

Avaliação da influência de requisitos operacionais na geração de imagens SAR em tempo real.

Anthony Chiaratti^{1,2} e David Fernandes²

Embraer S.A., Av. Brigadeiro Faria Lima, 2170 - 12227-901, São José dos Campos, SP
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - São José dos Campos - SP - CEP 12228-900

Resumo — A geração de imagens do Radar de abertura sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*) envolve um grande volume de operações com números complexos a partir dos dados brutos recebidos, os quais devem ser processados para obtenção da imagem. Os requisitos operacionais relativos à resolução da imagem, a dimensão da região imageada e a sua distância da plataforma impõem severas restrições de tempo para a geração das imagens em tempo real. Este trabalho analisa a complexidade computacional do processador *Range-Doppler* e calcula os tempos de processamento de um sistema SAR operando em modos de curta, média e longa distância. Os tempos de processamento são calculados parametricamente e comparados com as restrições. O estudo mostra também a possibilidade de aproveitar melhor o processador escolhido, melhorando os requisitos especificados.

Palavras-Chave — SAR, Tempo Real, Processamento SAR.

I. INTRODUÇÃO

SAR, do inglês *Synthetic Aperture Radar*, é um radar imageador utilizado com frequência em aplicações de sensoriamento remoto para obtenção de imagens de alta qualidade em áreas de interesse, complementando assim as informações de sistemas imageadores ópticos [1] [2]. Esse sensor pode operar em uma plataforma orbital ou aérea, sendo que a sua utilização nesta última plataforma apresenta algumas especificidades tal como a necessidade de compensação de movimento devido aos desvios da sua trajetória [3].

Dentre os benefícios da utilização de radares de abertura sintética tem-se a possibilidade de imagear regiões onde sensores ópticos são ineficientes, como em condições de nuvens, chuva ou em áreas com vegetação densa ou quando o alvo a ser detectado está encoberto pela camada vegetal. Devido às suas características de sensor ativo, o SAR independe de qualquer tipo de iluminação natural ou de emissão própria do alvo.

As aplicações podem utilizar o armazenamento de dados e geração de imagens *off-line*, ou em tempo real, usualmente são aplicações destinadas às atividades de vigilância com imagens, de detecção de alvos móveis, de estimação de suas velocidades [4] e de subsídio a tomada de decisões em uma cadeia de Comando e Controle (C2).

O alto custo computacional para desenvolvimento de processadores de imagens SAR operando em tempo real é devido ao alto desempenho de hardware e software para exercer essa função. O desenvolvimento de processadores em FPGAs (*Field-Programmable Gate Array*), CPUs (*Central Processing Unit*) ou GPUs (*Graphical Processing Unit*)

utilizam arquiteturas diferentes entre si, mas possuem um poder de processamento paramétrico que pode ser calculado pela capacidade de processar multiplicações complexas de ponto flutuante.

O trabalho realizado avalia as restrições impostas pelo processamento em tempo real, realizado pelo processador *Range-Doppler*, em função dos requisitos para a imagem gerada por um dado sistema SAR aeromarcado [5] [6]. Avalia se uma dada capacidade de processamento atende os requisitos de tempo de processamento e de latência exigidos por requisitos do usuário das imagens SAR e, analisa como uma melhor utilização do processamento disponível pode melhorar parâmetros os requisitos iniciais do sistema sem prejudicar a latência na obtenção da imagem.

II. O PROCESSAMENTO RANGE-DOPPLER

O processador SAR *Range-Doppler* é analisado nesse capítulo. Processadores SAR, tais como o *Chirp-Scaling*, *k-ω* entre outros, que tem as suas vantagens e desvantagens e que não serão abordados nesse trabalho, mas são analisados comparativamente em [6] e [7].

A geometria de aquisição dos dados brutos a serem processados é mostrada na Fig. 1, onde h é a altitude da plataforma, v_p sua velocidade, r_0 a distância do centro da cena à trajetória do sensor, ϑ_0 o ângulo de visada do centro da cena, e θ_e e θ_a são, respectivamente, a abertura angular da antena em elevação e em azimuth (direção de voo da plataforma).

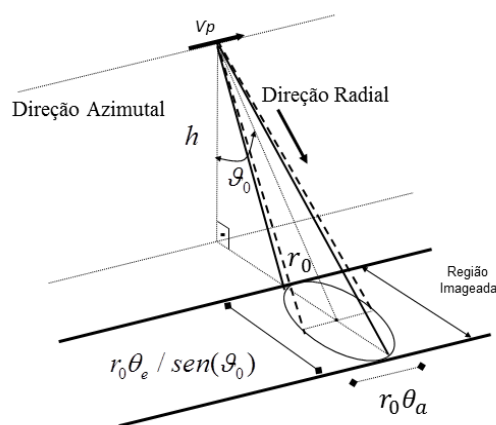


Fig. 1 – Geometria de iluminação do sensor SAR

O sinal transmitido pelo SAR é usualmente um pulso modulado linearmente em frequência e recebe a denominação

de *chirp* utilizando uma portadora de frequência muito maior que sua banda, constituindo assim um sinal passa-faixa de faixa estreita, com envoltória complexa descrita por:

$$\tilde{s}(t) = A \text{rect}[t/T_p] \exp\{j\pi\gamma_R t^2\} \quad (1)$$

onde γ_R é o chirp rate ou a variação instantânea de frequência do sinal emitido, A é a amplitude do sinal, T_p é a duração do pulso transmitido e $\text{rect}[t/T_p]$ é a função retangular centrada em zero e de duração T_p .

Considerando uma função $\tilde{\gamma}(a', r')$ representativa da refletividade complexa da cena imageada, a imagem bruta em termos espectrais $\tilde{H}(\xi, \eta; r)$ gerada por esta cena pode ser escrita por [1]:

$$\tilde{H}(\xi, \eta) = \iint \tilde{\gamma}(a, r) \exp\left\{-j\frac{4\pi}{\lambda}r\right\} \tilde{G}(\xi, \eta; r) \times \exp\{-j2\pi\xi a\} \exp\{-j2\pi\eta r\} da dr \quad (2)$$

onde (ξ, η) são as componentes espectrais (número de onda) correspondente a distância azimutal e em *range* (a', r'), $\tilde{G}(\xi, \eta; r)$ é a transformada dupla de Fourier da FEP (Função Espalhamento Pontual), que representa o sinal eco no plano (a', r'), dado um alvo pontual em (a, r) [1]:

$$\tilde{G}(\xi, \eta; r) = \text{rect}\left[\frac{\xi}{2\Delta\xi}\right] \text{rect}\left[\frac{\eta}{2\Delta\eta}\right] \exp\{-j2\pi\psi(\xi, \eta; r)\} \quad (3)$$

e ainda

$$\psi(\xi, \eta; r) = \frac{\eta^2 c_o T_p}{8\Delta\eta} - \left(\eta + \frac{2}{\lambda}\right)r + r \sqrt{\left(\eta + \frac{2}{\lambda}\right)^2 - \xi^2} \quad (4)$$

onde $2\Delta\xi = 2/L_a$ é, em termos de número de onda (1/m), a banda azimutal da imagem bruta, L_a é o comprimento efetivo da antena na direção azimutal, $2\Delta\eta = 2\gamma_R T_p / c_o$ a banda em *range* (direção de propagação da onda eletromagnética) da imagem bruta, também em número de onda (1/m), e c_o é a velocidade da luz no vácuo.

O processador *Range-Doppler* tem a sua estrutura básica formada pela aproximação polinomial em η da fase $\psi(\xi, \eta; r)$ da função de transferência $\tilde{G}(\xi, \eta; r)$ expressa em (4) e (3). Essa aproximação com as suas componentes: compressão azimutal, correção da migração da célula de resolução (RCM – *Range Cell Migration*), correção secundária da migração da célula de resolução (SRCM – *Secondary Range Cell Migration*) e compressão em *range* e calculada como:

$$\begin{aligned} \psi(\xi, \eta; r) &\cong \psi(\xi, 0; r) + \frac{\delta\psi(\xi, \eta; r)}{\delta\eta} \bigg|_{\eta=0} \eta + \frac{\delta^2\psi(\xi, \eta; r)}{2\delta\eta^2} \bigg|_{\eta=0} \eta^2 \\ &\cong \underbrace{\psi_0(\xi; r)}_{\text{Compressão azimutal}} + \underbrace{\psi_1(\xi; r)}_{\text{Correção da Range Cell Migration (RCM)}} \eta + \underbrace{\left[\psi_2(\xi; r) + \frac{c_o T_p}{8\Delta\eta'}\right]}_{\text{Correção da Secondary Range Cell Migration (SRCM)}} \eta^2 \end{aligned} \quad (5)$$

O processador *Range-Doppler* segue a sequência de operações, para obtenção da imagem, mostrada na Fig. 2.

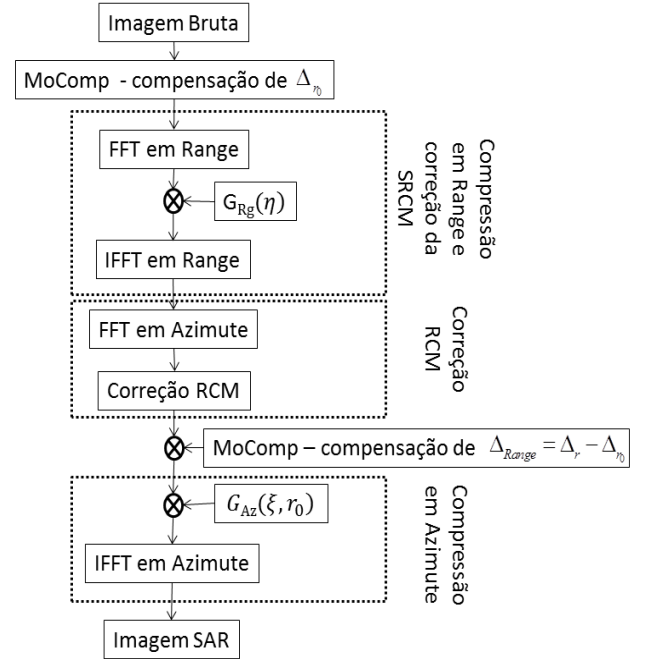


Fig. 2 - Processador Range-Doppler

Para geração imagens de alta qualidade, as variações no movimento devem ser consideradas na forma de compensação de movimento (MoComp – *Motion Compensation*), essa compensação pode ser revisitada em [3]. A primeira correção realizada é a das variações de velocidade da plataforma em relação ao solo, aplicada ao período de repetição de pulsos T_0 de modo que o espaçamento espacial entre duas amostras de sinal na direção de voo (direção azimutal) seja constante, ou seja, $v'_p T'_0$ constante, sendo v'_p a velocidade variante da plataforma e T'_0 o período que compensa a variação da velocidade.

Após receber os dados brutos, uma compensação média da variação dos desvios em distância é realizada, com fase a ser corrigida descrita por $\exp\{-j(4\pi/\lambda)\Delta_0\}$, onde Δ_0 é o desvio em distância da trajetória em relação ao centro da cena.

A compressão em *range* e compensação da RCM consiste na transformada de Fourier em *range* dos dados brutos, na multiplicação pelo termo $G_{Rg}(\eta)$ e a transformada de Fourier inversa. Este cálculo realizado com um janelamento espectral $\text{rect}[\eta/(2\Delta\eta)]$ reduz o volume de dados a serem

processados. Para processamento em tempo real é necessário que cada sinal eco recebido com a periodicidade T_0 , seja comprimidos em *range* e armazenados para os demais estágios do processador, definindo o tempo crítico de processamento em *range* T_{Range} dado por:

$$T_{Range} < T_0 \quad (6)$$

essa operação de compressão em *range* e correção da SRCM é feita pela função

$$\tilde{G}_{Rg}(\eta) = \text{rect}\left[\frac{\eta}{2\Delta\eta'}\right] \exp\left\{-j2\pi\frac{\eta^2 c_o T_p}{8\Delta\eta}\right\} \quad (7)$$

Compressão em range

$$\times \exp\left\{-j2\pi\psi_{SRCM}(\xi = \xi_{dc}; r = r_0)\eta^2\right\}$$

Correção SRCM

onde $\Delta\eta' \leq \Delta\eta$ controla a resolução em *range* da imagem SAR formada e a fase do termo de correção do SRCM é dada por:

$$\psi_{SRCM}(\xi = \xi_{dc}; r = r_0) = \frac{\lambda r_0}{4\sqrt{1 - (\lambda\xi_{dc}/2)^2}} \left(\frac{1}{1 - (\lambda\xi_{dc}/2)^2} - 1 \right) \quad (8)$$

onde $\xi_{dc} = 2\sin\phi/\lambda$ é o Doppler centroide caso o apontamento da antena não esteja normal a trajetória da plataforma e ϕ é o *squint angle*, ou o ângulo de apontamento da antena em relação a normal à trajetória da plataforma.

As técnicas para compensação do RCM envolvem interpolação e um deslocamento na dimensão *range* [7]. Uma vez feita a interpolação, os deslocamentos serão realizados para cada valor espectral azimutal ξ dados pela função:

$$\tau_{RCM}(\xi; r = r_0) = r_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (\lambda\xi/2)^2}} - 1 \right) \quad (9)$$

esse procedimento, de deslocamento espacial em *range* (r), equivale à compensação no domínio espectral η do termo:

$$\exp\left\{-j2\pi r_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (\lambda\xi/2)^2}} - 1 \right) \eta\right\}, \text{ com } r = r_0 \quad (10)$$

após os deslocamentos faz-se uma dizimação em *range* para que a imagem volte a sua dimensão original.

A segunda parte da compensação do movimento consiste na correção da fase relativa à $\Delta_{Range} = \Delta_r - \Delta_{r_0}$, ou seja,

$\exp\left\{-j(4\pi/\lambda)\Delta_{Range}\right\}$, que é realizada no domínio *Range-Doppler* (ξ, r). $\Delta_r + \Delta_{r_0}$ é o desvio total em *range* da trajetória.

A compressão em azimute é feita pelo termo:

$$G_A(\xi; r) = \text{rect}\left[\frac{\xi}{2\Delta\xi'}\right] \exp\left\{j\frac{4\pi r}{\lambda} \left[\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda\xi}{2}\right)^2} - 1 \right]\right\} \quad (11)$$

onde $\Delta\xi' \leq \Delta\xi$ controla a resolução azimutal da imagem SAR formada. A saída desse estágio é a imagem SAR desejada.

Considerando um alvo pontual com refletividade complexa γ_o nas coordenadas $(\bar{a}, \bar{r})$, tem-se que $\tilde{\gamma}(a', r') = \tilde{\gamma}_o \delta(a' - \bar{a}, r' - \bar{r})$ e a imagem SAR deste alvo será a FEP dada por [1]:

$$\hat{\gamma}(a, r) = 4\gamma_o \Delta\xi' \Delta\eta' \exp\left\{-j\frac{4\pi}{\lambda} \bar{r}\right\} \times \text{sinc}[2\Delta\xi'(a - \bar{a})] \text{sinc}[2\pi\Delta\eta'(r - \bar{r})] \quad (12)$$

onde $\text{sinc}[\cdot] = \text{sen}[\cdot]/[\cdot]$.

Da FEP pode-se tirar a resolução da imagem SAR em azimute e *range*, dadas respectivamente, por [2] [7]:

$$\delta_A = \frac{1}{2\Delta\xi'} \geq \frac{1}{2\Delta\xi} = \frac{L_a}{2} = \frac{\lambda}{2\theta_a} \quad (13)$$

$$\delta_R = \frac{1}{2\Delta\eta'} \geq \frac{1}{2\Delta\eta} = \frac{c_o}{2\gamma_R T_p} \quad (14)$$

III. COMPLEXIDADE COMPUTACIONAL

Para uma imagem SAR de $M \times N$ amostras (*range* x azimute), M_d e N_d dados são descartados (metade em cada borda) devido o efeito de borda causado pela convolução das funções de referência radial e azimutal que são utilizadas no processo de foco da imagem. O descarte é dado por [7]:

$$M_d = \left\lceil \frac{c_o T_p'}{2d_r} \right\rceil = \left\lceil \frac{c_o}{2T_s \gamma_R \delta_r} \right\rceil \quad (15)$$

$$N_d = \left\lceil \frac{\max\{L_s\}}{d_A} \right\rceil \cong \left\lceil \frac{r_{\max} \theta'_a}{d_A} \right\rceil = \left\lceil \frac{\lambda \sqrt{h^2 + (D_F + L_F)^2}}{2\delta_A v_p T_0} \right\rceil \quad (16)$$

onde T_s é o tempo de amostragem do sinal eco, δ_r a resolução requerida em *range*, λ é o comprimento de onda da portadora, D_F é a distancia no solo da plataforma ao inicio da região imageada (*ground range*), L_F é a largura da faixa imageada e δ_A é a resolução requerida em azimute.

O número de amostras em *range* deve ser tal que $M > 2M_d$ e ainda da geometria da Fig. 1 tem-se:

$$M = 2^{\wedge} \left\lceil \log_2 \left(\frac{\sqrt{h^2 + (D_F + L_F)^2} - \sqrt{h^2 + D_F^2}}{c_o T_s} \right) \right\rceil \quad (17)$$

onde $\log_2$ é a função logarítmica na base 2, $\lfloor \cdot \rfloor$ é a função menor inteiro e M é definido como potencia de 2 para uma melhor desempenho da FFT (*Fast Fourier Transform*) [8].

O processamento em de M amostras pode ser dividido em blocos, dessa forma, pode ser processados B_R blocos de M_B (potência de 2) amostras, calculados por:

$$B_R = \left\lceil \frac{M - M_d}{M_B - M_d} \right\rceil \quad (18)$$

Como a compressão em *range* é composta basicamente de uma FFT, uma multiplicação complexa de todos os pontos e uma IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*). Pode se escrever a complexidade computacional da compressão *range* Θ_{Range} parametrizado pelo número de multiplicações complexas [9]:

$$\Theta_{Range} = 2B_R M_B \log_2(M_B) + M \quad (19)$$

onde o fator 2 é advindo da FFT e IFFT que possuem complexidade $K \log_2(K)$ cada, sendo K um número potencia de 2.

A correção RCM é composta de N FFTs de amostras em *range* relativas aos sinais ecos, a operação de *zero padding* (preenchimento de zeros) nestas FFTs, o deslocamento de cada uma das N colunas e a IFFT com as dezimações. Destas operações o *zero padding* e a dizimação serão negligenciados, porém o efeito do *zero padding* de K_P pontos na IFFT é considerado no número críticos de operações. A complexidade Θ_{RCM} é dada por:

$$\Theta_{RCM} = NB_R M_B \log_2(M_B) + NB_R M_B K_P \log_2(M_B K_P) \quad (20)$$

Para a compensação de movimento, um termo multiplicativo de MN pontos é realizado, outro termo de mesmas características é feito na compressão em azimuth, sendo que essas operações juntas apresentam complexidade $\Theta_{MoComp+Az}$:

$$\Theta_{MoComp+Az} = 2MN \quad (21)$$

Para a compressão em azimuth são feitas M FFTs e depois M IFFTs em azimuth com complexidade Θ_{FFTsAz} :

$$\Theta_{FFTsAz} = 2MN \log_2(N) \quad (22)$$

O número N de amostras em azimuth, deve ser tal que $N > 2N_d$, é controlado de forma que o tempo de latência de processamento da imagem não exceda limites determinados para utilização da imagem SAR. Para um dado N o tempo máximo para geração dessa imagem é dado por:

$$T_{Critico} \leq (N - N_d) T_0 \quad (23)$$

dessa forma os dados das amostras subsequentes não serão acumulados, possibilitando o processamento em tempo real.

No caso crítico durante $T_{Critico}$ serão processados termos com complexidades somadas de (20) à (22) além de

$(N - N_d)$ amostras em *range* recebidas paralelamente com complexidade (19). Pode então definir uma complexidade crítica parametrizada $\Theta_{Critica}$:

$$\begin{aligned} \Theta_{Critica} = & \underbrace{(N - N_d)}_{\text{Número crítico de pontos em range}} \underbrace{(2B_R M_B \log_2(M_B) + \underbrace{M}_{\text{Compressão em range}})}_{\text{FFTs em range}} \\ & + \underbrace{2MN}_{\text{Compressão azimuthal + MoComp}} + \underbrace{2MN \log_2(N)}_{\text{FFTs azimuthal}} \\ & + \underbrace{(NB_R M_B \log_2(M_B) + NB_R M_B K_P \log_2(M_B K_P))}_{\text{RCM}} \end{aligned} \quad (24)$$

Utilizando (19) dividido pelo número de operações por segundo, tem-se o tempo de processamento em *range* T_{Range} que deve obedecer a restrição dada em (6). Utilizando-se (24) dividido pelo número de operações por segundo, tem-se o tempo de processamento crítico $T_{Critica}$, que deve obedecer a restrição dada em (23).

Definindo-se o tempo de processamento como a soma do tempo azimuthal e de correção da RCM como:

$$T_{proc} = T_{Azimutal} + T_{RCM} \quad (25)$$

O tempo de latência será dado por:

$$T_{lat} \cong T_{proc} \leq T_{Critico} \leq (N - N_d) T_0 \quad (26)$$

IV. RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados dos tempos de processamento considerando-se os requisitos realistas de operação. Os Modos de Operação utilizados proveem do Projeto AEROSAR ITA/FINEP 0043-10, que tem como interveniente a FUNDEP (Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa). Estes modos subdivididos em M1, M2 e M3 tem seus requisitos dispostos na TABELA I. Os parâmetros do sensor e da plataforma estão dispostos na TABELA II.

TABELA I – REQUISITOS DE MODOS DE OPERAÇÃO

Parâmetros	M1	M2	M3
h Altitude da plataforma	4 km	8 km	12 km
D_F Distância da região imageada	4,5 km	18 km	72 km
L_F Largura da região imageada	0,5 km	2 km	8 km
δ_R Resolução em <i>range</i>	0,5 m	2 m	8 m
δ_A Resolução azimuthal	0,5 m	2 m	8 m

TABELA II – PARÂMETROS DO SENSOR E PLATAFORMA

Parâmetros Radar	
λ Comprimento de onda	0.03 m
T_0 Período de repetição de pulso	0.625 ms
T_p Duração do pulso	667.13 ns
f_s Frequência de amostragem	300 MHz
ϕ Squint angle	9.97°
γ_R Chirp rate	449.3 THz
L_a Comprimento efetivo da antena	0.25 m
Parâmetros Plataforma	
v_p Velocidade	200 m/s
θ_a Abertura azimuthal da antena	6.88°

Nos resultados apresentados na TABELA III considerou-se que o processador SAR utilizado é capaz de executar 10G FLOPS (*Floating-point Operations Per Second*). Nesse contexto uma operação é definida como uma multiplicação complexa em ponto flutuante. Para estes resultados, considerando-se (6), tem-se que T_{Range} deve ser menor ou igual a $T_0=625 \mu s$.

TABELA III – TEMPOS DE PROCESSAMENTO EM RANGE E LATÊNCIA PARA DADA DIVISÃO POR BLOCOS DE PROCESSAMENTO EM RANGE

B_R	T_{Range}	T_{Lat}
M1 – Imagem 1024x4096(MxN) com $T_{Critico}=1,6s$		
1	$2,15 \mu s$	$76ms$
3	$2,87 \mu s$	$101,5ms$
M2 – Imagem 2048x4096(MxN) com $T_{Critico}=1,75s$		
1	$4,71 \mu s$	$163,93ms$
10	$4,30 \mu s$	$160,52ms$
26	$4,86 \mu s$	$185,24ms$
M3 – Imagem 8192x4096 (MxN) com $T_{Critico}=1,8s$		
1	$22,12 \mu s$	$742,28ms$
9	$19,25 \mu s$	$683,35ms$
34	$14,75 \mu s$	$561,90ms$

Apesar do processamento com um e três blocos em *range* atender os requisitos especificados em M1, o uso de três blocos apresenta um aumento de aproximadamente 30% em T_{Lat} . Nos Modos de Operação apresentados nota-se que quanto menor o tempo de processamento em *range*, menor será o tempo de latência da imagem. Em M3 nota-se que apesar do aumento significativo no número de amostras, principalmente em *range*, devido a distância da plataforma à região imageada, o processador continua atendendo os requisitos impostos. Como os Modos de Operação apresentados atendem os requisitos especificados, pode-se analisar a situação de melhoria dos requisitos da imagem SAR, por exemplo, no requisito de resolução ou no quesito largura de faixa imageada, desde que a criticidade de tempo continuem sendo atendidas.

Escolhendo-se M3 a) com a resolução em *range* e azimuth melhorada de 8,0m para 4,75m e b) variando a faixa imageada de 8km para 16km, mantendo-se a resolução original especificada de 8,0m, mostra-se na TABELA IV o novo tempo de latência, mais próximo ao tempo crítico.

TABELA IV – TEMPOS DE PROCESSAMENTO DE M3 COM RESOLUÇÃO MELHORADA E COM UMA MAIOR FAIXA IMAGEADA

B_R	T_{Range}	T_{Lat}
a) $\delta_R = \delta_A = 4,75m$ e $T_{Critico}=1,28s$		
35	$15,16 \mu s$	$563,22ms$
b) $\delta_R = \delta_A = 8,0m$ $L_F=16Km$, $M=16384$ e $T_{Critico}=1,73s$		
33	$32,05 \mu s$	$1,18s$

Nesta tabela tem-se que em a) o T_{Lat} é aproximadamente o mesmo, já que as dimensões da imagem não foram alteradas, porém o $T_{Critico}$ diminuiu, além disso, o número de blocos que melhor processa M3 sofreu alteração. Esses efeitos ocorrem devido à mudança no termo N_d mostrado em (16). Para uma melhoria nessa resolução o $T_{Critico}$ aumenta, assim pode ser definido um tempo de latência máximo aceitável mais restritivo que o crítico para geração, em b) a dimensão em *range* é alterada e o novo tempo de latência é aproximadamente o dobro, porém continua a atender os

requisitos impostos para operação em tempo real, para um maior valor de L_F o processador é incapaz de cumprir essas restrições sem alterar o número de amostras em azimuth aumentando assim o tempo crítico.

V. CONCLUSÕES

Foram equacionadas as principais operações computacionais do processador *Range-Doppler* por meio de sua complexidade, definindo assim uma base para investigar os efeitos de cada requisito na imagem e a viabilidade de um processador para diferentes modos de operação. Os modos definidos nesse trabalho são oriundos de requisitos reais, sendo possível em um cenário realista identificar melhorias nos requisitos sem inviabilizar a geração de imagens em tempo real.

A arquitetura utilizada pelo processador é indiferente à análise porque o estudo foi parametrizado pelo poder de processamento em operações por segundo e não por frequência de ciclos, assim tanto um microprocessador comum ou arquiteturas diferenciadas como proposta por [4], sofrem as mesmas influências para cada parâmetro que foi avaliado. A avaliação propõe uma utilização mais eficiente de processadores que não utilizam completamente seu poder computacional dependendo do modo de operação.

A divisão dos blocos em *range* é essencial para obter melhores resultados no tempo de geração da imagem. Cada modo de operação apresenta ótimos locais em cada conjunto de requisitos de forma que o estudo mostrou que devem ser operados na melhor divisão de blocos. Esse trabalho pode ser utilizado como base para análise de novos requisitos de operação que venham a ser requeridos e avaliar a sua utilização em plataformas SAR aeroembarcadas.

REFERÊNCIAS

- [1] Franceschetti, G.; Lanari, R. Synthetic aperture radar processing. New York: CRC Press, 1999. ISBN: 0849378990 ISBN-13: 9780849378997.
- [2] Curlander, J. C.; McDonough, R. N. Synthetic aperture radar processing system and signal processing. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [3] Veiga, R. de Q. Processador SAR com Compensação de Movimento para o SAR-SIVAM. 2004. 90f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brazil.
- [4] Elarrat, I. F; Detecção e estimação de velocidade de alvos móveis em imagens SAR utilizando multicanais. 2012. 122f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brazil.
- [5] Guarita, F. C., 2011, “Avaliação da Arquitetura CUDA para Síntese de Imagens SAR”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brazil.
- [6] Trofino, S.; et al. Avaliação do processador SAR Range-Doppler para operação em tempo real em um computador de uso geral. Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa, XIV SIGE, 2012.
- [7] Cumming, I. G.; Wong, F. H. Digital Processing of synthetic aperture radar data: algorithms and implementations. Norwood: Artech House, 2005. ISBN: 1-58053-058-3.
- [8] Cooley, J. W.; Tukey, J. W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. Math Computation, Vol. 19, 297-301, 1965.
- [9] Brent, R.; Zimmermann, P. Modern Computer Arithmetic. Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-0-521-19469-3