



Estimativa para identificação de áreas de pasto na Amazônia brasileira utilizando processamento de imagens de radar

Gabriel Henrique de Almeida Pereira¹

Pierre Moura²

Jorge Antonio Silva Centeno¹

¹ Universidade Federal do Paraná - UFPR

Caixa Postal 19001 - 81.531-990 Curitiba - PR, Brasil

pereira.gha@hotmail, centeno@ufpr.br

² 5ª Divisão de Levantamento – 5ª DL

Rua Major Daemon, 81 - 20081-190 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil

pierre.moura@eb.mil.br

Abstract. The objective of this work is to show an automated method for determination of deforested areas based on images of Synthetic Aperture Radar (SAR) airborne, being used in subproject Land Cartography. This project aims to generate cartographic products of the area of almost 1.8 million square kilometers called "empty cartographic area" from the Legal Amazon region. This project is also known as "Radiography of the Amazon". Due to the large volume of data generated, a methodology for automatic identification of deforested areas is critical to the use of these inputs. Image Processing tools can contribute to the automatic extraction of information from SAR images, optimizing processing large amounts of data. The steps to the methodology for identifying areas of pasture in the Brazilian Amazon are by using low-pass filters, calculation of variance values of the digital values of pixels in the image and mathematical morphology. At the end, it is possible to verify that this methodology can identify deforested areas intended for farming, since these regions can be characterized by low values of the variance from the pixels' values that represent it.

Palavras-chave: Image Processing, Brazilian Amazon, pasture areas, Synthetic Aperture Radar (SAR), Processamento Digital de imagens (PDI), Amazônia Brasileira, áreas de pasto, Radar de Abertura Sintética.

1. Introdução

O processamento de imagens é uma ferramenta muito eficaz na manipulação e extração de informações de imagens de sensoriamento remoto. Com esta ferramenta, é possível a extração de informações de imagens de regiões pouco acessíveis. Um exemplo desta vantagem se encontra na aquisição de informações na área da Amazônia Legal. A Amazônia Legal possui uma área total de 5,2 milhões de km², dos quais cerca de 1,8 milhão de km² não possuem, até hoje, informações cartográficas terrestres adequadas, sendo conhecida como região do "vazio cartográfico". Todos os documentos cartográficos disponíveis da Amazônia Legal não representam as feições planialtimétricas no nível do solo, e sim no nível da copa das árvores, em virtude da inexistência de tecnologia de aerolevantamento viável para extensas regiões de floresta tropical densa, no final da década de 70 e no início dos anos 80, período que foi executado o aludido mapeamento.

Os resultados alcançados nos últimos anos com a tecnologia de radares interferométricos, na banda X, e especialmente na banda P, que possibilita a penetração no dossel da floresta e a interação da onda com a superfície do terreno, aliado ao grande interesse no mapeamento da Amazônia, foram decisivos para a aprovação do Subprojeto Cartografia Terrestre, também conhecido como Projeto Radiografia da Amazônia. O referido subprojeto, sob a responsabilidade de execução da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), integra o Projeto Cartografia da Amazônia, que é coordenado pelo Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia. O Projeto Radiografia da Amazônia tem por objetivo a elaboração de cartas topográficas, arquivos digitais de estratificação vegetal, ortoimagens SAR, MDS e MDT nas escalas de 1:100.000 e de 1:50.000 da região do vazio cartográfico da Amazônia Legal.

Uma das grandes questões na região amazônica está associada ao desmatamento e a substituição da vegetação natural por áreas de pastagem. Neste artigo é apresentado um método para identificação automática de áreas de desmatamento, como auxílio ao estudo de ocupação da Amazônia, usando técnicas de processamento de imagens aplicadas a imagens de radar. A metodologia e os resultados serão apresentados e discutidos a seguir.

2. Metodologia

O processamento das imagens SAR pode ser dividido nas seguintes fases: processamento SAR, processamento interferométrico, geocodificação SAR e mosaico. Cada uma das etapas descritas a seguir estão integradas em um conjunto de aplicativos, desenvolvidos pela empresa BRADAR, no ambiente de programação IDL (ITT, 2008), com interfaces gráficas interativas com o usuário e várias funcionalidades (processamento em paralelo das faixas de vôo; gerenciador de trabalhos na torre de processamento; gerenciador de memória e armazenamento de dados; controle da qualidade geométrica e radiométrica das imagens e modelos, etc.), que possibilitam a geração dos insumos do Projeto Radiografia da Amazônia.

2.1 Processamento SAR

O processamento SAR tem por finalidade a conversão dos dados brutos de radar, obtidos na fase de aerolevantamento, em imagens digitais. Esses dados representam os sinais provenientes do retorno, na direção do sensor, de cada pulso emitido pelo radar que interage com os alvos terrestres, cuja amplitude e fase (dado complexo) desses sinais são gravadas em discos rígidos, com uma determinada taxa de amostragem (quantização).

Até o presente momento, a fase de aerolevantamento SAR do projeto em tela resultou no recobrimento da ordem de mais de 1.000.000 km² de área de floresta densa, o que produziu um volume de dados brutos armazenados de mais de 600 unidades de disco rígido de 1 TB (originais e cópias). Maiores detalhes técnicos e operacionais da metodologia de aerolevantamento SAR, executada pela empresa Bradar Indústria S/A, e de apoio de campo ao vôo radar, executado pela DSG, podem ser obtidos em Correia et al. (2010).

Ao final dessa etapa, são gerados pares de imagens do tipo *Single-Look Complex* (SLC) monopolarizadas, na banda X (polarização HH), e multipolarizadas, na banda P (HH, HV e VV), que são indispensáveis ao processamento interferométrico.

2.2 Processamento Interferométrico

O processamento interferométrico SAR tem por finalidade a geração de produtos interferométricos (imagens de coerência e fase interferométrica absoluta) a partir das imagens complexas geradas no processamento SAR. A obtenção de tais produtos é possível graças à técnica de interferometria SAR (InSAR), que é baseada na aquisição de um par de imagens SAR SLC, resultantes da interação com o terreno de ecos transmitidos por uma ou duas antenas SAR, com posições geográficas conhecidas e separadas no espaço por uma distância adequada denominada por linha de base (B). Portanto, cada porção do terreno é imageada sob geometrias de aquisição diferentes, onde, no caso do projeto em questão, as linhas de base das bandas X e P são obtidas, respectivamente, com uma e duas passagens da aeronave, onde estão instaladas três antenas da banda X e uma da banda P.

A Figura 1 ilustra a geometria básica da interferometria SAR, onde a diferença de fase interferométrica $\Delta\phi$ entre os sinais recebidos nas duas antenas S1 e S2, provenientes de um mesmo elemento de resolução do terreno, é diretamente proporcional à variação de distância Δr (Madsen e Zebker, 1998).

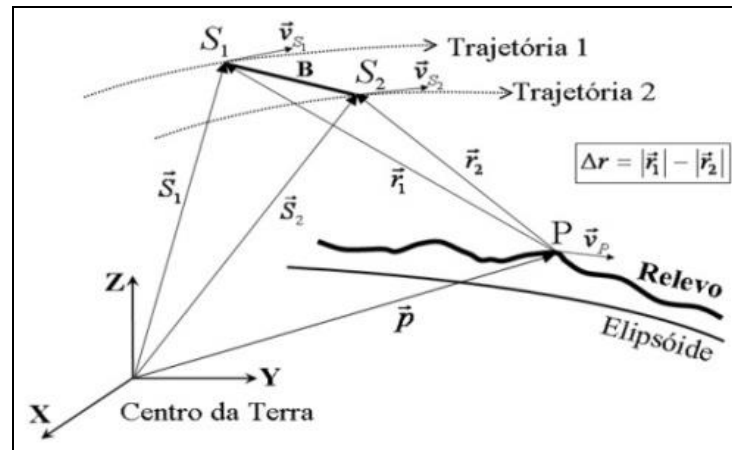


Figura 1. Geometria básica InSAR.

A principal aplicação da técnica InSAR é a geração de modelos digitais de elevação (MDE), que são obtidos por meio do relacionamento entre a fase interferométrica absoluta e a topografia do terreno. O processo de geração da fase absoluta é denominado de processamento InSAR.

2.3 Geocodificação SAR

O processo de conversão da fase interferométrica absoluta em altitude do terreno é denominado de geocodificação SAR, que produz imagens georreferenciadas e ortorretificadas. A geocodificação de imagens SAR para fins cartográficos, passa pela geração da ortoimagem SAR sobre uma grade, representada na projeção UTM, sem as distorções geométricas inerentes de sistemas de radar de visada lateral, como o encurtamento de rampa, a inversão e a sombra, que são erros induzidos pela topografia do terreno.

O processo de geocodificação SAR é baseado nas equações de range-Doppler para as duas antenas SAR, onde as coordenadas de um ponto no espaço são calculadas a partir da medida da distância alvo-radar e da variação de frequência Doppler do ponto, no instante em que este ponto é visto no centro do feixe da antena. Além disso, é levado em consideração que a diferença de distância entre as antenas e o ponto P é governada pela fase interferométrica absoluta, constituindo o seguinte sistema não-linear de equações range-Doppler (Quarzeddine, 2002).

A qualidade do processo de geocodificação SAR está relacionada com o conhecimento preciso do vetor de estado da antena. No caso do radar aerotransportado da empresa BRADAR, as amostras são calculadas com dados obtidos por uma plataforma inercial e dados DGPS, garantindo uma melhor acurácia do vetor de estado, conforme descrito em Correia et al. (2010).

No contexto do Projeto Radiografia da Amazônia, os MDE interferométricos obtidos são chamados de MDS (Modelo Digital de Superfície) e MDT (Modelo Digital do Terreno). O MDS é originado de interferogramas de passagem simples, gerados na banda X, e é uma representação matemática da distribuição espacial tridimensional das variações de altitude de uma determinada superfície que, neste caso, representa o nível da copa das árvores e de outros objetos existentes. O MDT é originado de interferogramas de dupla passagem, gerados na banda P, cuja superfície de representação é o nível do solo, mesmo em áreas de floresta densa.

2.4 Mosaico

As imagens são agrupadas em blocos de um grau por um grau, sendo cada bloco formado por cerca de 26 faixas de vôo, com superposição de setenta por cento entre as faixas. Após a geocodificação, as faixas passam pelo processo de mosaico, onde é dada maior

prioridade as informações de *near range*, sendo aproveitado cinquenta por cento de cada faixa para a banda X e quarenta por cento no caso da banda P, o que resulta em um mosaico de melhor qualidade.

2.5 Imagem Utilizada

A imagem utilizada neste trabalho representa um recorte de uma área da região do Estado do Acre, sendo uma imagem da Banda X, apresentada na Figura 2.

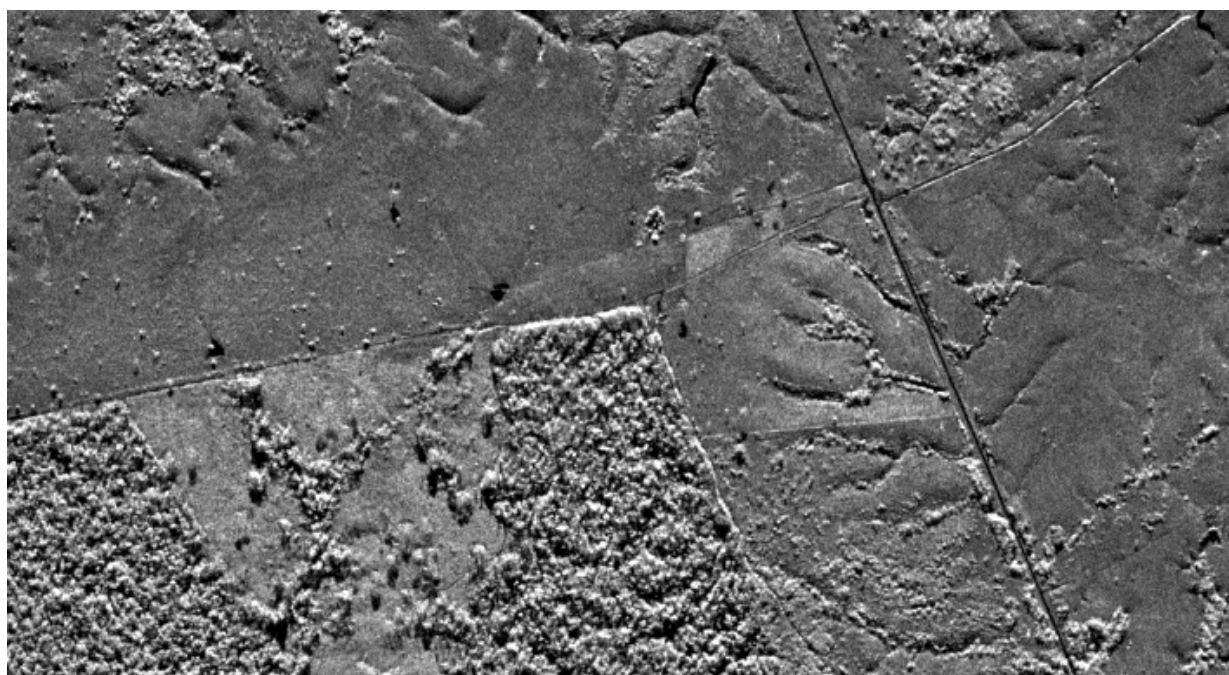


Figura 2. Imagem SAR da Região da Amazônia Brasileira.

2.6 Métodos Utilizados

As imagens de radar são reconhecidas pelo “ruído” denominado *speckle*. *Speckle* é uma característica inerente do sensor radar, sendo um atributo que pode dificultar o processamento de imagens e extração de informações.

Este trabalho visa a análise da imagem, assim como a distinção entre áreas de pasto ou floresta a partir da textura dos elementos. Como tanto áreas de floresta como áreas de pasto apresentam o *speckle* característico do Radar, este pode influenciar severamente nos resultados. Para isso, a imagem teve que ser filtrada, utilizando um filtro passa-baixa, de maneira a suavizar a imagem. O filtro utilizado foi de tamanho de 3x3 pixels, calculando a média desta janela. Com isso, a variabilidade de informação introduzida pelo *speckle* pode ser suavizada – mesmo que ainda assim não seja completamente eliminado – evitando que áreas de pasto, onde a textura tenderia à uma característica mais suave, apresentasse grande variabilidade de informações, podendo ser confundida assim como áreas de floresta densa.

Após a filtragem e suavização da imagem, por tratar-se de um filtro de tamanho reduzido, as características seriam mantidas tanto de regiões de textura mais suave, como áreas de pasto, como regiões de textura mais acentuada, como regiões de florestas, apenas diminuindo a eventual influência do *speckle*, sem prejudicar a análise da imagem.

A diferença de textura entre as áreas de pasto ou de florestas podem então ser utilizadas como fator para identificação de cada região. Com isso, um filtro que pode ser utilizado baseia-se no cálculo da variância entre os valores digitais entre os pixels vizinhos. A variância é dada pela seguinte equação (1).

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu)^2, \quad (1)$$

Onde:

σ^2 é a variância;
 y_i é o pixel ou elemento;
 μ é a média da população;
 N é o número de elementos da população.

Após a determinação da variância dos valores digitais dos pixels em toda a imagem, podem-se determinar áreas mais homogêneas, de textura mais suave, e áreas heterogêneas, com textura acentuada. Um processo que pode separar estas informações em duas regiões em função da sua similaridade é a binarização. Binarização trata-se da separação em apenas duas classes, neste caso, de menor e maior variância. O algoritmo utilizado para binarização é o conhecido algoritmo de Otsu (1979).

Após estes processos, a influência do *speckle* ainda pode ser perceptiva, principalmente em regiões onde a variância deveria ser baixa. Com isso, ainda é necessária a filtragem de elementos que possam ser decorrentes de ruídos. Para esta filtragem, podem-se utilizar filtros morfológicos. Filtros morfológicos possuem a característica de filtrar regiões menores que o elemento estruturante, preservando áreas maiores.

Os operadores de morfologia matemática mais usuais em processamento de imagens são a erosão e a dilatação. A dilatação, também às vezes chamada de dilação, é uma transformação morfológica que combina dois conjuntos usando adição vetorial. Dilatação é responsável pelo processo de “expandir” os maiores valores em uma imagem. A dilatação de um conjunto A pelo conjunto B é definida por:

$$A \oplus B = \{ c \mid c = a + b, a \in A, b \in B \} \quad (2)$$

Onde:

A representa a imagem sendo operada
 B é um segundo conjunto, chamado de elemento estruturante

A erosão, por outro lado, “encolhe” os elementos de maior valor em uma imagem. A erosão pode ser vista como uma transformação morfológica que combina dois conjuntos usando vetores de subtração. Ela é expressa como a interseção de A e B. Assim, a erosão pode ser definida como:

$$A \ominus B = B \cap A \quad (3)$$

ou

$$A \ominus B = \{ x \mid x + b \in A \text{ para todo } b \in B \}$$

Onde:

A representa a imagem sendo operada
 B é um segundo conjunto, chamado de elemento estruturante

A combinação de erosão e dilatação forma as operações de abertura e fechamento, que são aplicados para filtrar os dados. A operação de abertura consiste na utilização da erosão de um conjunto de dados, seguido por uma dilatação, enquanto que a operação de fechamento é a utilização de dilatação seguida de erosão. Quando se aplica a operação de abertura, no resultado da erosão, objetos de tamanhos menores que o operador morfológico são removidos, enquanto que a dilatação trata de restaurar as formas maiores que o operador. Sendo assim, o

processo de abertura tem a capacidade de preservar as características de objetos maiores que o operador morfológico (ZHANG et al., 2003).

Com isso, ao se executar a operação de abertura sobre as imagens resultantes dos passos anteriores, regiões de elevada variância, mas de tamanho menor que o elemento estruturante – como no caso de árvores isoladas no pasto – serão eliminadas.

Ao final desta metodologia, existem duas classes na imagem, separadas em função de menor e maior variância dos valores digitais dos pixels, representando então regiões de desmatamento e utilização como pasto, e de floresta nativa, respectivamente. Ainda, o resultado final apresenta áreas filtradas em relação a possíveis ruídos introduzidos pelo *speckle*.

3. Resultados e Análises

A seguir serão apresentados os resultados de cada etapa da metodologia. Inicialmente, o primeiro processamento executado sobre a imagem já tratada, foi o filtro passa-baixa. Como resultado deste processamento, tem-se uma imagem suavizada, apresentando um aspecto suavizado. Nesta etapa, o *speckle* pode ser reduzido, porém, outras informações também são, como limites e bordas. O resultado do filtro passa-baixa sobre a imagem é apresentado na Figura 3b.

Após a suavização da imagem radar, o efeito do *speckle* foi diminuído, suavizando áreas de baixa variância. A variância foi calculada em função do valor digital dos pixels e seus vizinhos, sobre toda a imagem. A imagem gerada como resultado da variância é apresentada na Figura 3c. É possível verificar que regiões de textura mais suave apresentam baixa variância, podendo ser relacionadas às áreas de desmatamento e cobertas com pasto. Já áreas de elevada variância representam textura mais acentuada, representando regiões de mata nativa.

Após esta etapa de cálculo da variância dos valores digitais dos pixels na imagem, e como o objetivo é a separação em duas classes, as que possuem menor e maior variância, fez-se a binarização da imagem resultante do cálculo da variância (Figura 3c). Esta imagem binária resultante é apresentada na Figura 3d. A classe de menor variância é representada nas imagens na cor azul, enquanto a de maior variância é representada na cor vermelha.

Percebe-se que esta imagem binária ainda apresenta algumas regiões pequenas, com alta variância, em regiões maiores de baixa variância. Isto deve-se, principalmente, pelo fenômeno de *speckle* das imagens de radar ou elementos como árvores isoladas no pasto. Para filtragem destes pequenos elementos utilizou-se de filtragem através de filtros morfológicos. Neste caso utilizou-se da operação de abertura (erosão seguida de dilatação), que tem como característica filtrar regiões menores que o elemento estruturante, preservando elementos maiores que o mesmo. O elemento estruturante utilizados trata-se de uma janela quadrada de 3x3 pixels. O resultado desta filtragem é apresentado na Figura 3e. É possível verificar que grande parte dos elementos que estão presentes na área de pasto foram filtrados, preservando a localização de elementos grandes. Com isso, os elementos que poderiam ter sido identificados como áreas de floresta nativa, por causa de ruídos como o *speckle*, agora sua presença foi minimizada.

Com isso, percebe-se que, mesmo se tratando de uma imagem de Radar, com o característico *speckle*, é possível a utilização de análises de textura nas imagens para a avaliação do uso e cobertura do solo. Através de imagens de Radar e técnicas como processamento de imagens, como filtros passa-baixa, binarização, cálculo da variância e morfologia matemática é possível se ter estimativas sobre o desmatamento e avanço da fronteira agrícola em áreas remotas como no caso da Amazônia Legal.

Desta forma, com a utilização de imagens de Radar (que podem diminuir a influência da cobertura de nuvens) e métodos de processamento de imagens, tem-se a possibilidade de monitoramento de áreas remotas, como o caso da Amazônia Legal e seu “vazio cartográfico”.

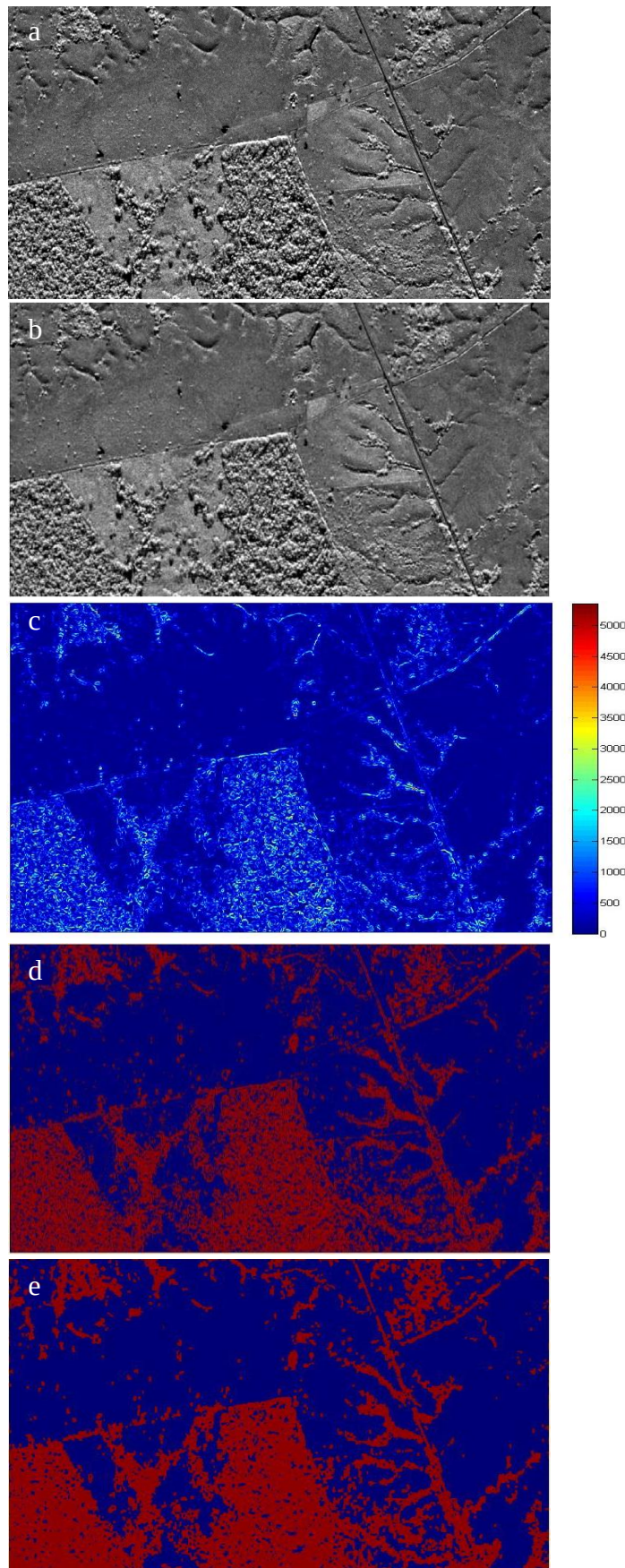


Figura 3. Resultados do processamento de imagens sobre a imagem SAR. (a) Imagem Original. (b) Imagem Suavizada com filtro passa-baixa. (c) Valores de variância sobre a



imagem. (d) Binarização dos Valores da Variância. (e) Morfologia Matemática, operador de abertura, apresentando as áreas desmatadas em azul.

4. Conclusão

Ao fim do processamento, pode-se perceber que imagens de radar realmente possuem algumas características que podem dificultar o processamento de imagens, como no caso do ruído *speckle*, em especial sobre análises utilizando parâmetros de textura. Entretanto, com a utilização de diversas técnicas de filtragem, pode-se chegar a resultados em que a influência deste ruído pode ser minimizada.

A utilização da variância pra análise de textura se mostrou satisfatória, uma vez que foi possível discriminar entre regiões de menor variância como áreas de textura mais suave - como áreas de desmatamento cobertas com pasto - de áreas de maior variância como áreas de textura mais acentuada – que são características de áreas de floresta nativa, devido à variabilidade de formas, alturas e sombra dos elementos.

Ainda, pode-se constatar que imagens de radar, em função da possibilidade de superar obstáculos como a cobertura de nuvens, aliadas ao processamento de imagens, podem trazer grandes vantagens ao monitoramento de áreas como Amazônia, principalmente no que diz respeito à influência antrópica, como identificação de áreas de desmatamento, ocupação irregular ou avanço da fronteira agrícola. Com isso, técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens podem ser extremamente atrativos, seja para o monitoramento ambiental, monitoramento de fronteiras – agrícolas ou políticas – ou geração bases cartográficas, em especial em áreas de difícil acesso e escassez de dados, como no caso da Amazônia Legal e seu “vazio cartográfico”.

Referências bibliográficas

OTSU, N., "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, Vol. 9, No. 1, 1979, pp. 62-66.

ITT, 2008. IDL 7.0.2/ENVI 4.5. Disponível em <<http://www.itvis.com/ProductServices.aspx>>. Acesso em: 15.mar.2010.

CORREIA, A. H. et al. Projeto Radiografia da Amazônia: metodologia de aerolevante SAR (bandas X e P) e apoio de campo. In : **CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA**, 24, 2010. Aracaju. Anais.

QUARZEDDINE, M. S. Generation of digital terrain models using polarimetric SAR interferometry. (MSc Degree) – **International Institute for Geo-information Science and Earth Observation**, 2002. 64p.

ZHANG, K., CHEN S. C., WHITMAN, D., SHYU, M. L., YAN, J., ZHANG, C., A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements From Airborne LIDAR Data. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 41, nº 4, 2003.