

Considerações sobre Topografia Aplicada às Radiocomunicações

Engenheiro Marcello Praça Gomes da Silva

1. INTRODUÇÃO AO RADIOAC- CESSO (OU ACESSO VIA RÁDIO)

Dá-se o nome de radioacesso aos enlaces rádio que interligam um certo cliente à uma empresa prestadora de serviços de telecomunicações (seja ela uma empresa pública ou privada), entre dois usuários privados ou entre duas prestadoras de serviços dentro de uma mesma localidade geográfica.

Normalmente os radioacessos se constituem de apenas um único lance ponto-a-ponto (usuário-empresa ou usuário-usuário). Entretanto, poderão ser necessários um ou mais pontos de repetição intermediários (atuando como pontos de repetição ativa ou passiva) para se chegar da localidade origem **A** até a localidade destino **B**.

A repetição passiva é feita com antenas “**back-to-back**” (costa-a-costa ou

justapostas) ou através de refletores passivos (que são placas metálicas retangulares que agem como se fossem os espelhos planos da óptica geométrica, ou seja, elas seguem muito aproximadamente as duas leis que regem a reflexão especular ou leis de Snell-Descartes).

Os sinais de microondas tendem a se comportar mais ou menos da mesma forma que os sinais luminosos (luz), devido à sua frequência muito elevada (ou de forma correspondente, devido ao seu comprimento de onda λ muito pequeno). Graças a isso é que os sinais de microondas podem ser razoavelmente refletidos, focalizados e, até mesmo, refratados (ou curvados) ao viajarem através da troposfera (a parte mais baixa da nossa atmosfera).

A figura 1 mostra o caso do lance único enquanto que a figura 2 mostra um lance com repetição passiva do tipo “**back-to-back**”. Esta última situação decorre,

* Engenheiro de sistemas eletrônicos - NEXTEL.

quase sempre, da não existência de radiovisibilidade entre as duas estações terminais **A** e **B** do radioenlace (devido à obstáculos naturais como morros ou serras e/ou a obstáculos artificiais como prédios).

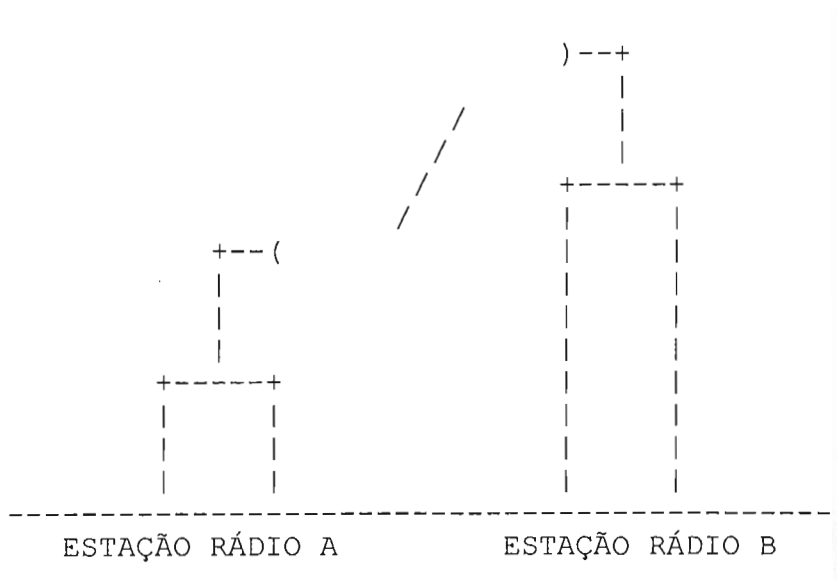


Figura 1 – Lance Rádio Único Ponto-a-Ponto A-B.

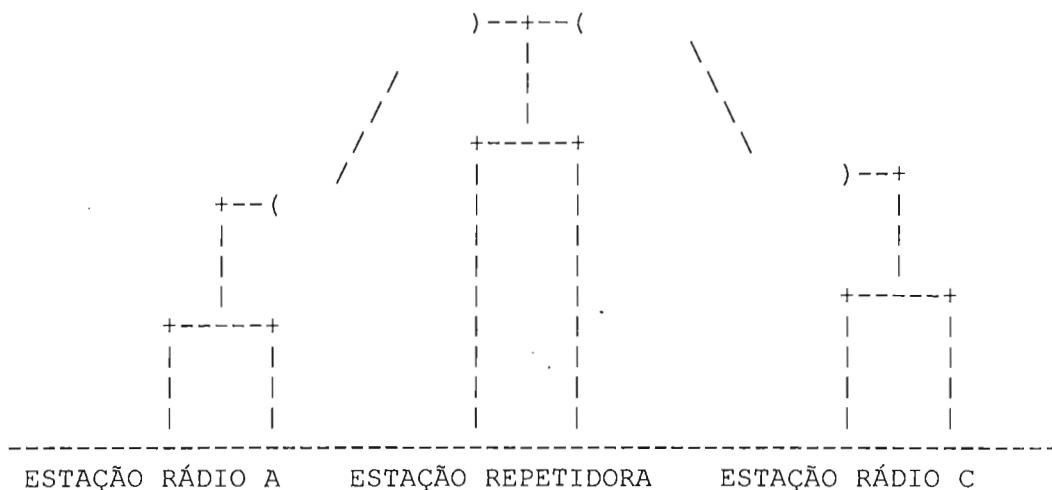


Figura 2: Repetidor Rádio **Back-to-Back** (Costa-a-Costa) A-Rep-C

O radioacesso pode operar em diferentes bandas de frequência, dentre as quais se destacam no Brasil:

- 400 MHz (UHF – Ultra-High Frequency);
- 900 MHz (UHF);
- 1,5 GHz (UHF);
- 2 GHz (ponto-multiponto UHF);
- 15, 18, 23 e 38 GHz (SHF - Super-High Frequency e EHF – Extremey High Frequency).

Outras bandas de frequência existem em outros países para se realizar acesso via rádio (a banda de 26 GHz é um bom exemplo). Há também um outro tipo de acesso rádio que se dá na banda de 13 GHz, entre os centros de televisão (CTV_s) da EMBRATEL e os estúdios de TV.

As modalidades existentes são: o ponto-a-ponto ou **P-P** (400 e 900 MHz; 1,5; 15; 18; 23 e 38 GHz) e o ponto-multiponto ou **P-MP** (na banda de 2 GHz).

Alguns casos particulares podem requerer que o acesso via rádio tenha de ser feito na banda de frequência de 11 GHz com capacidade de 140 Mbit/s plesiócronicos (**PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy**) ou 155 Mbit/s síncronicos (**SDH – Synchronous Digital Hierarchy**).

As capacidades de transmissão (quilo e megabitagens) envolvidas nessas bandas de frequência para radioacesso são:

- 400 MHz **P-P** → 1x2, 2x2 e 4x2 Mbit/s;
- 900 MHz **P-P** → 19,2 e 64 kbit/s (baixa capacidade);
1x2, 2x2 e 4x2 Mbit/s;
- 1,5 GHz **P-P** → 4x2 Mbit/s;
- 2 GHz **P-MP** → até 64 kbit/s;
- 15 GHz **P-P** → 2 e 8 Mbit/s;
- 18 GHz **P-P** → 2, 4, 8, 17, 34, 51, 140 / 155 Mbit/s;
- 23 GHz **P-P** → 2, 4, 8, 17, 34 e 140 / 155 Mbit/s;
- 38 GHz **P-P** → 2, 4, 8, 17, 34, 51 e 140 / 155 Mbit/s.

Para efeito de dimensionamento de um radioenlace é necessário uma série de informações vindas do campo, a saber:

- as coordenadas posicionais das duas estações rádio (coordenadas geográficas e/ou coordenadas planas **UTM**);
- a altitude dos solos em relação ao nível médio dos mares (**NMM** ou **MSL – Mean Sea Level**);

- as alturas dos centros das antenas em relação ao solo;
- o perfil longitudinal do enlace rádio;
- os endereços completos das duas estações (estrada, avenida ou rua; numeração; bairro; distrito; município) incluindo o código de endereçamento postal (**CEP**) completo de 8 dígitos;
- o comprimento da cabeção de radiofrequência que interliga a antena externa com o equipamento rádio interno (no caso das bandas de 400 MHz; 900 MHz; 1,5 GHz e 2 GHz); etc.

Para o escopo deste artigo apenas nos interessam as duas coordenadas posicionais das duas estações rádio (um total de 4 valores), as altitudes e alturas e, em particular, o processo técnico usado para obtê-las.

As informações deste artigo também são válidas para os seguintes casos de estações:

- Estações satélite (**TX/RX**, somente **TX** ou somente **RX**) tanto as pertencentes ao segmento terrestre quanto ao segmento espacial;
- Estações costeiras do sistema móvel marítimo;
- Estações de radiodifusão (**AM** e **FM**) e teledifusão (**VHF** e **UHF**);
- Estações rádio-base de telefonia móvel celular e **paging**;
- Estações rádio-base de **trunking** (sistemas de rádio troncalizado);
- Estações de tropodifusão (**troposcatter**);
- Estações de telemetria;
- Radiotelescópios (para pesquisas em radioastronomia);
- Estações repetidoras ou terminais de meios físicos (cabos ópticos e cabos coaxiais, cabos de pares, ondas portadoras em linhas de alta tensão – **OPLAT** ou **PLC**, **Power Line Carrier**);
- Estações de radiogoniometria;
- Rádio-faróis (**radio beacons**).

A única diferença entre os diferentes casos vem a ser a precisão necessária aos valores das coordenadas posicionais das estações (ou seja, a latitude **LAT** e a longitude **LONG** ou as planas **UTM**).

O primeiro passo para o planejamento de um radioenlace em microondas é examinar os mapas ou cartas topográficas ao longo do percurso, visando a identificação de possíveis obstruções (inclusive as obstruções laterais). Somente a partir de um estudo detalhado em carta é que se pode partir para o campo, visando a confirmação ou correção daquilo que se havia predito em escritório. Inverter essa seqüência é um grave erro que poderá originar uma grande perda de tempo e dinheiro.

Nesta fase inicial do projeto de um radioenlace em microondas ou de toda uma rede, a topografia aplicada às radiocomunicações assume um papel que é crucial. Esta especialização topográfica (a qual necessita de uma série de conhecimentos básicos de radiocomunicação) recebe o nome de **radiotopografia, teletopografia** ou **topoteleografia**, sendo um promissor campo de trabalho para aqueles que detiverem tal conhecimento.

Para a maioria das pessoas os assuntos telecomunicações e topografia nada possuem em comum. São duas palavras que nos remetem a lugares, visões e pensamentos totalmente distintos. E, todavia, tal idéia está amplamente longe da verdade. A palavra topografia parece ser imediatamente associada à construção civil e nunca à engenharia elétrica nas suas mais diversas subdivisões (elétrica de potência, telecomunicações, etc).

Etimologicamente falando a diferença entre topografia e telecomunicações é total e irrestrita. Os próprios dicionários do vernáculo não nos ajudam em nada a perceber os vínculos de aproximação. Normalmente os dicionários nos dão a entender de que se trata de duas disciplinas desconectadas por completo. Mesmo os dicionários técnicos especializados muito pouco (ou quase nada) nos ajudam. Vide o **McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms** para corroborar o que acabei de afirmar.

Somente um profissional de telecomunicações que esteja trabalhando próximo à topografia ou então um topógrafo ligado diretamente ao ramo das telecomunicações é que irão perceber os fortes elos ali existentes.

A importância da topografia para as telecomunicações pode ser vista ao se olhar para as mais diversas aplicações da primeira sobre a segunda.

- 1 – Medição de coordenadas posicionais;
- 2 – Medição de altitudes e alturas;
- 3 – Alinhamento de refletores passivos;
- 4 – Medida da verticalidade de torres e estruturas de sustentação;
- 5 – Orientação física de antenas, de difratores e de repetidores passivos e ativos;
- 6 – Cálculo e medição de distâncias (planas ou inclinadas);
- 7 – Desenho de perfis longitudinais de enlace;
- 8 – Limitação de gabarito para ligações rádio;
- 9 – Giro de horizonte para estações satélite;
- 10 – Medição de terrenos de **sites** e calotas de morros;
- 11 – Determinação do norte verdadeiro (**NV** ou **NG**).

Ao longo das últimas décadas a dependência foi muito maior do lado das telecomunicações do que do lado da topografia. Nos últimos anos essa situação se equilibrou e acabou se invertendo com a entrada em cena da constelação de satélites integrantes do sistema internacional dito **NAVSTAR/GPS**.

Um tal empreendimento para uso militar se tornou um eficaz instrumento de ação, ao redor do mundo, para a técnica da topografia.

Também a eletrônica e a informática introduziram uma série de avanços na prática topográfica do dia-a-dia. No passado não muito remoto tanto a óptica tradicional, quanto a mecânica reinavam absolutas (eram os assim chamados instrumentos opto-mecânicos). Com o desenvolvimento eletrônico e informático a topografia passou a tomar conhecimento de assuntos muito diferentes como os sistemas gráficos de projeto, o sensoriamento remoto, os raios **laser**, etc.

Aparelhos como níveis digitais, teodolitos digitais eletrônicos, miras **laser**, coletores de dados, rastreadores **GPS**, estações de trabalho, **softwares** de desenho e de projeto (**CADs** e **SIGs**), já fazem parte do mundo cotidiano de muitos profissionais e empresas.

2. MÉTODOS DE OBTENÇÃO DAS COORDENADAS / ALTITUDES

A importância das coordenadas geográficas e das altitudes e alturas para as estações rádio é devida aos seguintes fatores:

- a – Localização geográfica para possibilitar um traçado de perfil longitudinal de enlace.
- b – Cálculos de interferência entre as estações de uma mesma rede ou de redes distintas.
- c – Determinação da distância e dos ângulos de azimute e elevação entre as estações terminais (estas grandezas são obtidas a partir de um **software** chamado **AZIMUTE e LADO**). A distância entre as duas estações **A** e **B** ($= d_{AB}$) assume, particularmente, uma importância fundamental pois ela é básica para o cálculo do nível de recepção de potência dos rádio-receptores (assim como o é a frequência de operação do radioenlace).

A dependência do nível de recepção com a distância é dada por:

$$L_{fs} = 92,4 + 20 \log_{10} [d \times f] \quad (1)$$

onde L_{fs} é o nível de recepção de potência expresso em decibéis em relação ao miliwatt, \log_{10} é o logaritmo de base dez, d é a distância entre as duas estações **A** e **B** ($d = d_{AB}$, em quilômetros) e, finalmente, f é a frequência expressa em gigahertz. Já os ângulos de azimute e elevação permitem, dentre outras coisas, a orientação física das antenas pelos instaladores no campo.

- d – Cadastramento na base de dados **SITAR** (Sistema de Informações Técnicas para Administração das Radiocomunicações).

- e – Determinação posicional e altimétrica dos pontos críticos (**PCs**) do radioenlace.
- f – Cálculo do percentual de liberação dos raios do primeiro elipsóide de Fresnel (= **RF1**),

$$\mathbf{RF1} = 17,3 \sqrt{\frac{\mathbf{d1} \times \mathbf{d2}}{\mathbf{d} \times \mathbf{f}}} \quad (2)$$

onde as distâncias **d1**, **d2** e **d** são dadas em quilômetros; a frequência **f** é dada em gigahertz e o raio **RF1** está em metros (pois 17,3 é uma constante numérica que age como um fator de conversão de unidades para possibilitar que **RF1** apareça em metros).

Outra possibilidade, aplicável aos países que adotam o Sistema Inglês de Pesos e Medidas, é dada pela fórmula a seguir,

$$\mathbf{RF1} = 72,2 \sqrt{\frac{\mathbf{d1} \times \mathbf{d2}}{\mathbf{d} \times \mathbf{f}}} \quad (3)$$

onde as distâncias **d**, **d1** e **d2** são expressas em milhas terrestres (**mi**) e a frequência **f** é dada em gigahertz. **RF1** aparece expressa em pés graças à constante numérica conversora 72,2. As duas unidades, milhas terrestres e pés, valem exatamente:

$$1 \text{ ft} = 30,48 \text{ cm (exatamente)}$$

$$1 \text{ mi} = 5280 \text{ ft} = 1609,344 \text{ m (exatamente)}$$

onde **ft** é a abreviatura da unidade de comprimento pé (**foot** em inglês). As folgas (ou **clearances**) além do raio da primeira elipse de Fresnel são calculadas com o auxílio da seguinte fórmula, a qual fornece o raio de qualquer elipsóide de Fresnel (= **RFn**) em função do raio do primeiro elipsóide de Fresnel (= **RF1**).

$$\mathbf{RFn} = \mathbf{RF1} \times \text{sqrt} [\mathbf{n}] \quad (4)$$

onde **RFn** é o raio do enésimo elipsóide de Fresnel, **RF1** é o raio do primeiro elipsóide de Fresnel, **n** é o número do elipsóide de Fresnel a ser considerado e **sqrt [...]** indica a raiz quadrada do argumento [...]. Observar que se tivermos **n = 1** então **RFn = RF1**.

Podemos ter uma desobstrução total do raio do primeiro elipsóide de Fresnel (desob% = 100%) ou desobstruções apenas parciais (menores do que 100%).

- g – Cálculo da sobre-elevação ou **earth-bulge** (= **Hu**) dos obstáculos (**PCs**) ao longo do radioenlace,

$$Hu = \frac{d1 \times d2}{12,74 K} \quad (5)$$

onde as distâncias **d1** e **d2** são expressas em quilômetros e **K** é o fator de propagação (**K** é adimensional). **Hu** aparece expressa em metros graças à constante numérica conversora 12,74.

Outra possibilidade, aplicável aos países que adotam o Sistema Inglês de Pesos e Medidas, é dada pela fórmula a seguir;

$$Hu = \frac{d1 \times d2}{1,5 K} \quad (6)$$

onde as distâncias **d1** e **d2** são expressas em milhas terrestres (**mi**). **Hu** aparece expressa em pés graças à constante numérica conversora 1,5.

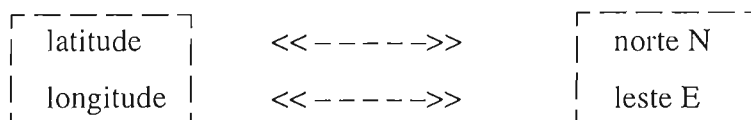
- h – Estimativa preliminar do comprimento dos cabos coaxiais de **RF** (nas faixas de **HF**, **VHF** e **UHF**); dos cabos que ligam a **IDU** (**internal unit** ou unidade interna) à **ODU** (**outdoor unit** ou unidade externa) nas faixas de **SHF / UHF** e dos guias de onda para as faixas de 4, 5, 6, 7, 8 e 11 GHz.

As coordenadas geográficas (latitude **LAT** e longitude **LON**) das estações envolvidas no radioacesso podem ser obtidas por quatro métodos diferentes, a saber:

- 1 – Carta topográfica ou planta cadastral;
- 2 – Levantamento topográfico tradicional em campo;
- 3 – Aparelhos **NAVSTAR GPS** (um acrônimo para **Navigation System with Timing and Ranging – Global Positioning System**) de precisão ou não;
- 4 – Consulta prévia à bases de dados (informatizadas ou não).

No caso de cartas topográficas para ligações em áreas rurais, a escala deve ser de, pelo menos, 1 para 50 mil. São tiradas das cartas as coordenadas planas **UTM** (sigla para **Universal Transversal Mercator**) norte (= **UTM N**) e leste (= **UTM E**). Elas serão então convertidas, através de um **software** específico de conversão de coordenadas **GEO** << - - - >> **UTM**, para coordenadas geográficas (latitude **lat** e longitude **long**).

coordenadas geográficas coordenadas planas **UTM**



No interior das cidades (São Paulo e Rio de Janeiro, por exemplo) as cartas topográficas precisam ter escalas de 1 para 10 mil ou melhor, por causa da grande densidade de informações nelas contidas (ruas, avenidas, prédios, parques, casas, praças, fábricas, viadutos, pontes, etc).

A leitura das cartas topográficas pode fornecer coordenadas geográficas bem precisas (nas melhores escalas, tipo 1:2000). A sua altimetria está ligada diretamente à equidistância das curvas de nível (quanto maior a equidistância pior a qualidade de uma altitude estimada em carta).

No caso de levantamento topográfico tradicional realizado em campo é possível, em muitos casos, ter precisão maior do que em outros métodos (porém o custo e o prazo serão drasticamente aumentados).

A topografia tradicional também exige que se ocupe pontos elevados (como terraços de edifícios ou caixas d'água) onde o acesso nem sempre é permitido pelos porteiros, síndicos e administradores em geral.

A topografia tradicional continuará existindo quando o uso do **GPS** de precisão não se mostrar viável.

A opção de se usar aparelhos **GPS** surgiu recentemente como um meio rápido, de razoável precisão e simples (já que não é necessário empregar pessoal especializado na operação da maioria dos modelos portáteis). Seu uso requer, no entanto, que sejam tomadas importantes precauções para se evitar que haja erros em demasia.

A maior parte das coordenadas geográficas das estações de radioacesso das empresas operadoras de telecomunicações estão sendo obtidas atualmente através de aparelhos de posicionamento global tipo **GPS** portátil pelo pessoal de implantação ou de engenharia de facilidades.

O **GPS** de precisão fornece leituras excelentes em tempo relativamente curto (estando aí incluído o tempo para o pós-processamento dos sinais). Devido a maior complexidade de tais equipamentos, é preciso que a equipe de campo saiba não somente como operá-los (inclusive o pós-processamento) mas também que tenha bons conhecimentos teóricos, tanto de topografia quanto de geodésia. O melhor método atualmente é sem nenhuma sombra de dúvida o uso do **GPS** de alta precisão.

Seja qual for o método empregado, a precisão das coordenadas deverá ser de 50 metros no mínimo (50 metros é um valor extremo, na ampla maioria das vezes espera-se algo muito melhor do que isso).

PRECISÃO MÍNIMA = 50 metros

Isto significa que as coordenadas posicionais fornecidas se encontram no centro de um círculo de erro cujo raio vale 50 metros. A coordenada exata do mesmo ponto deverá estar situada no interior desse mesmo círculo de erro (no máximo elas devem fazer sobre a sua circunferência).

3. CUIDADOS A SEREM SEMPRE TOMADOS

Não é raro que as informações de coordenadas posicionais das estações sejam enviadas para a área de projetos rádio / satélite de forma errada (ou, no mínimo, duvidosa), gerando um desperdício de tempo e de recursos materiais e humanos para que possam ser corrigidas **a posteriori**.

No entanto, se alguns cuidados básicos forem tomados, tais fatos não deverão ocorrer (ou poderão ser minimizados).

Assim sendo, as orientações abaixo discriminadas devem ser observadas por todos aqueles profissionais que tiverem a incumbência de realizar tais serviços em campo, de fiscalizá-los e supervisioná-los.

- 1 – Sempre informar qual foi o processo de obtenção das coordenadas posicionais (**GPS** de precisão ou não, cartas topográficas, etc). No caso de se extrair as coordenadas a partir de cartas é interessante que se tire uma fotocópia (xerox) da respectiva legenda. Na legenda de uma carta topográfica existem informações muito importantes para se elucidar eventuais problemas que venham a surgir, quais sejam:
 - **Datum** horizontal ou **DH**;
 - **Datum** vertical ou **DV**;
 - Equidistância das curvas de nível;
 - Situação da folha no estado e articulação da folha;
 - Escala da carta (1:100 000, 1:50 000, 1:10 000, ...)
 - Declinação magnética e convergência meridiana do centro da folha;
 - Edições e impressões da carta.

- 2 – Duvidar sempre que os usuários já possuam as coordenadas posicionais em suas próprias dependências (como e quando as obtiveram, quem as forneceu, qual a sua precisão, qual é o **datum** horizontal de referência ?). Idem no que diz respeito à altitude de solo em relação ao nível médio dos mares.

- 3 – No Brasil, o **datum** horizontal (**datum** planimétrico ou **HRD – Horizontal Reference Datum**) deverá estar sempre dentre os quatro abaixo discriminados:
 - Córrego Alegre;
 - Astro Chuá (ou Chuá Astro);
 - **SAD-69** (sigla de **South American Datum** 1969);
 - **WGS-84** (sigla de **World Geodetic System** 1984).

O **datum** horizontal onde as medidas deverão ser feitas é o **SAD-69** preferencialmente.

Em princípio não deverão ser utilizados quaisquer outros **data** horizontais (observar que a palavra **datum** é latina e o seu plural é **data** e não **datums** ou algo parecido).

A palavra **datum** significa uma direção, um nível ou uma posição a partir da qual os ângulos, alturas, velocidades ou distâncias são convenientemente mensurados. É qualquer quantidade ou valor (ou numérico ou geométrico) que serve para referencial de base para outras quantidades ou valores do mesmo tipo (como um ponto, uma linha ou uma superfície em relação aos quais os outros devem ser determinados). Na área de Teoria dos Circuitos Elétricos nós encontramos a expressão “**Voltage Datum**” (ou **Datum** de Tensão) que significa o ponto a partir do qual devem ser medidas todas as diferenças de potencial existentes em um determinado circuito eletro-eletrônico.

Alguns exemplos de **data** alienígenas para o solo brasileiro e que podem ser facilmente encontrados nas bibliotecas internas dos aparelhos **GPS** portáteis são:

- Indian;
- Kertau Malay;
- European 1950 (Europa);
- Nigéria (Minna);
- Tokyo (Japão);
- Sierra Leon’60 (na África Ocidental);
- Bukit Rimpah;
- Australian’66 (Austrália);
- **WGS-72** (World Geodetic System 1972);
- Djakarta (Indonésia);
- Ghana (na África Ocidental);
- Hu-Tzu-Shan;
- Hjorsey 1955;
- Tristan Astro 68;
- Old Egyptian (no Egito);
- Kerguelen Island (nas ilhas Kerguelen);
- Liberia 1964 (na África Ocidental);
- Montjong Lowe;
- Guam 1963 (na Ilha de Guam no Oceano Pacífico);
- **NAD-83** (North American Datum 1983);

- **NAD-27**, CONUS;
- Ireland 1965 (na Irlanda);
- Herat North;
- Geodetic 1949;
- Qornoq;
- Campo Inchausp (na América do Sul);
- Luzon (Filipinas);
- Merchich;
- Easter Island (na Ilha da Páscoa no Oceano Pacífico);
- Yacare (na América do Sul).

Quando se utilizar aparelho **GPS** é necessário se tomar cautela, pois a biblioteca interna do mesmo contém um número elevado de **data** planimétricos (conforme vimos na listagem anterior). O usuário poderá, inadvertidamente, empregar um **datum** horizontal não pertencente ao território brasileiro (e para o qual não se tivessem as respectivas equações de conversão). Nesse caso, além do erro inerente ao sistema **GPS**, teríamos também um erro resultante do uso do **datum** horizontal alienígena. Este erro é, infelizmente, muito comum, pois o assunto é virtualmente desconhecido da grande maioria dos técnicos e engenheiros de telecomunicações (a não ser de um grupo bem reduzido que atua a fundo na área de projetos de radiocomunicações).

Muitas vezes os aparelhos **GPS** também permitem que os usuários definam um **datum** horizontal específico (facilidade esta que nunca deve ser usada neste tipo de aplicação).

- 4 – Juntamente com os valores numéricos das coordenadas deverá ser sempre enviado o **datum** horizontal utilizado.
- 5 – Os aparelhos **GPS** possuem, normalmente, dois formatos para a apresentação dos valores das coordenadas geográficas, são eles:
 - **DMS** ou **Degree Minute Second** (grau, minuto e segundo);
 - **DDM** ou **Degree Decimal Minute** (grau, minuto decimal).

O operador deve se acautelar quanto ao formato que estiver sendo usado. Preferencialmente trabalhar com o formato **DMS**. No caso de se utilizar o formato **DDM** isto deverá ficar bem explicitado no texto que enviar as coordenadas para a área de projetos. É também possível termos o formato **DD** (**Decimal Degree** ou Grau Decimal). Exemplos dos três formatos de apresentação são dados a seguir:

DMS → 22° 35' 43,15" (22 graus; 35 minutos; 43,15 segundos)

DDM → 45° 15,135' (45 graus; 15,135 minutos)

DM → 18,4928° (18,4928 graus)

- 6 – Os aparelhos **GPS** calculam os azimutes geográficos (azimutes em relação ao norte verdadeiro ou norte geográfico) das estações. A qualidade de tais valores depende diretamente da qualidade das coordenadas posicionais tiradas pelo aparelho ou da qualidade das coordenadas ali inseridas pelo usuário.

4. UM ERRO MUITO COMUM DE ACONTECER: FORMATO DMS X DDM

É preciso bastante cautela para não haver confusão com os dois formatos da unidade angular grau (o erro resultante poderá vir a ser bem significativo).

Vejamos então o seguinte exemplo onde as coordenadas geográficas de uma estação de satélite tipo **TVRO (TV Receive-Only)** foram enviadas à área de projetos no formato **DDM**, porém, foram entendidas pelo engenheiro projetista como se estivessem no formato **DMS**.

LAT certa = 10° 45,33' Sul (S)

LONG certa = 71° 20, 15' Oeste de **Greenwich** (W Gr)

Passando-se os valores anteriores para o formato **DMS** temos **de fazer** primeiramente a conversão dos minutos decimais de arco em segundos de arco:

$$0,33' \times \frac{60''}{1'} = 19,8 \text{ segundos de arco}$$

$$0,15' \times \frac{60''}{1'} = 9 \text{ segundos de arco}$$

Interpretando o formato original **DDM** como se fosse **DMS** teríamos:

LAT errada = 10° 45' 33" Sul

LONG errada = 71° 20' 15" Oeste de **Greenwich**

Conforme calculamos previamente, os valores corretos são:

$$\text{LAT certa} = 10^{\circ} 45' 19,8'' \text{ Sul}$$

$$\text{LONG certa} = 71^{\circ} 20' 09,0'' \text{ Oeste de Greenwich}$$

A diferença em valor absoluto ou módulo (= erro absoluto) seria **de**:

$$\text{Erro em Latitude} = |\text{LAT errada} - \text{LAT certa}| = 33'' - 19,8''$$

$$\text{Erro em Latitude} = 13,2''$$

$$\text{Erro em Longitude} = |\text{LONG errada} - \text{LONG certa}| = 15'' - 9''$$

$$\text{Erro em Longitude} = 6''$$

Ainda que o planeta Terra não seja plano, é razoável se utilizar um triângulo retângulo plano (figura 3) para se calcular a distância aproximada entre as duas estações (a estação com as coordenadas certas e a estação com as coordenadas erradas). Isto é válido pois as distâncias aqui envolvidas são muito pequenas e o planeta Terra pode ser considerado plano.

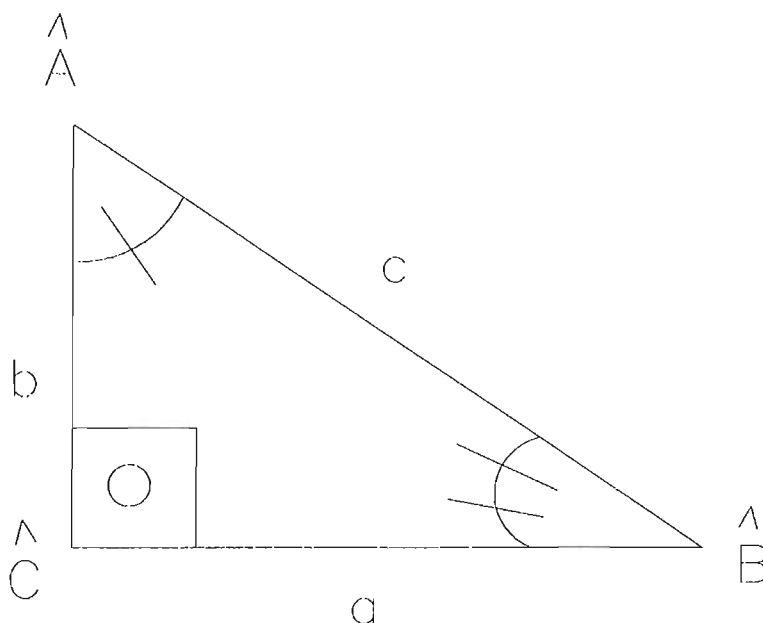


Figura 3 – Triângulo Retângulo Plano ABC (C = 90 graus).

Em um triângulo retângulo plano vale o chamado Teorema de Pitágoras da geometria euclidiana elementar:

“O quadrado da hipotenusa é igual à soma dos quadrados dos catetos”.

O uso do triângulo retângulo plano não acarretará erros apreciáveis de magnitude quando as distâncias envolvidas forem pequenas (como é no presente exemplo). Uma forma mais correta seria a utilização de um triângulo retângulo esférico (ver a figura 4) onde a hipótese subjacente é o formato esférico perfeito do planeta Terra (uma hipótese que sabemos **a priori** não ser também algo cem por cento verdadeiro).

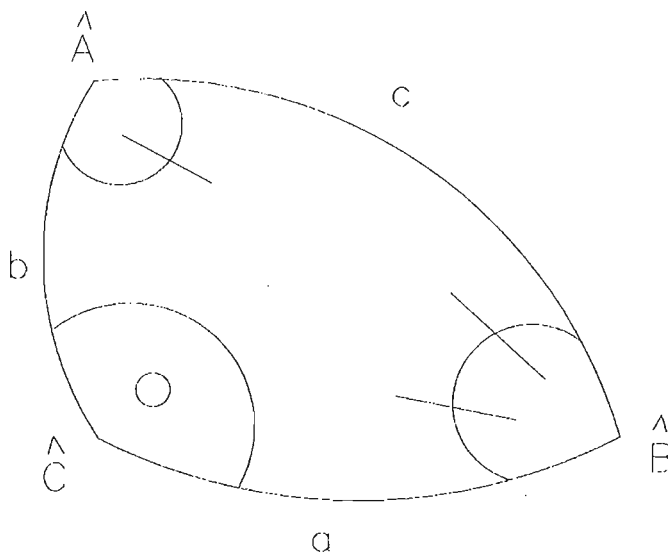


Figura 4 – Triângulo Retângulo Esférico ABC (C = 90 graus).

Para trigonometria plana o Teorema de Pitágoras fornece

$$\text{Erro} = \text{SQRT} [\text{Err Lat}^2 + \text{Err Long}^2] \quad (7)$$

$$\text{Erro} = \text{SQRT} [13,2 \times 13,2 + 6 \times 6]$$

$$\text{Erro} = 14,5 \text{ segundos de arco}$$

SQRT [...] denota a raiz quadrada do argumento [...] e o acento tipo circunflexo indica elevação ao quadrado.

Um minuto de arco, sobre um círculo máximo, vale exatamente (por uma questão de definição) uma milha náutica (nm = **nautical mile**), ou seja:

$$1' = 1 \text{ nm} = 1852 \text{ metros}$$

Em conseqüência, um segundo de arco sobre um círculo máximo vale:

$$1'' = 30,87 \text{ metros} (= 1852 / 60)$$

Assim sendo, nosso erro de 14,5 segundos de arco corresponde à uma hipotenusa de cerca de 447,6 metros (= 14,5 x 30,87).

Um erro de 1 grau em um círculo máximo significa que o ponto marcado está distante cerca de 111 quilômetros da sua posição correta. Errar um grau, em um registro de coordenadas posicionais, é, portanto, um grande absurdo (e, todavia, às vezes ainda acontece na vida real).

Para cálculos mais informais costuma-se usar a correspondência de que 1 segundo de arco vale aproximadamente 31 (ou mesmo 30) metros.

É interessante atentar para o fato de que o símbolo da unidade milha náutica (**nm**) é o mesmo símbolo da unidade nanometro. O leitor que desejar evitar esta situação conflitante poderá usar o símbolo “**mn**” (diretamente da língua portuguesa) ao invés de “**nm**” (que são as iniciais do inglês “**nautical mile**”).

Todavia, será muito difícil haver confusão entre as duas unidades, pois as mesmas possuem magnitudes muito diferentes entre si (1 nanometro é igual à 10 E-9 do metro). Além disso, as duas unidades são utilizadas em ambientes totalmente distintos. A milha marítima (ou náutica) só deve ser empregada para a navegação marítima ou aérea (para expressar distâncias), enquanto que o nanometro vai encontrar aplicação na espectroscopia e na nanotecnologia (ou tecnologia nanométrica).

Em termos de unidades do Sistema Inglês de Pesos e Medidas (**SIPM** ou **BSWM – British System of Weights and Measures**) a milha marítima vale:

$$1 \text{ nm} = 6076,115 485 56 \text{ pés (exatamente)}$$

ou, aproximadamente, 6076 pés.

Um segundo de arco poderá ser aproximado por 101 pés (= 30,7848 m) ou, com maior imprecisão, usa-se 100 pés (= 30,48 metros).

Agora será exemplificado o cálculo com a trigonometria esférica. Seja um triângulo retângulo esférico **ABC** (**a,b,c**) onde:

ABC (maiúsculas) são os seus ângulos internos;

abc (minúsculas) são os seus lados esféricos;

de tal forma que o lado “a” é oposto ao ângulo “A”, o lado “b” é oposto ao ângulo “B” e o lado “c” é oposto ao ângulo “C”.

O ângulo “C” é o ângulo reto (= 90 graus) e, portanto, “c” é a hipotenusa esférica, “a” e “b” são os catetos esféricos. Um triângulo esférico é a porção da superfície de uma esfera que é limitada pelos arcos de 3 círculos máximos (que se interceptam dois a dois). Os arcos se chamam “lados do triângulo esférico”. Se o triângulo esférico tiver um ângulo reto ele será chamado de triângulo retângulo esférico.

No nosso exemplo vamos chamar o erro de latitude (= 13,2 segundos) de lado “a” e o erro de longitude (= 6 segundos) de lado “b”. Nosso problema estará resolvido com a descoberta do lado “c” (a hipotenusa esférica).

A relação fundamental que fornece, imediatamente, este lado esférico, é dada por:

$$\cos c = \cos a \times \cos b \quad (8)$$

onde $\cos [\dots]$ é a função trigonométrica cosseno de um ângulo $[\dots]$. Esta igualdade é a analogia esférica do teorema de Pitágoras da geometria plana e podemos chamá-la de **Teorema de Pitágoras da Trigonometria Esférica**. Temos então:

$$\cos c = \cos \left(\frac{13,2}{3600} \right) \times \cos \left(\frac{6}{3600} \right) \quad (\text{em graus})$$

$$\cos c = 0,999\ 999\ 997\ 95 \times 0,999\ 999\ 999\ 58$$

$$\cos c = 0,999\ 999\ 997\ 53$$

$$c = 0,004\ 027\ 041\ 52 \text{ graus}$$

ou, em segundos de arco,

$$c = 14,497 \text{ segundos de arco aproximadamente}$$

Conforme podemos ver, não há qualquer diferença ao se trabalhar com a trigonometria esférica no caso das distâncias usualmente encontradas na área das comunicações terrestres via rádio (excetuando-se as comunicações por centenas de quilômetros na faixa de **HF – High Frequency** e tropodifusão, por exemplo).

Entretanto, quando o erro em latitude (ou em longitude ou em ambos) é muito grande, a discrepância entre a trigonometria plana e a esférica se torna gritante.

Seja, pois, um erro em latitude de 60 minutos de arco e um erro em longitude de 50 minutos de arco.

Pela trigonometria plana temos:

$$\text{Erro} = \text{SQRT} [\text{Err Lat}^2 + \text{Err Long}^2]$$

$$\text{Erro} = \text{SQRT} [60 \times 60 + 50 \times 50] = \text{SQRT} [3600 + 2500]$$

$$\text{Erro} = 78,1 \text{ minutos de arco}$$

Pela relação anteriormente vista da trigonometria esférica temos:

$$\cos c = \cos a \times \cos b$$

$$\cos c = \cos \left(\frac{60}{60} \right) \times \cos \left(\frac{50}{60} \right) \quad (\text{em graus})$$

ou

$$c = 1,30 \text{ minutos de arco}$$

A diferença, em magnitude ou valor absoluto, entre a hipotenusa plana (= **Erro**) e a hipotenusa esférica (= **c**) é dada por:

$$\text{Dif} = | \text{Erro} - c | = | 78,1 - 1,30 | = 76,8 \text{ minutos de arco}$$

Este é um resultado tremendamente discrepante.

A confusão (**DDM** x **DMS**) é bem razoável de acontecer no caso de uma transmissão via fax com qualidade ruim e onde o projetista de radioenlaces não teve o cuidado de checar os valores recebidos.

Também pode ocorrer, por incrível que possa parecer, por um total desconhecimento da existência dos dois formatos de apresentação (o formato **DMS** e o formato **DDM**).

5. A FÁBULA DO TERRITÓRIO BRASILEIRO NO EXTERIOR E OUTRAS ESTÓRIAS

Outro erro comum consiste no envio de coordenadas geográficas de um suposto ponto no território brasileiro, porém cujos valores estão além dos valores dos pontos extremos do Brasil.

A posição geográfica do Brasil (seus quatro pontos extremos) é:

- **NORTE:** Monte Caburaí – Roraima
LAT: 5 graus 16 minutos 19 segundos Norte

- **SUL:** Foz do Arroio Chuí – Rio Grande do Sul
LAT: 33 graus 45 minutos 9 segundos Sul
- **LESTE:** Ponta do Seixas no Cabo Branco – Paraíba
LON: 34 graus 45 minutos 54 segundos Oeste
- **OESTE:** Serra Contamana – Acre
LON: 73 graus 59 minutos 32 segundos Oeste

Se a localização de uma antena, em solo nacional, for dada como sendo de 35 graus, 12 minutos, 17,2 segundos de latitude sul nem será preciso se conferir a longitude. Este ponto já estará fora do território brasileiro (checar com a latitude da Foz do Arroio Chuí no Rio Grande do Sul).

O Brasil se acha situado inteiramente no hemisfério ocidental (oeste do meridiano de **Greenwich**) e quase que inteiramente contido no hemisfério meridional (austral ou sul). Apenas uma pequena porção de terras se encontra acima da linha do Equador (hemisfério setentrional ou boreal).

Isto quer dizer que a maior parte de nossas latitudes se referem ao hemisfério austral e nenhuma longitude se refere ao hemisfério oriental.

Somente no Amazonas, Roraima, Pará e Amapá será possível encontrar latitudes norte. Uma latitude norte nos estados do Acre ou do Paraná estará, portanto, totalmente errada.

Outros casos notáveis já acontecidos dizem respeito a estações rádio localizadas em meio a rios, lagos, baías (como a Baía de Guanabara no Rio de Janeiro) ou mesmo em pleno oceano Atlântico.

Alguém poderia até retrucar que existem ilhas em meio a tais locais e, dessa forma, as coordenadas poderiam ser de pontos ali situados.

Entretanto, a realidade é bem outra. A estação estaria localizada na própria superfície d'água (e como, muitas vezes, a estação fica no interior de uma fábrica, se deduz que a fabrica estaria boiando na água !!!).

Freqüentemente as coordenadas geográficas são também expressas com segundos ou minutos de arco superando largamente o seu limite superior (lembrar do sistema de base 60). Encontrar algo como 95 segundos ou 67 minutos de arco é deveras comum.

Esses absurdos são fruto não apenas do desconhecimento desses assuntos mas também de desatenções e desleixos daqueles que operam os aparelhos **GPS** portáteis ou retiram as coordenadas de cartas.

6. INSTRUMENTAL DE CAMPO

A topografia tradicional em campo precisa sempre estar balizada com instrumental adequado e suficiente para a plena realização dos trabalhos. Consideram-se duas equipes

atuando simultaneamente no campo, uma equipe por estação rádio do enlace. Deve haver dois profissionais por equipe, a saber: um topógrafo e um auxiliar (ou, de preferência, dois topógrafos).

O instrumental, a meu ver-necessário para a topografia aplicada às radiocomunicações, é dado por:

- 1 – Dois teodolitos (ópticos ou preferencialmente eletrônicos) com seus respectivos tripés;
- 2 – Duas réguas ou miras;
- 3 – Duas trenas metálicas de, pelo menos, 50 metros cada uma;
- 4 – Duas máquinas fotográficas (digitais ou tradicionais);
- 5 – Um par de telurômetros ou distanciômetros prismáticos;
- 6 – Dois binóculos possantes;
- 7 – Duas bússolas;
- 8 – Dois aparelhos **GPS** portáteis de navegação (usados tão somente para dar um **start** inicial na planimetria – a medição das duas coordenadas posicionais de um ponto, sejam elas geográficas ou planas **UTM – Universal Transversa de Mercator**);
- 9 – Dois altímetros (para dar um **start** inicial na altimetria – a medida das altitudes em relação ao nível médio dos mares, o assim chamado **NMM** ou **MSL – Mean Sea Level**);
- 10 – Jogo completo de cartas topográficas da região sob estudo.

Não se deve nunca ir para campo sem se estar munido de um **set** de vértices **IBGE** de primeira ordem e **RNs** (referências de nível). No caso de um deles estar destruído ou não poder ser acessado, o trabalho não precisa parar para se retornar ao escritório buscando o outra opção.

Não esquecer que ao medirmos um ângulo vertical com o teodolito devemos, se a distância horizontal já for superior a uns 200 metros, levar em consideração a refração óptica na troposfera e a curvatura da Terra. Isto implica em utilizar um fator K_L (**K** da luz ou **K** óptico) que, em condições normais de propagação, vale aproximadamente $8/7$ ($= 1,142857$).

É óbvio também que o uso de dois teodolitos medindo simultaneamente nos dois sentidos da direção de interesse é um **approach** bem mais preciso do que se usássemos somente um único teodolito.

Durante todas as medições com o teodolito é fundamental repetir cada medida, em cada estação, pelo menos duas vezes (duas séries de medidas por estação). Isto dá um total de quatro séries (duas na estação **A** e duas na estação **B**).

Deve-se utilizar teodolitos cuja precisão seja no mínimo igual a 10" (dez segundos de arco).

Não devem ser usadas as trenas eletrônicas atualmente já à venda no mercado, pois as mesmas não são adequadas ao trabalho de campo. Elas servem apenas para uso interno (prédios, casas, galpões). Trens menores (tipo 10 ou 5 metros) não são práticas para levantamentos topográficos externos, onde as distâncias a serem medidas podem ser bem maiores do que essas.

As máquinas fotográficas tanto podem ser as usuais (com filme) ou então as digitais (onde as fotografias são vistas e manuseadas em computadores). Estas últimas são muito adequadas para os **surveys** e vêm fazendo um enorme sucesso. Muitas vezes compra-se um filme de 36 poses, vai-se ao campo em uma determinada estação de microondas, fotografa-se o que se deseja e, como as fotos são urgentes e nem todas as poses foram tiradas, temos de perder uma série de poses para revelarmos o filme no mesmo dia (ou então acabamos por bater fotos em excesso, somente para aproveitar todo o filme). Duas outras vantagens são a possibilidade de pós-processamento das fotos através de um **software** de tratamento de imagens e o fácil armazenamento posterior em discos rígidos (**hard disks**), **zip disks**, **CDs** graváveis e outros meios de armazenagem magnética (ou magneto-óptica).

As fotos digitais podem ser arquivadas em “álbuns computadorizados” de acordo com cada **site** e/ou **link** vistoriado, o que facilita sobremaneira a procura, a ordenação e a impressão das mesmas.

As máquinas digitais têm o recurso extra de poder aumentar a quantidade de poses disponíveis com a conseqüente diminuição da resolução (perda de qualidade) o que, às vezes, é bem interessante.

As fotografias digitais são também preferíveis às fotografias comuns na hora de sua anexação aos relatórios de **survey** (ou aos relatórios de **site**) pois não precisamos utilizar cola e nem recebemos relatórios onde as fotos estejam mal coladas, quase se soltando das páginas.

As desvantagens associadas às máquinas digitais são o preço ainda alto (pelo menos no Brasil), a baixa qualidade e a necessidade de uma excelente impressora colorida se quisermos imprimir algo profissional e entendível. Os recursos adicionais das máquinas digitais são também, geralmente, bem inferiores aos recursos extras das máquinas fotográficas tradicionais.

O aparelho **GPS** de navegação não deve nunca ser usado para se obter as coordenadas posicionais das estações ou de pontos críticos (sua precisão não é adequada). Para esses casos recomendo o **GPS** de precisão (a bem da verdade, recomendo o **GPS** de precisão em todos os casos possíveis).

As cartas topográficas terão escalas diferentes, dependendo do local em questão. Muitas vezes não é possível dispor de cartas com escala melhor do que 1 para 50 mil (notadamente em áreas rurais). Nas cidades deve-se fazer um esforço para se obter cartas com escalas de, pelo menos, 1 para 10 mil (as plantas cadastrais nos fornecem excelentes escalas de 1:5000 ou, até mesmo, de 1:2000). Em casos de certa criticidade será preciso, mesmo nessas escalas, fazer uma checagem no campo (árvores são um exemplo clássico). Além disso, uma planta cadastral não está isenta de erros, os quais poderão nos induzir à falsas conclusões no escritório.

Para se checar a veracidade dos dados oriundos de cartas topográficas (quaisquer que sejam as escalas das mesmas) podem ser efetuadas medições comprobatórias em campo. Estas, podem ser feitas através de levantamentos topográficos tradicionais (com teodolitos, réguas, trenas e distanciômetros ou telurômetros) ou por meio de equipamentos de posicionamento global, vulgo **GPS**, do tipo diferencial ou geodésico. Não faz o menor sentido checar tais dados através de equipamentos **GPS** portáteis (de navegação).

Usar **GPS** de navegação e carta 1:2000 é perder tempo, bastaria, nesse caso, se usar apenas a carta 1:2000. Contudo, caso houvesse erros na carta topográfica 1:2000 o **GPS** de navegação seria inútil para descobri-los. Uma total perda de tempo e dinheiro.

Podemos fazer a seguinte analogia. Um sujeito **A** mede o diâmetro interno de um cano usando um paquímetro. Um outro sujeito **B** deseja checar o resultado do primeiro e, para isso, faz uso de um “metro de pedreiro”. Indubitavelmente trata-se de um erro conceitual, um tempo perdido e uma afronta às práticas da boa engenharia. Como diriam os britânicos: **Nonsense !**.

7. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS EM RELATÓRIO

O relatório dos trabalhos de campo deverá conter os seguintes itens das duas estações:

- a – Coordenadas geográficas (latitude **lat** e longitude **long**), expressas, preferencialmente, sob o formato **DMS** (grau, minuto, segundo);
- b – Indicação ou da letra **S** (**south**) ou da letra **N** (**north**) para as latitudes e, ou das letras **WGr** (**West Greenwich** ou Hemisfério Oeste) ou das letras **EGr** (**East Greenwich** ou Hemisfério Leste) para as longitudes;
- c – O **datum** horizontal ou planimétrico das coordenadas geográficas (preferencialmente usar o **SAD-69** para o território brasileiro);
- d – As altitudes de solo em relação ao nível médio do mar, em metros;
- e – O **datum** vertical ou altimétrico das altitudes (**VRD – Vertical Reference Datum**). Preferencialmente usar o **VRD** Marégrafo de Imbituba no estado de Santa Catarina como sendo o **datum** vertical;
- f – As alturas dos pontos de alimentação das antenas até o solo, em metros;
- g – Os ângulos de azimute da estação **A** (= **Azim AB**) e da estação **B** (= **Azim BA**) em graus decimais (também poderão ser usados graus de base 60 ou sexagesimais ou, preferencialmente, ambos);
- h – Indicação de ser azimute geográfico (**Azim geo**, **Azim NV** ou **Azim NG**) ou azimute magnético (**Azim mag** ou **Azim NM**);
- i – Os ângulos de elevação da estação **A** (= **Elev AB**) e da estação **B** (= **Elev BA**) em graus decimais (também poderão ser usados graus de base 60 ou sexagesimais

ou, preferencialmente, ambos). De forma alternativa pode-se usar a grandeza zênite ao invés da grandeza elevação (**Zen AB** e **Zen BA**) muito embora não se aconselhe o uso do **approach** zenital em radiocomunicações.

Para as antenas refletoras parabólicas, a altura deve ser medida na interface entre a antena e a sua linha de alimentação (**feed line**), quer seja ela um guia de ondas ou um cabo coaxial. Este é o chamado “ponto de alimentação da antena parabólica”.

Já para os refletores passivos e os difratores, a altura deverá ser medida no ponto de encontro das diagonais da placa (as placas são usualmente de formato retangular). Antenas helicoidais e antenas Yagi-Udas têm como marca de altura os seus pontos de alimentação (pontos de encontro das antenas com as suas linhas de alimentação coaxiais) tal qual nas parabólicas.

No caso de difratores ou refletores passivos de dimensões avantajadas, caso se meça a altura a partir do ponto mais alto (ou do ponto mais baixo) da estrutura, poderemos ter diferenças significativas em relação à altura medida no ponto de encontro das duas diagonais.

Seja, por exemplo, um difrator de formato retangular com 5 metros de comprimento por 4 metros de altura (uma área de 20 metros quadrados), sobre um cavalete onde temos 2 metros entre o solo e o lado inferior do difrator. Se nós medirmos a altura desse difrator no ponto de encontro das diagonais do retângulo acharemos uma altura de 4 metros (= 2 m + 2 m). Se medirmos a altura em relação ao lado horizontal mais alto encontraremos 6 m (= 2 m + 4 m) e, finalmente, se medirmos a altura em relação ao lado horizontal mais baixo encontraremos 2 m. Diferenças bem significativas se não adotarmos um certo padrão de referência.

No sul do Estado do Espírito Santo existe um refletor passivo para uso na banda de **UHF** (300 MHz) com uma área de 384 metros quadrados (sendo 24 metros de largura por 16 metros de altura). Nesse caso particular os dois pontos de vista geram uma diferença de 8 metros na altura a ser considerada ($H_{\text{meio}} = 8$ metros e $H_{\text{topo}} = 16$ metros).

A tabela resumo do dimensionamento deverá conter a altura da torre ou poste (quando for torre ou poste) ou do prédio (quando for prédio).

No caso de prédio separar a informação da altura do prédio propriamente dito da altura da estrutura de sustentação (cavalete ou mastro) por sobre o prédio. Ver agora os dois exemplos a seguir.

Torre (m)	Antena (m)	→	para torre ou poste saindo do solo
45	35		
30	20		

Neste caso, a torre (ou poste) nasce diretamente no solo do terreno do **site**. No primeiro exemplo a antena está situada na cota de 35 m e no segundo exemplo a antena está situada na cota de 20 m.

Prédio (m)	Cavalete (m)	Antena (m)	→	para cavalete disposto acima do terraço do prédio
45	4	3		
40	6	5		

Nesse caso temos dois cavaletes, um de 4 metros e outro de 6 metros. No primeiro, a marca de altura da antena está localizada a 3 metros e no segundo caso a marca de altura da antena está localizada a 5 metros.

No primeiro caso a altura total da antena é de 48 metros e no segundo caso a altura total da antena é de 45 metros.

Esta plena separação dos diversos “tipos” de altura faz com que se tenha, de imediato, uma visão completa da situação altimétrica do **site**.

Caso exista mais de um nível de terraço deve-se explicitar qual é o nível que foi considerado (que é de onde o cavalete vai nascer).

As altitudes de solo devem possuir uma tolerância máxima de ± 5 pés (cerca de $\pm 1,5$ metros). As alturas das antenas devem, é claro, ser bem mais precisas (uma altura real de 20 metros expressa com uma tolerância de 1,5 metros seria um absurdo).

Não é usual se empregar a grandeza zênite em substituição à grandeza elevação. Uma vantagem óbvia da elevação é que ela carrega um sinal algébrico indicativo da altitude total. Por definição, a elevação é positiva para a estação rádio de menor altitude total e negativa para a outra estação.

O zênite não carrega este sinal algébrico para diferenciar a altitude total das antenas. Se o ângulo zenital for menor do que 90° a antena terá a **MENOR** altitude total. Se o ângulo zenital for maior do que 90° a antena terá a **MAIOR** altitude total. Se o ângulo zenital for nulo as duas antenas terão a mesma altitude total.

Vamos agora sumarizar os três casos.

Zênite $> 90^\circ$ — $h_{\text{tot a}} > h_{\text{tot b}}$ —> Elevação negativa

Zênite $= 90^\circ$ — $h_{\text{tot a}} = h_{\text{tot b}}$ —> Elevação nula

Zênite $< 90^\circ$ — $h_{\text{tot a}} < h_{\text{tot b}}$ —> Elevação positiva

Genericamente temos a seguinte equação que relaciona o ângulo zenital com o ângulo de elevação:

$$\text{Elevação} = 90^\circ - \text{Zênite} \quad (9)$$

Se o zênite for maior do que 90° a elevação será negativa e se o zênite for menor do que 90° a elevação será positiva. Obviamente que se o zênite valer 90° a elevação será nula.

Se, por exemplo, o ângulo de zênite for de 92° teremos um ângulo de elevação de 2° (negativa). Se o zênite for de 80° a elevação será de 10° (positiva).

Uma solução interessante seria mostrar as duas grandezas, o zênite e a elevação, concomitantemente, uma ao lado da outra.

O ângulo de elevação topográfico entre as duas estações é dado por:

$$\text{Elev AB} = \tan^{-1} [\Delta h / d] \quad (10)$$

onde **Elev AB** é o ângulo de elevação topográfico da estação **A** para a estação **B**; $\tan^{-1} [\dots]$ é a função trigonométrica arco-tangente do argumento [...]; Δh é o desnível total entre as duas estações **A** e **B** e, finalmente, **d** é a distância entre as duas estações **A** e **B** ($= d_{AB}$).

Notar que Δh e **d** devem ser expressos na mesma unidade de medida (metros ou jardas, por exemplo). Nesse caso, supomos que a estação **A** é a estação de **MENOR** altitude total, daí o ângulo de elevação **Elev AB** ser positivo.

O ângulo de elevação **Elev BA** será então dado por:

$$\text{Elev BA} = - \text{Elev AB} \quad (11)$$

ou

$$\text{Elev BA} = - \tan^{-1} [\Delta h / d] \quad (12)$$

onde Δh (o desnível total) é definido logo a seguir.

O desnível total entre as duas estações ($= \Delta h$) é dado por:

$$\Delta h = h_{\text{tot b}} - h_{\text{tot a}} = h_b + H_b - h_a - H_a \quad (13)$$

onde:

$h_{\text{tot a}}$ = altitude total da antena, em metros, na estação **A**;

$h_{\text{tot b}}$ = altitude total da antena, em metros, na estação **B**;

h_a = altitude de solo em metros, em relação ao **MSL**, na estação **A**;

h_b = altitude de solo em metros, em relação ao **MSL**, na estação **B**;

H_a = altura da antena em metros, em relação ao solo, na estação **A**;

H_b = altura da antena em metros, em relação ao solo, na estação **B**.

Existem quatro situações distintas nas quais os ângulos de elevação são calculados, a saber:

1 – entre duas antenas;

2 – entre uma antena e um refletor passivo (ou vice-versa);

- 3 – entre dois refletores passivos;
- 4 – entre uma antena e um difrator (ou vice-versa).

Indicar se o ângulo de azimute de cada estação é em relação ao norte verdadeiro (**NV** ou **NG**) ou em relação ao norte magnético (**NM**). Não esquecer do ângulo de declinação magnética caso se use o **NM**. A preferência é, obviamente, usar sempre o **NV**.

Considerando que a declinação magnética muda com a posição do ponto na superfície da Terra e também com o decorrer do tempo, é **fundamental** que ela seja expressa tal qual se mostra no exemplo abaixo:

- Declinação 7° 27' Novembro 1997
- Mudança Anual 1/2' Leste
- Desenhar as semi-retas **NM**, **NV** a partir da estação em questão contendo o ângulo de **DECLINAÇÃO MAGNÉTICA** entre elas.

8. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

1. Silva, Marcello Praça Gomes da. *A Importância da Topografia para as Telecomunicações*. A MIRA – Revista de Agrimensura e Cartografia. Ano VII – nº 67 – maio/97.
2. Silva, Marcello Praça Gomes da. *Determinação do Azimute e Elevação nas Estações de Rádio*. A MIRA – Revista de Agrimensura e Cartografia Ano VI – nº 55 – maio/96.
3. Silva, Marcello Praça Gomes da. *Obtenção das Coordenadas Geográficas para Radioacesso*. A MIRA – Revista de Agrimensura e Cartografia. Ano VI – nº 51 – janeiro/96.
4. Silva, Marcello Praça Gomes da. *Latitudes e Longitudes em Diferentes Unidades Angulares*. A MIRA – Revista de Agrimensura e Cartografia. Ano VII – nº 73 – novembro/97.