

Identificação de Feições de Fábricas de Cimento Portland em Imagens SAR com Base na Análise das Polarizações da Banda L do Sensor da Aeronave R99.

Fausto Batista Mendonça

COMGAR SHIS QI 5 – Área Especial 12, Lago Sul, Brasília, DF – Cep: 71615-450.

Resumo — Este trabalho teve como objetivo a extração de informações sobre as feições identificadas em uma fábrica de cimento Portland utilizando imageamento SAR (Radar de Abertura Sintética) da aeronave R99 do Sistema de Proteção da Amazônia. Foram analisadas duas fábricas de cimento localizadas na cidade de Sobradinho-DF. A existência de uma área repleta de equipamentos de grande porte, junto a uma jazida de calcário, foi um forte indicio de se tratar de uma indústria de fabricação de cimento. Foram levantadas as informações sobre o funcionamento de uma fábrica de cimento, de acordo com as tecnologias disponíveis nesta área. Os principais setores das indústrias foram identificados utilizando processamento digital de imagens.

Palavras-chaves — Fábrica de Cimento Portland, SAR, Tamanho de Pixel, Processamento Digital.

I. INTRODUÇÃO

A identificação das características de um alvo imageado é de grande valia, pois existem informações que nem mesmo em fontes abertas, como Internet e jornais, são possíveis de serem obtidas. Porém, a identificação correta é fruto de uma boa interpretação de imagens. A interpretação de imagens terá uma qualidade melhor quanto maior for o conhecimento do intérprete sobre o tipo de alvo a ser reconhecido. Dentre as informações que podem ser obtidas através da interpretação de imagens podem ser destacadas: o tipo de atividade de uma indústria, o tipo de vegetação da região, a área ocupada por uma instalação, armazenagem de materiais e acessos. Além da possibilidade de uma análise temporal, onde se observa o aspecto dinâmico de determinada área, como por exemplo, o crescimento de uma cidade, a evolução do desmatamento em determinada região e as áreas cultivadas. Atualmente existem diversos tipos de sensores remotos aplicados na obtenção de imagens, tais como: câmeras aerofotogramétricas, sensores a laser, multiespectral e radares imageadores. Cada um traz consigo vantagens e limitações bem particulares.

Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos no intuito de trazer informações obtidas de imagens processadas pelo SAR da aeronave R99. Os dados levantados pelo sensor têm se mostrados consistentes para diversos estudos em assuntos de interesse da Força Aérea, como crescimento de cidades ao longo dos anos, localizações de pistas de pouso e feições em alvos de interesse militar em geral.

II. OBJETIVO

Levantar informações com sensores que possam imagear a cena à distância, sem sobrevoar a área de estudo é uma

vantagem que o sensor SAR do R99 fornece. O poder econômico, capacidade de recuperação e de desenvolvimento de um país são aspectos importantes para uma análise estratégica. Segundo [1], instalações industriais configuram alvos de interesse estratégico.

As pistas de pouso, as pontes e viadutos, rodovias e prédios em geral são alguns exemplos de alvos militares que, em um período de conflito, podem ser atacados e precisam de cimento para ser recuperado. Indústrias de cimento, siderurgia, montagem de equipamentos de grande porte, entre outras são essenciais para a recuperação das edificações citadas.

O conhecimento da estrutura e da disposição dos equipamentos em uma indústria de cimento é fundamental para que na interpretação da imagem SAR possam ser obtidas as informações de forma precisa e correta.

A utilização de imagens SAR para este tipo de alvo se deve ao fato de se tratar de uma indústria de relevante importância, não só em período de conflito, mas também em período de paz, impulsionando a economia de uma nação. A identificação do alvo, partindo-se de uma análise geral da imagem e depois para a específica, torna-se uma tarefa menos dificultosa pela existência de uma jazida de calcário junto à indústria; fato observado em fábricas de cimento, que pode ser visualizada na imagem SAR. Este trabalho tem como objetivo principal identificar na imagem SAR os principais equipamentos e características de uma indústria de cimento.

III. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Serão analisadas duas indústrias de cimento localizadas na cidade de Sobradinho no Distrito Federal. Sendo a fábrica CIPLAN sob as coordenadas 15° 34'17"S 047° 51' 25"W e a TOCANTINS sob as coordenadas 15° 35'10"S 047° 52' 29"W, a cota do terreno apresenta o valor aproximado de 900 metros. As coordenadas de localização das indústrias correspondem a pontos na área operacional obtidos na carta aeronáutica em escala 1:250 000, que conferem com os valores observados na imagem georreferenciada pelo 2°/6° GAV, esquadrão que opera o R99.

As duas indústrias apresentam jazidas de calcário junto à área operacional. Na Fig. 1 a área de indústria ao norte, polígono amarelo, trata-se da CIPLAN (Cimento Planalto) e ao sul da imagem, a fábrica da TOCANTINS, indústria pertencente ao Grupo Votorantim.

A fábrica da CIPLAN começou suas atividades em 1968 com o nome de Fundação CIPLAN – Indústria e Comércio de Produtos Calcários e de Mármore S/A [2]. Está localizada na cidade de Sobradinho em Brasília – DF, a cota do terreno

apresenta o valor aproximado de 900 m. As suas instalações estão distribuídas por uma área de aproximadamente 100 km², incluindo jazida, área operacional e bota fora.

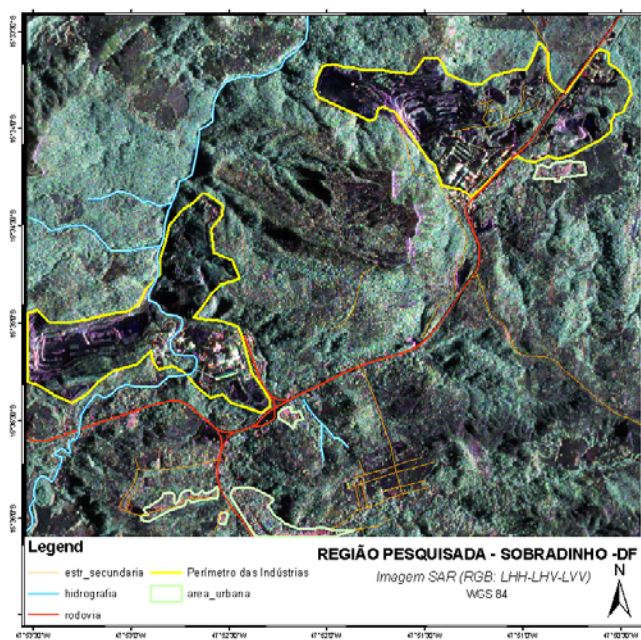


Fig.1. Área de estudo contendo as duas fábricas de cimento em Sobradinho.

A indústria da Votorantim iniciou suas atividades na área de cimentos na década de 30. A fábrica da TOCANTINS é uma das 20 unidades de produção de cimento do Grupo Votorantim espalhados pelo Brasil. O Grupo Votorantim possui mais de 70 anos de história, no cenário mundial está entre as dez maiores empresas produtoras de cimento. A Votorantim Cimentos é líder no mercado nacional na produção de cimentos, com participação de 40% [3].

IV. A INDÚSTRIA

A fábrica de cimento apresenta algumas características particulares, como por exemplo, a existência de uma jazida de calcário junto à indústria. As máquinas utilizadas para a transformação e fabricação dos produtos são de grande porte, geralmente avistadas de longas distâncias. A extração de argila, que junto com o calcário é um componente básico para a fabricação de cimento, também costuma estar próxima a indústria. A razão da proximidade da extração mineral está na economia do custo logístico de transporte. A jazida de calcário se apresenta bem semelhante a uma pedreira, como observado na Fig. 2, o fator que difere deste tipo de extração é a presença de grande número de máquinas pesadas próximo à jazida, que compõem a área operacional. Os equipamentos observados se resumem em equipamentos fixos, móveis e de movimentação. Dentro desta classificação, podem ser facilmente visualizados, na Fig. 2, os equipamentos de movimentação que são as esteiras transportadoras.

A área operacional de fábricas de cimento é composta por silos de homogeneização, esteiras transportadoras, torre ciclone (podendo ser mais de uma), alto-forno (podendo ser mais de um), silos de clínquer, moinhos de cimento, e silos

de armazenagem de adições que podem estar na área operacional ou não[4]. Em geral, a área de expedição não fica muito próxima à área operacional, mas se localiza próxima a uma das vias de acesso a indústria.

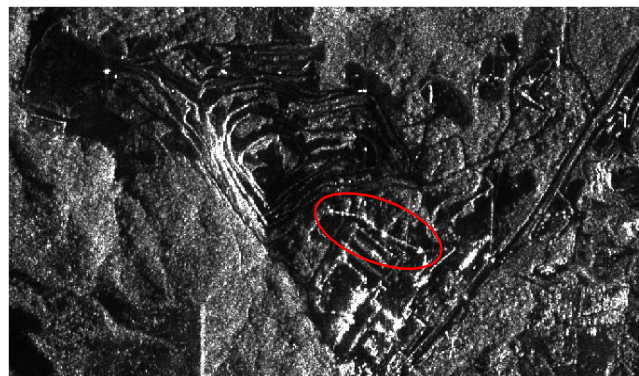


Fig.2. Imagem SAR LHH da fábrica da CIPLAN.

No coração da área operacional, ou seja, onde as principais transformações da matéria-prima ocorrem, são encontrados os silos de pré-homogeneização, os moinhos de cru, a torre ciclone e o alto-forno. A torre ciclone e o forno trabalham sincronizados, pois o forno, que é o coração da indústria, depende diretamente da torre, pois ele recebe o material aquecido da torre para fazer a queima e produzir o clínquer do cimento, que é o principal componente na sua fabricação. [5] O forno funciona ininterruptamente; a temperatura mais alta no seu interior é próxima de 1500° C. Caso o forno pare por falta de energia seria impossível colocá-lo novamente em funcionamento devido às deformações que seriam causadas pela variação de temperatura, por isso o forno possui um gerador próprio de energia para supri-lo em qualquer eventualidade. Repor um forno de clínquer é uma tarefa que pode despendar até dois anos de trabalho, pois estes equipamentos, hoje em dia, são fabricados na Europa sob encomenda. Interromper o funcionamento da torre ciclone pararia a produção por um tempo indeterminado, pois o forno precisa receber o material aquecido da torre que ocorre por troca de calor entre os gases do forno e o material lançado do alto da torre no seu interior, sob uma altura em torno de 60 metros[5].

V. TRATAMENTO DIGITAL DA IMAGEM SAR

As imagens utilizadas para a análise dos alvos foram coletadas a bordo da aeronave R99, no dia 15 de março de 2005, no modo de imageamento Quad L. Foram coletadas nas quatro polarizações possíveis para a banda L, que são HH, HV, VH e VV. A resolução da imagem gerada no vôo foi de 3 metros. As coordenadas da área levantada foram:

CSE: 15° 25' 56"S 047° 52' 40"W

CID: 15° 52' 36"S 047° 46' 46"W

As imagens foram registradas utilizando o sistema de coordenadas geográficas (lat/long) e o sistema geodésico WGS 84, trabalho realizado pelo esquadrão de reconhecimento da FAB que opera os equipamentos do R99. Utilizou-se o software ENVI 4.3 para o tratamento das imagens.

A. Processamento de imagens digitais

A imagem SAR carece de algumas filtragens para que certos temas possam ser interpretados corretamente. O ruído multiplicativo (Speckle) é gerado em imagens SAR pelo fato de o retorno do sinal ser composto por ondas incoerentes, ou seja, sem uma relação regular ou sistemática entre suas amplitudes [6]. Este ruído proporciona uma aparência granulada a imagem [7], que pode ser reduzida com a utilização de filtros digitais. Existem diversos filtros digitais utilizados para melhorar a visualização de imagens de sensoriamento remoto, a sua eficácia está associada à aplicação do filtro correto para a obtenção de determinado tipo de informação da imagem a ser estudada. Os filtros denominados “passa-baixa” suavizam detalhes e reduzem o contraste, além de removerem ruídos eletrônicos [8], como o speckle, entretanto traz o inconveniente de produzirem um efeito semelhante ao “desfocar” uma imagem.

Outra técnica de processamento de imagem que pode ser utilizada é o realce de histograma da imagem. O histograma de uma imagem descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza da imagem em termos de números de pixel para cada nível de cinza[8]. Distribuindo-se o número de pixels em uma quantidade maior de níveis de cinza o contraste da imagem aumenta, como pode ser observado na Fig. 3, o que facilita na visualização de determinados tipos de alvos.

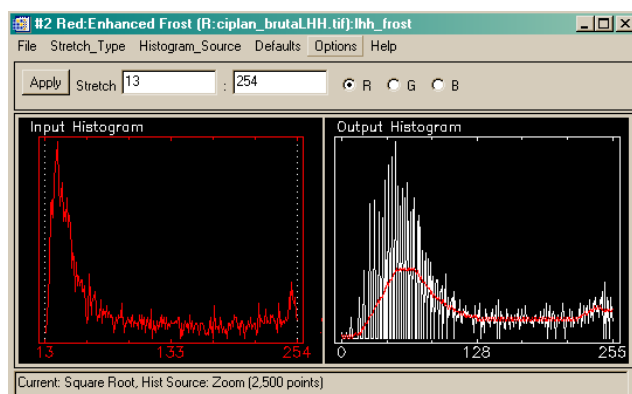


Fig.3. Aplicação realce de histograma na imagem SAR.

Os filtros utilizados foram adaptive/enhancedfrost além do realce de histograma, utilizando a ferramenta enhance/squareroot.

VI. INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM SAR

Segundo [9] este alvo não pode ser tratado como um alvo homogêneo, assim como todos aqueles fabricados pelo homem, mas deve ser observado segundo sua estrutura, textura e disposição espacial dos objetos.

A. Fábrica da CIPLAN

As principais feições da indústria podem ser observadas na Fig. 4, onde temos a imagem da fábrica da CIPLAN na banda L e polarização HH, sem filtragem e com a resolução espacial de 3m. Os equipamentos móveis podem ser observados em

(1), indicando que existe atividade na área da jazida. A área da jazida está indicada em (2). As esteiras transportadoras (3) podem ser observadas ao lado do pátio de pré-homogeneização. O coração da fábrica (4) pode ser visualizado com uma resposta alta em função da grande quantidade de reflexões de canto.

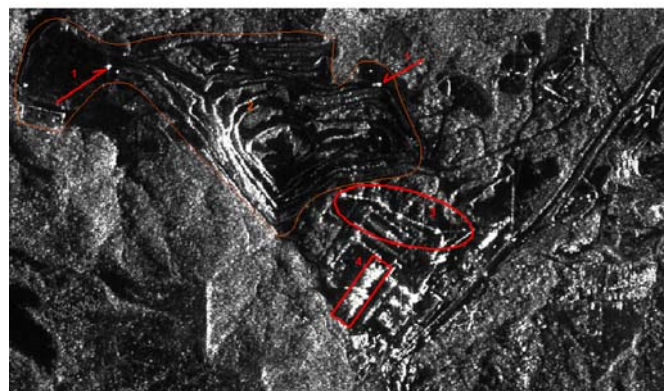


Fig.4. Fábrica da CIPLAN (LHH) sem filtragem e resolução espacial de 3 m.

Na Fig. 5 onde temos a imagem da CIPLAN na banda L e polarização HV, é possível observar as mesmas feições apontadas na Fig. 4. A área de pré-homogeneização, indicada na Fig. 5, pode ser observada nas duas imagens apresentadas.



Fig.5. Fábrica da CIPLAN (LHV) sem filtragem e resolução espacial de 3 m.

A cota do fundo da área de mineração pode ser inferida, visto que os patamares dos degraus de escavação apresentam em torno de 20 metros de altura e que a cota média da região é de 900m, dado coletado na carta de 1:100.000. Pode ser observado em torno de oito degraus de 20 metros (valor obtido por consulta a técnicos da fábrica), o que permite que seja inferida uma cota de pouco mais de 700 metros no fundo da cava.

Foram utilizados o filtro de FROST e a ferramenta de realce de histograma para que pudesse ser observado com mais detalhe o coração da fábrica, e o resultado consta na Fig. 6. No detalhe, é possível localizar os equipamentos que compõem o coração da fábrica. Em “A” e em “C” é possível observar um complexo de estruturas que podem ser tanto a torre ciclone como os silos de clínquer junto aos moinhos de cimento. Em “B” observa-se que a estrutura é mais afilada e mais comprida, caracterizando o alto-forno. Esta sequência de equipamentos possui uma dimensão na imagem de 200

metros de comprimento por 50 metros de largura. O trecho do forno apresenta a dimensão, confirmada em visita à indústria, de 50 metros de comprimento. A identificação destes equipamentos só foi possível após a filtragem e o realce de histograma da imagem.

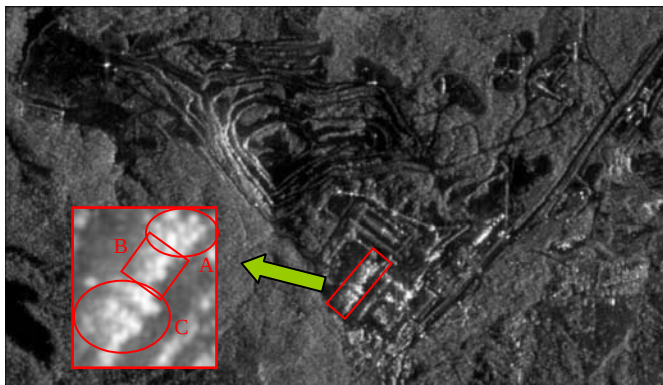


Fig.6. Fábrica da CIPLAN (LHH) com filtragem, realce de histograma e resolução espacial de 3 m.

Entretanto, não se consegue indicar o fluxo de material no coração da indústria, pois os complexos de estruturas observados em “A” e em “C” se apresentam muito semelhantes. Os detalhes observados na imagem de polarização HH podem ser observados na polarização VV após a filtragem.

B. Fábrica da TOCANTINS

Observando a imagem da polarização HH sem processos de filtragem na Fig. 7 identifica-se em (1) a jazida com seus degraus de corte nas rochas onde também pode ser inferida a cota do fundo da cava. Utilizando-se do mesmo processo adotado para a estimativa da cota do fundo da jazida da outra fábrica e visualizando-se cinco degraus também de 20 metros de altura, o fundo da cava terá uma cota de aproximadamente 800 metros.

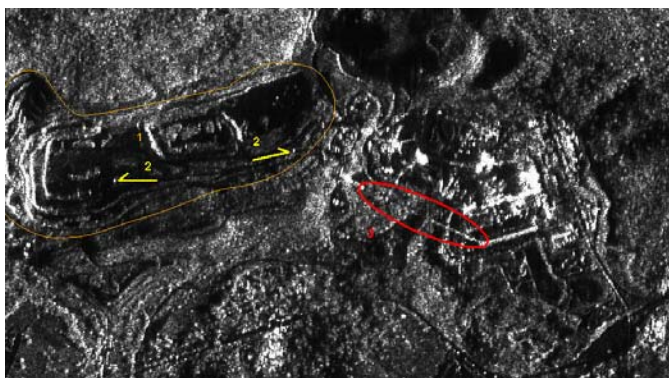


Fig.7. Fábrica da TOCANTINS (LHH) sem filtragem e resolução espacial de 3 m.

É possível observar os equipamentos móveis (2) no interior da jazida. A esteira de transporte (3) de material dos britadores da jazida para a área de pré-homogeneização. O principal acesso à indústria é por via rodoviária (Fig. 8, em destaque 5).

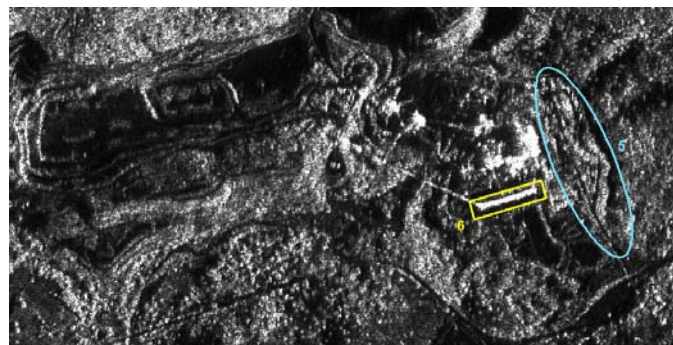


Fig.8. Fábrica da TOCANTINS (LHV) sem filtragem e resolução espacial de 3 m.

Área de pré-homogeneização (6) é coberta e de fácil visualização. Na Fig. 9 é possível observar o coração da fábrica (8), porém a identificação da localização dos equipamentos que a compõe não seria possível sem filtragem.

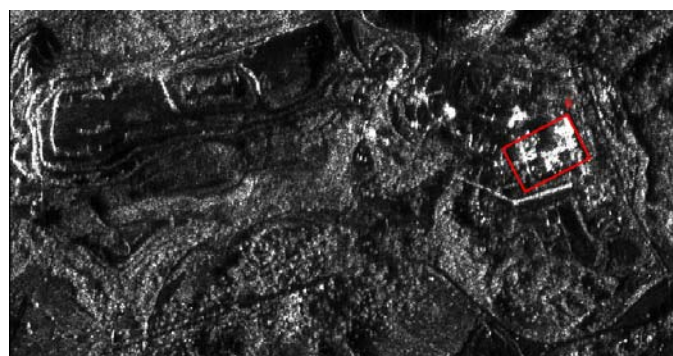


Fig.9. Fábrica da TOCANTINS (LVV) sem filtragem e resolução espacial de 3 m.

Com a aplicação de filtragem e realce de histograma Fig 10, foi possível observar outra linha de esteiras rolantes (9). Uma área de tratamento de rejeitos (10) pode ser identificada. A disposição dos equipamentos no coração da indústria pode ser visualizada após este processo digital, onde em “A” e “C” podem ser identificados tanto como a torre ciclone ou como os silos de clínquer junto aos moinhos de cimento, porém não se pode precisar em qual das duas posições está cada equipamento.

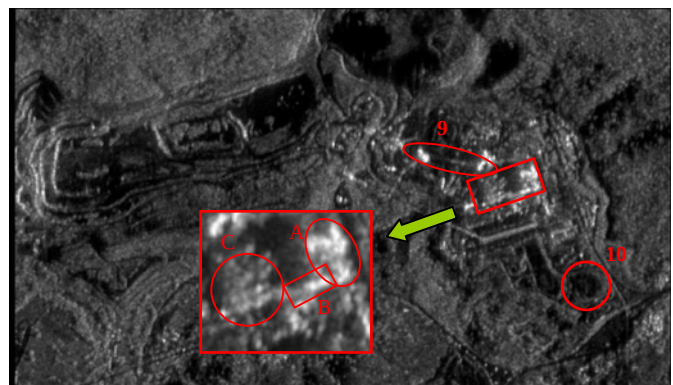


Fig.10. Fábrica da TOCANTINS (LHH) com filtragem, realce de histograma e resolução espacial de 3 m.

Em “B” fica caracterizado a existência do alto-forno, em função do seu tamanho, geometria e da sua localização entre

as estruturas citadas Na imagem filtrada fica mais clara a visualização das vias e acesso à indústria, porém os equipamentos móveis já não são visualizados tão facilmente. A lagoa de rejeito só pode ser identificada, mais facilmente, na polarização HH após a filtragem.

VII. REAMOSTRAGEM DAS IMAGENS

As imagens foram reamostradas com tamanhos de pixel diferentes para que fosse possível verificar quais as feições que se tornariam de difícil identificação. Foram alterados os tamanhos dos pixels de 3 metros para 6 metros e 18 metros. Foi avaliada a possibilidade de visualizar as principais feições nas fábricas, como: área operacional, equipamentos móveis, esteira rolante, jazida de calcário, torre ciclone, alto-forno, silos, lagoa de rejeito e vias de acesso rodoviário. A reamostragem dos pixels não alterou a possibilidade de visualização das feições.

Em função de a área operacional apresentar diversos equipamentos em variadas direções, tanto horizontais quanto verticais e inclinadas, não foram observadas significativas melhorias de visualização nas mudanças de polaridade das imagens. Sendo assim não foi possível classificar uma direção preferencial de imageamento para este alvo.

VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dimensão da área da indústria traz uma vantagem na sua observação do geral para o específico na interpretação do alvo, pois as áreas de extração e produção podem ser rapidamente distinguidas. A extração mineral apresenta a área da jazida com os seus degraus de cortes feitos na rocha, e a área de produção possui uma grande quantidade de reflexões de canto devido à existência de muitos equipamentos de grande porte. As esteiras transportadoras também auxiliam na visualização da existência de um fluxo de materiais entre as duas áreas. Este equipamento, das duas indústrias, é facilmente visualizado na imagem SAR, entretanto apenas alguns trechos, pois numa indústria deste porte existem centenas de metros de esteiras que podem estar sob galpões ou até mesmo subterrâneas. A área da jazida pode ser visualizada na imagem sem filtragem, mas as definições dos patamares dos cortes feitos na rocha ficam mais claras após o tratamento digital da imagem que foi realizado neste trabalho.

É possível obter a informação da existência de uma fábrica de cimento ao lado de uma jazida mineral utilizando imagem SAR. Porém, identificar a existência dos seus principais equipamentos só pode ser efetuado com a aplicação de filtros, como por exemplo, FROST que foi utilizado neste trabalho. Entretanto, as coordenadas dos equipamentos na imagem SAR que foi analisada, não devem ser utilizadas para efeito de planejamentos de qualquer natureza, pois apresentaram erros de dezenas de metros.

O coração da indústria pode ser localizado após a filtragem das imagens, entretanto a distinção correta dos equipamentos fica prejudicada, a não ser o alto-forno. O forno da indústria ficará sempre entre dois grandes complexos de estruturas, que são a torre ciclone e os silos de clínquer. Estes equipamentos

se apresentam com resposta muito alta em função do retroespalhamento provocado pelos diedros e triedros existentes em estruturas feitas pelo homem [10]. O estudo da localização destes equipamentos deve ser complementado por sensores que trabalham em outras faixas do espectro.

As lagoas de rejeito não se comportam como um alvo perfeitamente especular, apresenta um retroespalhamento do sinal por conta das partículas em suspensão. Sendo assim, a sua identificação é mais fácil visualizando as adjacências.

Em função da diferença de rugosidade da vegetação com o asfalto ou até mesmo dos caminhos de terra, os acessos e algumas vias rodoviárias na região em torno da fábrica e no seu interior, são facilmente identificados em todas as imagens analisadas. Além disso, a vegetação apresenta um valor maior de constante dielétrica em relação ao asfalto e o caminho de terra.

A distinção de uma fábrica de cimento utilizando imagem SAR é possível pela fácil visualização da cava da jazida de calcário, porém a localização dos equipamentos e a verificação do fluxo de material no seu interior é fruto de uma análise mais detalhada com o uso de filtros digitais e realce de histograma. As áreas de rejeito no entorno da indústria também é uma indicação que se trata de uma fábrica e não de uma simples pedreira ou outro tipo de indústria apenas de exploração mineral.

A utilização de imagens SAR para a análise e distinção de outras indústrias de transformação mineral pode ser viável, porém é imprescindível conhecer bem o seu funcionamento e o fluxo dos materiais no seu interior. Indústrias de siderurgia, de fabricação de máquinas de grande porte, de extração de gás, ou até mesmo automobilística são sugestões de indústrias a serem analisadas com este tipo de dado.

REFERÊNCIAS

- [1] LOPES, J. R. C. C. Estudo das possibilidades de monitoramento e detecção de objetivos de interesse de defesa utilizando imagens CBERS, 2005. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers_XIISBSR/41_Trabalho_Croce.pdf
- [2] <http://www.ciplan.com.br/> acessado em 30/07/2008 às 10:00 hs.
- [3] <http://www.votorantimcimentos.com.br/> acessado em 30/07/2008 às 09:30 hs.
- [4] <http://www.cement-process.com/> acessado em 20/11/2008 às 16:10 hs.
- [5] Bauer, L. A. F. Materiais de Construção 1. 3a. ed – Rio de Janeiro – LTC, 1987. pp 35-81.
- [6] Sutis, G. H. The nature of electromagnetic radiation. In: Simonett, D. S. Ed. Manual of remote sensing. 2.ed. Falls Church, Virginia, American Society of Photogrametry, 1983. v.1, c.2. p.43-44.
- [7] Damião, D.P. Fundamentos de imageamento por Radar. Centro Técnico Aeroespacial, IEAV - Divisão de Sensoriamento Remoto - São José dos Campos, 1995, pp. 41-43.
- [8] Silva, D.A.; Rechiuti, L. V. Processamento de imagens digitais. Centro Técnico Aeroespacial, IEAV - Divisão de Sensoriamento Remoto - São José dos Campos, 1997, pp. 9-11, 15-19.
- [9] Macedo, K.A.C. et al. Separação entre alvos naturais e construídos em imagens SAR. XSBSR, Anais, Foz do Iguaçu, abril, 2001. pp.1305-1307.
- [10] Souza, P. E. U. Localização automática de objetos não naturais (antropomórficos) em imagens SAR multi-polarimétricas. Estudo de caso: Acidente do Gol 1907. Anais XIII SBSR, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5003-5009.