

# Medição de Seção Reta Radar Análise de sua Relevância Operacional

Márcio Martins da Silva Costa

Ministério da Defesa (MD), Marinha do Brasil (MB), Rio de Janeiro - RJ

**Resumo** — Neste trabalho são apresentados conceitos de Seção Reta Radar (RCS - *Radar Cross Section*) e sua relevância em cenários operacionais. Um modelo simplificado de aplicação radar é gerado com o uso de uma linguagem de programação para análise do impacto da RCS dos alvos em um cenário considerado. Em seguida, são apresentadas propostas de como reduzir a RCS (meio defensivo) e de como incrementar a detecção de alvos com baixa RCS (meio ofensivo), além de citar as tendências futuras para ambos os casos. Os resultados da análise reforçam a importância de se conhecer e medir a própria RCS e a do meio oponente. Nas considerações finais são apresentados fundamentos que reforçam a necessidade de investimento em linhas de pesquisas relacionadas e em estruturas que permitam a medição de Seção Reta Radar.

**Palavras-Chave** — Seção Reta Radar, Processamento de Sinais, Detecção de Alvos.

## I. INTRODUÇÃO

Diversos são os fatores que contribuem para que sinais de um radar incidentes em um alvo possuam um grau de espalhamento diversificado. Tomando como referência sinais emitidos por um radar incidentes em um alvo aéreo em movimento, *e.g.*, este apresentará diversos perfis, desde aqueles que devolverão ao emissor a maior parte da energia incidente até outros que dificultarão a identificação do alvo.

Fazendo uma analogia com a visão humana, considerando um dos olhos como sendo o sensor radar e um lápis, a aeronave em movimento. Se o lápis for observado lateralmente (semelhante à primeira situação da aeronave), o observador terá facilidade em identificar as características do objeto. Neste caso, ficam claras a extensão do mesmo e a extremidade cônica onde se encontra o grafite.

Posicionando a ponta do lápis exatamente em frente ao observador (segunda situação da aeronave), o olho identificará somente dois círculos concêntricos, onde no mais interior encontra-se o grafite. Detalhes como o tamanho do lápis, se a outra ponta está feita ou não, se possui ranhuras na parte cilíndrica passarão despercebidas ao observador.

Costa, Márcio M. S., <http://lattes.cnpq.br/9992346581154486>, Tel +55-12-2189-1206 ramal 230. Este trabalho, conforme definido na Tabela 2.2 do Manual Frascati (Paris: OECD Publications Service, 2002), é um *estudo independente (projeto de pesquisa e desenvolvimento) necessário para a manutenção da qualificação* do autor. O mesmo não representa em parte ou integralmente algum Projeto conduzido pelo MD / MB.

Da mesma forma, mesmo com o emprego de técnicas de processamento sofisticadas, a Seção Reta Radar (RCS - *Radar Cross Section*) pode ser um obstáculo à identificação precisa de um alvo, o que é uma situação indesejável em termos operacionais.

Atualmente, diversos modelos de medição já foram propostos e implementados. Todos exigem um largo e extensivo conhecimento técnico, o que torna o assunto instigante para diversos pesquisadores [1]. Independente da forma como a medição é realizada, o que importa é que a plataforma conheça a sua RCS e, se possível, a RCS da plataforma oponente. Isto poderá ser uma das linhas divisórias entre a vantagem e a desvantagem operacional de um meio em um cenário hipotético. Logo, o objetivo deste trabalho é apresentar a relevância de se obter a medição da Seção Reta Radar de um meio, a qual poderá impactar decisivamente no resultado em um cenário hipotético.

Este artigo está organizado conforme se segue. Na Seção II são apresentados conceitos introdutórios de Seção Reta Radar. Na seção III é implementado um modelo de um radar em uma linguagem de programação para análise do efeito da RCS. Na seção IV são apresentados conceitos de como a medição a RCS pode impactar ambos os lados de um ambiente operacional: do meio atacante e do meio defensivo. E na seção V são apresentadas as considerações finais.

## II. CONCEITOS INICIAIS

Todo corpo possui características próprias de refletir ou absorver as ondas eletromagnéticas incidentes sobre ele para cada comprimento de onda. Dependendo da estrutura atômica e molecular do material considerado, haverá uma resposta diferenciada para a onda incidente. Esta resposta é definida como *comportamento espectral* do material, ou ainda, *assinatura espectral* do material.

De acordo com o conceito apresentado, um material pode ter diversas respostas para cada faixa do espectro eletromagnético. Contudo, limitando-se os comprimentos de onda de interesse à banda de microondas, mais especificamente à banda utilizada pelos radares, e considerando os alvos de interesse, há a necessidade de se definir a RCS.

Seguindo a definição proposta por Knott [2], a Seção Reta Radar é uma resposta do alvo à onda eletromagnética incidente do radar. Em outras palavras, é a medida da potência de espalhamento em uma dada direção quando um alvo é iluminado por uma onda transmitida por um radar.

Logo, para que se tenha a assinatura espectral de um alvo na faixa radar, esta direção considerada é aquela que concentra os sinais ecos que serão processados pelo receptor radar. A esta assinatura espectral chamamos de Seção Reta Radar.

A Seção Reta Radar é expressa por

$$\sigma = 4\pi R^2 \lim_{R \rightarrow \infty} \left( \frac{P_S}{P_I} \right), \quad (1)$$

onde  $R$  é a distância do radar ao alvo,  $P_S$  é a densidade de potência do espalhamento do sinal eco no receptor da antena do radar e  $P_I$  é a densidade de potência do sinal transmitido pelo radar incidente no alvo.

Contudo, a RCS de um alvo pode ser representada pelo somatório de  $N$  espalhamentos discretos gerados pelos  $\psi$  centros de espalhamento existentes. Logo, pode-se representá-la por

$$\sigma = \left| \sum_{n=1}^N \sqrt{\sigma_n} e^{j\varphi_n} \right|^2, \quad (2)$$

onde  $\varphi_n$  é a fase relativa do  $n$ -ésimo espalhamento. Este conceito é complementar ao apresentado na expressão (1). A intenção de apresentá-lo é ressaltar que em um alvo há vários centros de espalhamento de reflexão que tem características diferentes uns dos outros.

### III. IMPLEMENTAÇÃO DE MODELO SIMPLIFICADO PARA ANÁLISE DE RCS

Considerando um cenário hipotético ilustrado na Fig. 1 onde um navio transita por uma área sob ameaça de uma aeronave dotada de mísseis.

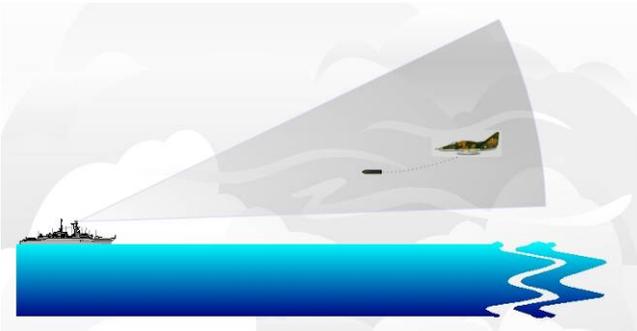


Fig. 1. Cenário considerado.

O navio possui um radar Doppler pulsado cujas características são apresentadas na Tabela I.

Para uma equação radar descrita em função da relação sinal ruído na saída do receptor [1], tem-se

$$(S/N)_0 = \frac{P_t G_A^2 \lambda_p^2 \sigma_{a,m}}{(4\pi)^3 k T_e B N_F L R^4}, \quad (3)$$

onde  $P_t$  é a potência de pico,  $G_A$  é o ganho da antena,  $\lambda_p$  é o comprimento de onda expresso por  $\lambda_p = c_0/f_p$ ,  $\sigma_{a,m}$  é a RCS da aeronave ( $a$ ) ou do míssil ( $m$ ), e  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Joule/graus Kelvin é a Constante de Boltzman,  $T_e$  é a temperatura efetiva,  $B$  é a largura de banda,  $N_F$  é a figura de ruído,  $L$  são as perdas do radar e  $R$  é a distância de detecção.

TABELA I DADOS DE ENTRADA PARA A MODELAGEM RADAR

Descrição	Variável	Valor	Unidade
Freq. de operação	$f_p$	10	GHZ
Potência de Pico	$P_t$	1,5	MW
Temperatura efetiva	$T_e$	290	K
Largura de Banda	$B$	5	MHz
Deteção mínima	$R_{min}$	1	Km
Deteção máxima	$R_{max}$	140	Km
Ganho da antena	$G_A$	45	dB
Figura de ruído	$N_F$	3	dB
Perdas do radar	$L$	6	dB

Para a Seção Reta Radar dos alvos foram considerados os seguintes dados de entrada apresentados na Tabela II [3].

TABELA II SEÇÃO RETA RADAR DOS ALVOS

Descrição	Variável	Valor	Unidade
RCS da aeronave	$\sigma_a$	2,0	m <sup>2</sup>
RCS do míssil	$\sigma_m$	0,1	m <sup>2</sup>

Os valores das Seções Retas Radar dos Alvos apresentadas na Tabela II foram obtidas diretamente da referência [3]. Contudo, para aplicação dos conceitos apresentados na seção I, considerando que a RCS dos alvos, expressa pelo seu  $\sigma_{a,m}$ , seja representada por  $N$  espalhamentos discretos gerados pelos  $\psi$  centros de espalhamento existentes. Logo, a RCS dos alvos pode ser representada por

$$\sigma_{a,m} = \left| \sum_{n=1}^N \sqrt{\sigma_{a_n,m_n}} e^{j\varphi_n} \right|^2, \quad (4)$$

onde  $\varphi_n$  é a fase relativa do  $n$ -ésimo espalhamento.

Conforme apresentado na expressão (2), esta soma coerente refere-se a cada posicionamento angular apresentado pelo alvo, no qual uma contribuição discreta  $n$  do espalhamento é percebida pelo sensor [2]. O mesmo conceito aplica-se à fase  $\varphi_n$ , onde cada fase  $\varphi$  depende do aspecto do alvo.

No contexto supracitado, pode-se afirmar que a expressão (4) é melhor aplicada a alvos com grande manobrabilidade, tal qual aqueles considerados nos Casos de Swerling III e IV (casos onde ocorre uma flutuação rápida do alvo: a RCS varia de um pulso para outro, o que pode ocorrer em uma varredura) [3]. Por outro lado, se o alvo implementado no modelo fosse o navio, cuja flutuação seria representada pelo caso de Swerling I (caso de flutuação lenta onde a RCS varia

entre varreduras) [3], o ideal seria simplificar a expressão para uma forma não-coerente, expressa por

$$\sigma_{a,m} = \sum_{n=1}^N \sigma_{a_n, m_n} \quad (5)$$

Isto porque a média dos  $n$ -ésimo espalhamento que retornam ao sensor poderiam se tornar mais estáveis sob os diversos ângulos de posicionamento dos alvos. Ressalta-se que há outros espalhamentos  $\psi$  (onde  $\psi \neq n$ ) que irão se dispersar para outras direções e outros cuja polarização não serão reconhecidas pela antena do radar. Estes não irão compor a assinatura espectral dos alvos. Os espalhamentos definidos como  $\psi$  neste trabalho podem ocorrer por diversas causas, uma delas, *e.g.*, devido às condições de refratividade da atmosfera [3].

Aplicando a expressão (3) em uma linguagem de programação com os dados das Tabelas I e II, obtém-se a Fig. 2, da qual se segue uma breve análise.

Tomando como referência a curva referente à RCS do míssil, note que nas maiores distâncias a relação sinal-ruído se mantém praticamente constante. A variação média na relação sinal-ruído é de cerca de 0,8 dB para cada 10 Km. No entanto, à medida que nos aproximamos do sensor, a variação média na relação sinal-ruído passa a ser de 4,6 dB para o mesmo intervalo de distância. Ou seja, quanto mais afastado o alvo, há uma probabilidade de  $\psi > n$ . Com o alvo mais próximo, há probabilidade pode inverter para  $n \geq \psi$ .

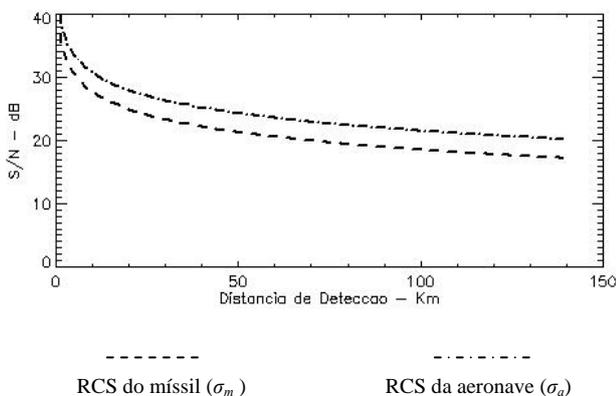


Fig. 2.  $S/N$  em relação à distância de detecção  $R$ .

Agora considerando, com base na expressão (3), que a distância de detecção  $R$  varia de acordo com a raiz quarta da Seção Reta Radar ( $\sigma^{1/4}$ ) [2]. Com base no  $R_{\max} = 140$  Km, reduzindo-se a RCS em 90% do seu valor inicial, a distância de detecção passa a ser de 40 Km (Tabela III).

TABELA III IMPACTO NA DETECÇÃO REDUZINDO-SE A SEÇÃO RETA RADAR

Redução de Seção Reta Radar	Distância de Detecção (Km)
0%, 0 dB	140
90%, 10 dB	40

Com o gráfico da Fig.2 também é possível fazer uma análise das curvas obtidas com a maior e a menor Seção Reta Radar. Note que a curva relacionada à aeronave, a qual possui maior RCS, apresenta-se acima da curva afeta ao míssil. Claramente isto denota que a maior RCS aumenta a relação sinal-ruído no receptor do radar, facilitando a detecção em maiores distâncias.

Em face de tais considerações, pode-se perceber o quanto que o conhecimento da própria RCS pode trazer vantagens operacionais significativas para um meio defensivo. Por outro lado, pode-se também concluir que a obtenção da RCS de alvos de interesse, quando possível, é de extrema relevância como um auxílio à decisão direto ou como subsídio para sistemas de auxílio à decisão. Como exemplo deste último, a RCS do meio oponente pode ser um dos dados de entrada de softwares de predição de efeitos refrativos, os quais fornecem, dentre outros produtos, a probabilidade de detecção radar do meio oponente.

#### IV. IMPACTOS DA MEDIÇÃO DE RCS

##### A. Para o Meio Defensivo (Defesa de uma Plataforma)

Com base no descrito na seção anterior, o conhecimento da própria Seção Reta Radar pode se tornar um fator crítico em um ambiente operacional para um meio defensivo. Por meio deste conhecimento, esta plataforma pode buscar a redução de sua RCS e reduzir a distância de sua detecção radar pela plataforma inimiga. Isto pode implicar em uma redução do tempo de reação hostil, ou ainda, permitir que o meio defensivo aproxime-se a uma distância capaz de fazer um ataque sem ser detectado pelo sensor oponente.

Outro exemplo a ser dado refere-se ao emprego do *chaff*. Considerando um vaso de combate em trânsito por uma área onde a ameaça de ataque por mísseis inimigos é iminente. Contra este tipo de ameaça, uma das defesas existentes em uma plataforma naval é o lançamento de *chaff*. Em um navio, este recurso corresponde ao lançamento de foguetes que possuem em seu corpo refletores metalizados que são dispersos na atmosfera, formando um *clutter* volumétrico [4]. Ou em termos mais claros, o *chaff* é nuvem de pequenos refletores metálicos que se formam nas proximidades do objeto ao qual se pretende ocultar. Conceitualmente, o *chaff* cria alvos falsos nas proximidades do navio, seduzindo o míssil e evitando o impacto do mesmo sobre o alvo. Contudo, para que esta autodefesa seja efetiva, além dos fatores operacionais de lançamento, é necessário que se conheça a própria Seção Reta Radar para que ela não seja maior do que a Seção Reta gerada pelo *chaff*. Isto fará com que o míssil não ignore a nuvem gerada.

Conhecendo a própria Seção Reta Radar, o meio defensivo passa a ter conhecimento de como sua assinatura radar, ou em outras palavras, de como o seu perfil radar tem o potencial de ser visto pelo inimigo. Isto implica diretamente no nível de vulnerabilidade no qual uma plataforma pode estar exposta. Com uma Seção Reta Radar maior, ela torna-se um alvo mais fácil para detecção e ataque, conforme citado na seção anterior. Com uma Seção Reta Radar menor, ela

pode diminuir sua probabilidade de detecção diante do radar inimigo.

De acordo com Knott [2], existem quatro métodos possíveis para que uma plataforma reduza sua Seção Reta Radar, a saber:

- por meio de sua forma;
- empregando materiais absorvedores;
- por meio do Cancelamento Passivo; e
- por meio do Cancelamento Ativo.

O primeiro deles consiste em reduzir a RCS pela manipulação da estrutura (da forma) do meio, visando tornar  $\psi \gg n$ . Atualmente esta técnica ainda se encontra no *estado-da-arte* das tecnologias furtivas (*stealth*), o que leva à impressão de que somente com o emprego de altas tecnologias pode-se empregar este tipo de técnica (Fig.3).



Fig. 3. F-117 – Nighthawk (fonte *Wikimedia Commons*), exemplo de emprego de tecnologia em emprego de técnicas de modelagem de uma estrutura.

Todavia, alternativas simples podem ser implementadas em uma plataforma para minimizar o nível de espalhamento proporcionado por “refletores” existentes. Como exemplo, quando um navio desatraca de um porto, parte de sua superestrutura (parte do navio que fica acima d’água) possui extremidades refletoras que podem ser encobertas por placas metálicas, tornando-as menos “visíveis” aos radares. Neste contexto, escadas de acesso, botes salva-vidas e outros equipamentos externos que somente são empregados em situações excepcionais podem ser eletromagneticamente ocultados, contribuindo para a redução da RCS.

Ainda há alternativas que não exigem alta tecnologia, tais como os cuidados a serem observados durante a construção ou reparo de uma plataforma. Na Fig. 4 tem-se um exemplo de um costado de uma belonave cujas placas metálicas que a compõe não formam uma estrutura plana. O seu costado (parte lateral do navio) possui diversos “afundamentos” que são equivalentes a superfícies refletoras independentes, contribuindo significativamente para o aumento da RCS da plataforma. Este tipo de deformação em navios costuma aparecer no decorrer do tempo devido aos esforços estruturais causados pelas forças de empuxo que atuam sobre casco. No entanto, alguns já são lançados ao mar com estas características, as quais poderiam ser evitadas pelos estaleiros responsáveis.

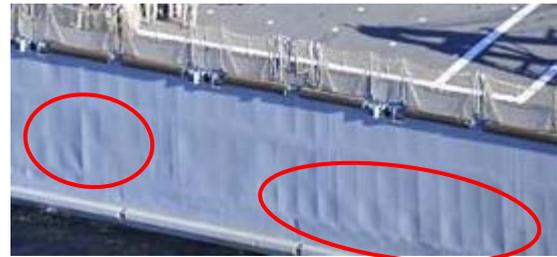


Fig. 4. Destaque em vermelho para Superfícies Refletoras que aumentam a Seção Reta Radar de um Navio.

O segundo método baseia-se no emprego materiais com capacidade de reduzir a energia refletida ao radar por meio da absorção do sinal incidente (RAM - *Radar Absorbing Material*) [5]. Este tipo de absorção pode ser realizado por diversas formas. Algumas delas exploram características magnéticas de um material, outras, as características dielétricas. Um dos produtos deste tipo de material pode ser tinta absorvedora na qual são revestidas as plataformas. Outra forma possível de emprego é por meio de placas que são instaladas em áreas notadamente identificadas como pontos focais de espalhamento. Geralmente estes materiais são cobertos por outras estruturas que não interagem com a reflexão da onda radar, mas que servem para ocultar a tecnologia dos verdadeiros materiais absorvedores que se encontram empregados. Além da ocultação, outra vantagem de revestir os materiais absorvedores aplicados é protegê-los das alterações climáticas ou ambientais que podem degradá-los com o passar do tempo.

Ainda dentro do contexto de emprego de materiais visando reduzir a Seção Reta Radar dos alvos, nos últimos anos uma nova abordagem vem ganhando espaço em investimento e pesquisa. Trata-se do desenvolvimento de materiais artificiais com propriedades eletromagnéticas únicas ou superiores aos materiais convencionais, denominados metamateriais [6]. Estas novas estruturas podem empregar um arranjo periódico contendo inclusões com geometria tipo *Split Ring Resonators*, caracterizando um material com permissividade e permeabilidade negativa. Com estas duas características aliadas, *e.g.*, torna-se teoricamente possível inverter o sinal do índice de refração, por meio da inversão da Lei de Snell, e gerar oposição nos sentidos das velocidades de fase e grupo (vetor de Poynting). Isto acarreta um desvio do feixe eletromagnético, reduzindo significativamente a probabilidade de detecção de um alvo. Logo, os resultados práticos, quando forem efetivamente implementados, poderão mudar o cenário das tecnologias furtivas pela aplicação da desejada “manta da invisibilidade” (*meta-coatings*), tornando as plataformas invisíveis ao radar. Diferente dos métodos atuais que visam a redução da Seção Reta Radar dos alvos, esta nova técnica busca tornar  $n \rightarrow 0$ . Se estes resultados forem alcançados, esta nova abordagem tornar-se-á o *estado-da-arte* das tecnologias furtivas.

Outros dois métodos possíveis de redução da Seção Reta Radar somente despertaram interesse no século anterior, por volta dos anos sessenta. Tanto o método de Cancelamento Passivo quanto o de Cancelamento Ativo empregam o conceito de buscar o cancelamento do sinal eco por meio de

uma interação com um sinal gerado pelo alvo. No primeiro caso, uma fonte de sinal eco é ajustada para tentar cancelar a fase e a amplitude do sinal eco gerado. No segundo caso, a fonte de sinal eco do alvo precisa identificar a intensidade, a frequência e a forma da onda incidente para no mesmo instante gerar um pulso que cancele a amplitude e a fase do sinal eco. Ambos os métodos buscam fazer uma interferência destrutiva do sinal, o que os torna muito ambiciosos, onerosos e difíceis de serem implementados.

### B. Para o Meio Ofensivo (Ataque à uma Plataforma)

Enquanto que para o meio defensivo o objetivo é tentar reduzir a própria Seção Reta Radar para dificultar a detecção, para o meio ofensivo a única arma existente é desenvolvimento de técnicas de processamento de sinal radar visando incrementar a detecção do alvo.

Existem diversas técnicas as quais não serão abordadas neste trabalho por já estarem consagradas na literatura existente (processadores MTI - *Moving Target Indicator*, MTD - *Moving Target Detection*, CFAR - *Constante False Alarm Rate*, dentre outros) [3]. No entanto, considerando que quanto mais reduzimos a Seção Reta Radar de um alvo, menor tornamos a relação sinal-ruído, cabe destacar o emprego da técnica de processamento denominada *Track-Before-Detect* (TBD) [7]. Esta técnica é aplicada em cenários onde a relação sinal-ruído é extremamente pequena, dificultando a detecção.

Considerando que a cada recepção de um sinal eco de um alvo o radar forma uma imagem do cenário existente, para um alvo com baixa RCS, sua identificação torna-se quase impossível por ele misturar-se ao ruído existente em cada varredura realizada. No entanto, a técnica permite analisar cada imagem recebida, observando as transições fisicamente admissíveis dos ruídos recebidos. No caso de haver um alvo em um ambiente observado, enquanto que os ruídos aparecerão aleatoriamente na região considerada, o “ruído” do alvo aparecerá em cada imagem em uma posição coerente com a anterior. Ao final do processamento de diversas imagens, pode-se identificar qual “ruído” manteve uma trajetória física compatível com uma plataforma. Só então o processador declara a presença do alvo. Por isso o nome *Track-Before-Detect*, que em outras palavras, refere-se ao acompanhamento de um alvo em meio ao ruído e, após sua confirmação, o mesmo é considerado detectado.

Esta técnica ainda apresenta desafios aos pesquisadores, mas emerge como um possível *estado-da-arte* para a capacidade de detecção de um radar. Na Fig. 5 exemplifica-se uma aplicação da referida técnica por meio de um filtro TBD de velocidade linear [8].

Em resumo, ressalta-se que os novos desdobramentos tecnológicos poderão incluir novos métodos ou alternativas de, respectivamente, reduzir a RCS ou aumentar a probabilidade de detecção dos alvos. No entanto, enquanto o radar continuar sendo um dos sensores mais importantes em um cenário operacional, as inovações nesta área não eximirão os atores da necessidade de conhecer a medição de RCS para os meios ofensivos e defensivos.

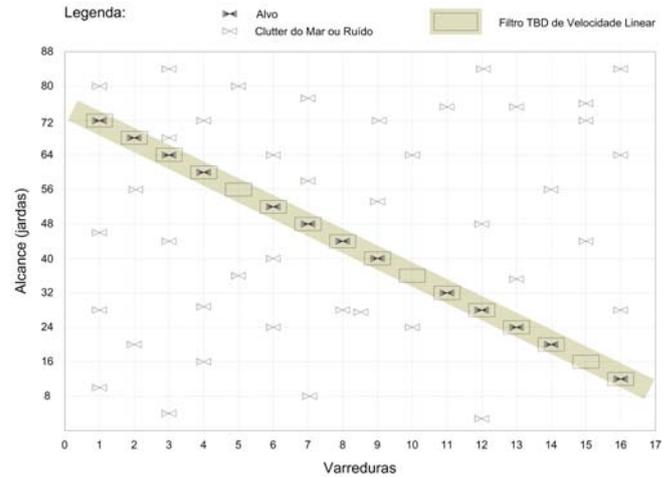


Fig. 5. Sequência de posições do alvo nas sucessivas varreduras no processamento TBD [pág. 706, Scheller 1995].

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conceitos apresentados neste trabalho não esgotam a abordagem deste assunto. Em um cenário operacional diversos fatores podem contribuir para o êxito ou não da missão atribuída a uma plataforma. No entanto, colecionar vantagens táticas pode se tornar um fator decisivo em um ambiente de crise. Neste contexto, o conhecimento da Seção Reta Radar, seja a do próprio meio ou do meio inimigo, emerge como um diferencial relevante entre duas forças opostas.

Mas não é em meio a uma situação de beligerância que uma força deva tomar ações de medição de RCS. A preparação deve ocorrer por meio do estabelecimento de uma estrutura de raias, equipamentos e softwares de medição que permitam dotar o meio defensivo de uma capacidade tecnológica superior à força oponente.

Logo, faz-se mister que haja investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação nesta importante área de interesse à Guerra Eletrônica.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio recebido pelos pesquisadores e colegas do Instituto de Pesquisa da Marinha (IPqM), do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV), cujos incentivos continuam sendo fundamentais para a continuidade das atividades de pesquisa após o Mestrado.

## REFERÊNCIAS

- [1] Mahafza, Bassem R. et al. MATLAB Simulations for Radar Systems Design. Chapman & Hall/CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 2004.
- [2] Knott, Eugene F. et al. Radar Cross Section. Artech House Inc., Norwood, MA, 1993.
- [3] Skolnik, M. I. Introduction to Radar Systems. Singapore: McGraw-Hill Book Co, 1988.

- [4] Max, Carvalho Dias. Medidas de Proteção Eletrônica Utilizando a Transformada *Wavelet* para Rejeição do *Chaff* e *Jamming* em Radar. 2005. 164f. Tese de Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação. ITA, SP.
- [5] Pinho, Magali S. et al. Avaliação do Desempenho de Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética por Guia de Ondas. Polímeros: Ciência e Tecnologia, Out/Dez 1999, p. 23-26.
- [6] Costa, Márcio et al. Redução de Seção Reta Radar com Emprego de Metamateriais. Revista Pesquisa Naval, Brasília, nº 24, 2011, p. 68-74.
- [7] Costa, Márcio M. S.; Processamento de Sinais Radar com Emprego da Técnica Track-Before-Detect. 2009. 91 f. Tese de Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação. ITA, SP.
- [8] Schleher, D. C. Periscope detection radar. In: IEEE RADAR CONFERENCE, 1995, Alexandria. **Proceedings...** Alexandria: IEEE, 1995. p. 704-707.