal GNSS da banda L1 (1530 MHZ a 1670 MHz) para uma frequência intermédia f_{IF}, um conversor A/D de um a quatro bits que amostra os canais em fase e quadratura do sinal em frequência intermédia com uma frequência de amostragem f_S. A sequência de amostras é enviada a uma CPLD que as paraleliza e as envia para um processador dsPIC utilizando uma interface DMA de 16 bit. Este processador dispõe de um controlador MAC Ethernet 10/100 que implementa um servidor UDP utilizado para transferir as amostras do sinal GNSS para um computador pessoal.

Na Fig. 2 mostra-se uma imagem da página principal do servidor embebido que, através de qualquer navegador web, permite: i) verificação em tempo real do estado do sistema, ii) a configuração de todo o *hardware* do receptor (PLL, AGC, frequência central e largura de banda dos filtros, número de bits do A/D, frequência intermédia, frequência de amostragem, etc…) e iii) o envio de um pacote de amostras para um qualquer endereço IP de destino.

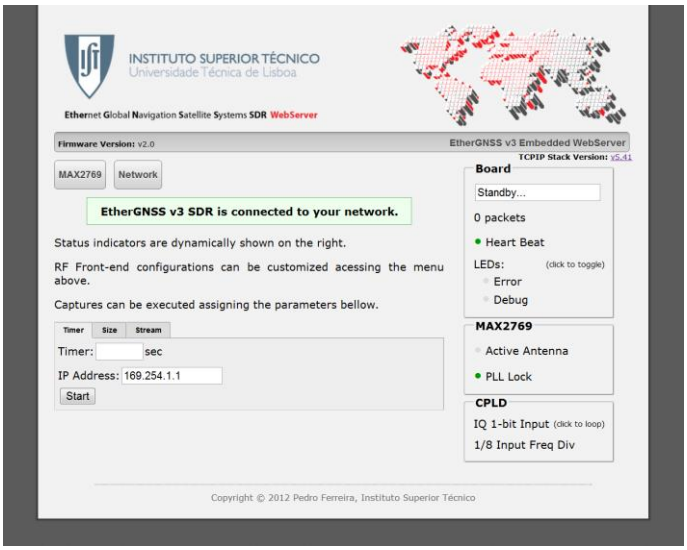


Fig. 2 – Página principal do servidor Web embebido.

Na Fig. 3 apresenta-se uma fotografia do receptor GNSS-SDR desenvolvido

cujo circuito impresso tem dimensões 5 cm x 5 cm.

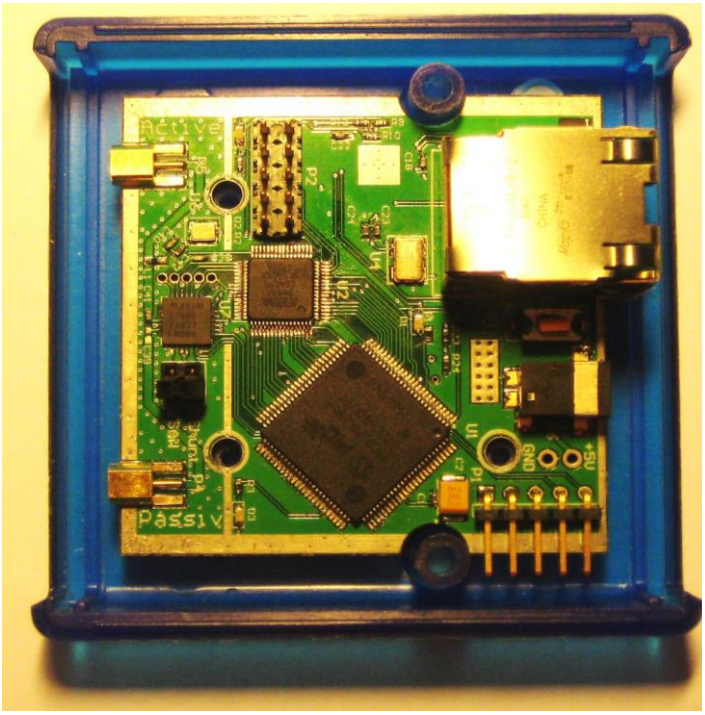
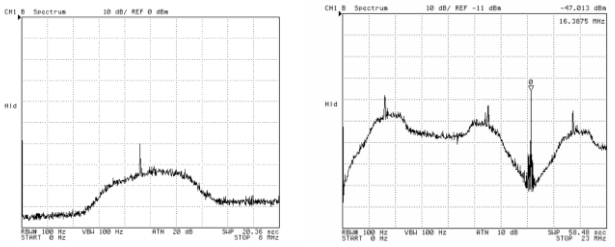


Fig. 3 – Receptor EtherGNSS desenvolvido (componente de *hardware*).

Para capturar o pacote de dados no computador de destino foi desenvolvida uma aplicação em java que permite: i) detectar o receptor de GNSS-SDR na rede, ii) programar algumas configurações de *hardware* e iii) iniciar a captura dos dados e guardá-los em ficheiro.

Na Fig. 4a) apresenta-se o espectro da componente em fase após o misturador, quando se recebe um sinal GPS (f_{GPS} = 1575,42 MHz, LB_{GPS} = 2 MHz). A frequência intermédia utilizada é f_{IF} = 4,092 MHz. Na Figura 4b) apresenta-se

o espectro do bit mais significativo à saída do conversor A/D. A frequência de amostragem é $f_S = 4\ f_{IF}$ = 16,368 MHz.



a) b)

Fig. 4 – a) Espectro da componente em fase do sinal GPS à saída do misturador e b) espectro do bit mais significativo à saída do conversor A/D.

Na Fig. 5 apresentam-se as soluções de navegação calculadas por meio de um programa em Matlab. Cada solução é calculada com base numa aquisição de 500 ms, que corresponde a 8 184 000 amostras do sinal de frequência intermédia, quantificadas com dois bits de resolução. De modo a conhecer com precisão a localização de referência, a aquisição foi realizada no marco geodésico do Cotão, perto do Taguspark (coordenadas: 9º18'10.6789"E, 38º45'31.9286"N).

Como se pode verificar, o sinal adquirido contém informação de 5 satélites. O erro médio das componentes Norte e Este relativamente à localização de referência é de aproximadamente 0,89 m e -1,02m respectivamente, o que demonstra o bom funcionamento do sistema. No caso dos sistemas Galileo e GLONASS a aquisição do sinal foi também realizada com sucesso. No entanto, não foi possível obter soluções de navegação pois no caso do sistema Galileo os satélites actualmente em órbitra são insuficientes e, no caso do sistema GLONASS, o programa Matlab ainda se encontra em fase de desenvolvimento.

Referências:

[1] Dennis M. Akos, Nicolaj Bertelsen Kai Borre, *A Software-Defined GPS and Galileo Receiver: A Single-Frequency Approach*, 1st ed.: Birkhäuser Boston, 2006.

[2] Maxim Integrated Products, Inc. (2010, June) *MAX2769 Universal GPS Receiver Rev 2*. http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX2769.pdf.

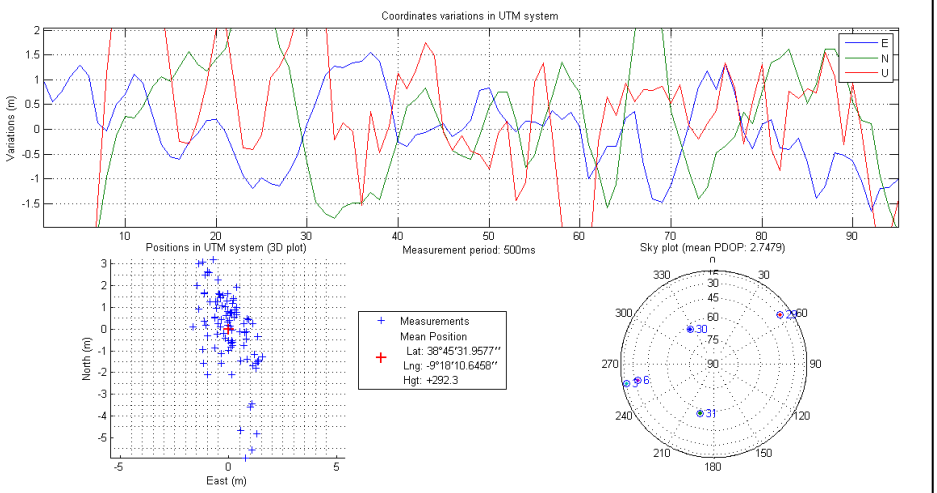


Fig. 5 – Solução de navegação obtida por processamento do sinal adquirido com o programa em Matlab.

1-Pedro Ferreira
Mestre em Engª Eletrónica, IST

2-Gonçalo Tavares
Prof. Aux. IST
Sócio da AMRAD
Mestre em Engª Eletrónica, IST
Contacto: goncalo.tavares@inesc-id.pt