

Imagens de Radar de Abertura Sintética como instrumento de auxílio na avaliação do impacto ambiental

David Fernandes¹

Maria Tereza Cortez Fernandes²

¹ Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) - Centro Técnico Aeroespacial (CTA)
Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 12228-900 São José dos Campos, SP
david@ele.ita.cta.br

² Universidade Mackenzie
Pós-Graduação - Saneamento Ambiental
R. Itambé, 45 01239-902 São Paulo, SP

Abstract. It is shown how the Synthetic Aperture Radar (SAR) sensor can be used to provide information for the Environmental Impact Report. The main characteristics of SAR sensor is presented and the properties of the SAR images and their relation with the environment are given.

Keywords: synthetic aperture radar, SAR, image processing, environmental control.

1 Introdução

As preocupações com a qualidade do meio ambiente abrangem desde as zonas de grandes florestas tropicais ou de pequenos ecossistemas peculiares até os grandes centros urbanos e industriais. Essas preocupações geraram mecanismos de avaliação, prevenção, controle e monitoramento do efeito modificador da atuação do homem e da própria natureza.

Uma das ações visando preservar a qualidade do meio ambiente é o Estudo do Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) que visa prever as conseqüências, no meio ambiente, da ação modificadora causada por um grande empreendimento, Tauk(1995). Um dos instrumentos que pode auxiliar a elaboração do RIMA é o Radar de Abertura Sintética, designado pela sigla SAR (Synthetic Aperture Radar).

Neste trabalho são definidas as principais características do sistema imageador SAR e de suas imagens visando: a interpretação das suas imagens e o estabelecimento de uma correspondência entre as imagens SAR e os requisitos do EIA/RIMA. Como exemplo de aplicação consideram-se dois empreendimentos que afetam o meio ambiente e exigem o EIA/RIMA, uma Usina de Reciclagem e/ou Compostagem e um Aterro Sanitário.

2 Impacto Ambiental

Impacto ambiental é definido como alterações ou modificações nas características dos meios físico, biótico e antrópico provocada por uma atividade humana e o estudo do impacto ambiental tem por objetivo a identificação e avaliação das conseqüências dessa atividade.

A resolução No. 1, de 23/1/86, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), definindo impacto ambiental, estabelece os critérios e as diretrizes gerais, relacionados com a adequada aplicação das normas do artigo 18 do Decreto No. 88.351, de 1/6/83, sobre o estudo e

conseqüente avaliação de impacto ambiental, como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.

Uma equipe multi-disciplinar (geógrafos, químicos, biólogos, engenheiros, advogados, ecologistas, representantes da sociedade, etc.) realiza o estudo do impacto ambiental (EIA) com o objetivo de fazer uma avaliação preventiva da ação modificadora causada por um grande empreendimento como por exemplo: mineração, construção de aeroportos, hidrovias, rodovias, usinas hidroelétricas, complexos petroquímicos, siderúrgicos e cloroquímicos, entre muitos outros. Essa avaliação gera o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) que deve ser aprovado por parte do órgão estadual competente e pela Secretária Especial do Meio Ambiente (SEMA), atualmente IBAMA – em caráter supletivo, Tauk (1995).

Segundo a Política Nacional do Meio Ambiente cada estado define as suas condições próprias para o licenciamento de novos empreendimentos industriais. No Estado de São Paulo o DAIA (Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental) é o órgão responsável para a avaliação e aprovação do RIMA relativo às atividades degradadoras geradas por grandes empreendimentos, Licco (1997).

No Estado de São Paulo, com o objetivo de agilizar a aprovação do RIMA, foi criado o Relatório Ambiental Preliminar (RAP), Licco (1997). O RAP é um relatório simplificado que pode ser elaborado mais facilmente. Em alguns casos o RAP poderá ser suficiente para aprovação do projeto.

Na elaboração do RIMA, a área de influência do empreendimento deve ser caracterizada por: mapas, vias de comunicação, localização de corpos de água, uso e ocupação do solo e topografia. Essa caracterização pode empregar, além do trabalho de campo, o uso de sistemas para o sensoriamento remoto tais como os sistemas imageadores ópticos (visível e infravermelho) e os sistemas imageadores de microondas (SAR).

3 Radar de Abertura Sintética (SAR)

O Radar de Abertura Sintética é um sistema imageador ativo de ondas de rádio, em geral microondas, embarcado em aeronaves (aertransportado) ou satélites (orbital), utilizado para o sensoriamento remoto.

A SAR distingue-se dos sensores ópticos, na faixa do visível ou do infravermelho, pelo fato de utilizar uma fonte de ondas de rádio como elemento gerador de radiação. Distingue-se também dos sensores passivos, ópticos ou de ondas de rádio, pois possui uma fonte ativa e controlável de radiação a qual define a frequência, a polarização e o ângulo de incidência da onda transmitida.

Devido as características de penetração do sinal de rádio o imageamento pode ser realizado na presença de nuvens, neblina e chuva, também pode ser feito durante a noite sem a presença da luz solar. Com a escolha adequada da frequência da onda transmitida pode-se imagear, por exemplo, a copa das arvores de uma floresta ou o solo da floresta.

A seguir salientam-se algumas características básicas do sensor SAR, das imagens geradas por esse sensor e das imagens tridimensionais geradas pelo processo de interferometria.

3.1 Sensor SAR

O SAR é constituído de um radar, com as características de um radar convencional, com visada lateral, ou seja, o diagrama de irradiação da antena do radar é disposto obliquamente em relação ao eixo definido pelo vetor velocidade da plataforma na qual esta instalada a antena. A **Figura 3.1** mostra a geometria de iluminação típica do sistema SAR ao longo da sua trajetória de vôo. O eixo radial é relativo a direção de propagação da onda eletromagnética e o eixo azimuthal é relativo a direção de vôo do sensor.

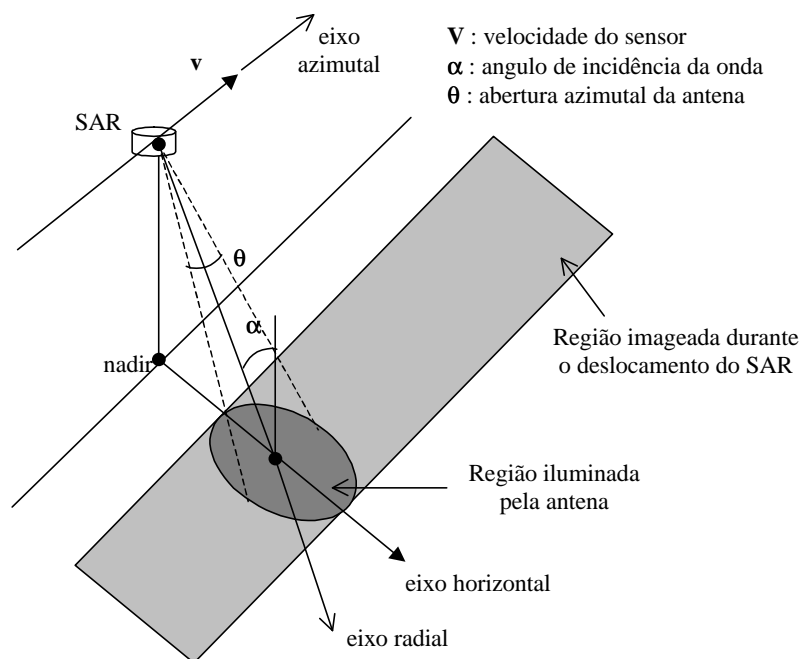


Figura 3.1: geometria típica de iluminação do sistema SAR.

A antena do radar ilumina uma região no solo e a medida que a plataforma com a antena se desloca é iluminada uma faixa do solo. Durante o deslocamento da antena o sensor SAR transmite pulsos de rádio frequência, modulados linearmente em frequência. O sinal eco, produzido pelo retro-espalhamento (backscattering) da energia transmitida incidente na superfície da terra, é recebido pela antena do sensor SAR e é enviado ao receptor radar que gera o vídeo bruto (raw data). O vídeo bruto processado gera a imagem da cena imageada, Tomiyasu (1978).

As características do sinal eco dependem das propriedades eletromagnéticas (permeabilidade, permissividade e condutividade) da cena imageada, da sua forma geométrica (relevo), da sua rugosidade (variações da ordem do comprimento de onda do sinal incidente na cena), da frequência, da polarização e do ângulo de incidência α da onda eletromagnética na cena. Normalmente a refletividade da cena, ou retro-espalhamento, é associada ao coeficiente de retro-espalhamento representado por s_o .

O receptor do radar SAR gera o sinal eco na sua forma bruta sem tratamento e portanto com baixa resolução. As imagens geradas nessa fase não permitem a distinção clara de objetos, bordas ou formas devido a falta de uma resolução satisfatória no sinal eco. A imagem da cena

imageada só é formada através do processamento do sinal eco. Esse processamento aproveita as características da forma de onda dos sinais transmitidos e recebidos para sintetizar um sensor imageador radar de alta resolução, Tomiyasu (1978). A resolução angular é obtida sintetizando-se uma antena muito diretiva e a resolução em distância é obtida através da técnica de compressão de pulsos, Carrara et al. (1995).

A **Figura 3.2** mostra o processo para formação e extração de informações do sistema SAR. As principais partes desse processo são: a) o sensor radar que ilumina a cena, recebe o sinal eco e gera através de um sistema de demodulação o vídeo bruto, b) o processador que sintetiza a imagem explorando as características da seqüência de sinais ecos recebidos e c) o processador de imagens que filtra os ruídos e interferências, detecta alvos, bordas e características peculiares na cena, segmenta e classifica as partes que compõe a imagem da cena.

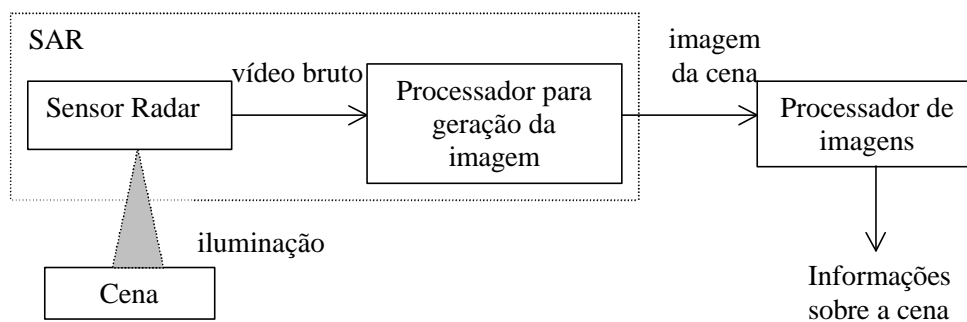


Figura 3.2: processo de geração e processamento das imagens SAR.

3.2 Imagens SAR

O processo de demodulação, realizado pelo sistema radar, permite que a imagem final sintetizada pelo processador de sinais seja complexa, ou seja, contenha informação de amplitude e fase relativo a cena imageada. A amplitude se relaciona a intensidade da reflexão da onda eletromagnética na cena e a fase é relativa ao trajeto entre a antena e a cena e ao mecanismo de reflexão que altera a fase da onda incidente. Da imagem complexa pode-se gerar a imagem amplitude, que é o modulo da imagem complexa, ou a imagem intensidade, que é o modulo ao quadrado da imagem complexa.

Um pixel (picture element) da imagem complexa é formado pela somatória de todas as reflexões que ocorrem dentro de uma célula de resolução do sistema SAR, Fernandes et al. (1992). A **Figura 3.3** ilustra a relação entre um pixel da imagem e a célula de resolução na superfície da cena imageada.

A célula de resolução, que correspondente a imagem SAR, é uma pequena porção da área iluminada pela antena. Como um pixel da imagem representa todos os refletores dentro da célula de resolução a menor distância que pode ser mensurável na imagem é dada pelas dimensões da célula de resolução.

As dimensões radial e azimutal dessa célula são dadas por parâmetros do sensor SAR, Tomiyasu (1978):

radial:
$$D_r = \frac{c_o}{2 T_p \gamma} \quad (3.1)$$

azimutal:
$$D_a = \frac{l}{2 q_a} \quad (3.2)$$

onde: T_p a duração do pulso transmitido pelo sensor, c_o é a velocidade da luz, γ é a razão da variação de frequência da portadora, λ é o comprimento de onda da portadora e q_a é a abertura angular, da antena do sensor, efetivamente utilizada no processo de geração da imagem.

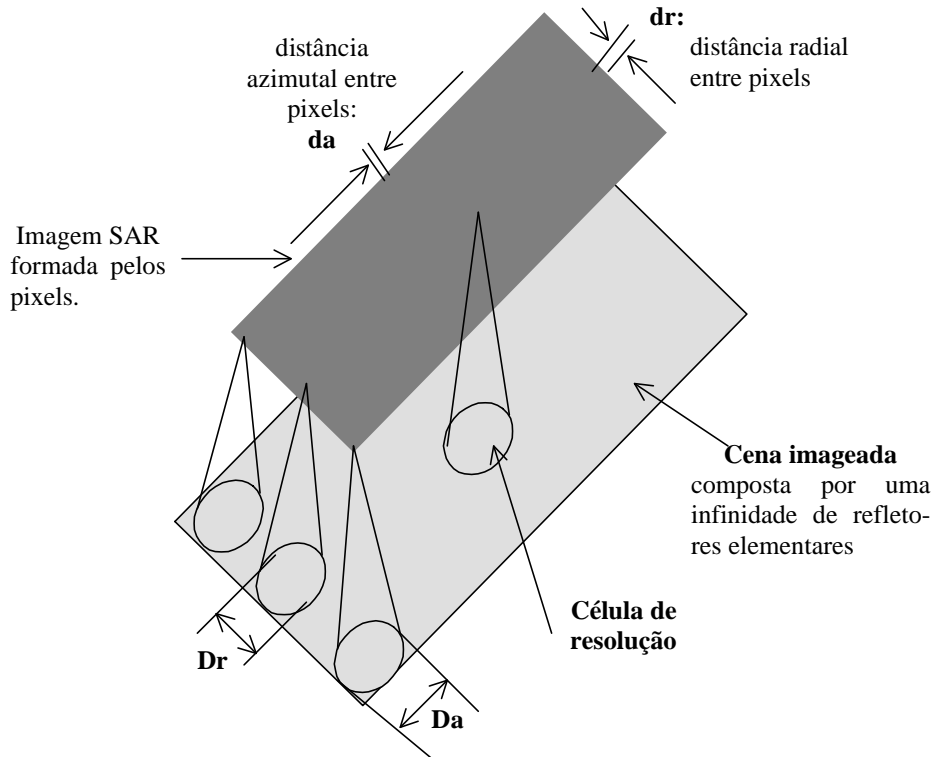


Figura 3.3: os refletores dentro de uma célula de resolução geram um pixel na imagem.

Utilizando-se sub aberturas angulares $q_a < q$, onde q é a abertura angular azimutal da antena SAR, pode-se gerar mais de uma imagem com o mesmo sensor SAR. A média de n imagens, cada uma delas formadas a partir da sub abertura q_a , é chamada de imagem com n -visadas (n -looks). Uma imagem de n -visadas possui menos "speckle". O "speckle" é responsável pela granulosidade que aparece na imagem SAR, esse efeito degrada a qualidade da imagem, Fernandes et al. (1993).

Azimutalmente a melhor resolução é obtida quando $q_a = q$. Prova-se que com esta condição $D_a = l_a / 2$, onde l_a é a extensão física (abertura uniformemente iluminada) da antena SAR na direção azimutal, Tomiyasu (1978).

A separação entre dois pixels consecutivos de uma imagem SAR correspondem na cena imageada às distâncias:

$$\text{radial:} \quad d_r = \frac{c_o T_s}{2} \quad (3.3)$$

$$\text{azimute:} \quad d_a = \frac{v}{prf} \quad (3.4)$$

onde, T_s é o tempo de amostragem do sinal eco recebido pelo sensor SAR, v é a velocidade relativa entre o sensor e os refletores na cena e prf é a frequência de repetição dos pulsos transmitidos pelo sensor SAR.

A **Tabela 3.1** mostra a resolução típica das imagens dos sistema orbital ERS-1 da Agência Espacial Européia (ESA) e do sistema aerotransportado E-SAR do Centro Alemão de Pesquisas Aeroespaciais (DLR) antes e depois do processamento do sinal eco recebido pelo sistema SAR.

Tabela 3.1: resolução típica do SAR

	ERS-1 (orbital)	E-SAR (aerotransportado)
imagem bruta (distância x azimute):	5,5 x 4,5 km	750 x 890 m
imagem SAR final (distância x azimute):	12 x 12 m	3 x 3 m

Um pixel complexo da imagem, dado por $s(x, r)$, é representado matematicamente por:

$$s(x, r) = \iint h_{as}(x - x', r - r') \mathbf{g}(x', r') \exp\left\{-\frac{4\mathbf{p}}{I} r'\right\} dx' dr' \quad (3.5)$$

onde $\mathbf{g}(x', r')$ é a refletividade complexa da cena no ponto (x', r') , $h_{as}(\dots)$ é a função espalhamento pontual do sistema SAR e $\exp\left\{-\frac{4\mathbf{p}}{I} r'\right\}$ é a fase devido a distância entre a antena do sensor e o ponto (x', r') , Fernandes et al. (1992).

A função espalhamento pontual é a imagem de um refletor pontual. Isto pode ser constatado considerando-se um alvo pontual com refletividade dada por um Delta de Dirac. Se o refletor pontual na cena estiver na posição (x_o, r_o) tem-se:

$$\mathbf{g}(x, r) = c \mathbf{d}(x - x_o, r - r_o) \quad (3.6)$$

onde c é uma constante e $\delta(\dots)$ é o Delta de Dirac.

Com (3.6) em (3.5) tem-se:

$$s(x, r) = c h_{as}(x - x_o, r - r_o) \exp\left\{-\frac{4\mathbf{p}}{I} r_o\right\} \quad (3.7)$$

A expressão (3.8) é a imagem SAR do alvo pontual ideal. Essa imagem é a função $h_{as}(\dots)$.

Se as dimensões de uma célula de resolução fossem pontuais haveria uma correspondência direta entre a refletividade da cena e um pixel da imagem. Isso pode ser constatado supondo-se que a função espalhamento pontual é um Delta de Dirac, ou seja:

$$h_{as}(x, r) = k \mathbf{d}(x, r) \quad (3.8)$$

onde, k é uma constante.

Com (3.8) em (3,5) tem-se:

$$s(x, r) = k \mathbf{g}(x, r) \exp\left\{-\frac{4\mathbf{p}}{I} r\right\} \quad (3.9)$$

Ou seja, um pixel da imagem complexa, de um sistema SAR ideal, representa a refletividade da cena juntamente com a fase relativa a distância da antena ao refletor.

Como as dimensões da célula de resolução não são pontuais a função espalhamento pontual não é um Delta de Dirac. Para os sistemas SAR essa função pode ser aproximada por, Carrara et al. (1995):

$$h_{as}(x, r) = k \frac{\text{sen}(\mathbf{p}.x / D_a) \text{sen}(\mathbf{p}.r / D_r)}{\mathbf{p}.x / D_a \quad \mathbf{p}.r / D_r} \quad (3.10)$$

onde k é uma constante, D_r e D_a são respectivamente as resoluções radial e azimutal da célula de resolução.

A refletividade complexa $\mathbf{g}(x, r)$ é associada ao coeficiente de retro-espalhamento \mathbf{s}_o através da expressão:

$$|\mathbf{g}(x, r)|^2 = \mathbf{s}_o(x, r) \quad (3.11)$$

Deste modo o coeficiente de retro-espalhamento pode ser estimado, em regiões homogêneas (regiões com igual refletividade), através da média amostral da imagem intensidade $|s(x, r)|^2$:

$$\mathbf{s}_o(x, r) = K \cdot \langle |s(x, r)|^2 \rangle \quad (3.12)$$

onde K é uma constante de proporcionalidade e $\langle |s(x, r)|^2 \rangle$ representa a média amostral do pixel (x, r) da imagem intensidade, calculada através dos pixels da sua vizinhança. Utilizando-se alvos que tenham um coeficiente de retro-espalhamento conhecido pode-se calibrar a imagem, ou seja, determina-se a constante K .

A determinação do coeficiente de retroespalhamento a partir da imagem intensidade permite classificar as diferentes regiões de uma imagem.

Como um pixel da imagem SAR é formado pela somatória de todas as reflexões originadas pelos refletores elementares dentro de uma célula de resolução, que normalmente é constituída por uma infinidade de refletores elementares, um pixel da imagem é representado por uma variável aleatória. Se as células de resoluções correspondente a pixels adjacentes se superpõem então haverá correlação entre esses pixels.

A aleatoricidade do pixel da imagem SAR é modelada pelo modelo multiplicativo speckle-textura, Fernandes et al.(1993), Lee et al. (1994):

$$I(x, r) = T(x, r) S(x, r) \quad (3.13)$$

onde, $I(.,.)$ é um pixel da imagem, amplitude $|s(x, r)|$ ou intensidade $|s(x, r)|^2$, $T(.,.)$ representa a textura e $S(.,.)$ representa o "speckle".

O “speckle” é a componente do pixel devido a rugosidade da cena, da ordem do comprimento de onda da radiação, por definição considera-se que o “speckle” tem média unitária.. O “speckle” prejudica a observação e a quantização da textura das diversas regiões da imagem e dificulta a detecção de alvos e bordas, Sant’Anna (1995), Fernandes (1998).

A Textura é associada a macro rugosidade do alvo extenso. As regiões que compõe uma imagem podem ser segmentadas e classificadas em função das diferentes texturas presentes na cena.

A **Figura 3.4** mostra: a) uma imagem SAR, na Banda L e polarização VV, do sistema aerotransportado E-SAR do “German Aerospace Research Center”, Oberpfaffenhofen - Alemanha, b) a mesma imagem com o “speckle” reduzido e enfatizando as classes que compõe a imagem, Fernandes (1998).

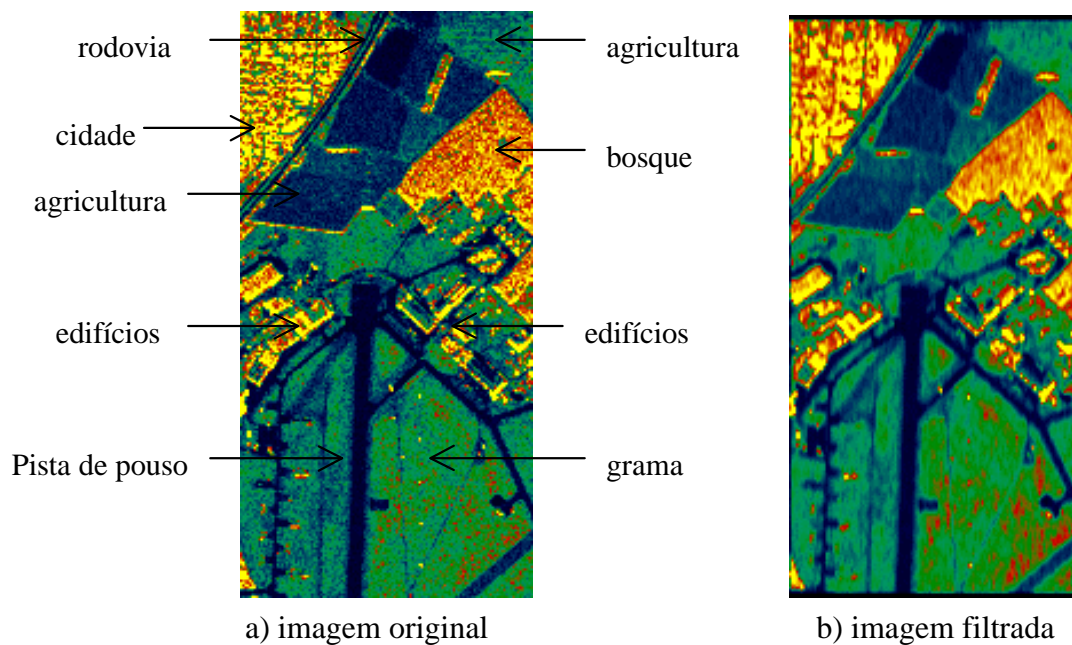


Figura 3.4: imagem E-SAR da região de Oberpfaffenhofen/Gilching - Alemanha

De uma mesma cena pode-se obter diferentes imagens variando-se a frequência da onda eletromagnética transmitida, ou variando-se a polarização da onda transmitida/recebida. As diferentes imagens, com diferentes texturas, são devido a dependência do coeficiente de retro-espalhamento da polarização e frequência da onda eletromagnética transmitida pelo radar. Essa diversidade de informação também é utilizada na classificação das diferentes regiões que compõe uma imagem.

3.3 Interferometria SAR

A partir de duas imagens SAR, de uma mesma cena, pode-se gerar a imagem tridimensional da cena (modelo digital de elevação), Mura, (1993), Allen (1995), Fernandes et al. (1996). Essas imagens podem ser geradas simultaneamente por uma plataforma com dois sensores SAR (one-pass interferometry) ou por duas passagens de plataformas com um sistema SAR (two-pass

interferometry). A **Figura 3.5** mostra a geometria de dois sensores SAR que possibilitam a geração da imagem tridimensional.

A resolução vertical da imagem tridimensional é dada por, Allen (1995):

$$D_h = \frac{I r \sin(\mathbf{h})}{2 B n} = \frac{I r \sin(\mathbf{h})}{2 B \cos(\mathbf{e} - \mathbf{h})} \quad (3.14)$$

onde, r é a distância a um ponto de referência no solo, \mathbf{h} é o ângulo de visada ao ponto de referência, B é a linha base entre os dois sensores, Bn é linha base efetiva e \mathbf{e} é o ângulo de inclinação da linha base.

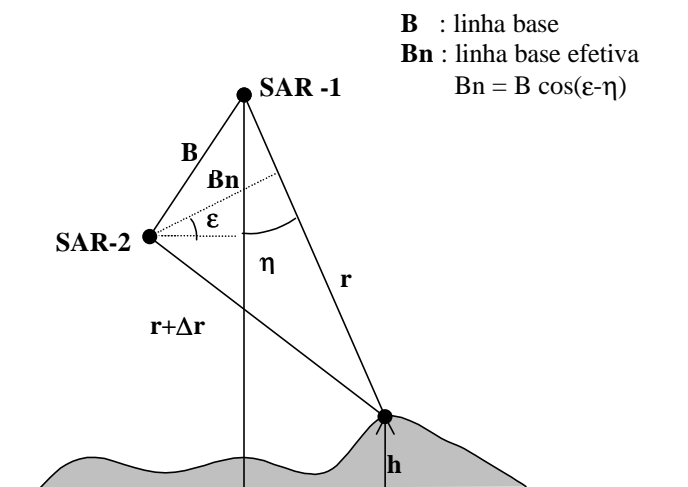


Figura 3.5: interferometria SAR.

Por exemplo, para o sistema orbital ERS-1/2 com $r = 850\text{km}$, $I = 5,6\text{cm}$, $\mathbf{h} = 23^\circ$ e uma linha base efetiva entre dois satélites de 500m tem-se a resolução vertical de 18,6m. Com sistemas aerotransportados pode-se chegar a uma resolução vertical da ordem de dezenas de centímetros.

A **Figura 3.6** mostra de modo simplificado os processos envolvidos na geração de imagens tridimensionais de uma cena.

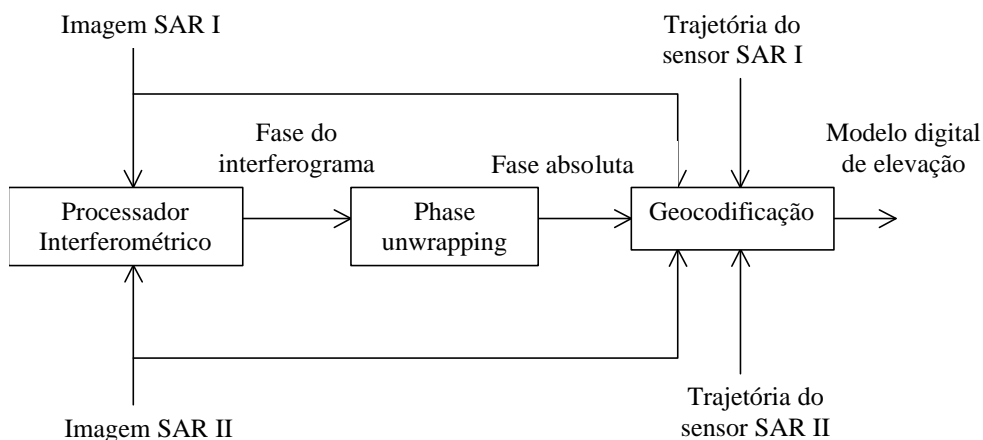


Figura 3.6: interferometria SAR

O processador interferométrico calcula a diferença de fase Dq , pixel a pixel, entre as duas imagens SAR complexas:

$$-p \leq \Delta q = \frac{4p}{l} \Delta r < p \quad (3.15)$$

Essa diferença de fase, ambígua variando no intervalo $[-\pi, \pi)$, é transformado pelo processador de “phase unwrapping” em fase absoluta permitindo deste modo o calculo da diferença de distância, pixel a pixel, entre um ponto da cena e os dois sensores SAR. Tendo-se a trajetória dos sensores que geraram as imagens pode-se calcular o modelo digital de elevação do terreno em coordenadas geográficas.

4 Utilização de imagens no EIA/RIMA

A imagem SAR pode ser processada de vários modos:

- filtragem é a técnica para redução de ruídos, do “speckle” e de interferências,
- detecção é o processo de detetar bordas (separações entre as diferentes regiões da imagem) objetos peculiares, linhas e formas,
- segmentação é o processo de separação das diferentes classes de alvos extensos que compõem a imagem da cena e
- classificação e a associação das classes que compõem a imagem com as características reais, de interesse, da cena (verdade terrestre).

A título de exemplo é mostrado como as imagens SAR e os diversos tipos de processamentos podem ser utilizadas na elaboração dos RIMA relativos a Usinas de Reciclagem e/ou Compostagem e de Aterros Sanitários para destinação de resíduos sólidos domiciliares e industriais. As **Tabelas 4.1 e 4.2** mostram as exigências do RIMA relativas a caracterização da área de influência dos empreendimentos citados, (Governo do Estado de São Paulo - 1991) e como estas exigências podem ser supridas pelo sistema SAR.

Além da utilização do sensor SAR na elaboração do EIA/RIMA este sensor também pode ser utilizado no acompanhamento e monitoramento, ao longo do tempo, do impacto ambiental provocado pelo empreendimento.

Este monitoramento pode ser realizada através da análise das diferenças entre imagens da cena, antes e depois da implantação do empreendimento. Um modo de se estimar as mudanças temporais e espaciais e o cálculo do mapa coerência entre duas imagens. O mapa coerência é a estimação da correlação cruzada, normalizada, entre as duas imagens:

$$C_{m,n} = \frac{|\langle A_{m,n} B_{m,n}^* \rangle|}{\sqrt{\langle |A_{m,n}|^2 \rangle \langle |B_{m,n}|^2 \rangle}} \quad (4.1)$$

onde, $A_{m,n}$ e $B_{m,n}$ são duas imagens SAR complexas e $\langle A_{m,n} \rangle$ é a estimação da média estatística do pixel $A(m,n)$.

A coerência é um numero real menor ou igual a unidade: $|C_{m,n}| \leq 1$. Se a coerência é unitária não houve mudança entre os pixels da imagem. Se a coerência é nula os pixels são totalmente descorrelacionados indicando uma grande variação.

Tabela 4.1: caracterização da área de influência de Aterros.

Exigências do RIMA:	Imagem SAR
	Técnica de processamento:
I. Caracterização geomorfológica da área potencialmente atingida pelo empreendimento, incluindo:	filtragem, detecção, segmentação
I.1 levantamento planialtimétrico da área do aterro em escala não inferior a 1:2.000m;	interferometria
I.2 dados sobre a dinâmica do relevo (presença ou propensão à erosão acelerada e assoreamento, áreas sujeitas a inundações ou sujeitas à erosão eólica).	interferometria
II. Dados sobre o solo da área potencialmente atingida pelo empreendimento.	segmentação, classificação
III. Dados sobre os recursos hídricos.	segmentação
I.1 hidrologia superficial;	deteção, segmentação
IV. Os ecossistemas devem ser retratados em mapa planoaltimétrico com escala de 1:10.000m, pelos diferentes tipos de cobertura vegetal e por todos corpos de água existentes.	interferometria
V. Uso e ocupação do solo, acompanhado de mapa em escala de mínimo 1:10.000m.	segmentação, classificação

Tabela 4.2: caracterização da área de influência de Usinas de Reciclagem e/ou Compostagem

Exigências do RIMA:	Imagem SAR
	Técnica de processamento:
I. Mapa em escala 1:10.000	filtragem, detecção, segmentação
I.1 áreas do empreendimento;	segmentação
I.2 vias e meios de acesso, incluindo ruas, estradas, linhas de ônibus, ferrovias, portos e aeroportos e rios navegáveis num raio de 1000m do empreendimento;	deteção
I.3 corpos de águas num raio de 1000m do empreendimento, destacando mananciais superficiais;	segmentação
I.4 uso e ocupação do solo: - deverá ser acompanhado de mapas em escala compatível contendo:	segmentação, classificação
I.4.1 indicações de áreas rurais, de expansão urbana e de interesse ambiental;	segmentação, classificação
I.4.2 indicações de divisas de área urbana (zonas residenciais, comerciais, industriais, mistas, institucionais, etc.);	deteção, segmentação
I.4.3 indicação da distribuição populacional nas áreas circunvizinhas (inclusive residências mais próximas);	deteção
I.4.4 identificação dos principais usos rurais indicando culturas temporárias e permanentes, pastagens, etc,	segmentação, classificação
I.4.5 indicação da flora existente e das condições de preservação da mesma;	segmentação, classificação
II. Caracterização Topográfica, com levantamento planialtimétrico, em escala não inferior a 1:10.000, indicando a área da usina e a circunvizinha num raio mínimo de 1000m do empreendimento.	interferometria

5 Conclusões

Apresentou-se as principais características que definem o radar de abertura sintética. Relacionou-se as características do sensor SAR com as propriedades das suas imagens de modo a se fornecer elementos que facilitam a interpretação das imagens.

Estabeleceu-se a correspondência entre as características do SAR e do processamento de suas imagens com os requisitos do EIA/RIMA.

Agradecimentos

Ao projeto ICAO BRA-95/802 Objetivo-6 em desenvolvimento no ITA.

Referências

- Allen, C. Interferometry Synthetic Aperture Radar. IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, *Newsletter*, Sept., 1995, pp. 6-13.
- Carrara, W.; Goodman, R. S.; Majewski, M. *Spotlight Synthetic Aperture Radar: signal processing algorithms*. Artech House, Boston, 1995.
- Fernandes, D.; Mascarenhas, N. D. A.; Sakane, F. T. Função espalhamento pontual em imagens de um radar de abertura sintética (SAR). V Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagem (SIBGRAPI'92), Águas de Lindóia, 1992, *Anais*, pp. 47-54.
- Fernandes, D.; Sakane, F. T.; Mascarenhas, N. D. A. Caracterização do "speckle" em imagens amplitude de um SAR. VI SIBGRAPI, Recife, 1993, *Anais*, pp. 155-163.
- Fernandes, D. Segmentation of SAR images with Weibull distribution. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'98), Seattle, 1998, *Proceedings*.
- Fernandes, D.; Waller, G.; Moreira, J. R. Registration of SAR images using the chirp scaling algorithm, *IGARSS'96*, Nebraska, 1996, *Proceedings*, pp. 799-801.
- Governo do Estado de São Paulo. *Critérios de exigência de EIA/RIMA e roteiros para sua elaboração em relação a usinas de reciclagem e/ou compostagem, aterros para resíduos sólidos domiciliares e industriais e incineradores*. Série Manuais, julho 1991.
- Lee, J. S.; Jurkevich, I.; Dewaele, P.; Wambacq, P.; Oosterlinck, A. Speckle filtering of synthetic aperture radar: a review. *Remote Sensing Reviews*. Vol. 8, 1994, pp. 313-340.
- Licco, E. A. *Considerações ambientais: como melhor atender as exigências no planejamento de um novo empreendimento*. Planejamento de Expansões Ambientais, CETESB, 1997.
- Mura J. C. Performance and interferometric capabilities of the INPE/DLR SAR processor. *Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation e. v.* 8, Sept., 1993, *Proc.*, pp. 166-171.
- Sant'Anna, S. J. S. *Avaliação do desempenho de filtros redutores de "speckle" em imagens de radar de abertura sintética*. Tese de Mestrado, INPE, 1995.
- Tauk, S. M.. *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*. Editora da UNESP, São Paulo, 1995.
- Tomiyasu, K. Tutorial review on synthetic aperture radar (SAR) with application to imaging of the ocean surface. *Proceedings of the IEEE*. V. 66, No. 5, 1978, pp. 563-584.