

35

RADIOGONIOMETRIA

35.1 O RADIOGONIÔMETRO

a. PRINCÍPIOS DO RADIOGONIÔMETRO

Radiogoniometria é o método que tem por objetivo determinar, mediante o emprego de sinais radioelétricos, a direção entre duas estações, uma transmissora e uma receptora. O equipamento utilizado a bordo para efetuar essa determinação denomina-se **radiogoniômetro**.

A origem do método data da primeira década deste século e seu emprego se mantém até hoje, em que pese o grande desenvolvimento ultimamente alcançado por outros sistemas de Navegação Eletrônica.

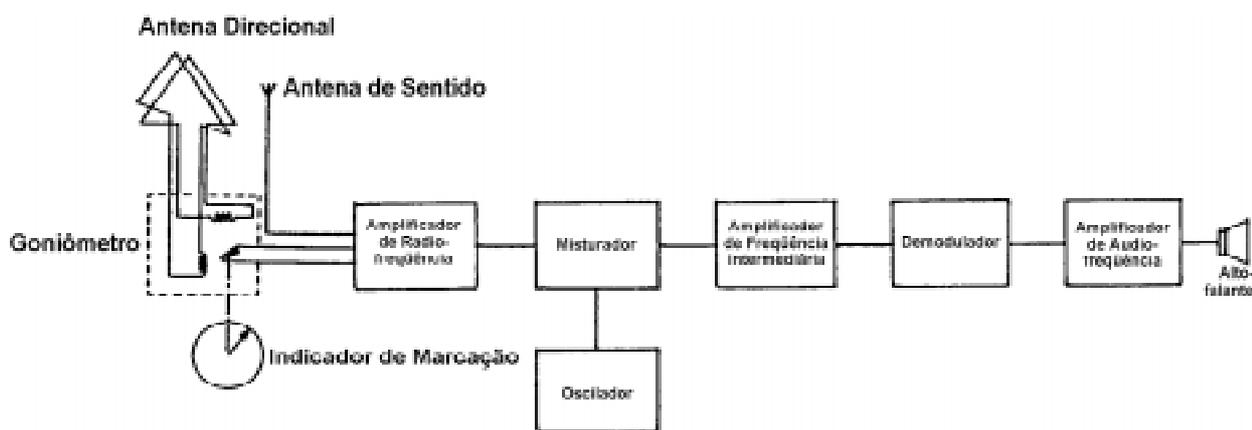
Os **radiogoniômetros** instalados a bordo permitem a obtenção de marcações de radiofaróis, outros navios, aviões e, até mesmo, de emissoras de radiodifusão comerciais. As marcações radiogoniométricas adquirem um grande valor em ocasiões de visibilidade restrita, quando não podem ser realizadas observações astronômicas ou visuais.

Então, na **radiogoniometria**, um radiofarol, ou uma estação transmissora, irradia um sinal não direcional (circular) e, por meio de um receptor acoplado a uma antena direcional a bordo, obtém-se a direção do sinal irradiado, ou seja, determina-se a direção da estação transmissora. O ângulo entre a direção segundo a qual se recebe a onda eletromagnética e a proa do navio constitui a **marcação radiogoniométrica** da estação transmissora. Combinando-se a **marcação radiogoniométrica** com o rumo do navio e

aplicando-se as correções adiante indicadas, obtém-se a **marcação verdadeira** do radiofarol, ou estação transmissora. Se duas ou mais marcações diferentes forem determinadas, a posição do navio ficará definida. Assim, na **radiogoniometria** é usado o **método direcional** para obtenção das LDP (**marcações radiogoniométricas**).

O radiogoniômetro é constituído por um receptor e por um sistema de antena de quadro, que tem propriedade direcional (figura 35.1). O receptor, em geral, é do tipo superheterodino, no qual a radiofrequência modulada é amplificada num pré-amplificador e, então, alimenta um misturador, para transformá-la numa portadora fixa de baixa frequência, chamada de frequência intermediária. Os sinais modulados de frequência intermediária (FI) passam por ampliações muito altas no amplificador de FI e alimentam o demodulador, para a demodulação; os sinais de áudio (ou vídeo) resultantes são, posteriormente, amplificados, antes de serem enviados à saída. Os receptores radiogoniométricos também dispõem, normalmente, de um oscilador de batimento, para recepção de sinais de A1 (radiotelegrafia).

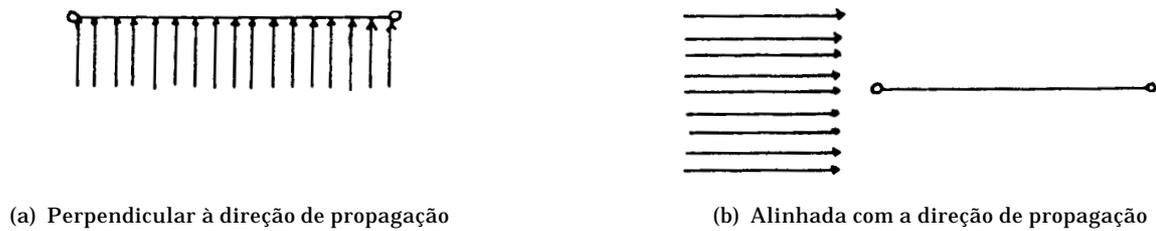
Figura 35.1 - Diagrama em Bloco de um Radiogoniômetro



b. RECEPÇÃO DA ONDA RADIOELÉTRICA. SISTEMAS DE ANTENAS

Em uma antena unifilar horizontal, a intensidade do sinal recebido varia com a direção da mesma em relação à fonte transmissora. Se a antena está perpendicular à direção de propagação, a recepção é nula, ou mínima, pois todos os pontos da antena estão a uma mesma distância da estação transmissora e a pressão que a antena recebe é uniforme em toda sua extensão (figura 35.2 a); não há diferença de potencial e, portanto, nenhuma corrente elétrica é induzida na antena. Por outro lado, se a antena está alinhada com o transmissor, ou seja, orientada na direção de propagação das ondas eletromagnéticas, a recepção é máxima (figura 35.2 b). Há uma diferença de potencial entre as extremidades da antena e, portanto, uma corrente elétrica será induzida na mesma.

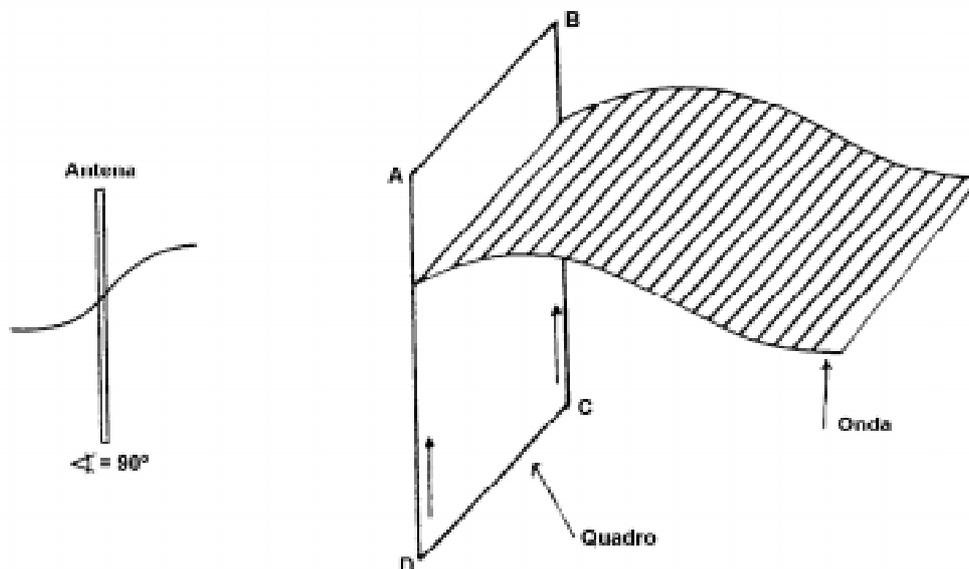
Assim, se orientarmos uma antena unifilar horizontal na direção da estação transmissora, obteremos uma melhor recepção. De maneira inversa, se orientarmos a antena perpendicularmente à direção de propagação das ondas radioelétricas, haverá um mínimo de recepção (teoricamente, a recepção será nula). Portanto, a antena horizontal é direcional e poderia ser usada nos radiogoniômetros.

Figura 35.2 - Antena Unifilar Horizontal

Contudo, a faixa usada em radiogoniometria estende-se de 250 kHz a 600 kHz, o que corresponde a comprimentos de onda de 1.200 a 500 metros. Se usássemos uma antena dipolo de meia onda, ela deveria ter de 250 a 600 metros de comprimento. Embora esse comprimento pudesse ser diminuído, devido à alta sensibilidade dos receptores atuais, ainda assim seu uso a bordo seria inviável.

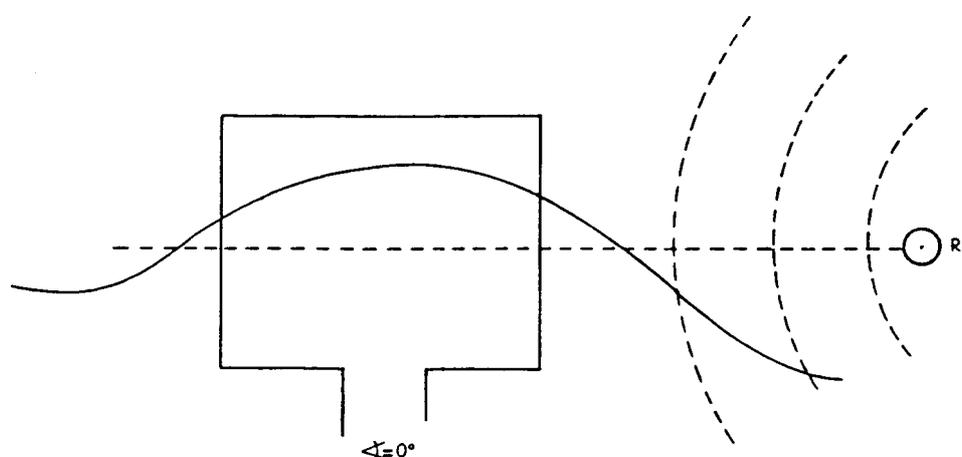
Recorre-se, então, às **antenas de quadro**, que também são direcionais. Apesar de, na prática, serem empregadas antenas de quadro circulares, utilizaremos em nossas explicações antenas retangulares, para maior facilidade de entendimento.

Na figura 35.3, a antena de quadro está perpendicular à direção de propagação das ondas radioelétricas, isto é, o plano do quadro faz um ângulo de 90° com a direção da estação transmissora. Nos braços horizontais do quadro, a pressão elétrica é igual em todo o comprimento e, como nas antenas horizontais, não há diferença de potencial e, portanto, não há corrente. Nos braços verticais do quadro, a onda de rádio induzirá corrente, mas o campo magnético corta simultaneamente e com igual intensidade os dois condutores verticais, induzindo em ambos uma FEM (força eletromotriz) de idêntica magnitude, mas de sentidos opostos, que se anulam. Por conseqüência, a recepção será, teoricamente, nula.

Figura 35.3 - Antena de Quadro Perpendicular à Direção da Onda (a Recepção Teórica é Nula)

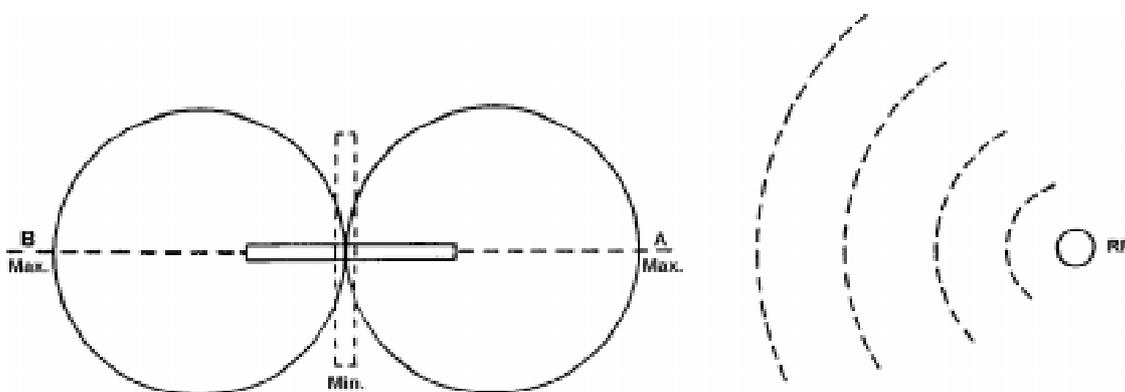
Na figura 35.4, a antena de quadro está alinhada com a direção da onda radioelétrica, ou seja, o ângulo entre o plano do quadro e a direção da estação transmissora é de 0° (o plano do quadro está voltado para o transmissor). As ondas eletromagnéticas induzirão no condutor vertical da direita do quadro uma FEM, antes que ocorra o mesmo no condutor da esquerda, ficando ambos ligeiramente fora de fase. Teremos, então, duas FEM que não são de igual magnitude momentânea. Portanto, haverá uma circulação de corrente no quadro, de intensidade maior que em qualquer outra posição da antena. A corrente resultante é alternada e da mesma frequência que a onda recebida.

Figura 35.4 - Antena de Quadro Alinhada com a Direção de Propagação (Recepção Máxima)



Desta maneira, a intensidade máxima do sinal ocorrerá quando a antena estiver orientada (alinhada) na direção da estação transmissora e a mínima quando estiver na perpendicular (a 90°) dela. Traçando a curva que representa a intensidade do sinal recebido, ao dar uma rotação de 360° na antena de quadro, esta curva tomará a forma indicada na figura 35.5, sendo denominada de “curva em 8” ou “diagrama polar”.

Figura 35.5 - Diagrama de Intensidade do Sinal Recebido (Diagrama Polar)



Assim, se alinharmos o plano da antena de quadro com a direção da estação transmissora, a recepção será máxima e um sinal forte será ouvido nos fones ou no alto-falante. Se

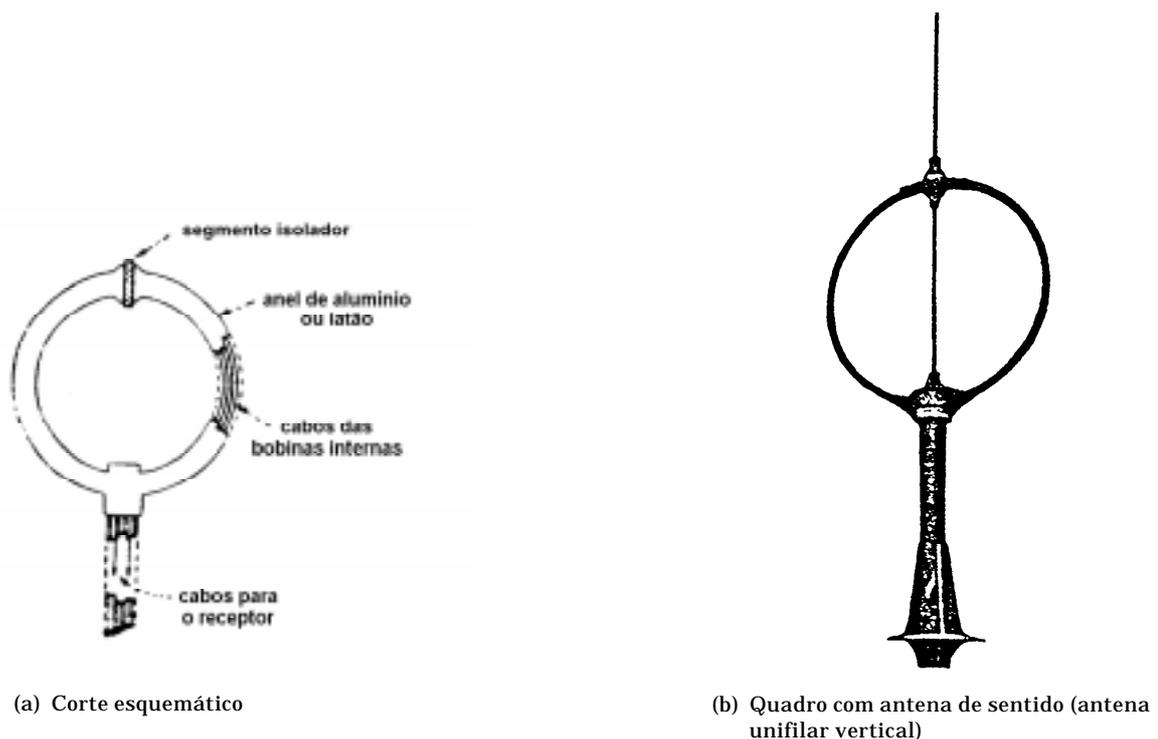
colocarmos o plano da antena em direção perpendicular ao caminho da onda, a recepção será praticamente nula e nada se ouvirá nos fones ou alto-falantes.

Em radiogoniometria usam-se dois tipos de sistemas de antena de quadro, que se baseiam nos princípios acima explicados:

- Sistema Kolster–Dunmore; e
- Sistema Bellini–Tosi.

A antena do sistema Kolster–Dunmore é idêntica à antena de quadro retangular que descrevemos, só que, geralmente, é apresentada em forma circular (figura 35.6). É uma antena de quadro giratória, constituída por uma bobina de 10 a 15 espiras, enroladas em um suporte de baquelite (ou material semelhante) em forma de anel. A bobina fica alojada num anel oco, de alumínio ou latão, que forma uma blindagem. Essa blindagem só é isolada na parte de cima, onde existe um elemento isolador. Sem esse elemento isolador nenhum sinal penetraria no interior do anel e, por conseguinte, nenhum sinal chegaria às bobinas.

Figura 35.6 – Antena Kolster–Dunmore

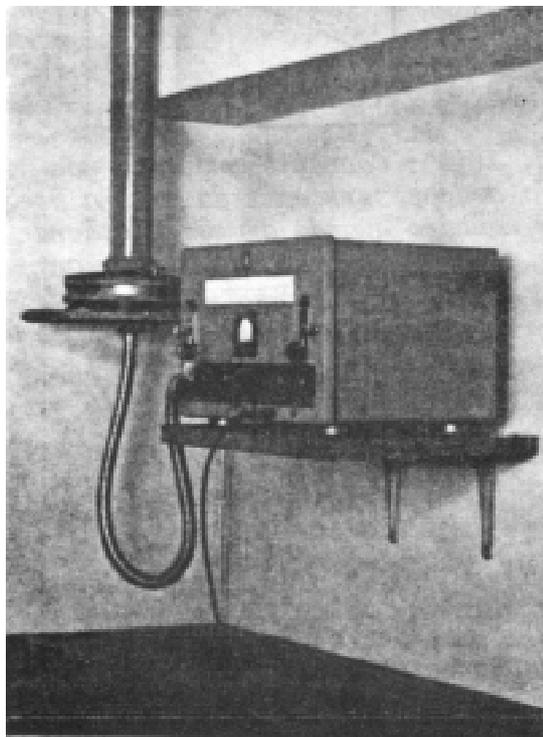


O quadro é girado à mão. A antena é instalada no tijupá e o eixo do quadro atravessa o piso, indo até o camarim de navegação, onde um volante permite a rotação do quadro. Ao volante está ligado um ponteiro que trabalha sobre uma rosa graduada de 0° a 360° , o zero indicando a proa do navio. O ponteiro faz um ângulo de 90° com o plano do quadro. Logo, quando a recepção for mínima, o ponteiro indicará, na rosa, a direção da estação transmissora. É assim que se obtém a **marcação relativa** da estação, ou **marcação radiogoniométrica**.

A figura 35.7 apresenta a instalação no camarim de navegação, vendo-se o volante e o receptor radiogoniométrico. Hoje em dia quase não se usa este sistema, que, entretanto,

ainda pode ser encontrado em equipamentos mais antigos. A antena deve ficar quase na mesma vertical, bem próxima do receptor, devido à ligação mecânica quadro-volante-receptor.

Figura 35.7 - Radiogoniômetro com Antena Kolster-Dunmore



O outro sistema é denominado Bellini-Tossi. Em sua instalação a bordo, pode se apresentar de duas maneiras:

- em antenas de estai (figura 35.8); e
- em antenas de quadros cruzados (figura 35.9).

Figura 35.8 - Antenas de Estai do Sistema Bellini-Tossi

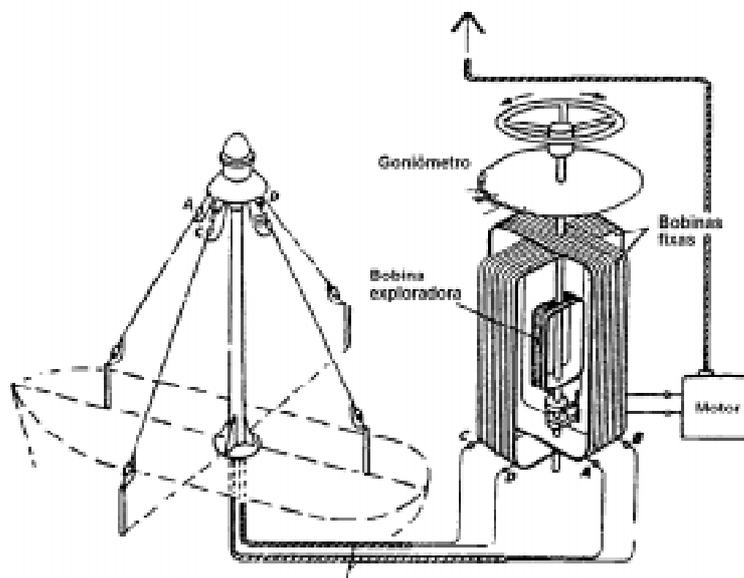
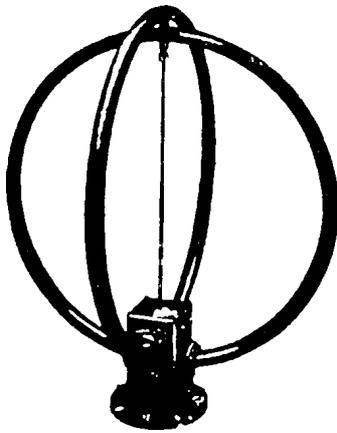


Figura 35.9 - Antena de Quadros Cruzados do Sistema Bellini-Tosi

As antenas de estai são constituídas por duas antenas, sendo uma no sentido proa-popa e outra no sentido BE-BB, instaladas no tijupá, na linha de centro do navio.

O sistema de quadros cruzados de anéis tubulares é formado por dois anéis semelhantes ao do sistema Kolster-Dunmore, dispostos perpendicularmente um ao outro.

Em ambas as configurações, os sinais recebidos fluem através de cabos ao receptor de radiogoniometria, onde um sistema de bobinas, uma das quais denominada **bobina exploradora**, comandada por um volante (ou automaticamente), possibilita a determinação das direções de máxima e mínima audição. O sistema de bobinas é mostrado na figura 35.8.

O sistema Bellini-Tosi possui a vantagem de que a antena pode ficar afastada do receptor, o que não ocorre, como vimos, com o radiogoniômetro que emprega antena do sistema Kolster-Dunmore. Hoje em dia, quase todos os radiogoniômetros usam antenas de quadros cruzados do sistema Bellini-Tosi.

c. DETERMINAÇÃO DA DIREÇÃO PELO MÍNIMO

Na prática, nota-se que o ponto de mínima audição é mais fácil de caracterizar que aquele que dá o máximo de volume. Isto se deve ao fato de que, sem dúvida, é mais fácil distinguir entre um som fraco e a ausência de som, do que entre sons fortes de gradações diferentes. Também demonstra-se, pela construção do diagrama de recepção das antenas de quadro, que a variação do sinal, para o mesmo ângulo de variação do quadro, é muito maior nas proximidades do ponto de audição nula, do que nas proximidades do ponto de audição máxima. Por isso, em radiogoniometria não se obtém a direção do transmissor pela determinação do máximo, e sim do mínimo de sinal (**nulo**). Circuitos especiais nos radiogoniômetros permitem que se obtenha o **nulo** com o máximo de precisão possível.

Os radiogoniômetros portáteis (figura 35.10) utilizam, normalmente, uma antena de ferrite, do tipo das usadas em rádios portáteis, que são bem conhecidas por suas propriedades direcionais. À medida que a antena é girada (manualmente), para um lado ou para o outro, é capaz de captar o máximo de sinal e o mínimo (nulo), determinando, assim, a direção da estação transmissora (radiofarol). Na prática, com alguma experiência, o **nulo** pode ser determinado com bastante precisão.

d. DETERMINAÇÃO DO SENTIDO. ANTENA DE SENTIDO

Se observamos o diagrama da figura 35.5, verificaremos que existem dois máximos (A e B) defasados de 180° , que, unidos e prolongados, indicarão a direção da estação transmissora. Da mesma forma, existem dois mínimos, também defasados de 180° , perpendicularmente à direção dos máximos (e do transmissor). Assim, a antena do radiogoniômetro determina a **direção** da estação transmissora, mas não o **sentido** de onde vêm as ondas radioelétricas.

Figura 35.10 - Radiogoniômetro Portátil



Na prática, temos duas posições de máximo e duas posições de nulo, defasadas de 180°. Normalmente, isso não é problema, pois conhecemos a nossa posição estimada e podemos facilmente distinguir o valor real da marcação da sua recíproca.

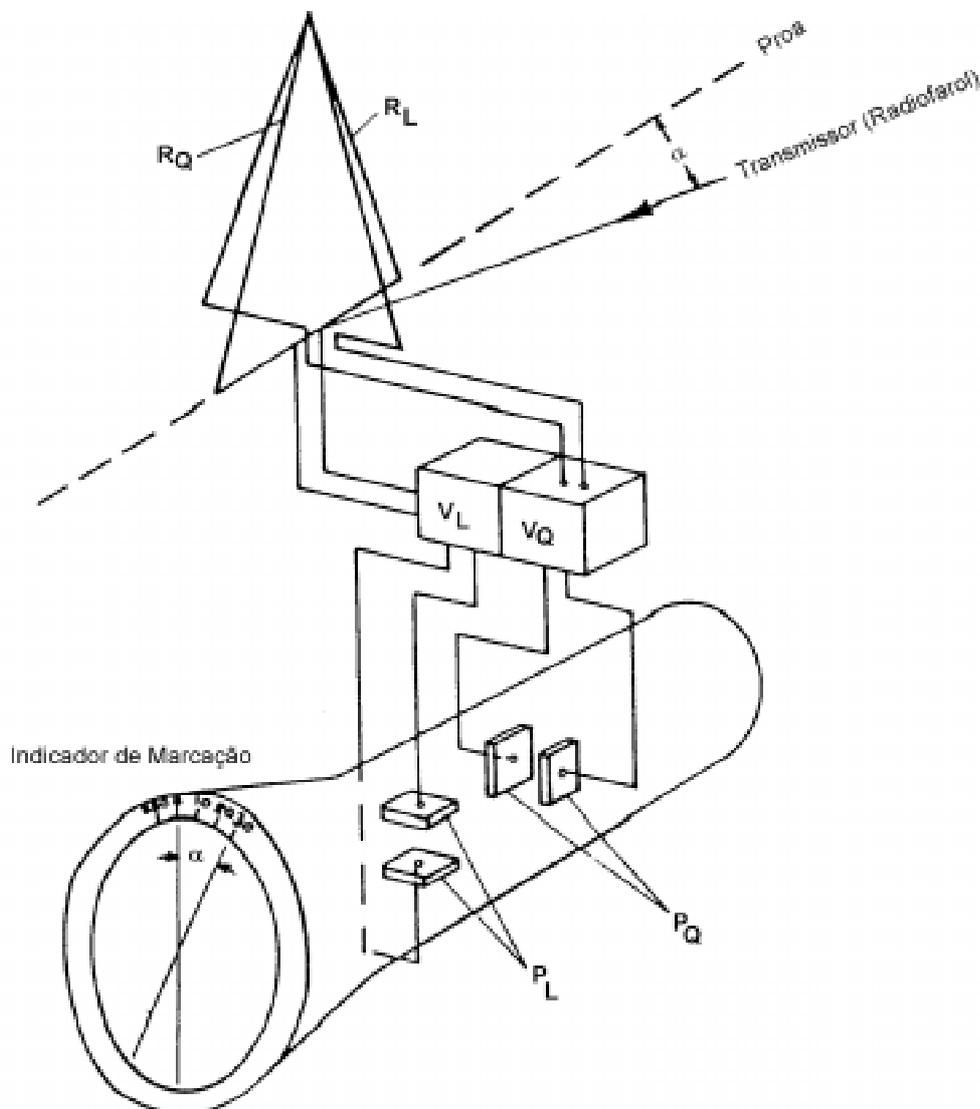
Entretanto, a história da navegação nos informa que, em 1923, sete Contratorpedeiros da U.S. Navy se perderam, no desastre de Point Honda, nas costas da Califórnia, devido a erro na determinação do sentido da estação transmissora. Eles tomaram a marcação recíproca, em vez do valor real, da estação de Point Concepción e, assim, baseando-se em uma suposição errada, tomaram um rumo que os levou ao encalhe, seguido de naufrágio.

Por isso, os radiogoniômetros possuem uma antena unifilar vertical, denominada **antena de sentido** (“sense”), que elimina a ambigüidade. A **antena de sentido** é mostrada nas figuras 35.6 e 35.10. O princípio da determinação do sentido é que, com o quadro na posição de máxima recepção (alinhado com a direção de propagação da onda radioelétrica), se a antena auxiliar (antena de sentido) for acoplada ao braço que está voltado para a estação, o sinal aumentará; se a antena auxiliar for acoplada ao braço oposto à estação, o sinal diminuirá. No caso do nulo, o acoplamento que resultar no mínimo de sinal indica o sentido do transmissor.

e. APRESENTAÇÃO DA MARCAÇÃO RADIOGONIOMÉTRICA

A apresentação visual da marcação radiogoniométrica pode ser feita em um tubo de raios catódicos (VRC = válvula de raios catódicos), como mostrado na figura 35.11. Na VRC será indicado o ângulo entre a proa do navio e a direção da transmissão, ou seja, a marcação relativa da estação transmissora. Ao redor da tela, há uma rosa para leitura das marcações relativas. Além disso, pode haver, ainda, uma rosa externa, acoplada a uma repetidora da agulha giroscópica, para leitura de marcações verdadeiras dos radiofaróis.

Figura 35.11 - Radiogoniômetro com indicador de VRC



Outros equipamentos têm um mostrador digital, que indica o valor numérico da marcação radiogoniométrica, ou utilizam um mostrador analógico, onde a marcação relativa é lida pela indicação de um ponteiro em uma rosa graduada de 000° a 360°, como no radiogoniômetro da figura 35.12. Normalmente, esta rosa pode ser girada manualmente; assim, ajustando-se nela o rumo do navio, pode-se ler diretamente marcações verdadeiras no radiogoniômetro.

Figura 35.12 – Radiogoniômetro Automático com Indicador Analógico (Rosa Graduada)

f. TIPOS DE RADIOGONIÔMETRO

Os radiogoniômetros são classificados em **manuais** e **automáticos**. Equipamento manual é aquele em que o operador deve girar a antena e, através da manipulação de diversas chaves e botões, efetuar a determinação do mínimo de sinal em uma saída de áudio (fones ou alto-falantes), a fim de obter a direção e o sentido das ondas radioelétricas, ou seja, a **marcação radiogoniométrica**.

Nos radiogoniômetros automáticos (ADF = “automatic direction finders”), o operador só necessita ligar o aparelho e sintonizar o radiofarol que deseja marcar; isto é feito, normalmente, na posição de **recepção (REC)**. Em seguida, o operador seleciona a posição **ADF** (“automatic direction finding”) e o equipamento executa, automaticamente, a busca da direção e do sentido de onde vêm as ondas de rádio, determinando, assim, a **marcação radiogoniométrica** e a apresentando em um mostrador digital, ou visualmente, num tubo de raios catódicos (VRC), ou por meio de um ponteiro, que indica a marcação em uma rosa de leitura. Alguns aparelhos possuem os dois modos de operação (manual e automático).

Além disso, os radiogoniômetros podem ser fixos ou portáteis. Os equipamentos fixos (figura 35.13) utilizam antenas de quadro instaladas no tijuapé, sendo mais apropriados para navios maiores. Uma das vantagens dos equipamentos fixos é que pode ser escolhida para a antena uma posição favorável, tendo em vista a massa metálica e o campo eletromagnético do próprio navio, de modo a reduzir e regularizar os desvios. Ademais, o radiogoniômetro com antena de quadro fixa permite que as marcações radiogoniométricas sejam tomadas com conforto, uma vez que o receptor fica instalado no camarim de navegação ou passadiço, enquanto o radiogoniômetro portátil deve ser usado no convés aberto.

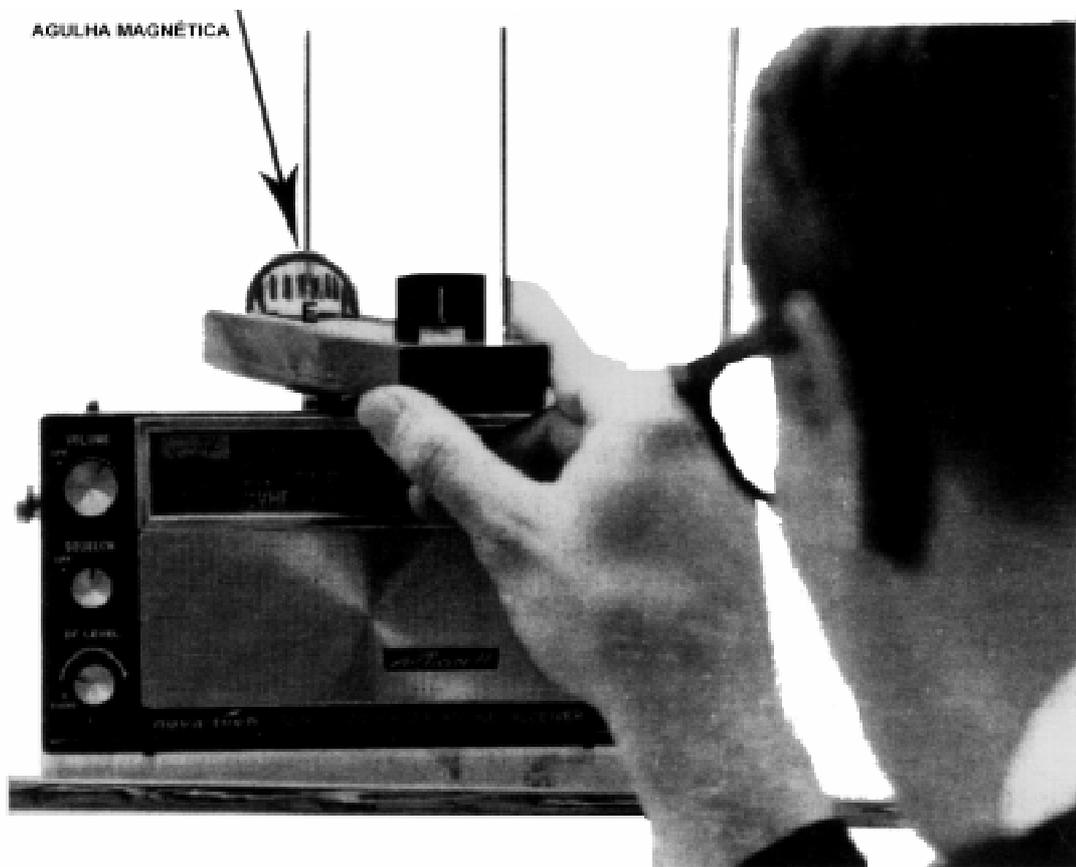
Os veleiros, lanchas e outras embarcações menores normalmente utilizam radiogoniômetros portáteis. Além do modelo mostrado na figura 35.10, outro tipo de equipamento portátil de radiogoniometria (figura 35.13a) contém a sua própria agulha magnética (bússola) e o **nulo** (marcação do radiofarol), ao ser encontrado (girando o equipamento), é determinado através da simples leitura da agulha do instrumento. Como esta agulha é considerada, para efeitos práticos, isenta de desvios, a leitura corresponde à marcação magnética do radiofarol, bastando corrigi-la do valor da declinação magnética local, para obter-se a marcação verdadeira do radiofarol.

Quase todos os radiogoniômetros deste tipo têm um botão para travamento da leitura da agulha no momento em que, girando o equipamento, encontra-se, por forma auditiva, o **nulo**. Tal recurso é muito útil quando, com o movimento da embarcação, ou à noite, houver dificuldade para leitura precisa da agulha.

Figura 35.13 - Radiogoniômetro Fixo



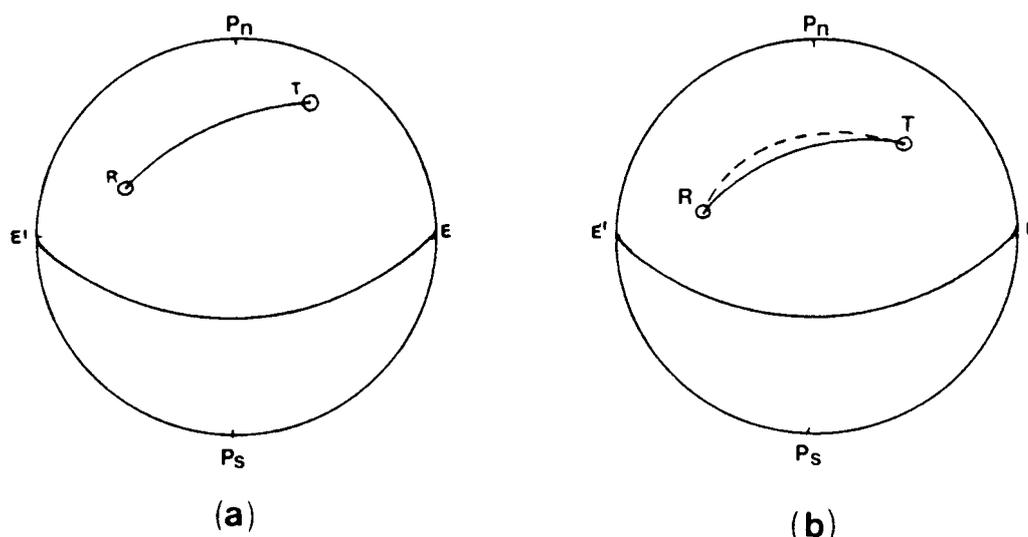
Figura 35.13a - Radiogoniômetro Portátil com Bússola



35.2 PERCURSO DAS ONDAS RADIOELÉTRICAS ENTRE O TRANSMISSOR E O RECEPTOR. DESVIOS DO RADIOGONIÔMETRO

As ondas radioelétricas, ao se propagarem do **transmissor (T)** para o **receptor (R)**, percorrem o arco de círculo máximo entre os dois pontos, que é a menor distância entre eles (figura 35.14a). Contudo, às vezes, devido a fatores abordados no capítulo anterior (efeitos da **refração da costa**, **efeito noturno** ou **perturbação atmosférica**), o percurso da onda de rádio é alterado e o sinal alcança o receptor por outro caminho, diferente da ortodrômica, conforme indicado na figura 35.14b, por uma linha tracejada. Quando isso ocorre, há um desvio da marcação radiogoniométrica, representado pelo ângulo formado entre as duas direções traçadas na figura 35.14b.

Figura 35.14 - Percurso das Ondas de Rádio entre o Transmissor e o Receptor

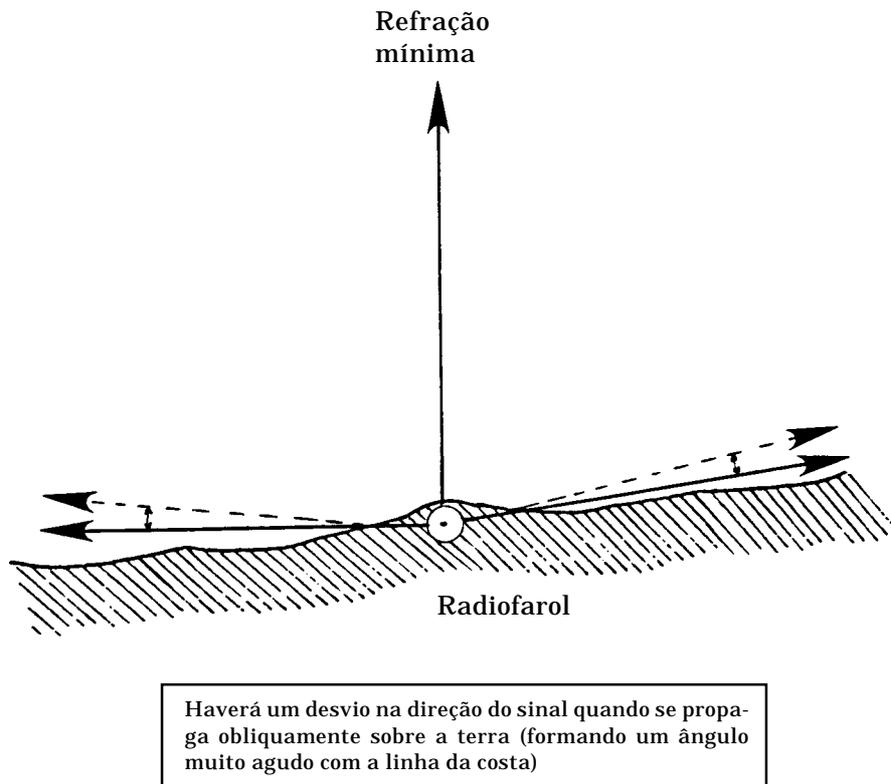


Este desvio, devido a causas externas, não pode ser determinado. O que se pode fazer é evitar tomar marcações radiogoniométricas quando seus efeitos estiverem presentes.

A **refração da costa**, ou **efeito terrestre**, estudada no capítulo anterior, ocorre quando a onda de rádio cruza obliquamente a linha limite entre a terra e o mar (figura 35.15). A refração resultante introduz um desvio na direção da onda radioelétrica, que pode alcançar 4° a 5°. A refração da costa aumenta com a diminuição do ângulo entre o trajeto da onda de rádio e a linha de costa, além de crescer, também, com o aumento da frequência. O efeito terrestre é mínimo quando o trajeto da onda de rádio é perpendicular à linha de costa. A **refração da costa** é minimizada para os radiofaróis marítimos, que, quase sempre, estão situados muito próximos do litoral.

Para evitar o **efeito terrestre**, não se devem tomar marcações que formem ângulos muito agudos com a linha de costa. Sempre que possível, esse ângulo deve ser maior que 20°. Além disso, deve-se evitar marcar radiofaróis muito interiorizados, tais como alguns radiofaróis aeronáuticos que, embora constem da Lista de Auxílios-Rádio, estão relativamente afastados da linha de costa.

Figura 35.15 - Refração da Costa



O **efeito noturno** deve-se às rápidas alterações que ocorrem na ionosfera, nas faixas E e F, especialmente por ocasião dos crepúsculos, mas, também, durante a noite (embora em menor escala).

Assim, o **efeito noturno**, apesar do nome, é mais marcante nos crepúsculos vespertino e matutino. Devido a ele, nesses períodos as ondas radioelétricas são menos precisas no que se refere à sua direcionalidade. Sendo causado por variações ionosféricas, o **efeito noturno** está relacionado às **ondas celestes**, ou **ondas refletidas**, não ocorrendo dentro da **distância de silêncio**, onde só chegam ao receptor **ondas terrestres**. Os principais sintomas do **efeito noturno** são:

1. O mínimo de sinal (que indica a direção da estação transmissora) muda constantemente de posição na rosa de marcação do radiogoniômetro;
2. o mínimo de sinal apresenta-se bem definido, porém deslocado da verdadeira direção;
3. o mínimo apresenta-se indefinido, cobrindo uma faixa muito larga, que pode alcançar 20°; e
4. há excesso de ruído na recepção e grande variação da intensidade do sinal, que, por vezes, se desvanece completamente.

Para evitar o **efeito noturno**, não se devem fazer marcações radiogoniométricas nos períodos de cerca de 1 hora em torno do ocaso e do nascer do Sol (de meia hora antes a meia hora depois desses fenômenos) e, durante a noite, só tomar marcações usando ondas terrestres, ou seja, estando o navio, no máximo, de 25 a 30 milhas da estação transmissora.

Além disso, para minimizar o **efeito noturno**, deve ser tomada a média de várias leituras da marcação radiogoniométrica, pois, normalmente, o erro em direção introduzido pelo **efeito noturno** é variável para um e para o outro lado do valor verdadeiro da marcação da estação transmissora. Por esta razão, pode-se compensar em parte o **efeito noturno** tomando a média de várias leituras.

Certos fenômenos meteorológicos (ou **perturbações atmosféricas**) afetam o estado elétrico da atmosfera, produzindo desvios na direção das ondas de rádio, cujos valores não podem ser previstos. Estes fenômenos se evidenciam por ruídos na recepção e variações na intensidade do sinal recebido. Nestas circunstâncias, não devem ser tomadas marcações radiogoniométricas.

Além dos desvios acima explicados, a onda de rádio sofre influência do campo eletromagnético do próprio navio onde está instalado o radiogoniômetro. Os radiogoniômetros instalados a bordo estão expostos a perturbações, de forma semelhante às agulhas magnéticas. A massa metálica do navio e sua distribuição com relação à antena de quadro introduzem um desvio na direção das ondas radioelétricas. Este desvio, devido a causas internas, pode ser determinado e é denominado **desvio do radiogoniômetro (Drg)**.

Tal como o desvio da agulha magnética, o **Drg** também varia com a marcação relativa da estação transmissora. Ademais, varia, ainda, com a condição de carga do navio (pois a massa metálica será função do calado) e com a frequência da onda recebida (o desvio aumenta com o aumento da frequência).

Em geral, quando se instala um **radiogoniômetro** a bordo, os técnicos buscam colocar a antena em local livre de perturbações magnéticas, tratando, também, de compensar os desvios identificados. A operação de reduzir ou eliminar os desvios denomina-se **compensação** do radiogoniômetro. Entretanto, é normalmente impossível eliminá-los totalmente, restando desvios residuais, que devem ser considerados na obtenção das marcações. A operação de determinar os desvios residuais denomina-se **calibragem** do radiogoniômetro. A **compensação** é da alçada de técnicos especializados em radiogoniometria, mas a **calibragem** deve ser feita pelo pessoal de bordo.

Como resultado da **calibragem** (cujo procedimento será adiante explicado), obtém-se uma **Curva de Desvios do Radiogoniômetro**, que deve ser consultada sempre que se tomar uma marcação radiogoniométrica. A Curva de Desvios fornece o valor do desvio em função da marcação relativa do radiofarol, de modo que:

$$\text{Drg} = \text{Mrel} - \text{Mrg}$$

ou:

$$\text{Mrel} = \text{Mrg} + \text{Drg}$$

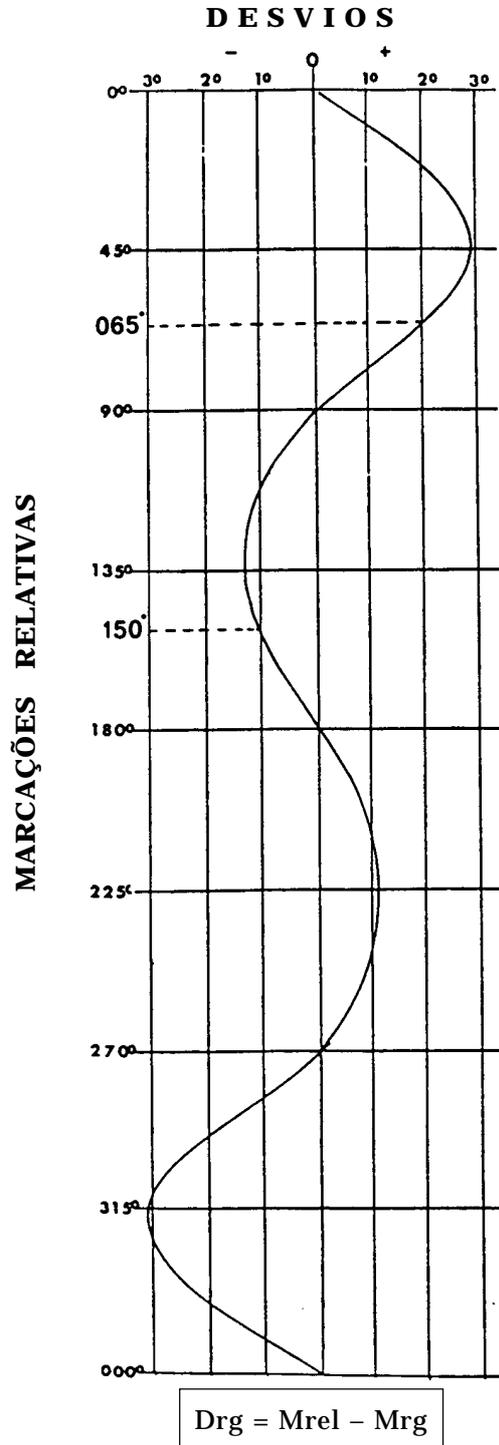
Então, entra-se na curva com a marcação lida no radiogoniômetro (Mrg) e obtém-se o valor do desvio (Drg). Somando-se o desvio (com o seu respectivo sinal) à leitura do radiogoniômetro (Mrg), determina-se a marcação relativa (Mrel) da estação transmissora (radiofarol). Combinando-se este último valor com o Rumo verdadeiro do navio, obtém-se a **marcação radiogoniométrica verdadeira** do radiofarol.

EXEMPLOS:

1. Um navio navegando no rumo verdadeiro 145° , efetuou a marcação radiogoniométrica do Radiofarol Calcanhar ("DA", 305 kHz), obtendo: $\text{Mrg} = 065^\circ$. Considerando a

Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada sua figura 35.16, determinar a marcação relativa correta e a marcação radiogoniométrica verdadeira do radiofarol.

Figura 35.16 - Curva de Desvios do Radiogoniômetro



SOLUÇÃO:

a. Entrando na curva de desvios com $\text{Mrg} = 065^\circ$, obtém-se: $\text{Drg} = + 2^\circ$.

b. Então:

$$\begin{array}{r} \text{Mrg} = 065^\circ \\ \text{Drg} = + 2^\circ \\ \hline \text{Mrel} = 067^\circ \end{array}$$

c. Como o rumo verdadeiro do navio é 145° , teremos:

$$\begin{array}{r} R = 145^\circ \\ \text{Mrel} = 067^\circ \\ \hline \text{Mv (CM)} = 212^\circ \end{array}$$

2. Um navio navegando no Rumo verdadeiro 180° , marcou com o radiogoniômetro o Radiofarol Abrolhos ("AV", 290 kHz), obtendo: $\text{Mrg} = 150^\circ$. Considerando a Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada na figura 35.16, determinar a marcação relativa correta e a marcação radiogoniométrica verdadeira do radiofarol.

SOLUÇÃO:

a. Entrando na curva de desvios com $\text{Mrg} = 150^\circ$, obtém-se: $\text{Drg} = - 1^\circ$.

b. Então:

$$\begin{array}{r} \text{Mrg} = 150^\circ \\ \text{Drg} = - 1^\circ \\ \hline \text{Mrel} = 149^\circ \end{array}$$

c.

$$\begin{array}{r} R = 180^\circ \\ \text{Mrel} = 149^\circ \\ \hline \text{Mv (CM)} = 329^\circ \end{array}$$

35.3 CORREÇÕES DA MARCAÇÃO RADIOGONIOMÉTRICA

CORREÇÃO DO DESVIO DO RADIOGONIÔMETRO

A primeira correção, como vimos, é a do **desvio do radiogoniômetro**, fornecida pela **Curva de Desvios** do equipamento. Entra-se na curva com a leitura do radiogoniômetro (marcação radiogoniométrica), que é uma marcação relativa, obtendo-se o valor do **Drg**, com o respectivo sinal.

Somando-se o **desvio** com a **marcação radiogoniométrica**, determina-se a **marcação relativa** correta do radiofarol. Combinando-se este valor com o **Rumo verdadeiro**, obtém-se a **marcação verdadeira radiogoniométrica** do radiofarol.

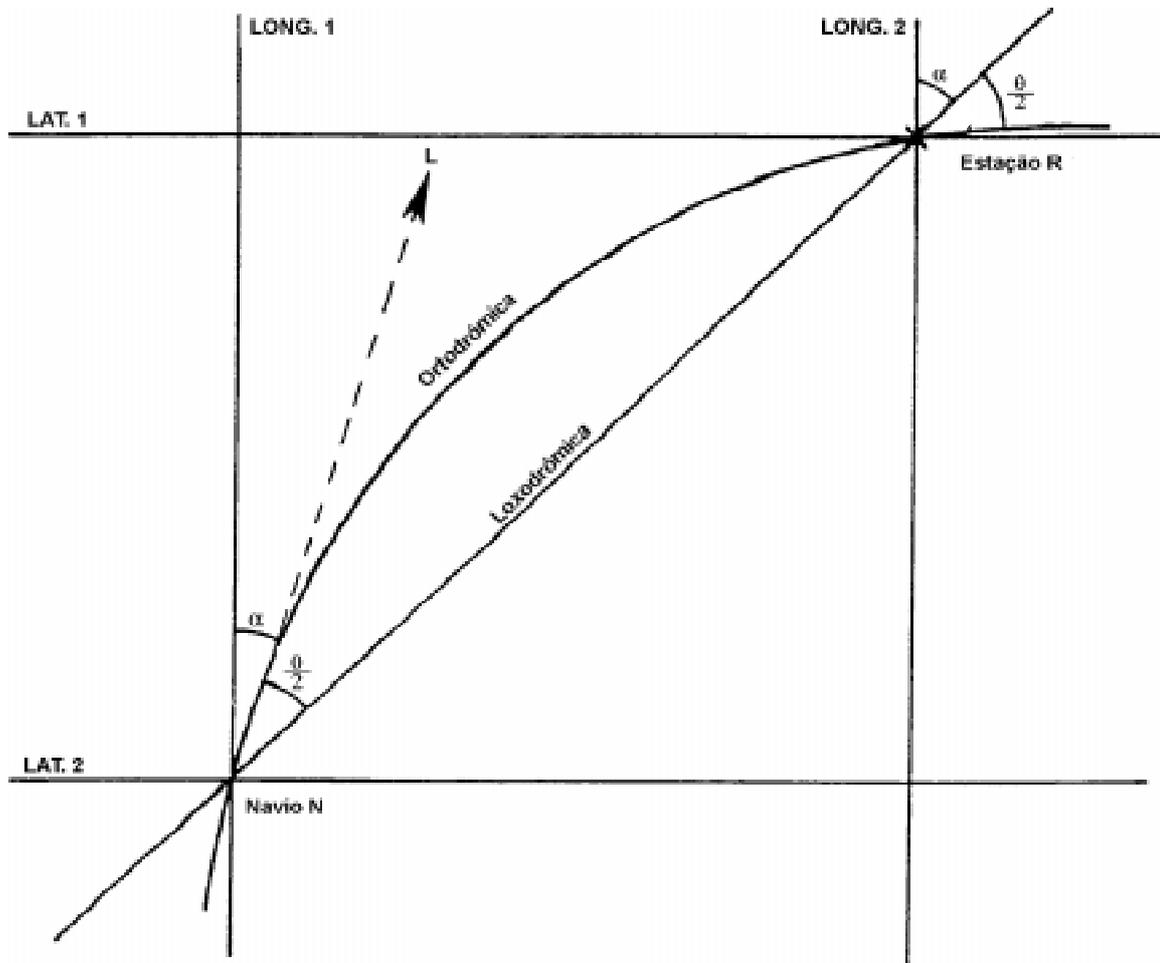
Esta marcação, entretanto, ainda não pode ser traçada diretamente na carta náutica construída na Projeção de Mercator (Carta de Mercator), pois é um **arco de círculo máximo** (como vimos, a onda radioelétrica propaga-se do transmissor para o receptor segundo uma **ortodromia**). Conforme sabemos, um arco de círculo máximo é representado na Carta de Mercator por uma curva complexa. É necessário, então, transformar a **marcação-rádio (marcação em círculo máximo)** em **marcação loxodrômica**, que será traçada como uma linha reta na Carta de Mercator.

CORREÇÃO PARA TRANSFORMAÇÃO DA MARCAÇÃO RÁDIO EM MARCAÇÃO LOXODRÔMICA

A **marcação radiogoniométrica verdadeira** é uma marcação em círculo máximo e, assim, só poderia ser traçada diretamente, como uma linha reta, em uma carta na Projeção Gnomônica. Então, se o navio **N** (figura 35.17) traçar na Carta de Mercator a marcação-rádio da estação **R** como uma linha reta, obterá a loxodromia **NL**, que é a tangente em **N** ao arco de círculo máximo (ortodrômica) que une **N** com **R**. Esta marcação,

transportada para a estação **R**, iria deslocar o navio muito para o Sul de sua verdadeira posição. Isto nos indica que, antes de traçar a marcação-rádio na Carta de Mercator, deve-se lhe aplicar uma correção igual à diferença entre o rumo ortodrômico e o rumo loxodrômico transmissor/receptor. No caso da figura 35.17, a correção será positiva.

Figura 35.17 - Correção da Marcação Rádio



Esta correção é igual à **semiconvergência dos meridianos** entre o transmissor e o receptor, sendo também conhecida como **correção de Givry**, nome do especialista que primeiro a determinou.

A **trigonometria esférica** nos mostra que a **convergência de meridianos (C)** entre dois pontos é dada pela seguinte fórmula:

$$C = Dl \cdot \text{sen } jm$$

Onde:

$$Dl = l_1 - l_2 \quad \text{e} \quad jm = \frac{j_1 + j_2}{2}$$

A correção (c), igual à **semiconvergência**, será, portanto:

$$c = 1/2 C = \frac{1}{2} Dl \cdot \text{sen } jm$$

O valor da correção (c), calculado pela fórmula acima, é dado pela tabela reproduzida na figura 35.18.

Figura 35.18 – Conversão da Marcação Rádio em Marcação de Mercator

Correção a aplicar à marcação rádio para convertê-la em marcação de Mercator

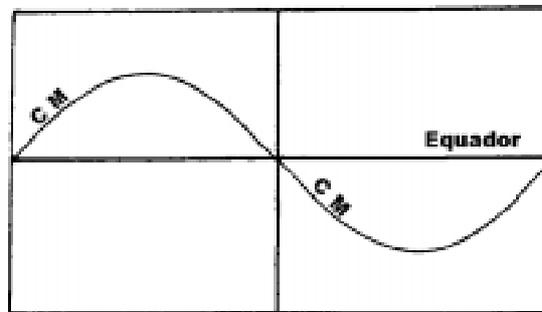
Lat. Média	Diferença de longitude														Lat. Média	
	1°	1,5°	2°	2,5°	3°	3,5°	4°	4,5°	5°	5,5°	6°	6,5°	7°	7,5°		
4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	4
5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	5
6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	6
7	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	7
8	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	8
9	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	9
10	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	10
11	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	11
12	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	12
13	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	13
14	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	14
15	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	15
16	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	16
17	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	17
18	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	18
19	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	19
20	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	20
21	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,4	1,4	21
22	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	22
23	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	23
24	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	24
25	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	25
26	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	26
27	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	27
28	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,8	28
29	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,8	29
30	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	1,9	30
31	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	1,9	31
32	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,0	32
33	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,1	33
34	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	34
35	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,2	35
36	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,2	36
37	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,2	37
38	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	2,3	38
39	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,4	39
40	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,4	40
41	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,5	41
42	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,5	42
43	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	2,6	43
44	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	2,6	44
45	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	2,6	45
46	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	2,7	46
47	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	2,8	47
48	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	2,8	48
49	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	2,8	49
50	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	2,9	50
51	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	2,9	51
52	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,0	52
53	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,0	53
54	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,0	54
55	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,2	2,4	2,7	2,9	3,1	3,1	55
56	0,4	0,6	0,8	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,1	56
57	0,4	0,6	0,8	1,1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2	3,2	57
58	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,2	3,2	58
59	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,2	59
60	0,4	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,2	60

NOTA – Não confundir esta tábua com uma tábua de desvios do radiogoniômetro.

Para empregar a tabela, utiliza-se a **posição estimada** do navio no instante da marcação radiogoniométrica. Entra-se com a **diferença de Longitude (Dl)** entre a posição estimada do navio e a estação, como argumento horizontal, e com a **Latitude média (jm)** entre a posição estimada do navio e a estação, como argumento vertical. No cruzamento, retira-se o valor da correção a ser aplicada à **marcação em círculo máximo**, para transformá-la em **marcação loxodrômica**, a ser traçada como uma linha reta na Carta Náutica (Carta de Mercator).

Visto como se determina o valor da correção (c), estudemos o seu sinal. No Capítulo 33, quando abordamos a **navegação ortodrômica**, vimos que os **círculos máximos (CM)**, ao serem traçados em uma Carta de Mercator, apresentam-se como linhas curvas, com a concavidade sempre voltada para o Equador (figura 35.19).

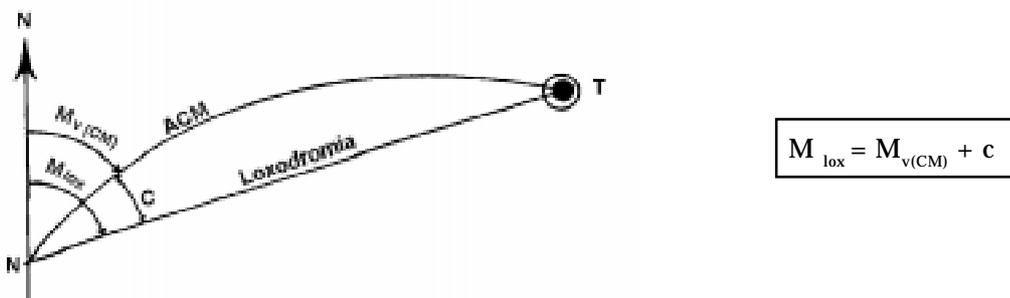
Figura 35.19 - Círculo Máximo Traçado na Carta de Mercator



Então, podemos apresentar os quatro casos possíveis para determinação do sinal da correção da semiconvergência dos meridianos, ou correção Givry:

a. No Hemisfério Norte, com o navio (N) a Oeste do radiofarol (T), a correção é aditiva, conforme mostrado na figura 35.20;

Figura 35.20 - Hemisfério Norte, Navio a Oeste da Estação: Correção Positiva



b. No Hemisfério Norte, com o navio (N) a Leste do radiofarol (T), a correção é subtrativa, conforme mostrado na figura 35.21;

c. No Hemisfério Sul, com o navio (N) a Oeste do radiofarol (T), a correção é subtrativa, conforme mostrado na figura 35.22; e

d. No Hemisfério Sul, com o navio (N) a Leste do radiofarol (T), a correção é aditiva, como mostrado na figura 35.23.

Figura 35.21 - Hemisfério Norte, Navio a Leste da Estação: Correção Negativa

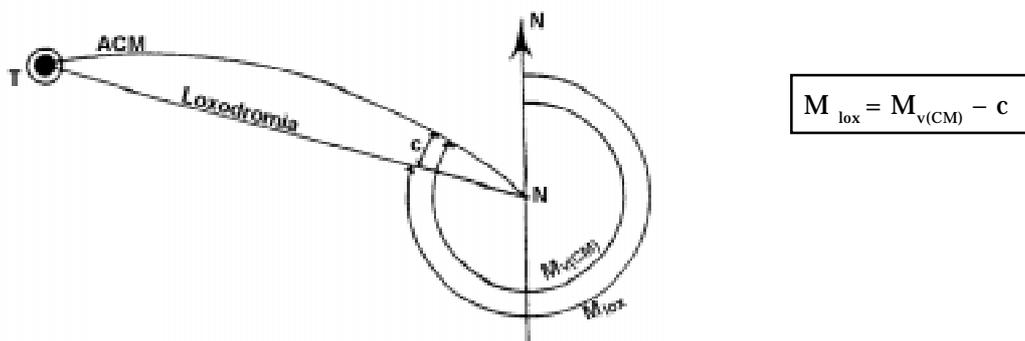


Figura 35.22 - Hemisfério Sul, Navio a Oeste da Estação: Correção Negativa

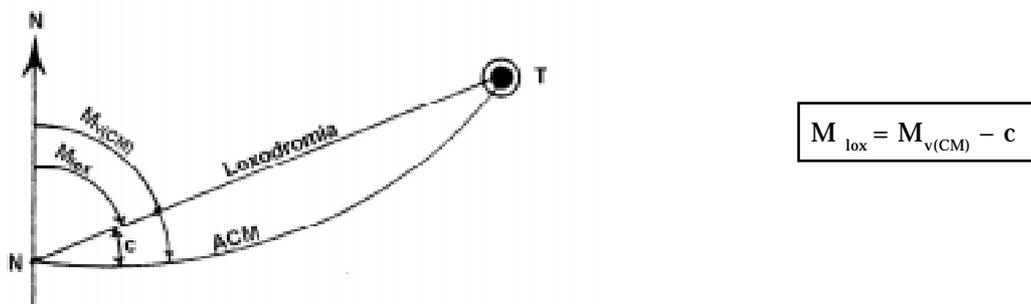
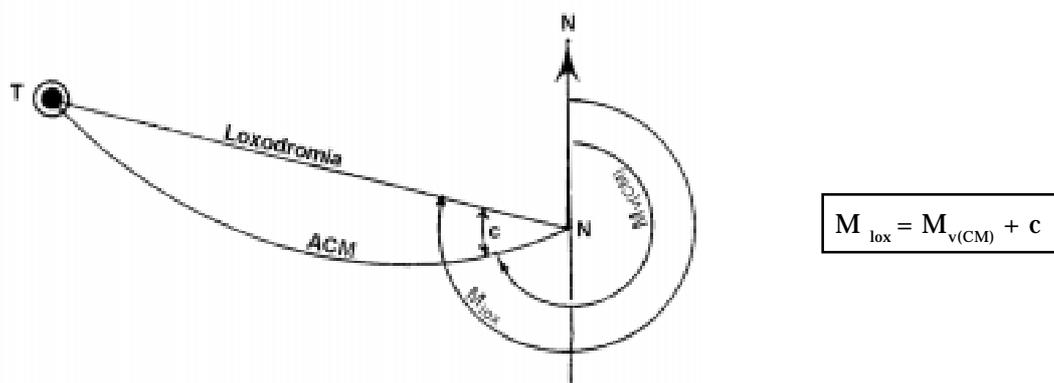


Figura 35.23 - Hemisfério Sul, Navio a Leste da Estação: Correção Positiva



Resumindo:

Hemisfério Norte	navio a E da estação	correção: -
Hemisfério Norte	navio a W da estação	correção: +
Hemisfério Sul	navio a W da estação	correção: -
Hemisfério Sul	navio a E da estação	correção: +

Assim, por exemplo, na costa E brasileira, o navio estará sempre a Leste dos radiofaróis situados no continente e, sendo Hemisfério Sul, a correção (c) será sempre

positiva. Quando se estiver marcando um radiofarol em ilha (como Abrolhos ou Fernando de Noronha), o navio poderá estar a W da estação e, então, a correção será negativa.

Da fórmula da semiconvergência dos meridianos:

$$c = 1/2 C = \frac{1}{2} D_l \cdot \text{sen } j_m$$

conclui-se que, se $D_l = 0^\circ$, isto é, se o navio e a estação estão sobre o mesmo meridiano, a correção será igual a zero, pois a onda de rádio se propaga pelo mesmo meridiano, que, embora sendo um arco de círculo máximo, é representado por uma linha reta na Carta de Mercator.

Da mesma forma, se $j_m = 0^\circ$, tem-se $\text{sen } j_m = 0$ e a correção também será igual a zero, ou seja, se o navio e a estação estão sobre o Equador, ou em Latitudes simétricas (de valor igual, mas em hemisférios diferentes), a correção será nula.

Então, se tomarmos uma marcação radiogoniométrica a 200 milhas da estação nas vizinhanças do Equador, ou na direção aproximada Norte-Sul, a correção será nula, enquanto que uma outra tomada a 50 milhas da estação, em alta Latitude e/ou em uma direção Leste-Oeste, exigirá uma correção significativa.

Pelas razões expostas, é melhor sempre determinar a correção, qualquer que seja a distância entre o navio e o radiofarol, não considerando a recomendação de alguns textos de navegação, no sentido de que, em distâncias menores que 50 milhas, a correção é desprezível, podendo-se traçar diretamente a marcação radiogoniométrica verdadeira (em círculo máximo) na Carta Náutica.

Na costa brasileira, em virtude dos valores relativamente baixos da Latitude média, a correção só é significativa quando a distância do navio ao radiofarol é de 200 milhas, ou mais, e sendo a direção da marcação aproximadamente E-W (ou seja, a diferença de Longitude entre o navio e a estação será igual ou maior que 4°). Assim, para a maioria dos propósitos práticos, a correção poderá ser desprezada.

EXEMPLOS:

1. Navegando no rumo verdadeiro $R = 030^\circ$, na posição estimada Latitude $30^\circ 14,0' S$, Longitude $045^\circ 17,0' W$, o navio marcou um radiofarol situado na posição Latitude $31^\circ 46,0' S$, Longitude $048^\circ 47,0' W$, tendo obtido $Mrg = 315^\circ$. Considerando a Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada na figura 35.16 e a tabela da figura 35.18, determinar o valor da marcação verdadeira, a ser traçada na Carta Náutica.

SOLUÇÃO:

a. Entrando na Curva de Desvios do Radiogoniômetro (figura 35.16), com $Mrg = 315^\circ$, obtém-se: $Drg = - 3^\circ$

b. Então:

$$\begin{array}{r} Mrg = 315^\circ \\ Drg = - 3^\circ \\ \hline Mrel = 312^\circ \end{array}$$

c.

$$\begin{array}{r} R = 030^\circ \\ Mrel = 312^\circ \\ \hline Mv (CM) = 342^\circ \end{array}$$

d. $j_e = 30^\circ 14,0'S$ $j_R = 31^\circ 46,0'S$ <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> S = 62° jm = $31^\circ S$	$l_e = 045^\circ 17,0'W$ $l_R = 048^\circ 47,0'W$ <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> Dl = $03^\circ 30,0'W$ Dl = $3,5^\circ W$
--	--

e. Entrando na tabela da figura 35.18 com $Dl = 3,5^\circ$ como argumento horizontal e $jm = 31^\circ$ como argumento vertical, obtém-se:

$$c = + 0,9^\circ @ + 1,0^\circ$$

f. O sinal da correção é positivo, pois trata-se do Hemisfério Sul, estando o navio a Leste da estação.

g. Assim:

$Mv (CM) = 342^\circ$
$c = + 1^\circ$
<hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> $Mv = 343^\circ$

2. Navegando no rumo verdadeiro $R = 190^\circ$, na posição estimada Latitude $16^\circ 02,0' S$, Longitude $036^\circ 42,0' W$, o navio marcou o Radiofarol Abrolhos (Latitude $17^\circ 58,0' S$, Longitude $038^\circ 42,0' W$) na $Mrg = 045^\circ$. Considerando a Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada na figura 35.16 e a tabela da figura 35.18, determinar o valor da marcação verdadeira, a ser traçada na Carta Náutica.

SOLUÇÃO:

a. Entrando na Curva de Desvios do Radiogoniômetro com $Mrg = 045^\circ$, obtém-se:

$$Drg @ + 3^\circ.$$

b. Então:

$Mrg = 045^\circ$
$Drg = + 3^\circ$
<hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> $Mrel = 048^\circ$

c.

$R = 190^\circ$
$Mrel = 048^\circ$
<hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> $Mv (CM) = 238^\circ$

d. $j_e = 16^\circ 02,0'S$ $j_R = 17^\circ 58,0'S$ <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> S = 34° jm = $17^\circ S$	$l_e = 036^\circ 42,0' W$ $l_R = 038^\circ 42,0' W$ <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> Dl = $02^\circ W$
--	---

e. Entrando na tabela da figura 35.18, obtém-se: $c = + 0,3^\circ @ 0^\circ$.

f.

$Mv (CM) = 238^\circ$
$c @ 0^\circ$
<hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/> $Mv = 238^\circ$

3. O Veleiro de Oceano “Orion” navega no $Rag = 080^\circ$. A Curva de Desvios da Agulha Magnética apresenta, para essa proa, um desvio igual a $Dag = 3^\circ E$ e, na região, o valor da $Dec mg = 21^\circ W$. Marca-se, então, um radiofarol na $Mrg = 110^\circ$. Determinar o valor da marcação verdadeira a ser traçada na Carta Náutica, sabendo que a Latitude média entre a posição estimada do VO e a estação é $32^\circ S$ e que a diferença de Longitude é de 6° , estando a embarcação a Oeste do radiofarol (usar a Curva de Desvios do Radiogoniômetro mostrada na figura 35.16 e a tabela da figura 35.18).

SOLUÇÃO:

a. Na curva de Desvios do Radiogoniômetro:

$$\text{Mrg} = 110^\circ \quad \text{Drg} = - 1^\circ$$

b. Então:

$$\begin{array}{r} \text{Mrg} = 110^\circ \\ \text{Drg} = - 1^\circ \\ \hline \text{Mrel} = 109^\circ \end{array}$$

c.

$$\begin{array}{r} \text{Rag} = 080^\circ \\ \text{Dag} = 03^\circ \text{ E} \\ \hline \text{R mg} = 083^\circ \\ \text{Dec mg} = 21^\circ \text{ W} \\ \hline \text{R} = 062^\circ \end{array}$$

d.

$$\begin{array}{r} \text{R} = 062^\circ \\ \text{Mrel} = 109^\circ \\ \hline \text{Mv (CM)} = 171^\circ \end{array}$$

e.

$$\begin{array}{r} \text{jm} = 32^\circ \text{ S} \\ \text{Dl} = 6^\circ \\ \text{c} = - 1,6^\circ @ - 2^\circ \text{ (tabela da figura 35.18)} \end{array}$$

f. O sinal da correção é negativo, pois, sendo o Hemisfério Sul, o veleiro está a W do radiofarol.

g.

$$\begin{array}{r} \text{Mv (CM)} = 171^\circ \\ \text{c} = - 2^\circ \\ \hline \text{Mv} = 169^\circ \end{array}$$

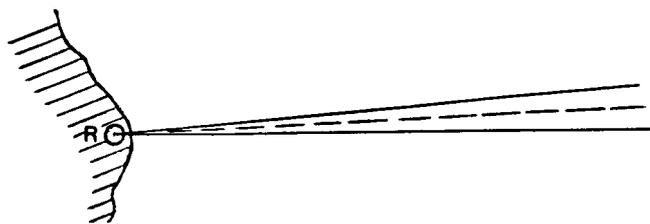
NOTA:

Para entrada na tabela da figura 35.18, que fornece o valor da correção (c), a ser aplicada à marcação-rádio, para convertê-la em marcação loxodrômica, a Latitude média entre a posição estimada do navio e o radiofarol deve ser arredondada ao grau inteiro e a diferença de Longitudes arredondada ao meio grau. Após obter o valor da correção (c), arredondá-lo para o grau inteiro mais próximo.

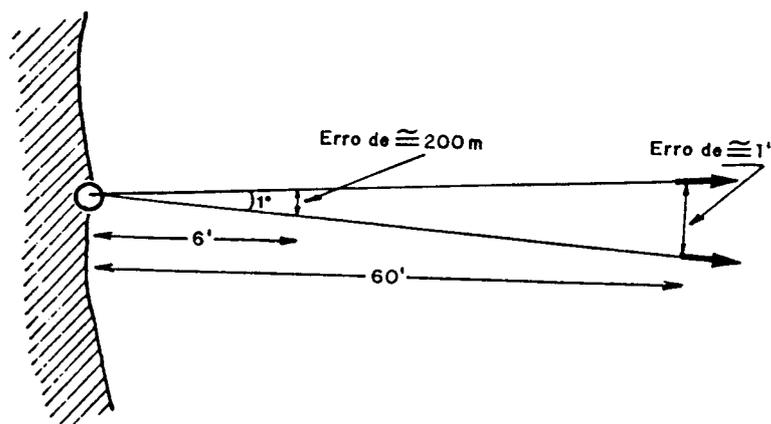
35.4 DETERMINAÇÃO E PRECISÃO DA POSIÇÃO RADIOGONIOMÉTRICA

Uma vez transformada em marcação de Mercator, a marcação radiogoniométrica deve ser traçada na carta, segundo uma loxodromia. Considerando, porém, que a utilização do radiogoniômetro está sujeita a todas as causas de erro citadas, deve-se traçar, partindo da estação transmissora, de um e outro lado da linha de marcação, retas que formam com ela um ângulo igual ao erro provável da linha de posição (figura 35.24).

O valor angular da faixa deverá ser decidido pelo navegante, mas pode-se afirmar que uma boa marcação radiogoniométrica terá um erro provável de 1° ou, no máximo, 2° . Se julgarmos, por exemplo, que o erro provável é de 1° e o valor da marcação for 265° , como na figura 35.24, traçaremos, também, a partir do radiofarol, as marcações de 264° e 266° e a faixa entre elas é que deve ser considerada.

Figura 35.24 - Erro Provável na Marcação Radiogoniométrica

Vemos, assim, que a precisão da linha de posição radiogoniométrica depende, também, da distância da estação ao navio. Se a distância navio-estação for de 6 milhas, um erro de 1° na marcação deslocará a posição do navio de cerca de 200 metros; se a distância for de 60 milhas, o deslocamento será de 1 milha (figura 35.25). Um erro de 1° na marcação causa um erro de aproximadamente 1,75 milha em cada 100 milhas de distância do transmissor. Por isso, qualquer marcação de um radiofarol feita a mais de 50 milhas deve ser tratada com cuidado.

Figura 35.25 - Influência da Distância no Erro da LDP

A reta de marcação radiogoniométrica pode ser combinada com linhas de posição determinadas por outros métodos, levando-se em conta, naturalmente, a precisão relativa de cada uma delas.

Pode-se, também, determinar a posição do navio pelo cruzamento de marcações radiogoniométricas de diversos radiofaróis ou, ainda, por duas marcações de uma mesma estação, conhecida a distância navegada entre elas.

No caso da marcação de dois radiofaróis (figura 35.26), considerando as faixas de erros prováveis ficará formado um quadrilátero e o navio deve ser posicionado no vértice que resulte mais perigoso ou desfavorável à navegação.

Quando forem marcadas três estações, quase sempre se formará um triângulo (figura 35.27). Quando o triângulo é pequeno, seu centro pode ser considerado como a posição do navio, sendo um ponto de razoável confiança (posição mais provável do navio). A figura 35.27 também indica, nas áreas tracejadas, outras posições prováveis.

A figura 35.28 ilustra o caso de se determinar a posição do navio por duas marcações sucessivas de um mesmo radiofarol, conhecida a distância navegada entre elas.

Na figura, supõe-se que um navio, navegando aos 220° verdadeiros, marcou a estação **T** aos 300° e, depois de percorrer a distância **d**, marcou-a novamente aos 330° . Traçadas as marcações radiogoniométricas, tal como já foi explicado, procura-se, com a distância **d** orientada segundo o rumo do navio, determinar os pontos A_1 e B_1 , A_2 e B_2 , A_3 e B_3 , e A_4 e B_4 . O quadrilátero tracejado contém a posição provável do navio por ocasião da segunda marcação. Na prática, entretanto, não se recomenda o uso de marcações radiogoniométricas sucessivas, pois a distância a ser navegada para se obter um ângulo de corte favorável é muito grande (visto que se supõe navegar bem ao largo), aumentando o erro na estima, o que, combinado com os erros prováveis nas marcações-rádio, redundaria em um ponto de exatidão muito pobre.

Figura 35.26 - Posição por Duas Marcações Radiogoniométricas (Quadrilátero de Incerteza)

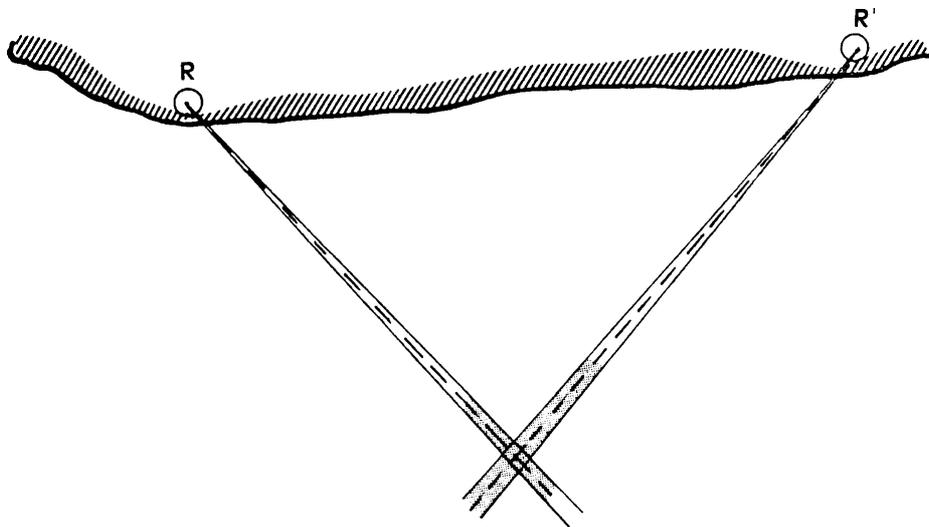


Figura 35.27 - Posição por Três Marcações Radiogoniométricas

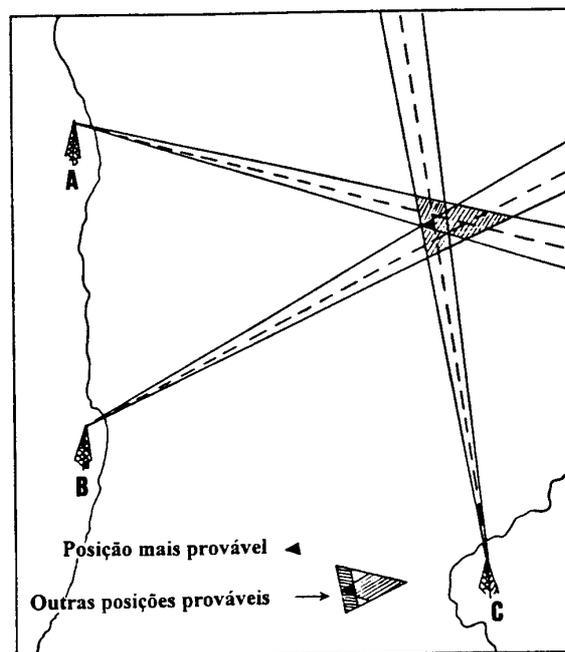
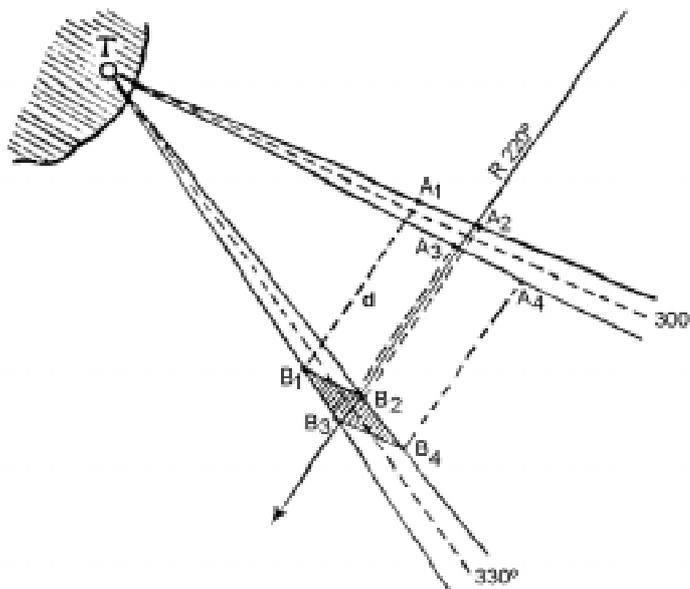


Figura 35.28 – Posição por Marcações Sucessivas



35.5 USO DO RADIOGONIÔMETRO NA ATERRAGEM (“HOMING”)

Uma das maiores utilidades do **radiogoniômetro** na navegação refere-se ao seu emprego na **aterragem (“homing”)**, técnica que consiste em manter a estação marcada diretamente pela proa. Nas aterragens, o navio marca o radiofarol e aproa ao mesmo. Então, as ondas de rádio passam a ser recebidas diretamente pela proa (marcação relativa igual a zero). Mantendo sempre esta marcação relativa, o navio aterrará no ponto desejado, mesmo não tendo sua posição perfeitamente conhecida.

A técnica de **“homing”** deve ser aplicada com precaução, pois, não havendo qualquer informação de distância ao ponto de aterragem, dele poderemos nos aproximar de forma súbita e perigosa.

A técnica de **“homing”** é, também, muito importante em operações de busca e salvamento – SAR (“search and rescue”). Se a embarcação sinistrada dispuser de um transmissor, navios ou aeronaves de busca e salvamento, equipados com radiogoniômetro, poderão rumar para o local do incidente utilizando esta técnica.

35.6 RADIOFARÓIS E ESTAÇÕES RADIOGONIOMÉTRICAS

a. RADIOFARÓIS

Radiofaróis são estações transmissoras de sinais-rádio especiais, cujas emissões se destinam a permitir a obtenção de sua direção (marcação) a bordo de uma estação móvel (navio, embarcação ou aeronave) equipada com radiogoniômetro.

Os **radiofaróis** são classificados em três tipos:

– **radiofaróis direcionais**, que transmitem sinais-rádio dentro de um setor, normalmente entre 15° e 30° , destinados a fornecer um rumo de governo definido. O navegante, conhecendo o setor dentro do qual são irradiados os sinais, tem a certeza de estar rumando para o radiofarol, desde que se mantenha na faixa de recepção do sinal. Os radiofaróis deste tipo são usados principalmente na **navegação aérea** e não existem no Brasil destinados à **navegação marítima**;

– **radiofaróis rotativos**, que transmitem um feixe direcional de onda-rádio, com movimento rotativo uniforme, de maneira semelhante ao feixe luminoso emitido por certos faróis. Pode-se considerar o radiofarol como tendo uma linha de intensidade mínima, girando com velocidade uniforme, de 000° a 360° , no tempo dado pelas características da estação, de maneira que, no início de cada período, esta linha esteja dirigida para o Norte verdadeiro. A marcação do sinal é determinada por meio de um receptor comum e um cronógrafo. Desde que o navegante possa marcar o tempo decorrido entre a passagem da linha de intensidade mínima pelo meridiano e o instante em que, com um receptor comum, ouvir o som com a menor intensidade, fica em condições de obter a marcação (a determinação do instante em que a linha de intensidade mínima passa pelo meridiano é feita com o conhecimento das características do radiofarol rotativo que estiver sendo marcado). Os radiofaróis deste tipo não existem no Brasil, para a **navegação marítima**; e

– **radiofaróis circulares**, que transmitem sinais-rádio com a mesma intensidade, em todas as direções, permitindo aos navios obterem suas marcações por meio do radiogoniômetro. Este é o tipo mais comum de radiofarol e a ele pertencem todos os **radiofaróis** destinados à **navegação marítima** instalados no Brasil.

Os **radiofaróis para a navegação marítima** operam na faixa de frequências de 283,5 kHz a 330 kHz. A União Internacional de Telecomunicações (UIT) destina esta faixa, com exclusividade, para os **radiofaróis marítimos**, a fim de evitar interferências de outras emissões.

Os radiofaróis para navegação marítima instalados no Brasil estão sob a responsabilidade e fiscalização da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), sendo relacionados na publicação DH8 – Lista de Auxílios-Rádio (Capítulo 2), que apresenta as seguintes informações sobre cada estação:

- identificação do radiofarol (número de referência e nome);
- posição (Latitude e Longitude);
- frequência do sinal transmitido;
- tipo de emissão;
- potência;
- alcance em milhas náuticas;
- características do sinal; e
- estação GPS diferencial (DGPS), quando houver.

EXEMPLO:

2480. São Tomé (SK)
 Latitude $22^\circ 02,52' S$, Longitude $041^\circ 03,22' W$
 Frequência: 300 kHz. Emissão: A2A. Potência: 0,2 kw.
 Alcance: 300 M.
 Características do sinal: SK (... –.), com intervalo de 7,5 segundos.
 Equipado com DGPS.

Todos os radiofaróis para a navegação marítima localizados na costa do Brasil são radiofaróis circulares e têm horário de funcionamento contínuo.

Além disso, a Lista de Auxílios-Rádio também informa as características dos seguintes tipos de estação:

- Radiofaróis para a navegação aérea no Brasil, localizados próximo à costa;
- Radiofaróis para a navegação marítima e aérea localizados em países da América Latina e Caribe, em áreas abrangidas pelas Cartas Náuticas brasileiras; e
- Estações de radiodifusão comercial localizadas próximo do litoral, que, eventualmente, possam ser utilizadas para fins de radiogoniometria.

Os radiofaróis são representados nas cartas náuticas publicadas pela DHN, da seguinte maneira:

- cartas com escalas entre 1:50.000 e 1:150.000, pelo símbolo de radiofarol constante na publicação nº 12000 (Int. 1) da DHN, com informações adicionais de frequência, prefixo (em letras e código Morse), horário de funcionamento e estação GPS diferencial (quando houver); e
- cartas em outras escalas, apenas pelo símbolo e abreviatura de radiofarol circular (RC).

b. PRECAUÇÕES QUANTO AO USO DE RADIOFARÓIS AERONÁUTICOS E ESTAÇÕES COMERCIAIS DE “BROADCAST”

Conforme visto, além dos radiofaróis estritamente destinados à navegação marítima, o navegante também pode utilizar para radiogoniometria os radiofaróis aeronáuticos (AERO RC) e, eventualmente, as estações de radiodifusão comercial localizadas próximo do litoral.

O radiofarol aeronáutico é estabelecido para ser usado por aeronaves. Somente os selecionados como de uso provável na navegação marítima estão relacionados na Lista de Auxílios-Rádio e representados nas cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). É muito importante ter em mente os seguintes fatos, quando se utilizam radiofaróis aeronáuticos:

- a inclusão de um radiofarol aeronáutico na Lista de Auxílios-Rádio e na carta não significa que ele foi considerado confiável para a navegação marítima;
- não é possível prever a extensão em que o efeito terrestre pode ocasionar marcações duvidosas, em virtude da refração; e
- embora todo o esforço seja feito para publicar as modificações quando elas ocorrerem, as informações concernentes a alterações, mudanças de posição ou cancelamento de radiofaróis aeronáuticos podem não chegar à DHN para serem divulgadas por Avisos aos Navegantes.

Marcações radiogoniométricas de estações comerciais de “broadcast” só devem ser tomadas na falta de alternativas. Como vimos, a Lista de Auxílios-Rádio fornece, para as estações radiodifusoras comerciais próximas à costa, a posição geográfica da antena de transmissão, a frequência e a potência da emissão. Antes de traçar a marcação, a posição da antena deve ser plotada na carta. Devem ser evitadas marcações de estações de “broadcast” cujas antenas de transmissão fiquem muito interiorizadas.

c. ESTAÇÕES RADIOGONIOMÉTRICAS

São estações instaladas em terra, equipadas com radiogoniômetro, que marcam o navio, a pedido dele, e retransmitem para bordo o valor da marcação. As estações radiogoniométricas determinam e informam a direção de que recebem sinais radiotelegráficos transmitidos por outra estação (navio ou embarcação). As direções informadas já são, normalmente, corrigidas dos desvios da onda de rádio, exceto da diferença entre a linha de círculo máximo e a loxodrômica, e têm erro menor que 2°, para distâncias até 50 milhas. O navio que desejar sua marcação tomada por uma estação radiogoniométrica deve proceder da seguinte forma:

- chamar a estação na sua frequência de escuta e transmitir o sinal QTE ou QTF;
- aguardar o “pronto” da estação, que será dado com o indicativo desta, seguido da letra “K”;
- fazer a transmissão do seu indicativo de chamada, na frequência de marcação que a “Lista de Estações de Radiodeterminação e Serviços Especiais” deve informar, durante um tempo suficientemente longo (em geral, um minuto); a transmissão do indicativo pode ser combinada com algum sinal previamente estabelecido (abreviatura QTG);
- receber da estação o valor da marcação. Se a estação radiogoniométrica tiver conseguido efetuar a marcação, transmitirá a abreviatura QTE, precedida da hora da observação e seguida de um grupo de três algarismos (000 a 359), indicando, em graus, a marcação verdadeira do navio. Em caso contrário, pedirá ao navio que continue transmitindo seu indicativo de chamada;
- repetir, para a estação, a marcação que ela lhe transmitiu e aguardar a confirmação ou retificação; e
- havendo confirmação, esta será dada pelo sinal “fim de trabalho” (.. – . –), que deve ser repetido pelo navio.

No Brasil, não há estações radiogoniométricas abertas ao público.

35.7 CALIBRAGEM DO RADIOGONIÔMETRO

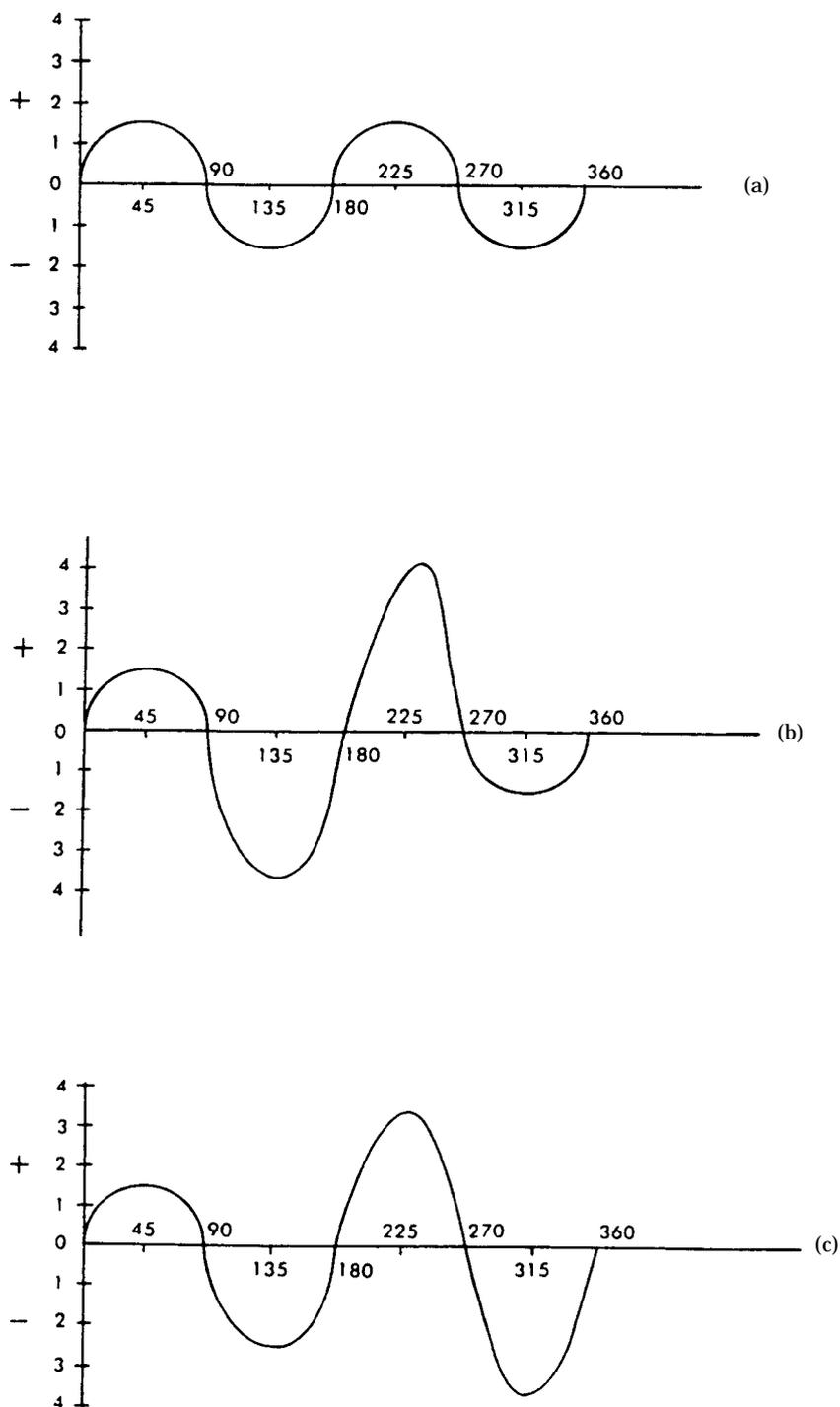
a. CURVAS DE DESVIOS

Os desvios do radiogoniômetro são quadrantis, com valores máximos nas marcações relativas próximas aos 045°, 135°, 225° e 315° e com valores nulos nas marcações relativas próximas a 000°, 090°, 180° e 270°. No primeiro e terceiro quadrantes, os desvios devem ser positivos; no segundo e quarto quadrantes, devem ser negativos. A calibragem do radiogoniômetro deve ser repetida sempre que os desvios difiram desta lei geral.

A regularidade da curva de desvios depende da instalação do radiogoniômetro e da distribuição das massas metálicas a bordo. A figura 35.29a mostra uma curva de desvios perfeitamente regular; este é o caso de um radiogoniômetro instalado no plano longitudinal e no centro do navio, com as massas metálicas simetricamente distribuídas. A figura 35.29b corresponde a um radiogoniômetro instalado no plano longitudinal, mas fora do

eixo transversal do navio; este é o caso mais comum. A figura 35.29c refere-se a um radiogoniômetro instalado fora dos eixos longitudinal e transversal do navio, e com as massas metálicas distribuídas assimetricamente em relação à antena.

Figura 35.29 - Curvas de Desvios



Como norma geral, os radiogoniômetros de bordo devem ser calibrados anualmente ou de acordo com o grau de confiança inspirado ao navegante pelas observações da curva de desvios em uso.

b. OPERAÇÃO DE CALIBRAGEM

Existem dois métodos para efetuar a calibragem do radiogoniômetro: utilizar uma estação fixa e girar o navio, ou fundear o navio e utilizar uma embarcação-alvo provida de um transmissor.

O primeiro método é o normalmente utilizado e consiste em executar um giro completo do navio, numa distância conveniente do radiofarol, tomando marcações visuais e rádio, de 15° em 15°. Na nossa costa, isso pode ser feito com vários radiofaróis, entre os quais citam-se o RF Rasa (RJ) e o RF Moela (Santos).

Para se determinar o desvio do radiogoniômetro, usa-se a fórmula:

$$\text{Drg} = \text{Mrel} - \text{Mrg}$$

Onde: Drg = desvio do radiogoniômetro;
 Mrel = marcação relativa (visual); e
 Mrg = marcação radiogoniométrica.

A marcação relativa (Mrel) é tomada visualmente, com a ajuda de um taxímetro ou de uma repetida da giro.

O navio deve efetuar o giro numa distância em que a antena da estação que transmite seja bem visível (os radiofaróis geralmente ficam próximos a faróis e deve-se ter em mente que a marcação é da antena, e não do farol). Essa distância deve ser calculada de maneira que o erro de paralaxe seja mínimo. Uma distância de 1 milha é suficiente quando a antena e o taxímetro estão bem próximos (ambos no tijupá); pode ser aumentada para 2 milhas quando utilizando uma repetidora da asa do passadiço; de qualquer maneira, isso dependerá das posições relativas da antena e do taxímetro que será usado.

Também deverá ser providenciado meio de comunicação entre o operador que fará as marcações visuais (no taxímetro ou repetidora) e o que fará as marcações radiogoniométricas.

A calibragem deve ser efetuada sempre que o aparelho for reparado, ou que for feita alguma alteração da massa metálica ou do campo eletromagnético em suas redondezas. Além disso, uma nova calibragem deve ser feita sempre que se apresentar um erro constante nas marcações radiogoniométricas.

Para a faixa de freqüências utilizadas pelos radiofaróis marítimos (283,5 a 330 kHz), basta uma única calibragem.

Também foi visto que o desvio do radiogoniômetro varia com a massa metálica do navio. Ora, essa massa metálica é função do calado. Portanto, no caso de navios mercantes, é necessário o levantamento de curvas de calibragem para vários calados (no mínimo três), sendo uma para condição de plena carga, outra para meia carga e outra para navegação em lastro. Isso é muito importante nos navios que têm grande variação de calado, como são os graneleiros, petroleiros, etc.

Os navios que carregam minério de ferro têm seu estado elétrico alterado em cada carregamento. Por isso, é muito provável que desvios diferentes dos constantes da curva de calibragem sejam observados após um novo carregamento de minério. Então, sempre que possível, o Comandante do navio deve efetuar uma calibragem do seu radiogoniômetro após cada carga e descarga do minério.

c. ROTINA PARA CALIBRAGEM

I. Estação fixa e navio em movimento:

1. Situar o navio numa posição distante da estação transmissora, na qual haja lazeira suficiente para a manobra e tal que a direção em que vai ser recebida a onda não esteja sujeita à refração terrestre. De preferência, deve o navio estar situado no setor de boas marcações da estação que vai transmitir;

2. certificar-se que o navio esteja em todas as suas condições de viagem, que todas as antenas existentes a bordo estejam nas condições normais de operação e que o radiogoniômetro esteja em boas condições de funcionamento;

3. testar as comunicações entre o passadiço e os operadores da repetidora (taxímetro) e do radiogoniômetro;

4. pedir à estação transmissora que transmita o sinal para calibragem;

5. efetuar com o navio, vagarosamente, um giro de 360°, fazendo, de 15° em 15°, de 0° a 360°, a marcação radiogoniométrica e, simultaneamente, a marcação visual da estação transmissora;

6. marcar, também, a estação transmissora aos 045°, 135°, 225° e 315° da proa, porque nestas marcações relativas o desvio tem o seu valor máximo;

7. calcular os desvios do radiogoniômetro pela fórmula:

$$\text{Drg} = \text{Mrel} - \text{Mrg}$$

na qual se considera **Mrel** a marcação relativa obtida por processos visuais, **Mrg** a marcação radiogoniométrica e **Drg** o desvio do radiogoniômetro;

8. reunir em uma tábua os desvios assim calculados, e, com eles, construir uma curva, utilizando, para as marcações intermediárias, um valor interpolado entre os dois mais próximos;

9. examinar a tábua e a curva obtidas, verificando as marcações em que ocorreram os valores máximos e nulos. O desvio é de natureza quadrantal, com máximos nas marcações próximas de 045°, 135°, 225° e 315° e com valores nulos nas marcações próximas de 000°, 090°, 180° e 270°; se forem encontrados valores que divirjam significativamente dessa lei de variação, a calibragem deve ser repetida. É de se notar, entretanto, que a curva pode apresentar formas menos regulares ou simétricas, se a massa metálica não estiver igualmente distribuída em relação ao radiogoniômetro; e

10. comunicar à estação transmissora o fim do serviço.

NOTAS:

1. Certificar-se que, durante a calibragem, as marcações visuais sejam realmente tomadas para a **antena de transmissão** do radiofarol (em geral, existe nas proximidades do radiofarol a estrutura de um farol, muito mais conspícua que a antena de transmissão, podendo confundir a tomada de marcações); e

2. é comum começar o giro aproando ao transmissor, pois ter-se-á, inicialmente, a marcação relativa 000°. Executa-se, então, o giro por bombordo, com as marcações relativas aumentando (015°, 030°, 045°, etc.).

II. Estação móvel e navio fundeado:

1. Generalidades: a calibragem é feita com o navio fundeado, enquanto uma embarcação especial, provida de um alvo-transmissor, circula em torno dele. O navio cujo aparelho vai ser calibrado fundeará de tal maneira que a embarcação possa circulá-lo num raio de 1.000 metros. Deve ser escolhido um local distante, no mínimo, de duas milhas da terra mais próxima e afastado de canalizações submarinas. Marcações visuais e rádio são tomadas simultaneamente do navio e anotadas pela equipe de calibragem; e

2. requisitos: pessoal treinado e suficiente para guarnecer o taxímetro ou repetidora, o radiogoniômetro, o transmissor do alvo e para as comunicações entre o alvo e o navio. A embarcação-alvo deve estar equipada de maneira a poder transmitir, em onda contínua, sinais entre 250 e 1.500 kHz, 100% polarizados verticalmente, com uma saída de, no mínimo, 50 watts. O radiogoniômetro em questão deve estar funcionando perfeitamente e compensado com antecedência. Deverá ser mantida comunicação permanente entre o navio e a embarcação-alvo e entre o observador do taxímetro (ou repetidora), o operador do radiogoniômetro e outros membros da equipe de calibragem. Além disso, todas as antenas do navio devem estar em condições normais de funcionamento no mar.

Depois que todas as verificações e ajustagens preliminares tiverem sido executadas e a equipe de calibragem escolhida e treinada, o navio segue para o local escolhido e fundeia. A embarcação-alvo, então, começa a circular, num raio nunca menor que 1.000 metros e numa velocidade tal que complete uma volta em 20 a 30 minutos. O operador da repetidora, ou taxímetro, deverá marcar o alvo ao cruzar a proa e depois nos múltiplos de 15°. Quando o alvo cruzar o retículo, o operador da repetidora, ou taxímetro, diz “**top**” pelo sistema de comunicações. Este é ouvido pelo operador do radiogoniômetro, que, imediatamente, faz as leituras da marcação. O operador da repetidora, então, desloca a alidade adiante de mais 15° e fica pronto a dizer “**top**”, quando o alvo cruzar novamente o retículo.

35.8 RADIOGONIOMETRIA EM VHF

Recentemente, em função da grande utilização da faixa de VHF nas comunicações marítimas, foram desenvolvidos equipamentos de radiogoniometria em VHF. Tais radiogoniômetros determinam, automaticamente, marcações de transmissões em VHF. Embora não tenham sido, ainda, construídos radiofaróis marítimos em VHF, tais equipamentos têm valor para a navegação, pois podem determinar marcações de estações terrestres de VHF, ou de outras embarcações transmitindo em VHF. São particularmente úteis para “**homing**” (aterragem) sobre uma estação de terra ou outra embarcação.

O aparelho de radiogoniometria em VHF, cuja antena é mostrada na figura 35.30, pode ser conectado a um receptor VHF ou pode ser embutido no próprio equipamento VHF. Uma vez que o canal desejado tiver sido selecionado, o resto da operação é automática, sendo a marcação da frequência de transmissão indicada em um mostrador, imediatamente.

35.9 RECOMENDAÇÕES FINAIS PARA O USO DO RADIOGONIÔMETRO

Resumindo o que foi exposto, recomenda-se aos navegantes que, ao determinarem marcações radiogoniométricas para fins de navegação, observem as seguintes instruções:

1. Ter o radiogoniômetro compensado e calibrado;
2. escolher estações que não estejam a distâncias muito grandes do navio (que estejam a menos de 30 milhas, durante a noite, e 200 milhas, durante o dia);
3. utilizar de preferência os radiofaróis marítimos, lembrando-se que, embora as estações costeiras possam servir para o mesmo fim, não se destinam especialmente à radiogoniometria e, como tal, suas características nem sempre são próprias a uma boa operação;
4. não utilizar estações cuja onda esteja sujeita à refração terrestre;
5. lembrar-se de que as marcações feitas durante a noite e, principalmente, por ocasião dos crepúsculos, matutino e vespertino, estão sujeitas ao efeito noturno. Por isso, tais marcações nunca devem ser feitas uma só vez; deve o navegante efetuar uma série de marcações num curto período e tomar a média dos resultados obtidos;
6. certificar-se de que todas as antenas a bordo, e bem assim todas as partes metálicas móveis da superestrutura, estejam nas mesmas condições em que se achavam quando foi efetuada a calibragem; e
7. ter em mente que a curva de desvios só deve ser empregada para uma faixa de frequências que difiram, no máximo, de 200 kHz em relação à frequência para a qual foi feita a calibragem do radiogoniômetro.

Figura 35.30 – Radiogoniômetro em VHF

