

Patrulha Aérea Anti-Submarino com Emprego de Aeronave de Asa Fixa: Uma Proposta de Tática Baseada em Simulação

Marco Antonio da Costa Vieira

CASNAV - Centro de Análises de Sistemas Navais - Rio de Janeiro/RJ, Brasil

Resumo - A patrulha aérea anti-submarino é de suma importância nas operações navais, tanto em ações defensivas como em ações ofensivas. Componente das ações de guerra anti-submarino (Guerra A/S), emprega aeronaves com o propósito de localizar, identificar, acompanhar e atacar possíveis submarinos hostis, a partir de um ponto inicial, denominado *datum*. Este trabalho formulará e apresentará os conceitos matemáticos de uma simulação, aplicada a uma patrulha aérea em espiral de Guerra A/S (espiral aritmética), a fim de definir o melhor espaçamento da espiral e maximizar a probabilidade de detecção e/ou acompanhamento de um possível submarino hostil, com o emprego de uma aeronave de asa fixa como ferramenta de apoio à decisão.

Palavras-Chave - Simulação, patrulha aérea anti-submarino, espiral aritmética.

I. INTRODUÇÃO

O Brasil possui cerca de 8.500 km de faixa litorânea e a área correspondente a “Amazônia Azul” está sendo pleiteada junto às Organizações das Nações Unidas (ONU). Caso o pleito seja atendido, essa nova faixa territorial representará um acréscimo de 963.000 Km² às águas jurisdicionais brasileiras, totalizando, aproximadamente, 4.500.000 Km². A área em questão corresponde a mais de 50% da extensão do território nacional [1].

Ser capaz de prover defesa a possíveis atos hostis dentro deste enorme “território” e suas riquezas abrange, entre outros aspectos, a capacidade de detectar, acompanhar e atacar possíveis submarinos hostis ao Estado Brasileiro, quer seja empregando meios navais e/ou aeronaves de asa fixa, como o P-95 ou o P3 da Força Aérea Brasileira (FAB) ou aeronaves orgânicas (embarcadas) em navios da Marinha do Brasil (MB), tais como as versões do SH-3/SeaKing ou do SH-70/SeaHawk, este último em processo de aquisição pela Marinha do Brasil.

Este trabalho pretende apresentar uma metodologia matemática e posterior simulação a fim de calcular a distância ótima de espaçamento para a espiral aritmética a fim de maximizar a probabilidade de detecção e/ou acompanhamento de um possível submarino hostil, a partir de um *datum*, com o emprego de uma aeronave de asa fixa: o P-95B “Bandeirulha” (EMB-111), da Força Aérea Brasileira, com o propósito de servir como um sistema de apoio à decisão na cena de ação. A seleção desta aeronave deu-se, principalmente, devido a sua

autonomia superior, em comparação com aeronaves orgânicas de meios navais.

II. METODOLOGIA

Cenário Tático-Operacional

Um submarino pode ser detectado por uma aeronave em patrulha aérea anti-submarino, entre outros, por meio de detecção visual, acústica ou eletrônica de sua estrutura ou partes de sua estrutura (periscópio, antenas e/ou “*esnorkel*”), propulsão, sensores e ruídos. Este ponto estimado inicial é conhecido como *datum*. Porém, o mais comum é que o submarino seja detectado por uma unidade naval na área de operações (navio ou submarino), que reportará o alarme e a posição deste contato (*datum*) a unidade responsável pela coordenação da guerra A/S. Para efeitos práticos, este trabalho considerou que o *datum* deste possível submarino hostil já é conhecido e que uma aeronave P-95B foi designada para novamente localizá-lo e acompanhá-lo, por meio de detecção visual, eletrônica ou acústica (campo de sonobóias) dos sensores, ruídos e/ou equipamentos de comunicação do submarino. Esta situação configura-se como o cenário tático-operacional deste estudo.

A aeronave ruma ao *datum* e inicia a busca pelo submarino com emprego de métodos táticos, dos quais aplicar-se-á a este estudo, a espiral de Guerra A/S ou espiral aritmética. Esta espiral define-se como o lugar geométrico de um ponto movendo-se a velocidade constante sobre uma reta que gira sobre um ponto de origem fixo, a velocidade angular constante. Em coordenadas polares, pode ser descrito pela equação (1),

$$r = a + b\theta$$

sendo *a* e *b* números reais. Também possui distância de separação constante, entre voltas sucessivas. Neste momento, supõe-se que o submarino esteja submerso e realizando manobras evasivas ou de ataque à força naval ou de patrulha. Para este trabalho, considerou-se que o submarino adota manobras táticas evasivas, com rumo base desconhecido.

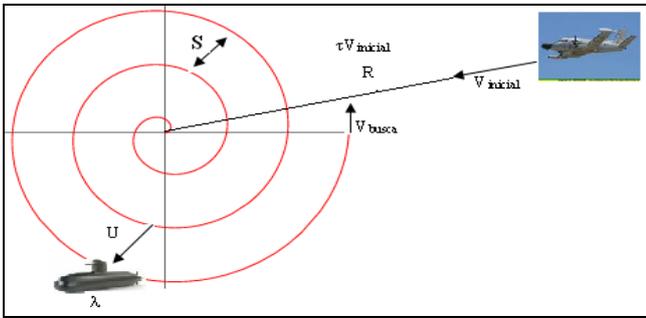


Fig. 1. Cenário Tático-Operacional de Guerra A/S (adaptado de [2])

Onde:

U: velocidade do submarino (nós)

V_{busca} : velocidade de patrulha da aeronave (nós)

R: distância em que a aeronave detecta o alvo (mn)

τ : tempo entre a detecção e a chegada ao *datum*, pela aeronave (hr)

λ : Distribuição de Poisson (taxa) de alteração de rumo do alvo (hr^{-1})

Aeronave em Patrulha x Linha do Tempo

Adotemos que o alvo (submarino) é detectado em $t = -\tau$.

Quando $t=0$ a aeronave em patrulha aérea anti-submarino chega ao *datum* e inicia a busca pelo alvo, com emprego de espiral de Guerra A/S, com espaçamento (S) e velocidade (V), constantes e empregando sensores de detecção com alcance (R). Por fim, a distância angular (θ), em radianos, é dada pela equação (2):

$$r(\theta) = \frac{\theta S}{2\pi}$$

Deslocamento do Alvo

Este trabalho assumiu que o deslocamento do alvo é realizado de forma aleatória, com rumo base desconhecido [2]. Entende-se como 1ª fase, o rumo inicial do alvo, adotado após o estabelecimento do *datum* pela unidade responsável pela detecção. Ressalta-se que, dado o caráter randômico do rumo base, o alvo, não necessariamente, está afastando-se da aeronave em patrulha aérea anti-submarino. Para tal, adotou-se como sendo constante e igual a 18 nós a velocidade do submarino e uma taxa de variação do rumo base dada por uma distribuição de Poisson (λ) = 0.25 hr^{-1} [3], condizente com a manobra randômica prevista. Isto significa que o alvo altera, em média, seu rumo 4 vezes/hora. Por fim, adotou-se que o erro do observador e/ou sensor é da ordem de 1 milha náutica, condizente com a realidade de uma detecção visual e/ou dos sensores empregados (Radar e MAGE), possuindo uma distribuição normal bivariada, com média (0,0) e variância (σ^2 , σ^2) [3], de acordo com a escala de detecção de um alvo pequeno a longa distância.

D) Aplicação do Teorema do Limite Central x Deslocamento Inicial

Este teorema estabelece que, toda soma de variáveis aleatórias independentes de média finita e variância limitada é aproximadamente Normal, desde que o número de termos da soma seja suficientemente grande [4]. No domínio do tempo, teremos que a posição do alvo será, aproximadamente, uma distribuição normal bivariada [4],[2] com média (0,0) e variâncias nos eixos x e y descritas pela expressão (3)

$$\begin{matrix} U^2 t \\ \lambda \end{matrix}$$

onde:

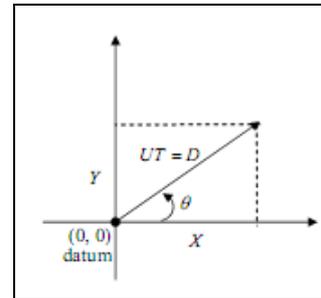


Fig 2. Geometria do Deslocamento [2]

U: Velocidade do alvo;

T: Tempo da 1ª fase de movimento (distribuição exponencial - média $1/\lambda$);

θ : Rumo do alvo, durante 1ª fase (distribuição uniforme de $[0 - 2\pi]$ radianos); e

D: distância da 1ª fase (distribuição exponencial - média U/λ).

Cálculo do Espaçamento de Busca

O trabalho de SON [2] apresenta a metodologia matemática e conclui, por aproximação geométrica, que há a possibilidade de três soluções para o cálculo do espaçamento da espiral aritmética, sendo a melhor solução a ser aplicada [2] a expressa pela equação (4):

$$S^* = \frac{4\pi U(U\tau - R)}{V}$$

III. RESULTADOS

A simulação foi realizada, primeiramente, empregando-se modelos construídos em planilhas de Microsoft Excel apresentados por SANCHEZ [5], baseados na metodologia NOLH (Nearly Orthogonal Latin Hypercube), onde foram montadas matrizes com as variáveis do problema (U, τ , V_{busca} , R e λ) – realizando um delineamento robusto (cross-design), com 85 pontos e os pontos fatoriais (variação) do parâmetro S. O número de pontos fatoriais para S foi de 181, variando de 0.25 mn, entre 0 e 45 mn, resultando em 15.385 pontos de iteração resultantes, descritos na Tabela I. Este método, de acordo com CIOPPA [6], apresenta precisão elevada, quando empregado em problemas dimensionais e experimentos

computacionais, com menor número de interações computacionais, resultando em menor tempo de execução. Estes resultados serviram de base e entrada de dados para o programa em JAVA desenvolvido por SON [2], a fim de obtermos o resultado buscado por este trabalho.

TABELA I – CÁLCULO MATRICIAL

	U	τ	V_b	R	λ	X		S
1	14.656	0.57	153.91	0.992	0.25		1	0
2	19.109	1.578	116.41	1.133	0.668		2	0.25
3	17.922	1.039	242.97	0.828	0.594		3	0.50
...
85	3.324	0.87	101.22	1.002	0.543		181	45

A simulação NOHL, programada em JAVA, resultou em 600 replicações para cada um dos 15.385 pontos gerados, demandando um tempo computacional de 17 horas e 43 minutos para obtenção dos resultados em um computador com processador Intel® Core™ i3.

Por fim, a tabela II apresenta um extrato dos valores obtidos para a probabilidade de detecção (P_d), para cada situação proposta na simulação ($S=0$; $S=0.25$; ... $S=45$).

TABELA II. PROBABILIDADE DE DETECÇÃO (P_d)

	U	τ	V_b	R	λ	S=0	S=0.25	...	S=45
1	14.656	0.57	153.91	0.992	0.25	0	0.054	...	0.08
2	19.109	1.578	116.41	1.133	0.668	0	0.061	...	0.078
3	17.922	1.039	242.97	0.828	0.594	0	0.089	...	0.038
4	16.546	1.321	222.87	0.933	0.398	0	0.091	...	0.156
...
84	3.333	0.889	145.65	1.128	0.677	0	0.113	...	0.055
85	3.324	0.87	101.22	1.002	0.543	0	0.422	...	0.22

A figura 3 apresenta a plotagem das probabilidades de detecção (P_d) X distância entre linhas da espiral (S).

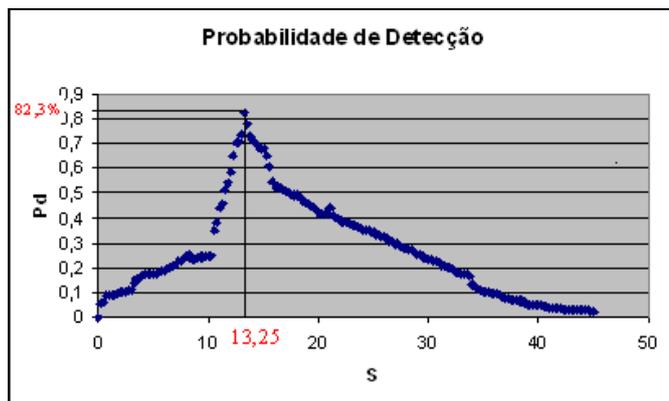


Fig. 3. Probabilidade de Detecção

IV. CONCLUSÕES E POSSIBILIDADES FUTURAS

As ações de patrulha aérea anti-submarino requerem precisão e eficácia. Obtivemos, para o modelo proposto, a maior probabilidade de detecção (P_d) de 82,3%, para um espaçamento de 13,25 milhas náuticas. Este resultado é perfeitamente viável do ponto de vista operacional, com emprego da aeronave abordada. É claro que a situação proposta neste estudo busca ser o mais fiel possível ao que se espera de uma situação real sem,

contudo, ter a pretensão de esgotar o assunto ou limitar a simulação realizada.

Outros questionamentos, para futuros estudos, se fazem presentes, tais como: efeito (variação) da velocidade do alvo nos resultados, influências ambientais (regime de correntes e ventos), bem como o comportamento do modelo em situações tático-operacionais com emprego de múltiplas aeronaves.

Por fim, esta metodologia poderia ser aplicada a condições de localização de naufragos, destroços e embarcações perdidas, a partir da última posição conhecida.

"The who commands the sea has command of everything"
Themistocles, 514-449 A.C.

V. REFERÊNCIAS

- [1] AMAZÔNIA AZUL – Centro de Comunicação Social da Marinha, Disponível em: http://www.mar.mil.br/menu_v/amazonia_azul/amazonia_azul.htm. Acesso em 07/02/2010.
- [2] SON, B. "Track Spacing for an Archimedes Spiral Search by a MPA in ASW Operations", M.Sc. Thesis, Naval Postgraduate School, 2007.
- [3] ROSS, M. S. "Introduction to Probability Models" - 8th ed., San Diego, CA: Academic Press, 2003, pp. 241-289.
- [4] DEVORE, J. L. "Probability and Statistics for Engineering and the Science", 6th ed., Thomson Brooks/Cole, 2004, pp. 239-242.
- [5] SANCHEZ, S.M. "Work Smarter, Not Harder: Guidelines for Designing Simulation Experiments", Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, 2006.
- [6] CIOPPA, T.M. "Efficient Nearly Orthogonal and Space-Filling Experimental Designs For High-Dimensional Complex Models", PhD. Thesis, Naval Postgraduate School, 2002.
- [7] ANG KENG-ERN, J. "Extending Orthogonal And Nearly Orthogonal Latin Hypercube Designs For Computer Simulation And Experimentation" – M.Sc. Thesis, Naval Postgraduate School, 2006. Disponível em: www.tdsi.nus.edu.sg/Downloads/Thesis2006.pdf. Acesso em 21/03/2009.
- [8] DAVIS, P.J. "Interpolation & Aproximation", Dover Publications, 1975, pp. 107-152.
- [9] DYM, C.L. and IVEY, E.S. "Principles of Mathematical Modeling" – International Edition - Academic Press, 1980, pp. 11-49, pp.190-214.
- [10] HOLDER, R. "Improving a Plan Library for Real-Time Systems Using Nearly Orthogonal Latin Hypercube Sampling", University of Maryland. Disponível em: www.ebiquity.umbc.edu/person/html/Robert/Holder. Acesso em 09/03/2009.
- [11] KING, W.R. "Probability for Management Decisions", Wiley Series in Management and Administration, 1 ed, 1968.
- [12] MIRSHAWKA, V. "Aplicações de Pesquisa Operacional" - Vol 1, Ed. Nobel, 1984, pp. 24-56
- [13] WINSTON, W.L. "Simulation Modelling Using @RISK", Duxbury Press, 1996