

O Sextante de Horizonte Artificial de Gago Coutinho: A génese Marítima da Navegação Aérea*

Artificial Horizon Sextant from Gago Coutinho: Maritime origins from Air Navigation

António Costa Canas

Escola Naval e CINAV, Centro de História da Universidade de Lisboa. Doutor em História dos Descobrimentos e da Expansão Portuguesa pela Universidade de Lisboa. Mestre em História dos Descobrimentos e da Expansão Portuguesa e licenciado em História pela Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Licenciado em Ciências Militares Navais – Marinha, pela Escola Naval.

Magda Ramires Marabujo

Escola Naval. Mestre em Ciências Militares Navais, especialidade de Marinha.

Teresa Sousa

Escola Naval e CINAV, Centro de Matemática e Aplicações (CMA), FCT, UNL. Doutora e Mestre em Algoritmos, Combinatória e Optimização pela Carnegie Mellon University, Mestre em Matemática Aplicada pelo Instituto Superior Técnico, e licenciada em Matemática pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

RESUMO

Em 1922 foi realizada, por Gago Coutinho e Sacadura Cabral, a primeira travessia aérea do Atlântico Sul. O sucesso da viagem deveu-se ao facto de terem sido usados, pela primeira vez, métodos astronómicos de navegação, adaptados da navegação marítima. Para a sua aplicação, tornava-se necessário medir alturas de astros, de modo a estimar, com rigor, a posição da aeronave. O sextante usado na navegação marítima nem sempre podia ser usado na navegação aérea, dada a dificuldade em observar a linha do horizonte a altitudes elevadas. Para colmatar esta dificuldade, Gago Coutinho desenvolveu um sextante de horizonte artificial o qual lhe permitia observar a altura de um astro em situações em que o horizonte de mar não era visível, por exemplo, em caso de má visibilidade ou de altitude elevada da aeronave. Este artigo tem por objetivo apresentar o sextante desenvolvido por Gago Coutinho.

PALAVRAS-CHAVE: Gago Coutinho; Navegação Aérea; Sextante

ABSTRACT

In 1922 Gago Coutinho and Sacadura Cabral completed the first South Atlantic Aerial Crossing. In this crossing several methods of astronomical maritime navigation were used with adaptations to aerial navigation. To apply these methods, it was necessary to measure the altitude of a star in order to estimate the position of the aircraft accurately. The sextant used in maritime navigation could not always be used in aerial navigation, given the difficult to observe the sea horizon at high altitudes. To overcome this difficulty Gago Coutinho developed an Artificial Horizon Sextant that could be used to measure the altitude of a star when the sea horizon was is visible. In this paper we will study Coutinho's sextant.

KEYWORDS: Aerial Navigation; Gago Coutinho; Sextant

*Artigo recebido em de 13 de outubro de 2019 e aprovado para publicação em 1 de novembro de 2019. Navigator: subsídios para a história marítima do Brasil. Rio de Janeiro, V. 15, nº 30, p. 141-147 – 2019.

INTRODUÇÃO

Em 1922, Gago Coutinho e Sacadura Cabral completaram a primeira travessia aérea do Atlântico Sul, desde Lisboa até ao Rio de Janeiro. O sucesso da travessia deveu-se ao facto de terem sido usados métodos astronómicos de navegação adaptados da navegação marítima.

A travessia aérea Lisboa-Rio foi caracterizada pela necessidade de viajarmos entre pontos que não se avistavam uns dos outros, pontos separados por largos troços de mar, entre os quais não havia referências para nos dirigirmos, como seriam ilhas ou navios de apôio.

Para satisfazermos esta necessidade servimo-nos de recursos simples que não inventámos, mas apenas adaptámos da navegação marítima [...] (COUTINHO, 1923, p. 1).

Gago Coutinho desenvolveu métodos de cálculo simplificados que permitiam ao navegador realizar “no ar a navegação astronómica a sextante com uma precisão e comodidade comparáveis às dos navios, e ao mesmo tempo com a rapidez que exige a grande velocidade de um avião” (ANÓNIMO, 1922, p. 302). Além dos métodos de navegação astronómica desenvolvidos foram também concebidos e desenvolvidos dois instrumentos inovadores, o Corretor de Rumos e o Sextante de Horizonte Artificial.

A determinação do efeito do vento, conhecido como deriva, era fundamental para melhorar o rigor da posição estimada. Para resolver este problema, Gago Coutinho e Sacadura Cabral conceberam um instrumento, o Corretor de Rumos, que permitia calcular, de uma forma expedita, a deriva provocada pelo vento. Além disso, o Corretor de Rumos servia igualmente para determinar a direção para a qual deveria apontar a aeronave, de modo a seguir na direção desejada. Para um estudo detalhado

sobre a construção e utilização do Corretor de Rumos (CABRAL e COUTINHO, 1922; CANAS, MARABUJO e SOUSA, 2019a).

O sextante é um instrumento utilizado para medir a distância angular entre dois objetos, por exemplo entre um astro e a linha do horizonte, como acontece na navegação marítima. O sextante usado na navegação marítima nem sempre pode ser usado na navegação aérea, dada a dificuldade em observar a linha do horizonte a altitudes elevadas. “O instrumento a empregar na navegação aérea deve pois ser um sextante que permita observar indiferentemente em horizonte de mar ou horizonte artificial” (COUTINHO, 1923, p. 4).

Gago Coutinho desenvolveu o sextante de horizonte artificial permitindo-lhe deste modo observar a altura de um astro nas situações em que o horizonte de mar não era visível, por exemplo em caso de má visibilidade ou de altitude elevada da aeronave. Um estudo detalhado sobre o sextante de horizonte artificial será apresentado na secção seguinte.

SEXTANTE DE HORIZONTE ARTIFICIAL

Na navegação marítima, o sextante é um instrumento usado para medir a distância angular entre um astro e a linha do horizonte. No entanto, conforme Gago Coutinho explica:

É um facto observado que, acima de mil pés de altitude, ou cerca de 300 metros, a linha de horizonte do mar se torna, em geral, insuficientemente definida, quando não inútil para se lhe poderem referir alturas de astros, como se faz com o sextante usual a bordo dos navios (COUTINHO, 1920, p. 278).

Para colmatar esta dificuldade, Gago Coutinho desenvolveu um sextante de horizonte artificial, que foi reconhecido internacionalmente, e que permitia observar a altura de um astro em situações em que o horizonte de mar não era visível.

Nesta secção iremos apresentar o sextante de horizonte artificial desenvolvido por Gago Coutinho bem como os estudos e experiências por ele realizados.

A experiência tem provado que é possível construir instrumentos de utilidade real para as observações astronómicas em horizonte artificial a bordo do avião. Ha instrumentos franceses, baseados no giroscópio; alemães, no pêndulo; ingleses e americanos, no nível de bolha de ar etc (CABRAL e COUTINHO, 1922, p. 312).

É de realçar que a ideia de combinar com o sextante o nível de bolha, por forma a criar um horizonte simulado, já tinha sido aplicada, mesmo para uso na navegação marítima, já que muitas vezes o horizonte do mar se encontrava encoberto. No tempo da Grande Guerra, 1914-1918, já se realizavam alguns testes à aplicabilidade do sextante de bolha em dirigíveis e aeroplanos, contudo a sua precisão estava muito longe da necessária à navegação aérea. Gago Coutinho realizou, igualmente, alguns estudos neste âmbito e, apesar de não ter sido o inventor do sextante de nível de bolha, foi ele que introduziu neste instrumento alterações que permitiram que a sua precisão fosse muito superior à dos sextantes de horizonte artificial já existentes.

Antes das nossas viagens de experiência sobre o Tejo e Lisboa, e desde Junho de 1919, ocupou-se o Comandante Gago Coutinho em estudar e aperfeiçoar um sextante, com uma disposição especial de um nível de bolha de ar, o qual, em princípio, consiste em um *sextante*, como os sextantes usuais de bordo, ao qual, sem prejudicar o seu emprego como sextante usual para observação em horizonte de mar, se adaptou um pequeno nível de bolha de ar [...] (CABRAL e COUTINHO, 1922, p. 312).

Com o passar do tempo, Gago Coutinho apercebeu-se que os resultados ob-

tidos com a introdução do nível de bolha de ar eram suficientes para os seus objetivos, todavia este método não se revelou o mais adequado, pelo que recorreu à utilização de um princípio que considerava muito mais simples e que consistia na colocação de um espelho adicional na retaguarda do espelho horizontal¹ do sextante, para que a imagem do nível de bolha pudesse ser visualizada pelo observador.

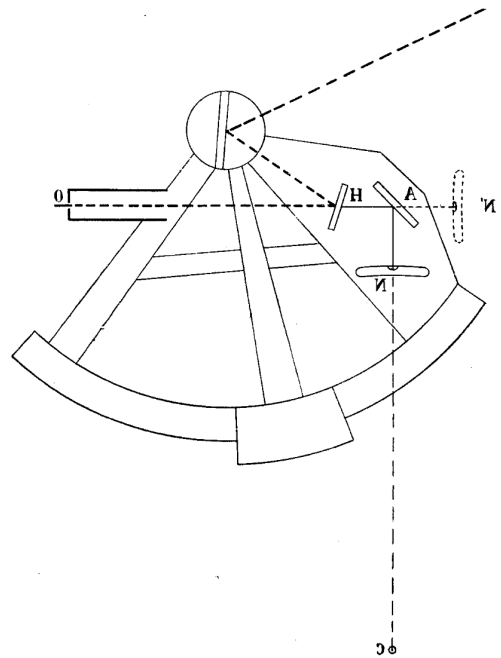


Figura 1 - Esquema do sextante de horizonte artificial (Fonte: CABRAL e COUTINHO, 1922)

O sextante de Gago Coutinho é constituído por três espelhos diferentes, (ver Figura 1): o espelho grande, que redireciona as imagens dos astros a observar, o espelho auxiliar, ^A, colocado a 45° sobre a linha do horizonte, que reflete a imagem da bolha do nível e o espelho horizontal, ^H. Por sua vez este é também composto por três partes: uma parte limpa que permite a observação do horizonte de mar, quando o houver, como no sextante normal, um espelho ao centro que recebe a imagem refletida do astro e, do lado direito, existe uma fenda transparente, em forma de T invertido, pela qual é observada a imagem

da bolha de ar. Tal como num sextante comum, o é o furo da pínula através do qual se observa o astro refletido no espelho horizontal H e N é a bolha de nível que vai ser refletida pelo espelho auxiliar A , dando origem ao nosso horizonte artificial. O raio de curvatura de NC é igual à distância ON' , por construção, para que as “oscilações do instrumento no plano longitudinal e que continha a bolha, não originasse que a imagem do astro se afastasse da bolha, mas sim acompanhasse os seus movimentos” (PEREIRA, 2015, p. 274).

Para comprovar a utilidade e precisão do instrumento, era necessário realizar testes em ambientes com condições semelhantes àquelas em que iria ser utilizado na realidade. Para isso, era então imprescindível a fase de experiências. Inicialmente, Gago Coutinho começou por realizar experiências em terra e em navios e só mais tarde, em 1920, para complementar essas experiências preliminares é que iniciou os testes em aviões e hidroaviões.

Experiências reiteradas, feitas durante bastantes horas de vôo sobre pontos de posição geográfica conhecida, confirmaram que este sextante, em condições favoráveis, como são as que se encontram na atmosfera menos agitada do alto mar, e com um observador treinado, permite observações astronómicas cujo erro provável, por altura isolada, anda por $\pm 10''$ sendo, portanto o erro provável de uma média de 7 alturas pouco superior a $\pm 3''$, número êste plenamente suficiente para as necessidades da navegação aérea.” (CABRAL e COUTINHO, 1922, pp. 313-314).

Na Figura 2 apresentam-se alguns resultados obtidos por Gago Coutinho em voos sobre Lisboa e o mar.

Em terra, algumas observações feitas para avaliar da potência do instrumento, sem introduzir

os erros devidos à vertical dinâmica, revelaram, por altura isolada um erro provável de $\pm 3''$, e isto, tanto de dia como de noite, com as estrelas de primeira grandeza, para o que a bôlha do nível era iluminada por uma microlampada. (CABRAL e COUTINHO, 1922, p. 314).

Quadro a que se refere a página 314

SEXTANTE COM HORIZONTE ARTIFICIAL

Comparação das alturas observadas, voando sobre Lisboa, com as alturas reais calculadas.

Diferenças referidas a grupos do número de alturas indicadas.

Em 29 de Janeiro de 1921 — Aeroplano *Bréguet* — Piloto Beires:

11 alturas.....	+ 7'
12 »	- 1'
10 »	0
7 »	+ 3'
7 »	+ 4'
7 »	+ 8'
6 »	+ 3'
10 »	- 8'
9 »	+ 9'
9 »	+ 3'

Em 12 de Março de 1921 — Aeroplano *Bréguet*—Piloto Beires:

10 alturas.....	- 22'
11 »	+ 6'
10 »	- 18'
8 »	- 5'
7 »	+ 1'
11 »	0
7 »	- 12'
7 »	+ 4'

Em 20 de Março de 1921 — Hidro-avião *F 401*—Piloto Sacadura:

8 alturas.....	- 7'
3 »	+ 12'
9 »	+ 8'
8 »	+ 10'
8 »	- 10'
7 »	+ 9'
6 »	+ 1'
8 »	- 16'
5 »	+ 8'

Figura 2 - Quadro comparativo das alturas observadas com as alturas reais (Fonte: CABRAL e COUTINHO, 1922)

O sextante de horizonte artificial foi idealizado e concebido para desempenhar funções de dia em condições adversas, isto é, quando o horizonte não é visível ou bem definido, e durante a noite.

Porém, ao longo dos estudos realizados, Gago Coutinho considera que o sextante de horizonte artificial só deveria ser usado em condições de extrema necessidade, devido aos diversos erros associados ao uso dessa adaptação em meio aéreo, apesar de ter sido desenvolvido e aperfei-

çoado de modo a que quando fosse usado, fosse o mais preciso possível: “O defeito comum dos instrumentos que empregam o horizonte artificial para medir alturas dos astros, de bordo do avião, está em que todos êstes se baseiam na vertical aparente” (CABRAL e COUTINHO, 1922, p. 311).

Essa vertical não é uma direção estática, isto é, quando o observador realiza as medições de alturas aos astros sob um corpo em rotação este fica sujeito ao efeito da força centrífuga, que provoca um afastamento dos corpos do centro de rotação. Neste caso, esta força é devida aos movimentos curvilíneos do avião que são provocados principalmente pela irregularidade do governo causada pela bússola que apresenta desvios com a variação do campo magnético e pela diferente força do vento sentida ao longo do percurso. Todos estes fatores em conjunto não permitem que a aeronave realize uma trajetória retilínea, ficando assim sob o efeito da força centrífuga que a afasta do eixo vertical real. Desta forma, o desvio entre a vertical aparente e o eixo do centro de rotação do corpo, que denotaremos por Δ , é dado pela fórmula

$$\tan \Delta = \sin a \times \left(\frac{V^2}{g \times r} \right)$$

onde a é o ângulo entre o rumo do corpo em movimento e o azimute do astro observado, V a velocidade do avião, r o raio do movimento instantâneo em torno de um eixo vertical e g a intensidade da aceleração da gravidade, ou seja, $g = 9,8m.s^{-2}$. Deste modo, temos

$$\Delta = \tan^{-1} \left(\sin a \times \left(\frac{V^2}{g \times r} \right) \right).$$

Significa isto que, quando o astro é observado pelo través do corpo em rotação, o ângulo formado entre o azimute medido e o rumo praticado será de 90° , ou seja, $a = 90^\circ$ e $\sin 90^\circ = 1$. Tendo em conta que g é uma constante invariável, para maximizar o desvio Δ o valor de r deverá ser o menor possí-

vel, “e admitindo que na prática êsses raios instantâneos de rotação podem descer até à milha marítima” (CABRAL e COUTINHO, 1922, pp. 311-312) Deste modo, o valor máximo do desvio Δ depende apenas da velocidade da aeronave, ou seja

$$\Delta = \tan^{-1} \left(\sin a \times \left(\frac{V^2}{g \times r} \right) \right) \approx \tan^{-1} \left(\frac{V^2}{g \times 1852} \right)$$

Tendo em conta a equação anterior, vejamos qual o valor máximo do desvio para velocidades diferentes.

Velocidade em nós	Valor máximo de Δ
10	5'
20	20'
30	45'
60	3°
70	4°

Tabela 1: Tabela de cálculo do valor máximo do desvio para diferentes velocidades

Como se pode verificar pelos resultados apresentados na Tabela 1, o valor do desvio para uma aeronave a 60 nós é de 3° , que para a prática da navegação astronómica é considerado um valor elevado.

Nenhuma perfeição de instrumento pode dominar esta causa de êrros enormes, porque o plano de referência fundamental para a medição das alturas dos astros, a bordo do avião, é independente da perfeição dos instrumentos empregados, embora se observe mesmo com um instrumento ideal, que meça alturas absolutamente certas (CABRAL e COUTINHO, 1922, p. 312).

Assim, para que as observações minimizem os erros cometidos, deve evitar-se ter o astro pelo través, já que esta é a situação mais desfavorável. Em alternativa, Gago Coutinho sugere efetuar um cuidadoso e preciso governo em direção ao astro a observar, isto é, aproar a ele, e, nesse rumo, realizar as medições necessárias: “A obser-

vação nestas condições será feita ao *critério do observador*, cuja prática lhe permitirá escolher o momento em que a vertical está sendo menos afetada pela força centrífuga” (CABRAL e COUTINHO, 1922, p. 312)

Após este estudo, Gago Coutinho apresenta as seguintes conclusões:

Qualquer que seja o instrumento para as observações astronómicas, o emprego do horizonte artificial está sujeito ao erro da vertical dinâmica, erro que não existe quando se observa em horizonte de mar. O instrumento a empregar na navegação aérea deve pois ser um sextante que permita observar indiferentemente em horizonte de mar ou horizonte artificial. [...]

O uso do horizonte artificial deve-se reservar unicamente para casos extremos [...] (COUTINHO, 1923, p. 4)

No entanto, para se observar o horizonte de mar bem definido, os voos terão que ser a altitudes mais baixas.

Mas a solução mais conveniente, quando se pretendam observações de mais confiança, será, baixar o aeroplano até se tornar suficiente nítida a linha do horizonte de mar (o que em geral se consegue a cem metros de altitude), e observar sobre ela, sujeitando-nos aos êrros, menos importantes, da depressão, por causa da incerteza da nossa altitude. Efectivamente, entre 90 metros e 120 metros de altitude, a depressão varia cerca de 3 minutos de arco, ou seja um minuto por cada dez metros de êrro da altura, acima do nível do mar, conforme ela nos é indicada pelo barómetro aneróide. Nas alturas proximas de 300 metros, em que algumas vezes a linha de horizonte de mar é aproveitavel, já o êrro da depressão por cada 30 metros de altitude, não chega a 2 minutos (CABRAL e COUTINHO, 1922, p. 314).

Como podemos constatar, Gago Coutinho prefere usar o horizonte de mar em vez do horizonte artificial. Contudo, esta escolha cria um novo problema, que era a necessidade de determinar a altitude de voo com algum rigor, o que não ocorria com o uso do horizonte artificial. Essa necessidade resulta do facto de que a linha do horizonte representa o chamado horizonte aparente e, portanto, a altura que se mede com o sextante é uma altura aparente. Para converter a altura aparente em altura verdadeira torna-se necessário aplicar algumas correções. De entre as várias correções que é necessário efetuar, iremos referir apenas a depressão, que é aquela que está diretamente relacionada com a altitude. Tendo em conta que a Terra tem uma forma aproximadamente esférica, a superfície do mar não define um plano horizontal, mas sim uma superfície curva. Por essa razão, a distância até à linha do horizonte depende da elevação do observador, ou seja, um observador numa posição mais elevada conseguirá ver objetos que estarão para além do horizonte de um outro observador que esteja numa posição menos elevada. De modo a que todos os observadores usem o mesmo referencial, é necessário aplicar uma correção que permita reduzir todas as alturas aparentes ao nível do mar. Essa correção é a depressão e surge geralmente tabelada, em função da elevação do observador: “O cálculo da posição por meio das observações dos astros, exige o conhecimento aproximado da nossa altitude [...]” (COUTINHO, 1923, p. 10).

Para resolver este problema Gago Coutinho desenvolve um algoritmo que lhe permite determinar a altitude durante o voo, de um modo rápido e expedito. Para um estudo detalhado deste algoritmo o leitor poderá consultar CANAS, MARABUJO e SOUSA (2019b).

CONCLUSÃO

Gago Coutinho e Sacadura Cabral realizaram a primeira travessia aérea do Atlântico Sul, em 1922, usando métodos astronómicos de navegação adaptados da navegação marítima. Para a sua aplicação tornava-se necessário medir alturas de astros de modo a estimar a posição da aeronave com rigor. O sextante usado na navegação marítima nem sempre podia ser usado, dada a dificuldade em observar a linha do horizonte a altitudes elevadas.

Ciente destas dificuldades Gago Coutinho desenvolveu um sextante de horizonte artificial que poderia ser usado nas situações em que o horizonte de mar não era visível, por exemplo, em situações de visibilidade reduzida ou de altitude elevada da aeronave e realiza testes em terra e em navios para testar o rigor e a eficácia da sua invenção.

Em 1920, para complementar os testes iniciais, são realizados testes a bordo de aeronaves.

Após a realização do período de testes, Gago Coutinho conclui que o sextante de horizonte artificial só deveria ser usado em situações de extrema necessidade, devido aos vários erros associados ao seu uso em meio aéreo, embora tivesse sido desenvolvido e aperfeiçoado de modo a que aquando da sua utilização fosse, o mais preciso possível.

De facto, durante a viagem realizada em 1922, entre Lisboa e o Rio de Janeiro, Gago Coutinho nunca recorreu ao horizonte artificial, pois sempre que era necessário realizar observações a solução passou por diminuir a altitude da aeronave, por forma a realizar as observações com horizonte de mar.

BIBLIOGRAFIA

ANÓNIMO. Prefácio ao artigo A Navegação Aérea. Como foi praticada na Travessia Lisboa-Rio de Janeiro pelos oficiais da Armada Portuguesa Almirante Gago Coutinho e Comandante Sacadura Cabral. *Anais do Clube Militar Naval*, 10-12, p.301-302. 1922

CANAS, António Costa, MARABUJO Magda e SOUSA, Teresa. O corretor de rumos de Gago Coutinho e Sacadura Cabral. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática*. 2019a. No prelo.

CANAS, António Costa, MARABUJO Magda e SOUSA, Teresa. Coutinho's method for the altitude. *Journal of Navigation*. 2019b. No prelo.

CABRAL, Sacadura e COUTINHO, Gago. A Navegação Aérea. Como foi praticada na Travessia Lisboa-Rio de Janeiro pelos oficiais da Armada Portuguesa Almirante Gago Coutinho e Comandante Sacadura Cabral. *Anais do Clube Militar Naval*. Lisboa, 10-12, p. 303-328, 1922.

COUTINHO, Gago, Algumas considerações sobre navegação aérea astronómica, *Anais do Clube Militar Naval*, Lisboa, 11-12, p. 277–290, 1920.

COUTINHO, Gago. Relatório técnico sobre a navegação. *Relatórios da 1ª Travessia Aérea do Atlântico Sul*. p.1-30, 1923.

PEREIRA, José Malhão. Os Céus de Gago Coutinho e Sacadura Cabral. *Memórias 2012, Academia de Marinha, Lisboa*, 42, p.263-321, 2015.

NOTAS

¹ A expressão espelho horizontal é usada por Gago Coutinho para designar o espelho pelo qual se observa diretamente o horizonte. Nos nossos dias é mais comum designar-se por espelho pequeno.