

# Geração de Cenários Radar Arbitrários baseada em Palavras Descritoras de Pulsos

Rafael Serra de Figueirêdo, Fernando Alvim Carijó e Jorge Costa Pires Filho

*Instituto de Pesquisas da Marinha, Grupo de Sistemas de Guerra Eletrônica e Radar, Rio de Janeiro/RJ-Brasil*

**Resumo**— Este artigo apresenta uma ferramenta de geração de cenários radar arbitrários, implementada em *Matlab*, para auxiliar na realização de testes de Sistemas de Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE). Esta ferramenta mostra-se de grande utilidade, sendo capaz de gerar cenários complexos com radares operando simultaneamente. Em sua implementação, emprega-se uma abordagem não convencional, na qual um Gerador de Palavras Descritoras de Pulso (*Pulse Descriptor Words - PDWs*) é utilizado para gerar cenários radar compostos de sinais discretos pulsados. Além disso, a envoltória dos pulsos radar gerados são modeladas a partir do modelo ADSR (*Attack, Decay, Sustain e Release*), permitindo a geração de pulsos radar com maior adaptabilidade à realidade. Esta ferramenta também pode ser empregada na reprodução de cenários radar gerados artificialmente ou gravados por Equipamentos MAGE, isto é, cenários radar reais.

**Palavras-Chave**— Radar, Geração de Cenários, MAGE.

## I. INTRODUÇÃO

Em um cenário de Guerra Eletrônica (GE), os Sistemas de Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE) são sistemas passivos, que detectam, identificam e classificam sinais radar. No contexto do desenvolvimento de tais sistemas, ferramentas de geração de cenários radar são de fundamental importância para a realização de testes. Estas ferramentas, pela sua capacidade de gerar uma extensa gama de cenários radar, com as mais variadas características, são capazes de auxiliar de maneira abrangente testes de funcionalidades e de desempenho em termos de *software* e *hardware* de um Sistema MAGE. Os teste de funcionalidade avaliam o funcionamento previsto do equipamento, enquanto que os testes de desempenho avaliam se as informações fornecidas estão dentro das tolerâncias, resoluções e tempos especificados pelo equipamento.

Neste trabalho é apresentada uma ferramenta de geração de cenários radar arbitrários implementada em *Matlab*, empregando-se uma abordagem não convencional, na qual um Gerador de PDWs é utilizado para gerar cenários radar compostos de sinais discretos pulsados. Tal abordagem permite que a ferramenta gere cenários radar arbitrários e, também, reproduza cenários reais. Dessa forma, a ferramenta apresentada possui capacidades que ultrapassam as de um simples gerador de cenários radar, pois permite gerar mais do que cenários radar sintetizados. Esta ferramenta foi inicialmente desenvolvida para auxiliar as atividades de teste do equipamento MAGE Veicular<sup>1</sup>, em desenvolvimento pelo Grupo de

Rafael Serra de Figueirêdo, serra@ipqm.mar.mil.br, Fernando Alvim Carijó, fcarijo@gmail.com, Jorge Costa Pires Filho, jpires@ipqm.mar.mil.br.

<sup>1</sup>Programa de Desenvolvimento de Sensores para Defesa com recursos FINEP (Fundação de Estudos e Projetos). Contrato/Convênio n°01.10.0624.00.

Sistemas de Guerra Eletrônica e Radar (GSGER) do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPQM). Para geração de sinais de Rádio-Frequência (*Radiofrequency - RF*), a ferramenta desenvolvida opera em conjunto com um Gerador de Formas de Onda Arbitrárias (*Arbitrary Waveforms Generator - AWG*).

O artigo é organizado como a seguir: a Metodologia é apresentada na seção II, o Experimento na seção III, os Resultados na seção IV e a Conclusão na seção V.

## II. METODOLOGIA

### A. Desenvolvimento do Gerador

A ferramenta de geração de cenários radar arbitrários implementada, a partir de agora referida como Gerador de Cenários Radar Arbitrários (GCRadAr), tem como entrada um Arquivo de Cenário, designado aqui por ARQCEN, no qual é realizada uma configuração do cenário radar a ser gerado. A saída do GCRadAr é um Arquivo Radar, designado aqui por ARQRAD, que contém o trem de pulsos representativo do cenário radar configurado. Este trem de pulsos é um sinal discreto pulsado amostrado com um Período de Amostragem  $T_s$  previamente configurado. Os processos constituintes do GCRadAr são: o Gerador de PDWs, o Gerenciador de PDWs, o Programador de Pulsos e o Gravador de Cenários. Na arquitetura do GCRadAr, há, ainda, a Biblioteca de Envoltórias de Pulsos. Estes elementos são mostrados no diagrama de fluxo de dados da Fig. 1 a seguir.

O Gerador de PDWs é o processo de entrada do GCRadAr. A entrada e a saída deste processo são, respectivamente, um ARQCEN e uma Lista de PDWs. As PDWs [1] são palavras digitais que contém os parâmetros que caracterizam o pulso radar. Uma PDW típica, gerada após detecção e extração de parâmetros do pulso radar, contém os seguintes parâmetros: 1) Tempo de Chegada (*Time of Arrival - TOA*) [2]; 2) Ângulo de Chegada (*Angle of Arrival - AOA*) [2]; 3) Frequência da Portadora (*Frequency Carrier -  $f_c$* ); 4) Largura de Pulso (*Pulse Width - PW*) [2]; 5) Amplitude Média (*Amplitude - A*); 6) *flag* de CW (*Continuous Wave*) [2], que indica se o sinal é contínuo ou pulsado; 7) *flag* de FM (*Frequency Modulation*) [2], que indica se há ou não modulação em frequência no sinal e 8) *flag* de PM (*Phase Modulation*) [2], que indica se há ou não modulação em fase no sinal. No ARQCEN são configurados, entre outros, os valores de: 1) Tempo de Simulação; 2) Erro Máximo no AOA e 3) Perda de Pulsos; e para cada emissor: 1) se o emissor está Ativo (radar Ativo ou Inativo) e o Início da Atividade do emissor; 2) o tipo e o subtipo de Modulação Intrapulso (*Modulation on Pulse -*

MOP); 3) o valor e a variação do AOA ou Marcação; 4) o valor da PW; 5) o tipo e o(s) valor(es) da  $f_c$ ; 6) o tipo e o(s) valor(es) do PRI; 7) o tipo de Varredura (*Scan*) e seus parâmetros de configuração e 8) os valores inicial, final e a variação de A.

O Gerenciador de PDWs tem como entradas a Lista de PDWs, proveniente do Gerador de PDWs ou de um Arquivo de PDWs designado por ARQPDW, um Arquivo de Configuração, designado aqui por CONFIG, e o ARQCEN, do qual extrai o Parâmetro de Identificação do Radar, referido como Id. O CONFIG contém parâmetros de configuração do GCRadAr como, por exemplo, a Frequência de Amostragem  $f_s$ , o número de pulsos radar a serem gerados  $n_{PDW}$  e o Período de *Offset*  $T_{os}$ , que corresponde ao instante de início da geração do cenário radar. A saída do Gerenciador de PDWs são PDWs a serem enviadas ao Programador de Pulsos subsequente.

O Programador de Pulsos extrai os parâmetros das PDWs da saída do Gerenciador de PDWs e configura um trem de pulsos como um sinal discreto pulsado, com amostras espaçadas por um Período de Amostragem  $T_s$  previamente configurado. A conformação da envoltória dos pulsos é realizada de acordo com o Id contido na PDW. O Programador de Pulsos efetua uma consulta à Biblioteca de Envoltórias de Pulsos, extrai os Parâmetros de Envoltória de Pulso associados ao respectivo Id e efetua a conformação da envoltória do pulso.

O Gravador de Cenários é, por fim, o processo de saída do GCRadAr. A entrada e a saída deste processo são, respectivamente, o sinal discreto pulsado proveniente da saída do Programador de Pulsos e o ARQRAD.

### B. Características dos Cenários Gerados

O GCRadAr desenvolvido a partir da metodologia descrita na seção II é capaz de gerar uma extensa gama de cenários radar. De maneira geral, pode-se, efetuar a configuração de um ou mais radares superpostos na mesma célula de marcação com diversas características combinadas.

Em relação ao tipo de variação da  $f_c$ , é capaz de gerar sinais radar com: 1) frequência da portadora fixa; 2) agilidade em frequência (*frequency agility*) [1] e 3) salto em frequência (*frequency hopping*) [1]. Os sinais radar com agilidade em frequência podem ter  $f_c$ : 1) aleatória; 2) *sliding* e 3) senoidal.

Em relação ao tipo de variação do PRI, é capaz de gerar sinais radar com PRI dos tipos: 1) fixo ou estável; 2) *jitter* [2] - [3]; 3) *stagger* [2] - [3]; 4) *wobulated* [3] e 5) *dwell-and-switch* [3].

Em relação ao tipo de MOP, é capaz de gerar sinais radar com: 1) PMOP (*Phase Modulation on Pulse*) [1]; 2) FMOP (*Frequency Modulation on Pulse*) [1] e 3) sem MOP. Os sinais radar com PMOP podem ser dos tipos: 1) BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) [4]; 2) Barker (13, 11, 7, 5, 6, 3, 2) [4]; 3) Frank [4] e 4) polifásico (P1, P2, P3, P4) [4]. Vale salientar que dentre as possíveis codificações Barker somente a 11 e a 13 são utilizadas em sistemas de Compressão de Pulso (*Pulse Compression* - PC) radar [1], devido às suas propriedades de baixa autocorrelação (o nível de lóbulo lateral da amplitude dos códigos Barker corresponde a  $1/N$  do valor de pico) [5]. Os sinais radar com FMOP podem ser dos tipos: 1) LFM

(*Linear Frequency Modulation*) ou *Chirp* [1] - [2] e 2) NLFM (*Non-Linear Frequency Modulation*) [2].

Em relação ao tipo de Varredura (*Scan*), é capaz de gerar sinais provenientes de radares com Varreduras dos tipos: 1) *lockon* [2] - [6]; 2) circular [6]; 3) cônica [1] - [6] e 4) setorial [6].

### C. Modelo de Envoltória de Pulsos

O modelo de envoltória de pulsos utilizado no GCRadAr é baseado no modelo ADSR (*Attack, Decay, Sustain e Release*) [7], isto é, Ataque, Decaimento, Sustentação e Relaxação, mostrado na Fig. 2 a seguir. O segmento de ataque normalmente corresponde à subida do sinal, em termos de potência, indo do nível de ruído de fundo até um máximo inicial. Representa, portanto, o intervalo de tempo em que ocorre o transitório inicial. O segmento de decaimento representa o intervalo de tempo decorrido entre o instante do máximo inicial e aquele em que se atinge o nível de sustentação. O segmento de relaxação ocorre quando novamente a potência do sinal começa a diminuir até atingir o nível de ruído de fundo ou zero. Já o segmento de sustentação ocorre entre o término do segmento de decaimento e o início do segmento de relaxação.

Neste trabalho, no entanto, é utilizado um modelo no qual foram adotadas algumas simplificações em relação ao modelo ADSR. Neste modelo, mostrado na Fig. 3 a seguir, são definidos os seguintes parâmetros: 1) Patamar de Ataque ( $V_A$ ), que é o valor de pico; 2) Patamar de Decaimento ( $V_D$ ), que é o valor de estabilização após o primeiro trecho de descida; 3) Patamar de Sustentação ( $V_S$ ), que é o valor de estabilização após o segundo trecho de subida; 4) Período de Ataque ( $T_A$ ), que é o intervalo de tempo entre o início do pulso e o início do primeiro trecho de descida; 5) Período do Patamar de Ataque ( $T_{pA}$ ), que é o intervalo de tempo entre o término do primeiro trecho de subida e o início do primeiro trecho de descida; 6) Período de Decaimento ( $T_D$ ), que é o intervalo de tempo entre o início do primeiro trecho de descida e o término do segundo trecho de subida; 7) Período do Patamar de Decaimento ( $T_{pD}$ ), que é intervalo de tempo entre o término do primeiro trecho de descida e início do segundo trecho de subida; 8) Período de Sustentação ( $T_S$ ), que é intervalo de tempo entre o término do segundo trecho de subida e o início do segundo trecho de descida e 9) Período de Relaxação ( $T_R$ ), que é o intervalo de tempo entre o início do segundo trecho de descida e o final do pulso. Além destes, são também definidos: 1) Tempo de Subida (*Rise Time* -  $R_T$ ), que é a duração do primeiro trecho de subida; 2) Tempo de Descida (*Fall Time* -  $F_T$ ), que é a duração do primeiro trecho de descida; 3) Razão entre Patamar de Ataque ( $V_A$ ) e Patamar de Sustentação ( $V_S$ ), representada por  $R_{AS}$  e 4) Razão entre Patamar de Decaimento ( $V_D$ ) e Patamar de Sustentação ( $V_S$ ), representada por  $R_{DS}$ . Neste modelo, a PW corresponde à distância entre o primeiro e o último ponto da envoltória do pulso radar a cruzar o limiar de 50% calculado a partir do valor de pico máximo da envoltória. O ajuste destes parâmetros possibilita a conformação da envoltória do pulso radar com um comportamento mais próximo ao de um pulso radar real.

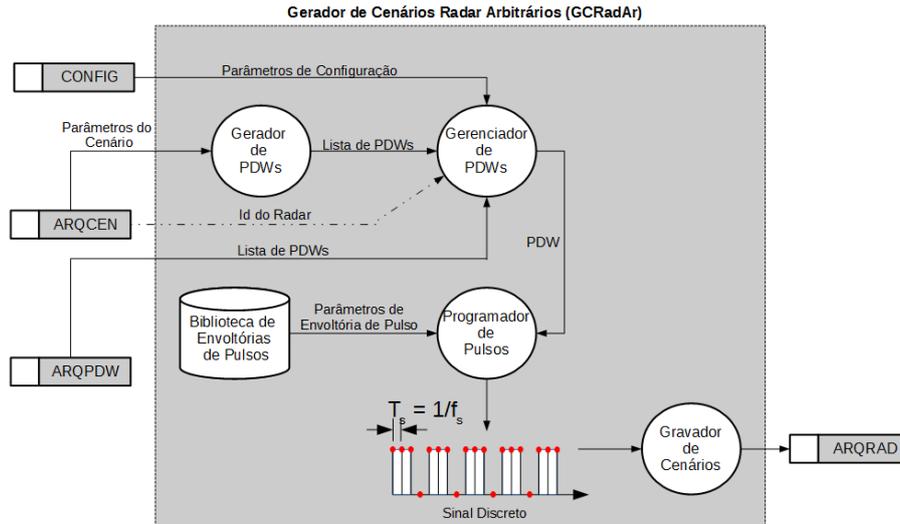


Fig. 1 - Esquema de funcionamento do GCRadAr.

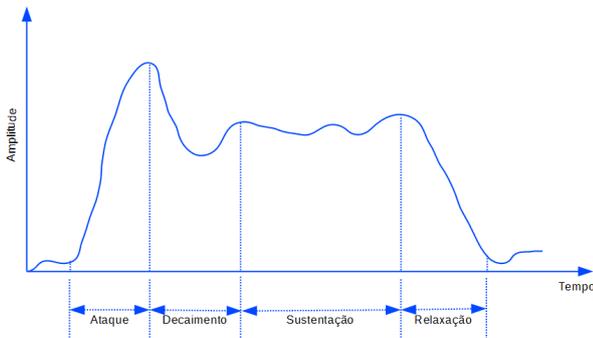


Fig. 2 - Modelo ADSR.

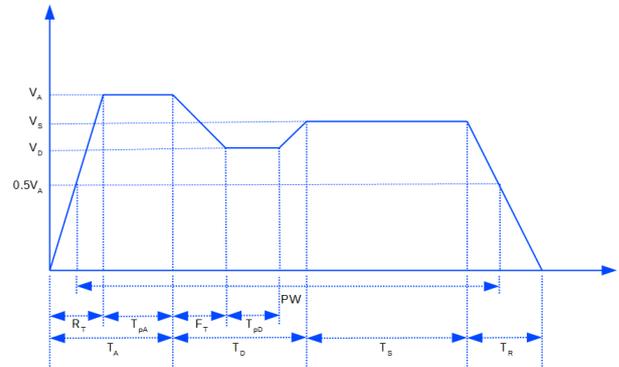


Fig. 3 - Modelo de Envoltória de Pulsos utilizado.

### III. EXPERIMENTO

#### A. Aplicações

O GCRadAr pode ser utilizado nas seguintes configurações:

- (A) Com emprego de um AWG e a partir de cenários artificiais;
- (B) Com emprego de um AWG e a partir de cenários reais;
- (C) Sem emprego de um AWG e a partir de cenários artificiais;
- (D) Sem emprego de um AWG e a partir de cenários reais.

Para testar as funcionalidades previstas para um Equipamento MAGE, o GCRadAR é aplicado na configuração (A), esquematizada na Fig. 4, na qual as entradas são ARQCEN e CONFIG e a saída é ARQRAD. Para testar o desempenho e as restrições de um Equipamento MAGE, o GCRadAR é aplicado na configuração (B), esquematizada na Fig. 5, na qual a entrada é ARQPDW e a saída é ARQRAD. A configuração (C), esquematizada na Fig. 6, na qual as entradas são ARQCEN e CONFIG e a saída é ARQRAD, pode ser

empregada para gerar bancos de dados de cenários radar a serem utilizados no desenvolvimento, no âmbito da pesquisa acadêmica, de novos algoritmos de processamento de RDx, que estão sendo largamente utilizados em Sistemas MAGE atualmente. A configuração (D), esquematizada na Fig. 7, na qual a entrada é ARQPDW e a saída é ARQRAD, pode ser empregada para testar o desempenho de algoritmos de processamento de RDx. Estes testes, com a ferramenta de geração, podem ser executados em um computador, de maneira abrangente, e podem servir como ferramenta de validação e aprimoramento desses algoritmos.

Nas configurações (A) e (C), a partir de cenários artificiais, as entradas são ARQCEN e CONFIG, descritas na seção II. Nas configurações (B) e (D), a partir de cenários reais, a entrada é ARQPDW. ARQPDW é um Arquivo de PDWs proveniente da gravação de um cenário real, contendo um ou mais radares, realizada por um Equipamento MAGE com funcionalidade ELINT (*Electronic Intelligence*) [8]. Os Sistemas MAGE com funcionalidade ELINT são capazes de efetuar a gravação de cenários na forma de dados brutos, por exemplo,

como uma lista de PDWs. O arquivo proveniente da gravação do Equipamento MAGE com funcionalidade ELINT passa, ainda, por uma filtragem em AOA ou Marcação, realizada pela ferramenta PFSAE (Pacote de Ferramentas de *Software* de Análise ELINT) [9], uma ferramenta desenvolvida pelo GSGER do IPqM e utilizada para a realização de análise *offline* de gravações de cenários realizadas por Equipamentos ELINT, antes de servir como entrada para o GCRadAr. Esta filtragem em AOA ou Marcação seleciona radares em uma mesma marcação para o ARQPDW. Dessa forma, nas configurações (B) e (D), o GCRadAr reproduz um cenário real, contendo um ou mais radares, gravado por um Equipamento MAGE com funcionalidade ELINT. Radares reais podem também ser reproduzidos, desde que esta gravação seja filtrada pelo PFSAE para fornecer os dados brutos referentes ao radar que se deseja reproduzir. O PFSAE é uma ferramenta de análise ELINT *offline* de cenários gravados. Normalmente é utilizada sem alterar os sinais reais gravados. Através dela é possível realizar-se filtrações em determinados parâmetros (TOA, AOA,  $f_c$ , LP, A e seqüências de pulsos), nos cenários gravados. Trata-se de uma ferramenta validada e utilizada pelo Centro de Guerra Eletrônica da Marinha do Brasil (CGEM). Nas configurações (A) e (B), com emprego de um AWG, ARQRAD passa, ainda, pelo bloco Validador do AWG antes de ser carregado no AWG. Este bloco é responsável por verificar se o sinal discreto pulsado gerado satisfaz as restrições de geração do *hardware* do AWG. O carregamento de ARQRAD no AWG se dá via SFP (*Soft Front Panel*), uma ferramenta de *software* disponibilizada junto com o AWG, que envia o sinal discreto pulsado gravado em ARQRAD ao instrumento. O sinal de RF gerado pelo AWG pode, então, ser visualizado através de um Osciloscópio/Analisador de Sinais de RF, aplicado diretamente a um Equipamento MAGE e/ou transmitido através de uma Antena a um Equipamento MAGE. Nas configurações (C) e (D), sem emprego de um AWG, ARQRAD é a entrada de um bloco de algoritmos de processamento de um Receptor Digital (*Digital Receiver* - DRX).

### B. Setup para Utilização do Gerador em Laboratório

No *setup* para utilização do GCRadAr na configuração de testes para Sistemas MAGE, o *software* do GCRadAr, implementado em *Matlab*, roda em um computador conectado a um AWG M8190A *Keysight Technologies*. Pela Interface Gráfica do GCRadAr são carregados um ARQCEN e a Lista de PDWs geradas a partir do cenário radar configurado. O cenário é gerado e gravado em um ARQRAD. Este arquivo é carregado no AWG através do SFP, rodando no mesmo computador que o GCRadAr. O SFP envia o sinal discreto pulsado em ARQRAD ao AWG. O sinal de RF é, então, gerado e visualizado em um osciloscópio conectado ao AWG. O osciloscópio utilizado é um *Infinium DSO-X 92004A (Digital Storage Oscilloscope)* 20 GHz e 80 GSa/s *Agilent Technologies*. O AWG consegue gerar sinais a uma taxa de amostragem de 12 GSa/s. Assim, há um limite para a banda do sinal a ser gerado. Pelo Teorema da Amostragem de Nyquist [10], é possível, com tal equipamento, gerar sinais com frequência máxima de 6 GHz.

## IV. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados alguns resultados obtidos com o GCRadAr na geração de um cenário radar simples composto por um único radar com as características da Tabela I a seguir. Os valores dos parâmetros do Modelo de Envoltória de Pulsos para o radar gerado são apresentados na Tabela II a seguir. Além disso, o GCRadAr foi configurado para gerar um sinal discreto pulsado com Frequência de Amostragem  $f_s = 8$  GSa/s, com 3 pulsos, e com  $T_{os} = 0$ . Os parâmetros do radar a serem avaliados são  $f_c$ , PW, A, PMOP e PRI. O parâmetro AOA não é avaliado, tendo em vista que o modelo utilizado, a priori, emprega um único canal do AWG para geração do Sinal de RF. Este sinal, gerado a partir do cenário configurado, corresponde, portanto, ao sinal presente na Marcação em questão. A *Scan* também não é aqui avaliada e deverá ser objeto de trabalhos futuros.

TABELA I  
CARACTERÍSTICAS DO CENÁRIO RADAR SIMPLES GERADO COM O GCRADAR.

Características	
AOA	355°
$f_c$	2 GHz (Fixa)
PW	3.15 $\mu$ s
A	-15 dB
MOP	PMOP Barker-13
<i>Scan</i>	<i>Lockon</i>
PRI	100 $\mu$ s (Fixo)

TABELA II  
PARÂMETROS DO MODELO DE ENVOLTÓRIA DE PULSOS PARA O RADAR SINTETIZADO.

Parâmetros	
$T_A$	0.70 $\mu$ s
$T_S$	1.40 $\mu$ s
$T_R$	0.35 $\mu$ s
$R_{AS}$	1
$R_{DS}$	1
$R_T$	0.35 $\mu$ s
$F_T$	0.35 $\mu$ s

A seguir, a Fig. 8 mostra o cenário radar gerado, com 3 pulsos. A Fig. 9 mostra, em detalhe, um destes pulsos. A envoltória do pulso exibido na Fig. 9, em concordância com os parâmetros da Tabela II, apresenta um comportamento aproximadamente retangular, com valores de  $R_T$  e  $T_R$  reduzidos. A partir da Fig. 9 pode-se avaliar, também, a PW.

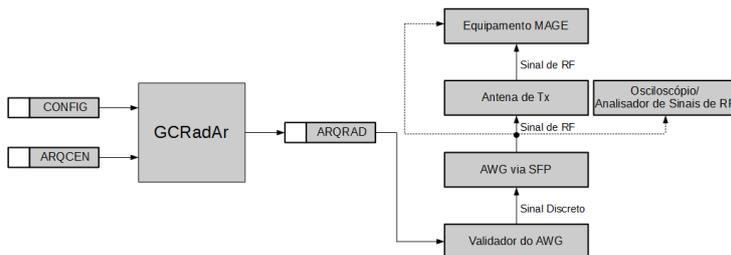


Fig. 4 - Configuração de utilização do GCRadAr com emprego de um AWG e a partir de cenários artificiais (Configuração A).

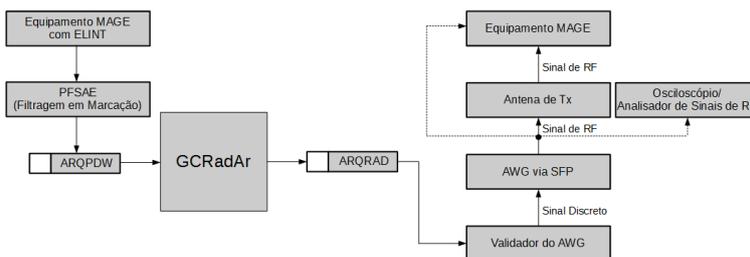


Fig. 5 - Configuração de utilização do GCRadAr com emprego de um AWG e a partir de cenários reais (Configuração B).

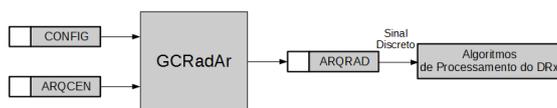


Fig. 6 - Configuração de utilização do GCRadAr sem emprego de um AWG e a partir de cenários artificiais (Configuração C).

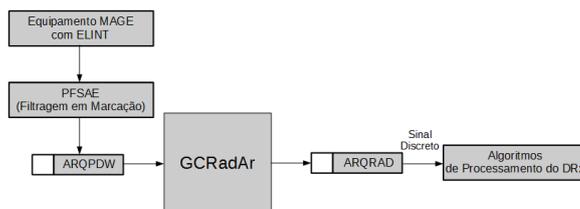


Fig. 7 - Configuração de utilização do GCRadAr sem emprego de um AWG e a partir de cenários reais (Configuração D).

A Fig. 10 mostra o histograma de  $\Delta\text{TOA}$  do cenário radar sintetizado. Através deste histograma podemos verificar os valores dos PRIs dos radares presentes no cenário. Para o cenário radar simples, com apenas um radar, gerado nesta seção, observamos no histograma o valor configurado para o parâmetro PRI, isto é,  $\text{PRI} = 100 \mu\text{s}$ .

A Fig. 11 mostra o espectrograma do cenário radar gerado. Nele podemos observar, nitidamente, uma raia vertical correspondente à  $f_c = 2 \text{ GHz}$ , expressa em termos da frequência normalizada. A Frequência de Amostragem  $f_s = 8 \text{ GSa/s}$  corresponde a  $2\pi \text{ rad/amostra}$ , logo  $f_c = 2 \text{ GHz}$  corresponde a  $0.5 \text{ rad/amostra}$ , como observado na Fig. 11. As duas

faixas horizontais, em tom mais escuro, correspondem aos dois períodos de ausência de amostras no sinal discreto pulsado. O espectrograma corresponde ao quadrado do módulo da Transformada de Fourier de Tempo Curto (*Short Time Fourier Transform* - STFT) do sinal discreto pulsado representativo do cenário radar. A STFT é calculada a partir da equação (1) a seguir [11]:

$$X_{k,m} = \sum_{l=0}^{L-1} x(l)w(l - mS)e^{-j2\pi kl} \quad (1)$$

na qual  $x(l)$  é um sinal discreto de tamanho  $L$ ,  $w(l)$  é uma

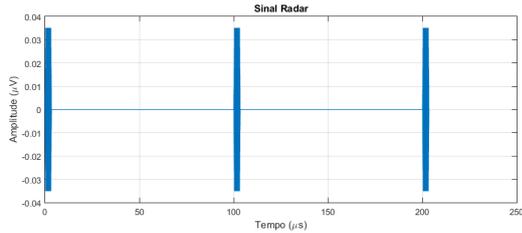


Fig. 8 - Cenário radar gerado.

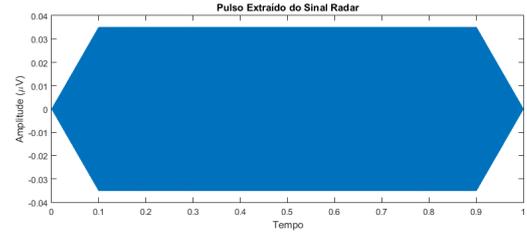


Fig. 9 - Pulso extraído do cenário radar gerado.

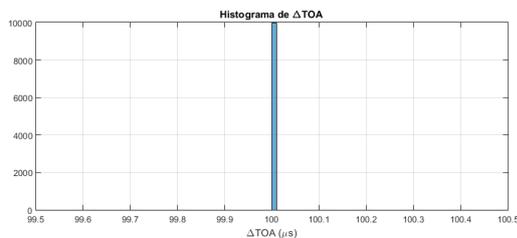


Fig. 10 - Histograma de  $\Delta$ TOA do cenário radar gerado.

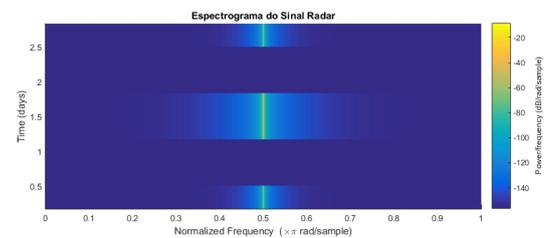


Fig. 11 - Espectrograma do cenário radar gerado.

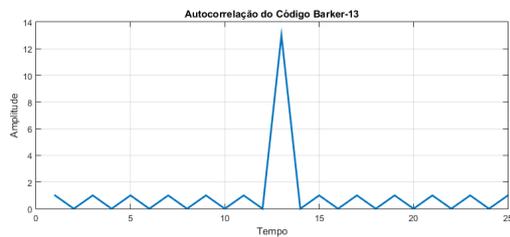


Fig. 12 - Autocorrelação da Codificação Barker-13.

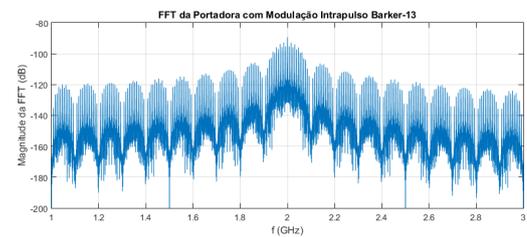


Fig. 13 - FFT da portadora com PMOP Barker-13.

função de janelamento,  $mS$  é deslocamento da função de janelamento  $w$  sobre o sinal discreto  $x$ ,  $S$  é o passo de análise,  $m$  é o índice do segmento de  $x$  considerado e  $k$  é o índice da frequência discretizada.

A Fig. 12 mostra a autocorrelação entre dois pulsos do cenário radar gerado. Observa-se a autocorrelação típica da codificação Barker-13 com Razão de Nível de Lóbulo Lateral (*Sidelobe Level Ratio* - SLL) igual a  $-22.3$  dB. A Fig. 13 mostra a FFT (*Fast Fourier Transform*) da portadora com PMOP Barker-13 gerada exibindo seu pico em  $f_c = 2$  GHz.

## V. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos na seção IV, notamos que o cenário radar gerado corresponde, de fato, ao cenário configurado na entrada do GCRadAr, havendo concordância entre os valores configurados (para os parâmetros  $f_c$ , PW, PMOP e PRI) e os valores obtidos nos resultados. Para o caso em questão, pode-se afirmar que o GCRadAr apresentou resultados satisfatórios a partir das PDWs empregadas. Além disso, o cenário contendo um único emissor foi suficiente para validar a abordagem adotada no modelo sem, contudo, deixar de observar que há limitações no GCRadAr, quando combinado com o AWG. Estas limitações são relacionadas ao intervalo temporal entre pulsos, à duração dos pulsos e à duração do cenário, decorrentes de restrições de *hardware* do AWG, que podem ser trabalhadas no GCRadAr para que sejam superadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao M.Sc. Marcos Vinícios da Silva Nóbrega, responsável pelo desenvolvimento da primeira versão do Gerador de PDWs, realizado no GSGER do IPQM, sem o qual não seria possível a realização da implementação deste GCRadAr.

## REFERÊNCIAS

- [1] NERI, F. *Introduction to Electronic Defense Systems*. Norwood, MA, USA: Artech House, 2001.
- [2] BARTON, D. K.; LEONOV, S. A. *Radar Technology Encyclopedia*. Norwood, MA, USA: Artech House, 1998.
- [3] MATUSZEWSKI, J. *The Specific Radar Signature in Electronic Recognition System*.
- [4] PACE, P. E. *Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar*. Norwood, MA, USA: Artech House, 2009.
- [5] SKOLNIK, M. I. *Introduction to Radar Systems*. New York, NY, USA: McGrawHill, 2001.
- [6] ADAMY, D. *EW 101 - A First Course in Electronic Warfare*. Norwood, MA, USA: Artech House, 2000.
- [7] KIM, H. G.; MOREAU, N.; SIKORA, T. *Introduction to MPEG 7 Audio*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2005.
- [8] WILEY, R. G. *ELINT: The Interception and Analysis of Radar Signals*. Norwood, MA, USA: Artech House, 2006.
- [9] FILHO, J. C. P.; BACKX, F. D.; FERREIRA, A. de O. *Uma Ferramenta de Análise para a Inteligência Eletrônica da Marinha do Brasil*. [S.l.]: manuscript, Concurso Prêmio Soberania pela Ciência, 2016.
- [10] OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W.; BUCK, J. R. *Discrete-Time Signal Processing*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1998.
- [11] DINIZ, P. S. R.; SILVA, E. A. B. da; NETTO, S. L. *Processamento Digital de Sinais: Projeto e Análise de Sistemas*. Porto Alegre, RS, Brasil: Bookman, 2004.