
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

**ANÁLISE DE ÁREAS DE SOMBRAS EM IMAGENS
ALOS/PALSAR**

BRUNA PATRÍCIA BARBOSA DE ALENCAR

Orientador: Profa Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias



Dissertação de Mestrado

Recife, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

Bruna Patrícia Barbosa de Alencar

ANÁLISE DE ÁREAS DE SOMBRAS EM IMAGENS ALOS/PALSAR

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação defendida e aprovada no dia 26/02/2013.

Orientador: Profª Drª. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Recife
2013

Catálogo na fonte
Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

A368a Alencar, Bruna Patrícia Barbosa de.
Análise de áreas de sombras em imagens ALOS-PALSAR / Bruna Patrícia Barbosa de Alencar. - Recife: O Autor, 2013.
ix, 69 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profª Drª. Ana Lúcia Bezerra Candeias.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2013.
Inclui Referências.

1. Ciências Geodésicas. 2. Tecnologia da Geoinformação.
3. *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS). 4. Sombra - Imagens.
I. Candeias, Ana Lúcia Bezerra (Orientadora). II. Título.

526.1 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2013-116

ANÁLISE DE ÁREAS DE SOMBRAS EM IMAGENS ALOS/PALSAR

POR

BRUNA PATRÍCIA BARBOSA DE ALENCAR

Dissertação defendida e aprovada em 26/02/2013.

Banca Examinadora:

Prof. Dra. ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. JOÃO RODRIGUES TAVARES JUNIOR

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. DR. MÁRCIO DE MORISSON VALERIANO

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos - SP

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e eternamente a Deus, meu PAI, a quem eu devo a minha vida.

A minha querida mãe Maria da Glória e ao meu irmão Marcos Paulo por todo o carinho e compreensão.

A todos da minha família, que é o meu suporte. Pois a força deles me ajudou a conseguir superar os obstáculos encontrados.

A minha orientadora Prof^a Dr^a Ana Lúcia Bezerra Candeias por todo o conhecimento transmitido ao longo do curso, apoio, paciência e amizade.

A todos os professores do Departamento da Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação por todo o aprendizado. Em especial ao Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior pelos valiosos conselhos durante a construção desta dissertação.

A todos os meus colegas da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação por ajudar a enriquecer os meus conhecimentos.

Ao LASENSO – Laboratório de Sensoriamento Remoto do DECart.

A Universidade Federal de Pernambuco.

Ao programa de bolsas REUNI (Reestruturação e Expansão das Universidades Federais) pela bolsa de mestrado.

Enfim, agradeço a todos que de uma maneira ou de outra ajudaram na concretização desta dissertação.

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivos.....	12
1.1.1 Geral.....	12
1.1.2 Específicos.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 Sensoriamento Remoto por RADAR.....	13
2.1.1 Polarização.....	15
2.1.2 Rugosidade.....	19
2.1.3 Constante dielétrica.....	21
2.1.4 Geometria de aquisição.....	21
2.1.4.1 Direção de visada.....	24
2.1.5 Speckle (ruído).....	24
2.1.6 Resolução espacial.....	26
2.2 Estudos que utilizaram imagens de RADAR em suas pesquisas.....	27
2.3 Distorções geométricas encontradas nas imagens de RADAR.....	28
2.4 O problema de sombreamento na imagem ALOS/PALSAR.....	30
2.5 Caracterização do sistema ALOS/PALSAR.....	32

2.6 SRTM/TOPODATA	35
2.7 Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT)	37
2.8 Declividade e orientação de vertentes	38
3. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	41
3.1 Áreas de estudos	41
3.1.1 Características geomorfológicas para o município de Petrolândia.....	41
3.1.2 Características geomorfológicas para o município de Glória	42
3.2 Dados utilizados	43
3.3 Softwares utilizados.....	44
3.4 Procedimentos metodológicos	44
3.4.1 Aquisição das imagens.....	45
3.4.2 Leitura visual das imagens, aplicação de realce e delimitação das áreas de estudos	45
3.4.3 Detecção das áreas de sombras.....	45
3.4.4 Comparação com a imagem LANDSAT5/TM.....	45
3.4.5 Geração dos mapas de declividade, orientação de vertentes e o gráfico de posições preferenciais.....	46
3.4.6 Análises e conclusões	47
4. RESULTADOS.....	47
4.1 Resultado com a ocorrência de sombra para a área teste 1 na imagem PALSAR.....	47
4.2 Resultado onde não houve identificação da região de sombra para a área teste 2 na imagem PALSAR	56
5. CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

RESUMO

ALENCAR, Bruna Patrícia Barbosa de. **ANÁLISE DE ÁREAS DE SOMBRAS EM IMAGENS ALOS/PALSAR**. Recife, 2013. 69p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

As imagens de RADAR são uma alternativa para a realização de mapeamentos em áreas de grande cobertura de nuvens, inerentes às imagens de sensores passivos. Entretanto, devido à variação de declive dos terrenos, que influencia o ângulo de incidência do feixe emitido pelo RADAR, alguns erros geométricos ocorrem nas imagens. Esses erros são o encurtamento de rampa, inversão do relevo e o sombreamento. O objeto de estudo desta dissertação é a análise da ocorrência da sombra nas imagens ALOS/PALSAR, por ser uma área que não tem sinal de retorno e por gerar confusão no mapeamento de áreas como, por exemplo, as de vegetação. O sombreamento pode ocorrer em regiões de terreno movimentado e onde a face do relevo está voltada perpendicularmente ao pulso enviado pela antena ALOS/PALSAR. Para analisar a geração da sombra, são estudadas duas áreas de terreno movimentado. As áreas estão nos municípios de Petrolândia em Pernambuco e Glória na Bahia. Elas apresentam relevo ondulado controlado por zonas de cisalhamento, dobramentos e falhas geológicas. Uma metodologia de detecção da sombra ALOS/PALSAR é realizada, através da binarização da imagem ALOS/PALSAR supondo que para a área de sombra o retorno de sinal é muito baixo. Curvas de nível, mapa de orientação de vertentes e mapa de declividade foram adquiridos do projeto TOPODATA para verificar as características do terreno que influenciam na ocorrência do sombreamento, a escala utilizada foi de 1:100000. As imagens LANDSAT5/TM permitiram localizar as feições e compará-las com as regiões de sombra localizadas nas imagens ALOS/PALSAR. A área de sombra foi identificada na região de declividade, predominantemente, maior que 75% e nas orientações Sudeste e Sul. Os dados de orientação de vertentes e declividade serviram como dados fundamentais na identificação das áreas de sombra, juntamente com a imagem binarizada para identificar o baixo retorno do sinal que ocorre nas imagens de RADAR.

Palavras-chave: ALOS/PALSAR, sombra, terreno movimentado.

ABSTRACT

RADAR images are an alternative mappings for performing in a high cloud cover, images inherent to passive sensors. However, due to the change in slope of the land, which influence the incidence angle of the beam emitted by RADAR, some errors occur in geometric images. These errors are the foreshortening, shading and relief inversion. The subject of this dissertation is the analysis of the occurrence of shadow in ALOS / PALSAR, being an area that has no return signal and generate confusion in mapping areas such as the vegetation. Shading can occur in regions where the terrain busy and face the relief is directed perpendicular to the antenna pulse sent by ALOS / PALSAR. To analyze the generation of shadow, are studied two areas of land moved. The areas are the municipalities of Petrolândia in Pernambuco and Bahia Glory. They have undulated controlled by shear zones, folds and faults. A method of detecting the shadow ALOS / PALSAR is performed by binarization image ALOS / PALSAR assuming that the shadow area to the return signal is very low. Contour map, aspect and slope map were acquired for the project TOPODATA check the terrain features that influence the occurrence of shading, the scale used was 1:100000. The images LANDSAT5/TM allowed to locate the features and compare them to the regions located in the shadow of ALOS / PALSAR. The shadow area was identified in the region slope predominantly greater than 75% and the guidelines Southeast and South. The data aspect and slope served as fundamental data to identify areas of shade, along with the binarized image to identify the low return signal that occurs in images of RADAR.

Keywords: ALOS/PALSAR, shadow, undulated terrain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Espectro eletromagnético e bandas da região das microondas. Fonte: Beneditti (2010)	13
Figura 2- Representação dos mecanismos de espalhamento na banda C(~5,6 cm), em contraste aos mecanismos apresentados pela banda L(~23 cm) e banda X (~3 cm). Fonte: Servello (2010).....	15
Figura 3 - Esquema de polarização. Fonte: Adaptada de Soares (2012).....	16
Figura 4 – Polarização nas imagens ALOS/PALSAR. Fonte: Jaxa (2012).....	17
Figura 5 – Tipos de reflexão nos alvos. Fonte: Beneditti (2010)	19
Figura 6 – Simulação dos sinais recebidos a partir do RADAR de visada lateral. Fonte: Adaptada de Lima (1995).....	20
Figura 7 – Elementos básicos da geometria de aquisição de RADAR de visada lateral. Fonte: Adaptada de CCRS (2012), Prado (2009).....	22
Figura 8 – Speckle na imagem ALOS/PALSAR (HV) com ampliações. Fonte: Autor (2012).....	25
Figura 9 – Encurtamento. Fonte: Beneditti (2010).....	29
Figura 10 – Inversão. Fonte: Beneditti (2010)	29
Figura 11 – Sombreamento. Fonte: Beneditti (2010)	30
Figura 12 – Efeito de sombreamento. Fonte: Lima (1995)	31
Figura 13 – Aquisição da imagem ALOS/PALSAR. Fonte: JAXA (2012)	33
Figura 14 – Fluxograma do processamento dos dados SRTM e os produtos do TOPODATA derivados do SRTM. Fonte: INPE/TOPODATA (2012).....	36
Figura 15 – Representação da orientação de vertentes e declividade. Fonte: Adaptada de Zhou. (2009).....	40

Figura 16 – Localização das áreas de estudos. Fonte: Autor (2013)	41
Figura 17 – ALOS/PALSAR HH	48
Figura 18 – ALOS/PALSAR HV.....	48
Figura 19 – Imagem TM área teste 1	48
Figura 20 – Resultado da orientação de vertentes para a região de sombra	49
Figura 21 – Mapa de declividade para a região de sombra	50
Figura 22 – Gráfico dos valores obtidos do TOPODATA para área de sombra	50
Figura 23 – Imagem binarizada com limiar $t=1$	52
Figura 24 – Imagem binarizada com limiar $t=5$	52
Figura 25 – Imagem binarizada com limiar $t=10$	53
Figura 26 – Imagem ALOS/PALSAR HV.....	53
Figura 27 – Sobreposição entre a imagem binarizada com limiar $t=1$ e a imagem TM453.....	54
Figura 28 – ALOS/PALSAR HH	56
Figura 29 – ALOS/PALSAR HV.....	57
Figura 30 – Imagem TM área teste 2	57
Figura 31 – Resultado da orientação de vertentes para a região onde a sombra não foi gerada	59
Figura 32 – Mapa de declividade para a região onde a sombra não foi gerada.....	60
Figura 33 – Imagem binarizada com limiar $t=1$	61
Figura 34 – Imagem binarizada com limiar $t=5$	61
Figura 35 – Imagem binarizada com limiar $t=10$	62
Figura 36 – Imagem ALOS/PALSAR HV.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do ALOS/PALSAR. Fonte: Adaptada de ROSEQVIST et al., (2007)	34
Tabela 2 - Principais características do satélite LANDSAT 5. Fonte: EMBRAPA – Monitoramento por Satélite (2010)	37
Tabela 3 – Orientação de vertentes e intervalos de ângulos	39
Tabela 4 – Principais características da imagem PALSAR utilizada	43
Tabela 5 – Classes de relevo e declividade	46
Tabela 6 – Classificação dos valores da declividade do TOPODATA. Fonte: Valeriano (2008).....	51
Tabela 7 – Classificação dos valores da orientação de vertentes do TOPODATA. Fonte: Valeriano (2008).....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOS - Advanced Land Observing Satellite

ADEOS - Advanced Earth Observing Satellite

AVNIR2 - Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer type 2

CCRS - Canada Centre for Remote Sensing

CGS - Sistema de Coordenadas Geográficas

DT - Direct Transmission mode

EGM 96 - Earth Gravitational Model 1996

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ERTS - Earth Resources Technology Satellite

FAB - Força Aérea Brasileira

FBD - Fine Beam Dual Polarization

FBS - Fine Beam Single polarization

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICM - Contextual Iterated Conditional Modes

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JAROS - Japan Resources Observation System Organization

JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency

JERS1 - Japanese Earth Resources Satellite-1

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

MATLAB – Matrix Laboratory

MAXVER - Máxima Verossimilhança

MDE - Modelo Digital de Elevação

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NIMA - National Imagery and Mapping Agency

PALSAR - Phased Arrayed type L-Band Synthetic Aperture Radar.

POL - Polarimetric mode

PRISM - Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

RADAMBRASIL – Radar na Amazônia

RADAR - Radio Detection And Ranging

SAR - Synthetic Aperture Radar

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission

TM - Thematic Mapper

USGS - *U.S. Geological Survey*

WGS84 – World Geodetic System 1984

1. INTRODUÇÃO

A interferência das nuvens é um fator inerente as imagens de sensores passivos, o que prejudica na visualização e processamento das feições. Já os dados das imagens de RADAR (*Radio Detection and Ranging*) são adquiridos por meio do registro da radiação eletromagnética, na faixa das microondas. Esse sistema possui a grande vantagem de adquirir os dados independentemente das condições de tempo e horário, sem muita interferência da presença de nuvens em suas imagens.

Na geração das imagens de RADAR pode ocorrer um destaque ou uma supressão de feições. Isso irá depender do ângulo de incidência que varia conforme a altura da trajetória do radar, afetando a geometria de aquisição. Os erros existentes nas imagens são, geralmente, provocados em terrenos movimentados. Desta maneira, a declividade local pode produzir um efeito significativo sobre o brilho da imagem. Em áreas com topografia acentuada, o retroespalhamento diminui com o aumento do ângulo de incidência. Essas características podem gerar alterações nos objetos imageados como o encurtamento de rampa, a inversão do relevo e a sombra.

Nesta dissertação é estudado o erro de sombreamento e sua detecção em uma imagem *Advanced Land Observing Satellite (ALOS) Phased Arrayed type L-Band SAR (PALSAR)*. Neste caso as áreas com sombreamento na imagem podem aparecer com tonalidade muito escura, ou seja, sem retorno espectral. Isto dificulta a análise visual ou a classificação de imagem. Outro motivo para estudar o erro de sombreamento é que a detecção da sombra em imagens ALOS/PALSAR permite reduzir erros de mapeamento de vegetação.

Reconhecendo a influência da região de sombreamento para a classificação da vegetação em áreas que apresentam um declive topográfico acentuado e por não existir um estudo que analise a sombra na imagem ALOS/PALSAR no estado da arte, percebeu-se a necessidade de realizar uma investigação sobre o porquê da ocorrência da sombra e em quais circunstâncias este problema acontece.

Sendo assim, esta dissertação utilizou a imagem ALOS/PALSAR para analisar o erro de sombreamento em suas duas polarizações HH e HV. São estudadas duas áreas testes, uma com a ocorrência do sombreamento e outra sem ocorrência.

Para estudar como a presença da declividade do relevo influencia na geração de sombra, utiliza-se os dados do TOPODATA, interpolados do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Estes dados são fundamentais para analisar a orientação das vertentes e declividade do terreno. Também é utilizada a imagem do sistema sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT 5) do ano de 2011 para verificar as feições do terreno e se isso pode provocar confusão na classificação de uso e cobertura do solo, onde exista a sombra na imagem ALOS/PALSAR, através da visualização na composição colorida TM 4-5-3.

Todos os dados do TOPODATA, imagens LANDSAT e imagem ALOS/PALSAR utilizados nesta dissertação foram obtidos gratuitamente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Como a declividade, a orientação de vertentes e a binarização podem auxiliar a identificar a ocorrência de sombra nas imagens ALOS/PALSAR.

1.1.2 Específicos

- Estudar um método de detecção de sombra para a imagem ALOS/PALSAR.
- Analisar a ocorrência da sombra ALOS/PALSAR através da influência do relevo utilizando informações da orientação de vertentes e declividade.
- Avaliar o comportamento das feições nas imagens ALOS/PALSAR e nas imagens TM.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sensoriamento Remoto por RADAR

O RADAR opera em uma faixa do espectro eletromagnético, denominada de microondas. Essa faixa é dividida em bandas conforme a Figura 1.

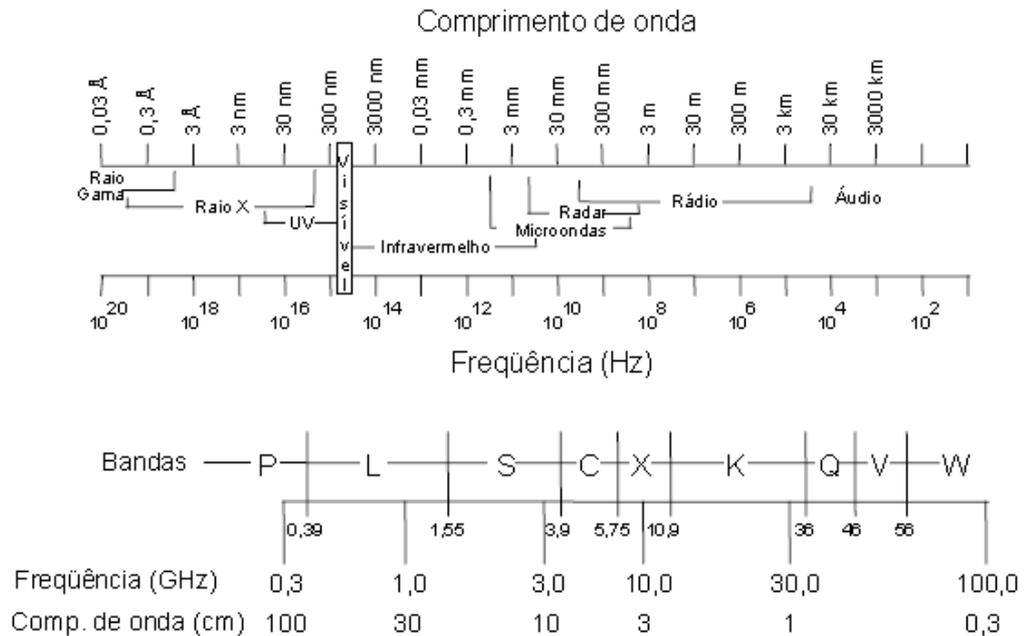


Figura 1 - Espectro eletromagnético e bandas da região das microondas.
Fonte: Beneditti (2010).

O RADAR simula eletronicamente uma antena longa, por meio do deslocamento de uma antena (curta) ao longo da direção de voo da plataforma (SABINS, 1987). Os objetos são discriminados a partir das modificações na frequência dos ecos em função do movimento relativo entre os objetos no terreno e a plataforma (HEMERLY et al., 2007).

Os radares imageadores empregados em Sensoriamento Remoto trabalham com pulsos (retroespalhamento) que variam entre 1 cm a 100 cm de comprimento de onda.

Quanto maior o comprimento de onda utilizado, maior será a penetrabilidade da onda em alvos (JENSEN, 2007). O retroespalhamento é dependente da

combinação de parâmetros inerentes ao sistema imageador, tais como frequência, polarização, ângulo de visada e de incidência, e das características geométricas e elétricas das superfícies dos materiais imageados, especificamente do grau de rugosidade e da constante dielétrica (KUPLICH, 2003).

Em estudos da vegetação, por exemplo, o retroespalhamento é influenciado pela orientação dos galhos, teor de umidade e a presença de folhas e suas proporções nas camadas do dossel (VAN DER SANDEN e HOEKMAN, 1999).

Dessa forma, o coeficiente de retroespalhamento (σ^0) é a relação entre a seção transversal (σ) radar por unidade de área (A) imageada no terreno representada na Equação 1 (PRADO, 2009). O coeficiente de retroespalhamento (σ^0) é um número adimensional, e pode ser expresso através de níveis digitais nas imagens de radar, mas é usualmente expresso na escala de decibéis (dB), sendo descrito como $[10\log(\text{amplitude})]$, onde amplitude é o valor da imagem processada (SARMAP, 2008).

$$\sigma^0 = \frac{\sigma}{A} \quad (1)$$

A Figura 2 exemplifica a interação de espalhamento nas bandas utilizadas na identificação de alvos por sistemas de RADAR.

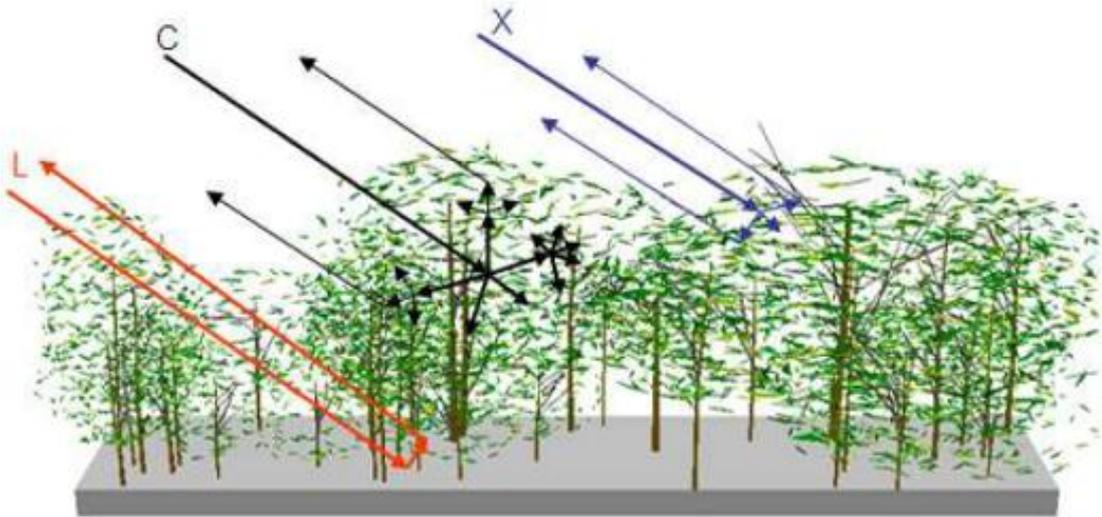


Figura 2 - Representação dos mecanismos de espalhamento na banda C (~5,6 cm), em contraste aos mecanismos apresentados pela banda L (~23 cm) e banda X (~3 cm).
Fonte: Servello (2010).

2.1.1 Polarização

A polarimetria representada na Figura 3 ilustra o comportamento do vetor campo elétrico em uma onda eletromagnética (WOODHOUSE, 2006). Atualmente tem-se empregado radares capazes de coletar dados de qualquer uma das quatro combinações possíveis: HH, HV, VH e VV. A primeira letra indica a polarização de transmissão e a segunda indica a de recepção, sendo H = Horizontal e V = Vertical (Figura 4). A interação da onda eletromagnética com os objetos tem relação direta com a polarização incidente. Se os objetos na superfície terrestre possuem uma orientação vertical, a interação com microondas verticalmente polarizada será maior, assim como o eco gerado.

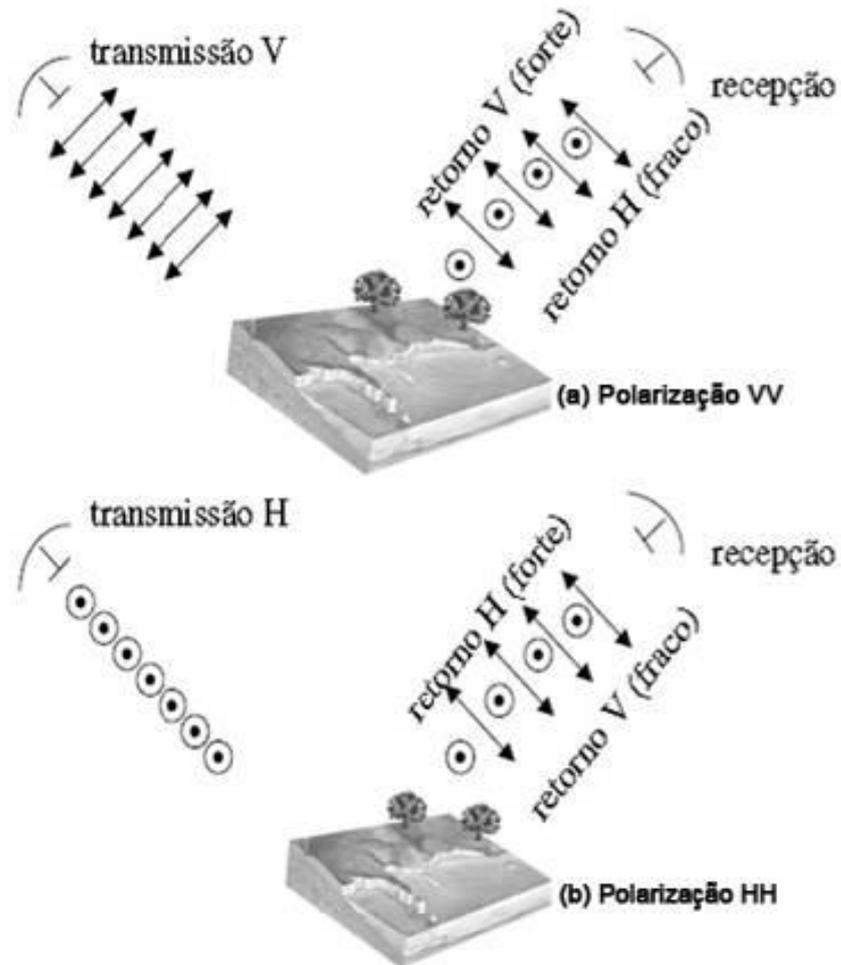


Figura 3 - Esquema de Polarização.
Fonte: Adaptada de Soares (2012).

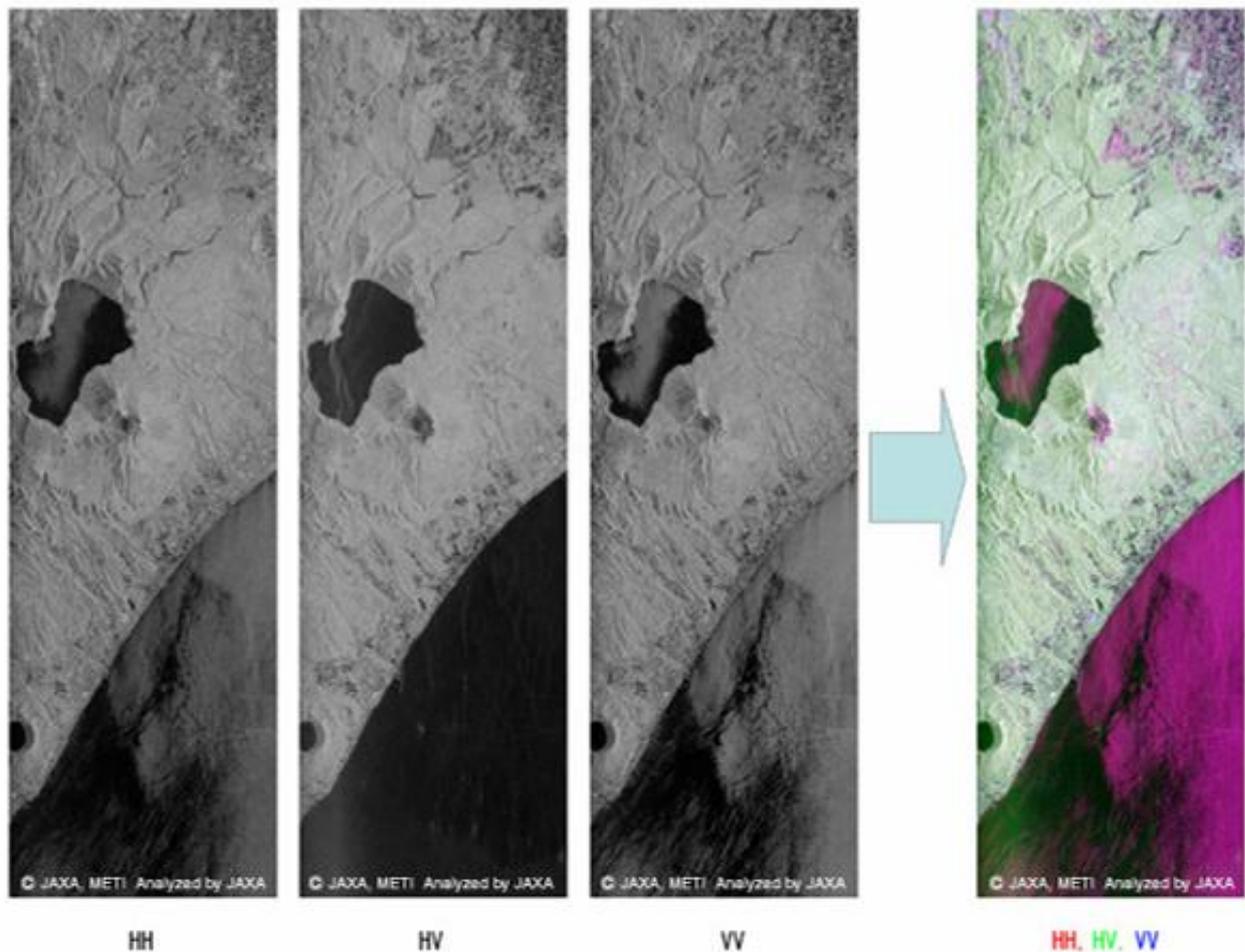


Figura 4 - Polarização nas imagens ALOS/PALSAR.
Fonte: JAXA (2012).

Existem diferentes comportamentos das feições dependendo do conjunto da polarização utilizada. Por exemplo, nas polarizações simples HH e VV os sedimentos existentes na água são mais visíveis. Isto ocorre porque o retroespalhamento em polarizações paralelas (HH ou VV) é mais forte que em polarizações cruzadas (HV ou VH) (LEWIS et al., 1998).

De acordo com Servello (2010), o sinal de retorno, chamado retroespalhamento, é registrado na forma de uma matriz $[S]$ 2×2 , em uma base, composta de valores complexos, transmitida e recebida nas polarizações: HH, VV, HV e VH (Equação 2). Em Sensoriamento Remoto por RADAR, a representação do espalhamento da onda segue a natureza do sistema de coordenadas da radiação transmitida e recebida.

$$\langle S \rangle = \begin{bmatrix} \langle S_{HH} \rangle \langle S_{HV} \rangle \\ \langle S_{VH} \rangle \langle S_{VV} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde:

S é o espalhamento

HH polarização horizontal para transmissão e recepção

VV polarização vertical para transmissão e recepção

HV para transmissão horizontal e recepção vertical

VH para transmissão vertical e recepção horizontal

Os objetos ou superfícies espalhadoras podem ter a capacidade de despolarizar a onda incidente e gerar um eco numa polarização distinta à enviada (KUPLICH, 2003). Essa despolarização ocorre quando o pulso atinge o alvo, de modo que o sinal enviado pode retornar à antena com uma intensidade maior numa direção diferente da direção da polarização emitida. Por exemplo, um sensor que emite um pulso na direção H pode registrar o sinal de retorno na direção polarizada V. Nesse caso, tem-se o que se denomina de polarização cruzada HV. Se o sinal polarizado é emitido em V e o sinal de retorno é registrado pela antena em H, tem-se a polarização cruzada em VH (MENESES e SANO, 2012). Sendo assim os sistemas de radar podem ter combinações de polarização diferentes (ANDRARE et al., 2007).

- Polarização simples – HH ou VV;
- Polarização dupla – HH e HV, VV e VH ou HH e VV;
- Polarização quádrupla – HH, VV, HV, e VH; e
- Completamente polarimétrico – HH, VV, HV, VH.

2.1.2 Rugosidade

A rugosidade é uma característica importante relacionada ao alvo que influencia na imagem de RADAR. A rugosidade superficial influencia no espalhamento da energia de microondas e, conseqüentemente, o brilho dos alvos nas imagens de RADAR. As superfícies lisas e horizontais espalham quase toda a energia incidente em direção oposta ao sistema de RADAR e são chamadas especulares. As superfícies especulares, tais como águas calmas ou rodovias pavimentadas, aparecem escuras em imagens de RADAR (BENEDITTI, 2010).

As microondas que incidem sobre uma superfície rugosa são espalhadas em várias direções. Esse fenômeno é conhecido como espalhamento difuso ou distribuído. As superfícies com vegetação que são mais rugosas causam espalhamento difuso e resultam em uma tonalidade mais brilhante em imagens de RADAR (BENEDITTI, 2010).

Os tipos de rugosidade que influenciam na reflexão das feições na superfície no decorrer do imageamento estão representados nas Figuras 5 e 6. No caso da Figura 5 têm-se os tipos de reflexão (difusa, especular e refletor de canto) para diferentes alvos. Já para o caso da Figura 6 tem-se uma simulação de sinal de emissão/recepção relacionado a amplitude/tempo.

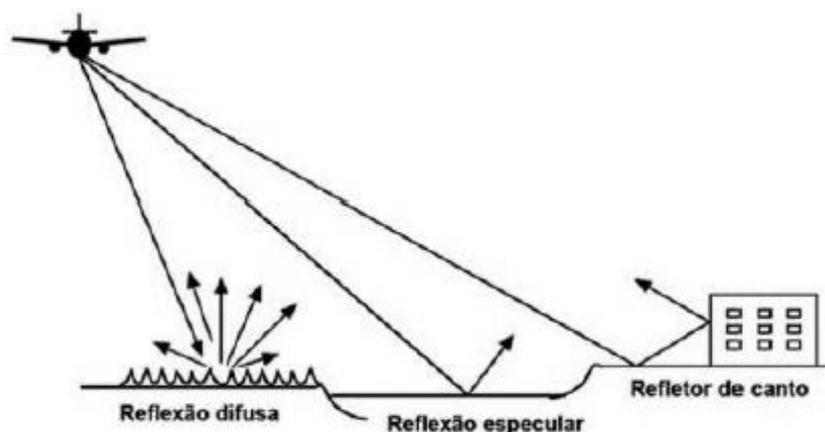


Figura 5 - Tipos de reflexão nos alvos.
Fonte: Beneditti (2010).

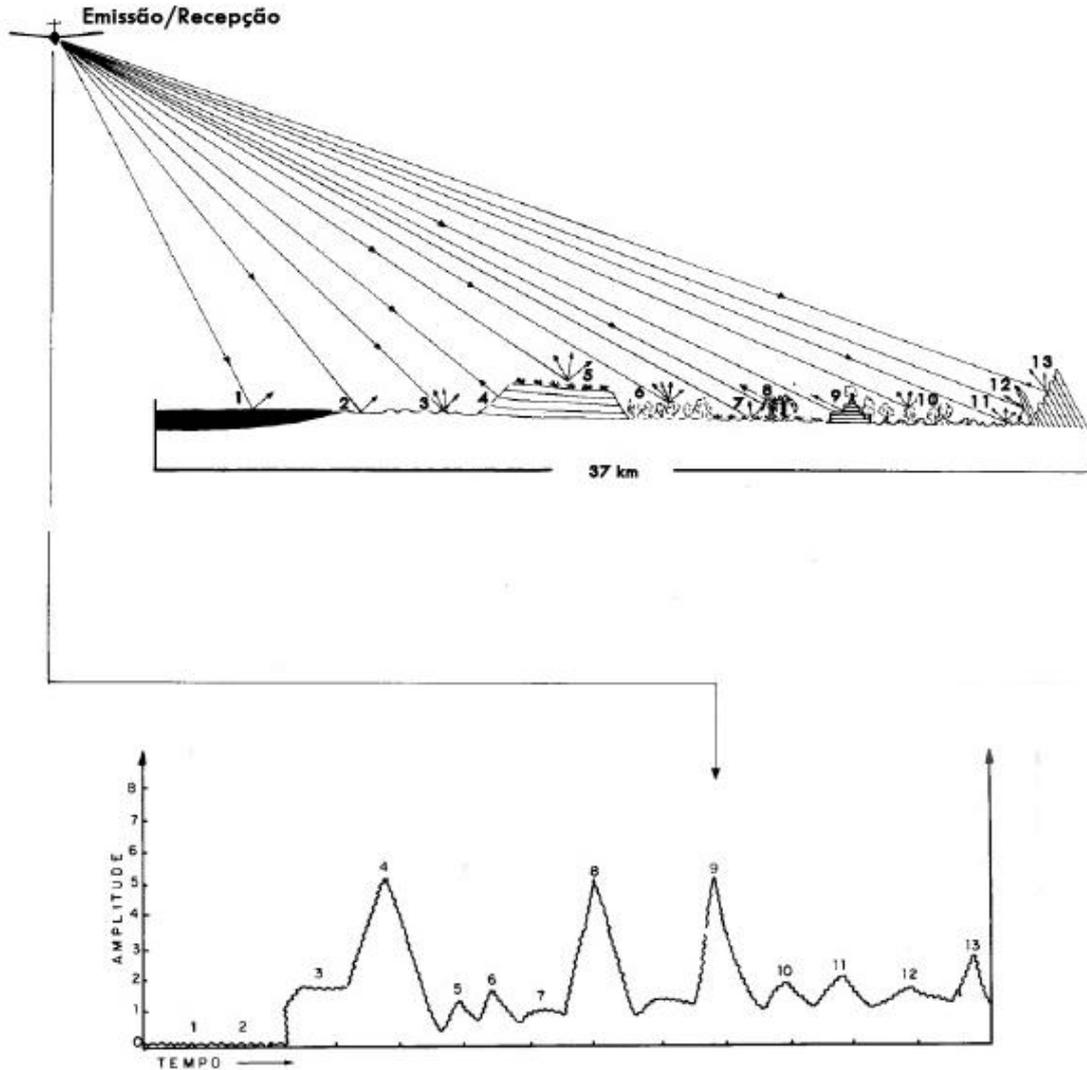


Figura 6 – Simulação dos sinais recebidos a partir do RADAR de visada lateral.
Fonte: Adaptada de Lima (1995).

A frequência e o ângulo de incidência local da onda transmitida determinam se uma superfície aparece mais rugosa ou mais lisa. Os radares podem trabalhar em diferentes comprimentos de onda, definindo frequências diferenciadas. Para uma mesma superfície quanto maior o comprimento de onda menor a rugosidade da superfície. Portanto, a superfície é mais rugosa quando o ângulo de incidência local é maior.

2.1.3 Constante dielétrica

A constante dielétrica é a capacidade que um material (vegetação, solo, água, entre outros) tem em conduzir energia elétrica e causa influência direta na capacidade do material em absorver, refletir e transmitir energia na faixa de microondas (BENEDITTI, 2010). O parâmetro que influencia mais significativamente essa variável é o conteúdo de umidade, sendo assim, um solo ou uma vegetação mais úmida terá um impacto significativo na quantidade de energia retroespalhada (MIKHAIL et al., 2001).

Os alvos naturais, para terem altas constantes dielétricas, precisam conter água livre na sua estrutura (umidade), isso porque a água tem uma alta constante dielétrica, próxima de 80. Rochas e solos, em suas condições naturais (secos), possuem uma baixa constante dielétrica, entre 3 a 8. Quanto maior for a constante dielétrica do material, maior é a interação do campo elétrico do pulso de microondas com a molécula de água e mais intenso é o retorno do sinal (MENESES e SANO, 2012).

2.1.4 Geometria de aquisição

O imageamento da imagem do RADAR ocorre por meio de um pulso que sai como um lóbulo. Existem dois tipos de lóbulos, o principal que é o maior lóbulo e os secundários. Estes últimos são indesejáveis, uma vez que podem interferir na radiação detectada (FREITAS et al., 2007). Os lóbulos são feixes adicionais de baixa intensidade de energia, inevitavelmente irradiados na maioria dos radares, devido principalmente, às limitações no tamanho e forma da antena (MIGUENS, 1996).

A seguir tem-se a geometria de aquisição (Figura 7) para imagens de RADAR que é realizada de forma de visada lateral e essa geometria define o ângulo de incidência (θ), ângulo de depressão (β) e a largura da faixa imageada pelo sensor (PRADO, 2009).

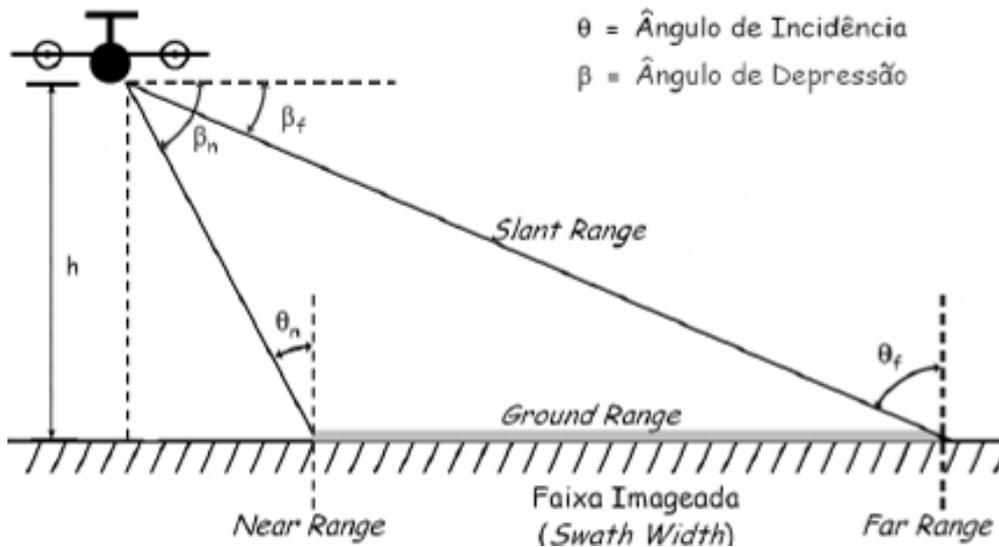


Figura 7 - Elementos básicos da geometria de aquisição de RADAR de visada lateral.
 Fonte: Adaptada de CCRS (2012), Prado (2009).

A Figura 7 mostra termos que são resumidamente explicados a seguir:

- Imagem **Slant Range**, na qual as distâncias são medidas entre a antena e o alvo no terreno.
- Imagem **Ground Range**, na qual as distâncias são medidas entre a projeção da plataforma no terreno e o alvo, e colocadas na posição correta no plano de referência escolhido.
- **Swath**: área continuamente vista pelo RADAR. Ele se divide em duas partes *Far range* e *Near Range*.
- **Near range**: feições comprimidas
- **Far range**: feições dilatadas

O ângulo de incidência é formado entre a direção de emissão do pulso e a perpendicular à superfície (normal). Este ângulo é formado entre o pulso de radar e a vertical ao plano da superfície no ponto onde o pulso toca o terreno. Sendo assim, este ângulo é dependente da declividade do terreno, não possui um valor fixo (MENESES e SANO, 2012).

O ângulo de incidência tem influência na quantidade de retroespalhamento produzido, pois com ângulos de incidências maiores gera-se maior perda de retroespalhamento (PRADO, 2009).

O ângulo de depressão é formado entre a linha horizontal a partir do sensor e a linha descrita pelo pulso eletromagnético. A faixa imageada pelo sensor corresponde à largura da cena imageada perpendicularmente à trajetória de voo da plataforma, sendo medida entre o *near range* e o *far range* (PRADO, 2009).

A relação entre os parâmetros do sistema de radar, do alvo, e do sinal que é transmitido pela antena (que interage com o alvo e novamente retorna para a antena) pode ser explicada pela equação do RADAR (Equação 3) (DUTRA et al., 2003).

$$P_r = \frac{P_t \lambda^2 G_0^2 \sigma^0}{(4\pi)^3 R^4} \quad (3)$$

Onde:

P_r é a potência média recebida pela antena

P_t é a potência transmitida

λ é o comprimento de onda

G_0 é o ganho máximo da antena

R é a distância entre a antena e o alvo

σ^0 é o coeficiente de retroespalhamento (*backscatter*)

2.1.4.1 Direção de visada

A direção de visada é definida como o ângulo entre o norte geográfico e a direção do feixe de iluminação do radar em sentido horário, ou seja, perpendicular à direção de movimento da plataforma (LEWIS et al., 1998).

Dessa forma, um parâmetro que também deve ser levado em consideração na geometria de aquisição de um alvo, pois a direção de visada ou direção de alcance é a direção de iluminação ao longo da qual o pulso de radar se propaga, e é um parâmetro importante no imageamento dos sensores de radar de visada lateral (MENESES e SANO, 2012).

É importante para se obter uma melhor detecção do alvo, porque há uma relação direta entre a direção que o alvo está orientado no terreno, tal como a orientação de cristas ou alinhamentos de relevo, e a direção lateral que o pulso é emitido (MENESES e SANO, 2012).

A regra básica para se ter um melhor imageamento e um melhor contraste dos alvos é dirigir o pulso numa direção mais ortogonal possível à orientação dos alvos (MENESES e SANO, 2012).

2.1.5 Speckle (ruído)

O ruído conhecido como *speckle*, presente na imagem de RADAR é um ruído multiplicativo, sendo maior onde o sinal é mais intenso. Nesse modelo multiplicativo, supõe-se que cada pixel da imagem é resultado da Equação 4 (DUTRA et al., 2003). Onde o sinal observado é o produto das variáveis aleatórias (independentes) que modelam o retroespalhamento e o ruído *speckle* (PRADO, 2009). Na imagem da Figura 8, o ruído gera uma aparência granular na imagem, pois torna a relação sinal-ruído mais baixa. Isso dificulta o processamento digital, bem como a interpretação visual e a extração de informações.

$$Z = X \cdot Y$$

(4)

Onde,

Z representa o sinal observado (variável de retorno)

X representa a variável aleatória que modela o retroespalhamento (sempre considerada real e positiva)

Y representa a variável aleatória que modela o ruído *speckle* (complexa ou real e positiva)

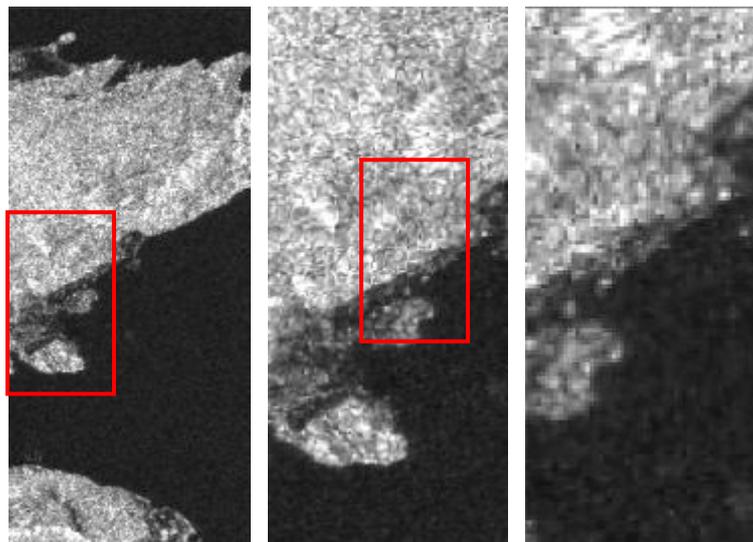


Figura 8 - *Speckle* na imagem ALOS/PALSAR (HV) com ampliações.
Fonte: Autor (2012).

Tendo em vista alguns fatores que influenciam no retroespalhamento do sinal, é possível concluir que as imagens provenientes desse tipo de sistema não são simples. Elas são formadas por uma interferência entre os difusores que formam cada *pixel* da imagem (HENDERSON e LEWIS, 1998).

Como cada elemento de resolução é composto por um grande número de difusores, o sinal de retorno resulta da soma do sinal elementar retornado por cada um dos elementos difusores. Esse processo causa flutuações aleatórias ou interferências que dão um aspecto granuloso característico às imagens de RADAR, o qual é conhecido como ruído *speckle* (HENDERSON e LEWIS, 1998).

2.1.6 Resolução espacial

As medidas de resoluções espaciais dos sensores de radar são bem mais complexas que as dos sensores multiespectrais e termais. O elemento ou célula de resolução espacial de um radar de visada lateral é controlado por dois parâmetros independentes:

- a) o comprimento do pulso, que é determinado pela duração de tempo t em que a antena emite os pulsos de energia;
- b) a largura angular do feixe do pulso enviado pela antena.

Cada um dos parâmetros determina uma resolução espacial, havendo duas medidas de resoluções espaciais: uma na direção de alcance ou direção de iluminação de propagação do pulso e outra na direção transversal ao lóbulo, que é a direção azimutal da linha de voo. Podem também ser ditas como resolução longitudinal e transversal em relação ao lóbulo de iluminação (MENESES e SANO, 2012).

2.2 Estudos que utilizaram imagens de RADAR em suas pesquisas

Em território brasileiro, as imagens radargramétricas foram inicialmente utilizadas para cobrir o território em dois períodos: 1971/1972, envolvendo toda a Amazônia Legal e parte Leste dos estados da Bahia e Minas Gerais e Norte do Espírito Santo, entre os anos de 1975/1976 se realizou o imageamento do restante do Brasil.

Tais levantamentos serviram de base para o projeto Radar na Amazônia (RADAMBRASIL) que teve como objetivo o levantamento dos recursos naturais do território brasileiro (LIMA, 1995). Hoje, todo o acervo científico do projeto pertence à Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Santos et al., (2006) realizaram um estudo com o objetivo de apresentar a potencialidade de imagens polarimétricas de RADAR de abertura sintética em banda P que possui comprimento de onda de 72 cm e frequência média de 415 MHz, como suporte na definição do espaço de atributos de florestas primária e secundária e também na estimativa de biomassa aérea de tais formações. Como resultado, gerou-se um mapa de biomassa das feições presentes na área estudada. O resultado mostrou que a banda P *Synthetic Aperture Radar* (SAR) polarimétrica possui um potencial quando é utilizada para mapear áreas de vegetação tropical e biomassa de florestas em regeneração.

Guerra et al., (2010) utilizaram dado SAR adquirido em banda L pelo sistema aerotransportado R99B da Força Aérea Brasileira (FAB) para discriminar incremento de desflorestamento na Amazônia. No trabalho utilizaram classificação Máxima Verossimilhança (MAXVER) associada ao classificador *contextual Iterated Conditional Modes* (ICM) com dados SAR multipolarizados de uma área teste localizada na região Sudeste do Estado do Acre. Realizou-se a classificação utilizando uma, duas e três polarizações, sendo HH, VV e polarizações cruzadas (HV e VH).

O melhor resultado foi alcançado pelo par de polarizações HH+HV ($k = 0,6884$) e o pior, pelo par HV+VV ($k=0,0582$). A classificação realizada com o par HH+HV obteve a melhor concordância com o mapa do Projeto de Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia Legal (PRODES), o qual foi adotado como dado de referência. Os resultados mostraram que o dado SAR multipolarizado em banda L possui bom potencial para discriminar incremento de desflorestamento na Amazônia.

Silva (2010) e Silva e Santos (2011) realizaram um estudo com a utilização de imagens ALOS/PALSAR para o mapeamento do uso e cobertura do solo no estado de Pernambuco, na região semiárida aplicando algoritmos de classificação. Entretanto, não investigaram possíveis conflitos de resultados que poderiam ter gerado um desempenho não muito satisfatório para a classificação, tal resultado poderia estar relacionado com a presença da área de sombreamento evidenciada em regiões de topografia acidentada.

2.3 Distorções geométricas encontradas nas imagens de RADAR

As distorções geométricas encontradas nas Figuras 9, 10 e 11 estão presentes nas imagens de RADAR e são induzidas pela variação da elevação na superfície ou pela mudança de altitude da plataforma (velocidade, direção e altitude). A variação da elevação na superfície resulta em distorções conhecidas como encurtamento de rampa (*Foreshortening*), sombreamento (*shadowing*) e inversão do relevo (*layover*).

a) Encurtamento: Ocorre onde a encosta de um terreno é situada de frente para a iluminação do RADAR de visada lateral (Figura 9). A distância entre a encosta e o RADAR é menor em relação ao que seria se o mesmo terreno fosse plano, portanto, o terreno íngreme aparece comprimido na escala de alcance da imagem. Encurtamento de rampa é um caso especial de deslocamento de relevo. O efeito é mais pronunciado para encostas mais íngremes e para radares que usam ângulos de incidência menores. Para encostas situadas em direção contrária à iluminação do RADAR, ocorre um efeito complementar, isto é, uma expansão da escala na direção de alcance (CCRS, 2012).

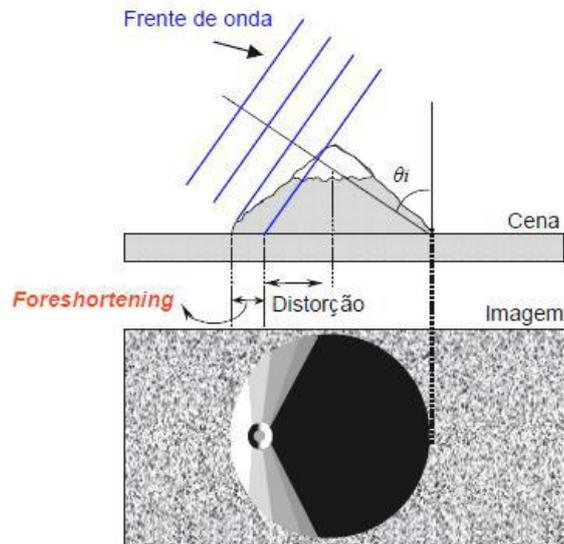


Figura 9 – Encurtamento.
Fonte: Beneditti (2010).

b) Inversão: ocorre quando a energia refletida pela parte superior de uma feição é recebida antes do retorno do sinal da parte inferior dessa mesma feição (Figura 10). Assim, o topo do alvo será deslocado ou inclinado em relação à sua base quando a imagem é processada. Em geral, a inversão de relevo é mais predominante em geometrias de visada com ângulos de incidência menores, tais como os de satélites. (CCRS, 2012).

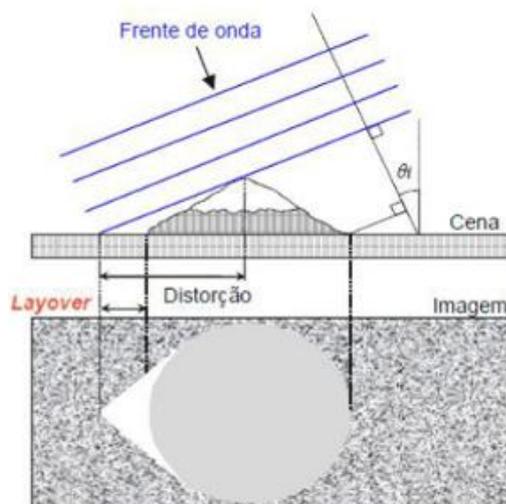


Figura 10 - Inversão.
Fonte: Beneditti (2010).

c) Sombreamento: A sombra nas imagens de RADAR indica a presença de áreas no terreno que não são iluminadas pelo RADAR devido à geometria de visada e ao relevo (Figura 11). Como nenhum sinal retroespalhado é recebido, as áreas com sombreamento de RADAR aparecem com tonalidade muito escura nas imagens. Essa distorção é mais comum em terrenos íngremes, imageados com ângulos de incidência grandes (BENEDITTI, 2010).

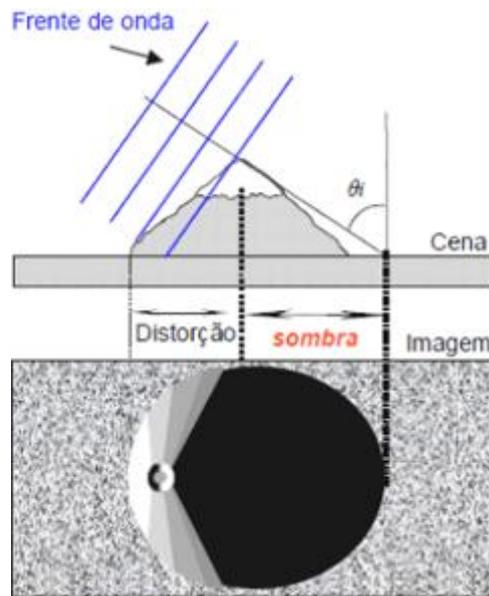


Figura 11 - Sombreamento.
Fonte: Beneditti (2010).

2.4 O problema de sombreamento na imagem ALOS/PALSAR

A distorção conhecida como sombreamento, vista na seção anterior, ocorre quando o sensor não é capaz de atingir determinadas partes do alvo, ocasionando regiões escuras na imagem, tornando-se mais intenso em alvos mais afastados do sensor. Isso ocorre quando a iluminação dos feixes de radar tiver em uma orientação E-W ortogonal à direção das cristas. Assim, quando a iluminação é ortogonal à crista, a face voltada frontalmente ao pulso será intensamente iluminada e deverá ter um alto retorno do sinal, registrando um tom de cinza claro na imagem.

Ao contrário, a face oposta será bem menos intensamente iluminada ou quase nada iluminada (sombreada), não havendo quase nada de retorno de sinal, e o registro será de uma imagem com tom de cinza escuro ou preto (MENESES e SANO, 2012).

A região de sombreado acontece em áreas urbanas devido a presença dos prédios e em encostas de colinas que estão com a face voltada para a direção oposta à direção de visada, indicando áreas que não foram cobertas pelo feixe do PALSAR. Ela é mais crítica em sensores de PALSAR, devido à baixa altitude em relação à faixa imageada e, conseqüentemente, aos ângulos de incidência maiores. Esse efeito é induzido pela variação da elevação na superfície e eventualmente pela mudança de atitude da plataforma (velocidade, direção e altitude). Sendo assim, uma encosta muito íngreme pode provocar sombras na imagem ALOS/PALSAR, ou seja, a região não terá retorno de sinal para a antena PALSAR.

As diferenças de altura da vegetação e declives do terreno provocam tonalidades claras (alta refletividade) nas feições voltadas para o feixe do PALSAR e sombras naquelas voltadas para o lado oposto do feixe. Como se pode notar na Figura 12, as sombras na imagem ALOS/PALSAR, provocadas por objetos com a mesma altura, crescem com o aumento da linha de visada, ou seja, com o aumento do ângulo de incidência (LIMA, 1995).

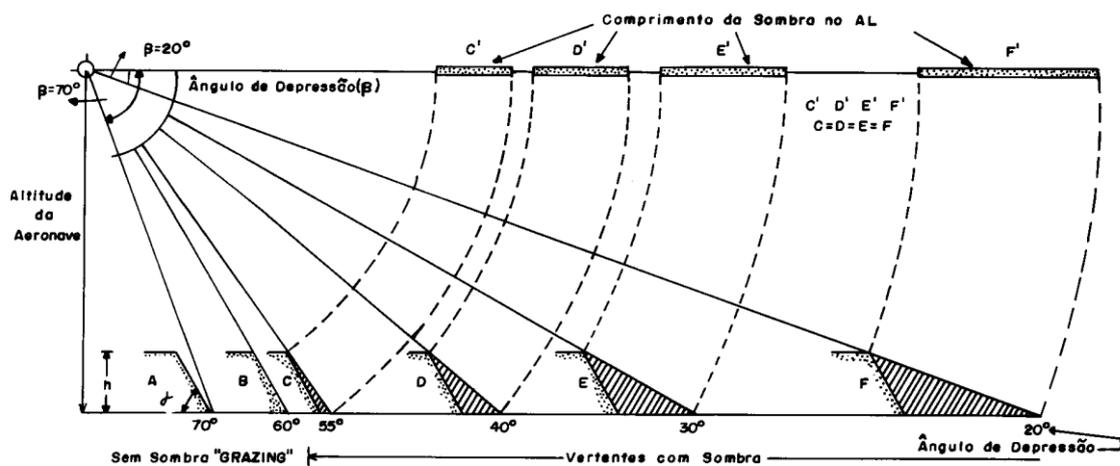


Figura 12 - Efeito de sombreado.
Fonte: Lima (1995).

De acordo com Lima (1978) a sombra PALSAR só será produzida em uma feição do terreno se o ângulo de depressão for maior que o ângulo de incidência não voltada para o feixe de RADAR. Além do mais as feições perpendiculares à direção de varredura ou paralelas a linha de voo, terão um maior ressalto e como consequência maior a sombra, o oposto ocorrendo quando as mesmas forem paralelas.

2.5 Caracterização do sistema ALOS/PALSAR

O programa de satélite japonês para a observação da superfície terrestre consiste em duas séries, correspondendo aos diferentes objetivos de observação, isto é, uma parte é composta de satélites para observações atmosféricas e marinhas, enquanto outra parte para observações terrestres. O objetivo principal do sistema sensor *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) é contribuir para a Cartografia, observação regional, monitoramento de desastres e levantamento de materiais (JAXA, 2008).

O ALOS foi lançado em janeiro de 2006, é um projeto conjunto entre a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) e a *Japan Resources Observation System Organization* (JAROS). É equipado com três instrumentos de Sensoriamento Remoto: O *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM) para medir a elevação precisa da Terra com uma resolução de 2,5 m, o *Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer type 2* (AVNIR-2) para observação da Terra com resolução de 10m, e o *Phased Arrayed type L-Band SAR* (PALSAR) com resolução de 12,5 m capaz de realizar observações da Terra durante o dia ou noite e em qualquer condição atmosférica (JAXA, 2008). A Figura 13 mostra a aquisição da imagem PALSAR.

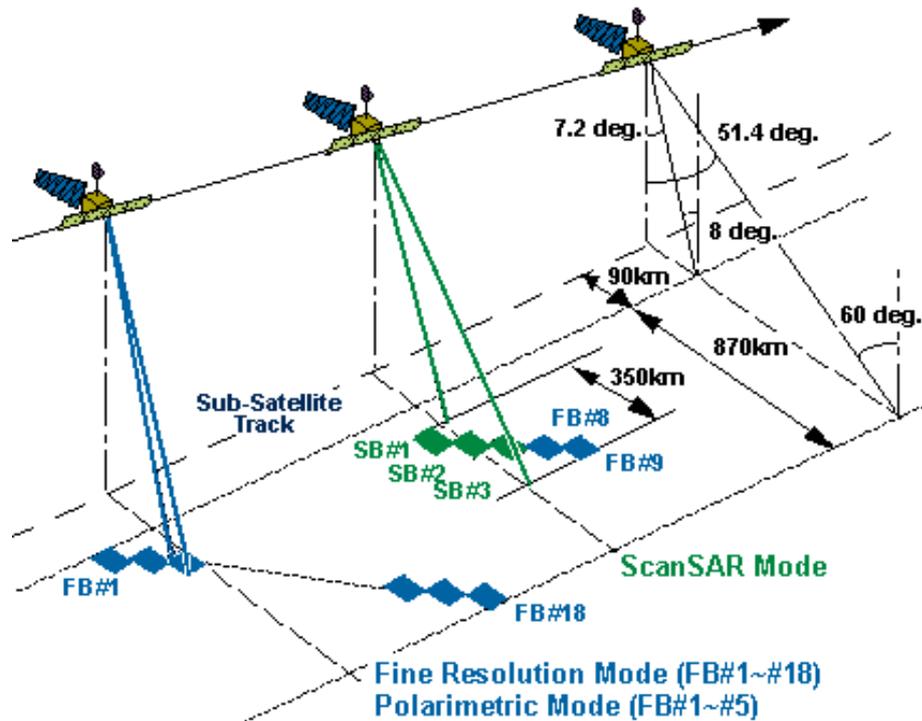


Figura 13 - Aquisição da imagem ALOS/PALSAR.
Fonte: JAXA (2012).

A plataforma ALOS descreve uma órbita polar heliosíncrona a aproximadamente 692 km de altitude, passando pela linha do Equador às 10:30 hs e 22:30 hs, em suas órbitas descendente e ascendente respectivamente. Com um período de revisita de 46 dias. Contudo, a plataforma dispõe de uma complexa configuração de passagem que possibilita a revisita em dois dias no caso dos instrumentos de visada lateral (BENEDITTI, 2010).

O PALSAR possui a capacidade de imagear *off-nadir* entre $9,9^\circ$ - $50,8^\circ$ em 18 diferentes posições, podendo operar em cinco diferentes modos de operação: *Fine Beam Single polarization* (FBS); *Fine Beam Dual Polarization* (FBD); *Polarimetric mode* (POL); *ScanSAR mode* e *Direct Transmisson mode* (DT). As características do instrumento ALOS/PALSAR são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do ALOS/PALSAR.
 Fonte: Adaptada de Rosenqvist et al., (2007).

Dimensões da antena	8,9 m x 3,1 m
Frequência Central	1270 MHz / 23,6 cm (Banda L)
<i>Chirp Bandwidth</i>	28 MHz (FBS, ScanSAR)
Modos de Imageamento	<p><i>Fine beam mode (FBS, FBD):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Single polarization</i> (HH ou VV) • <i>Dual pol.</i> (HH/HV ou VV/VH) <p><i>Polarimetric mode (POL):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Quad-pol. (HH/HV/VH/VV) <p>• Polarização HH/HV</p> <p><i>ScanSAR mode:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Single Polarization</i> (HH ou VV) • No. sub-beams: 3,4 ou 5 • <i>Short</i> (14 MHz) ou <i>long</i> (28 Mhz) <p><i>Direct Transmisson (DT) mode:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>FB Single pol</i> (14 MHz) • ScanSAR (14 MHz)
ALOS/PALSAR-IBGE	
Largura da faixa de imageamento	70 km (FBS, FBD @34,5°) 30 km (POL @21,5°) 360 km (ScanSAR 5-beam)
<i>Off nadir angle</i>	Variável: FBS/FBD: 9,9°-50.8° POL: 9,7°-26,2° Fixo: ScanSAR: 20,1°-36,5° (beam 1-5)
Direção de visada	Direita
<i>Ground resolution</i>	10 m x 10 m (FBS @34,3°) 20 m x 10 m (FBD @34,3°) 31 m x 10 m (POL @21,5°)
<i>Ground Range (1 look) x</i>	
Azimute	10m (2 looks); 20m (4 looks) – FBS 10m (2 looks) – FBD 100m – ScanSAR 10m (2 looks); 20m (4 looks) -POL
<i>Data rate</i>	240 Mbps (FBS, FBD, POL, ScanSAR-long) 120 Mbps (DT, ScanSAR-short)

2.6 SRTM/TOPODATA

A missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) foi uma parceria entre agências espaciais da Alemanha, da Itália e dos Estados Unidos, coordenada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA). Os dados foram gerados em uma missão espacial feita a bordo da espaçonave *Endeavour* entre 11 e 22 de fevereiro de 2000. A espaçonave realizou uma órbita de 233 km de altitude, com inclinação de 57°, objetivando a obtenção de dados topográficos digitais para cerca de 80% do globo terrestre entre as latitudes 60°N e 56°S (MANTELLI, 2008).

O projeto foi criado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através da interferometria. Para tanto, a nave foi munida de um mastro de 60 m, em cuja extremidade foi instalada antenas para bandas C e X. A resolução do produto final é de 1 arco segundo, aproximadamente (1" ou 30 m) para os Estados Unidos e de 3 arco segundos (3"ou 90 m) para o resto do mundo. O georreferenciamento foi feito de acordo com o sistema WGS84, com valores de altimetria "z" em metros (MARQUES, 2009).

As altitudes dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) SRTM são dadas em metros, em relação ao modelo geopotencial *Earth Gravitational Model 1996* (EGM96). Utiliza-se o Sistema de Coordenadas Elipsoidais e o Sistema Geodésico de Referência WGS84.

O projeto TOPODATA propõe que derivações básicas da informação topográfica (declividade, orientação de vertentes, curvaturas etc.), a partir de dados SRTM, estejam prontamente à disposição da comunidade para seu uso. No escopo do TOPODATA, o destino do MDE é essencialmente um conjunto de derivações para mapeamento da declividade, orientação de vertentes, curvatura, entre outras informações (VALERIANO e ROSSETTI, 2010).

Além das derivadas básicas, o TOPODATA oferece ao usuário dados refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90 m) para 1" arco-segundo (~30 m) por krigagem. A facilidade de adaptação aos dados de entrada tornou a krigagem uma alternativa interessante para a formação de Modelos Digitais de Elevação (MDE) mais fiéis à conformação do terreno.

A Krigagem é um processo de interpolação baseado na estrutura de variabilidade exibida pelos dados, que se pode determinar com análises geoestatísticas. Requer, além dos dados de entrada, informações geoestatísticas (coeficientes), que controlam a distribuição dos pesos para o cálculo dos valores interpolados (VALERIANO e ROSSETTI, 2010).

A Figura 14 mostra o fluxograma correspondente às etapas de processamento dos dados SRTM: preenchimento de falhas, refinamento, derivação e pós-processamento. E os arquivos do TOPODATA e seus produtos gerados ao longo do processamento dos dados SRTM.

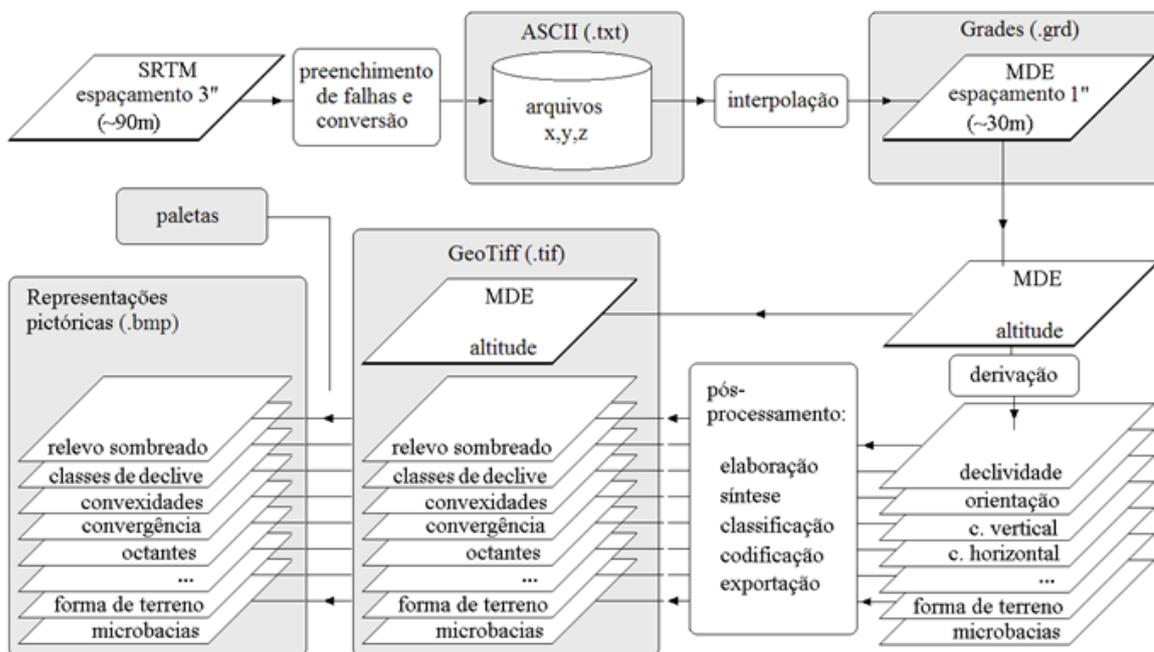


Figura 14 - Fluxograma do processamento dos dados SRTM e os produtos do TOPODATA derivados do SRTM.

Fonte: INPE/TOPODATA (2012).

2.7 Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT)

A série LANDSAT teve início na segunda metade da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana. Foi projetado com bandas espectrais para a observação dos recursos naturais terrestres. Essa missão foi denominada *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS) e em 1975 passou a se denominar LANDSAT. Na Tabela 2 encontram-se as características do satélite LANDSAT 5.

Tabela 2 - Principais características do satélite LANDSAT 5.
Fonte: EMBRAPA - Monitoramento por Satélite (2010).

Instituições Responsáveis	<i>National Aeronautics and Space Administration (NASA) e U.S. Geological Survey (USGS)</i>
País/Região	Estados Unidos
Lançamento	1/3/1984
Local de Lançamento	<i>Vandenberg Air Force Base</i>
Veículo Lançador	Delta 3920
Situação Atual	inativo
Órbita	Polar, heliosíncrona
Altitude	705 km
Inclinação	98,2°
Tempo de duração da órbita	99 min
Horário de passagem	9:45 AM
Período de Revisita	16 dias
Tempo de vida projetado	3 anos
Instrumentos Sensores	MSS e TM

2.8 Declividade e orientação de vertentes

A declividade informa o ângulo de inclinação zenital de uma área em relação à da superfície. Para análise do relevo os mapas de declividade emergem como ferramenta de vital importância, uma vez que constituem forma de representação temática da distribuição espacial dos diferentes graus de inclinação existentes em um terreno, apoiando a análise da paisagem (COLAVITE e PASSOS, 2012).

A declividade pode ser obtida em grau (declividade angular θ) pela Equação 5 ou em porcentagem (gradiente G) a partir da Equação 6 (ZHOU, 2009). O cálculo da declividade é em função da altura (h) e da distância (d).

$$\theta = \arctan\left(\frac{h}{d}\right) \quad (5)$$

$$G = \frac{h}{d} \times 100 \quad (6)$$

A orientação de vertentes é definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente. É expressa em graus, de 0° a 360° . A orientação de vertentes compõe, com a declividade, a geometria de exposição da superfície do terreno em representações sob esquema de relevo sombreado. Como os ângulos zenital e azimutal da superfície, respectivamente, a declividade e a orientação de vertentes guardam entre si uma relação de analogia e complementaridade na descrição tridimensional do terreno (VALERIANO, 2008).

Tanto as declividades como a orientação de vertentes levam em consideração a mensuração dos valores a partir de um vetor normal. A orientação de vertentes usará a informação do vetor normal tendo como orientação o norte. Assim, ele fornecerá as orientações descritas que a feição possui. Permitindo localizar onde a região de sombra será gerada a partir da tomada da imagem pelo RADAR.

Na Figura 15 está representada a geometria de orientação de vertentes e da declividade. As categorias das octantes que definem as orientações estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Orientação de vertentes e intervalos de ângulos.

Octantes	Intervalos
Norte	337.5°-22.5°
Nordeste	22.5°-67.5°
Leste	67.5°-112.5°
Sudeste	112.5°-157.5°
Sul	157.5°-202.5°
Sudoeste	202.5°-247.5°
Oeste	247.5°-292.5°
Noroeste	292.5°-337.5°

O mapa de orientação de vertentes é calculado a partir da Equação 7 (ZHOU e LIU, 2004).

$$A = 270^\circ + \arctan\left(\frac{f_y}{f_x}\right) - 90^\circ \frac{f_x}{|f_x|} \quad (7)$$

Onde f_x e f_y são os gradientes e nas direções oeste-leste e norte-sul, respectivamente.

No caso da análise das sombras em uma imagem Radar é importante termos a orientação de vertentes (azimute) e as declividades no terreno, pois esses parâmetros fornecerão as características da região onde a sombra é gerada.

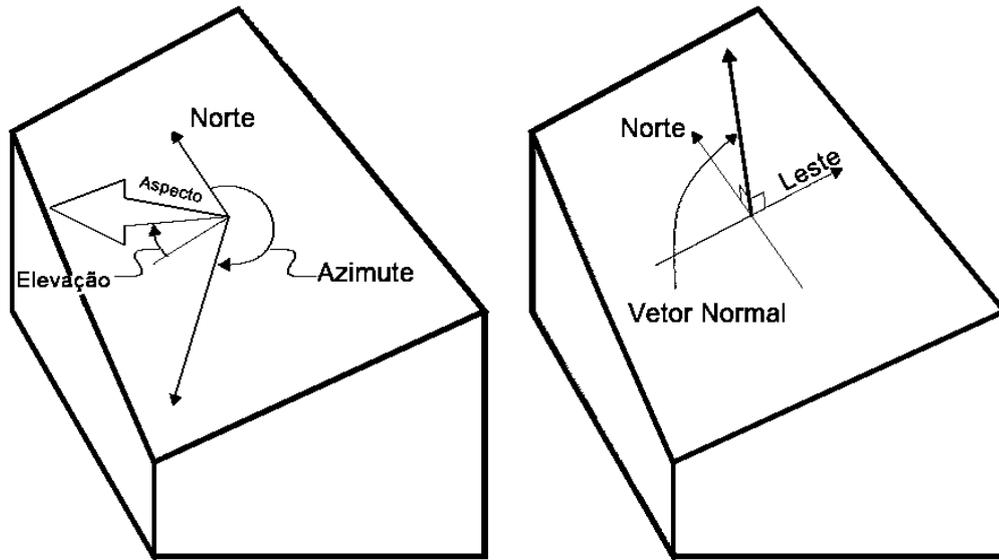


Figura 15 - Representação da orientação de vertentes e declividade.
Fonte: Adaptada de Zhou (2009).

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Áreas de Estudos

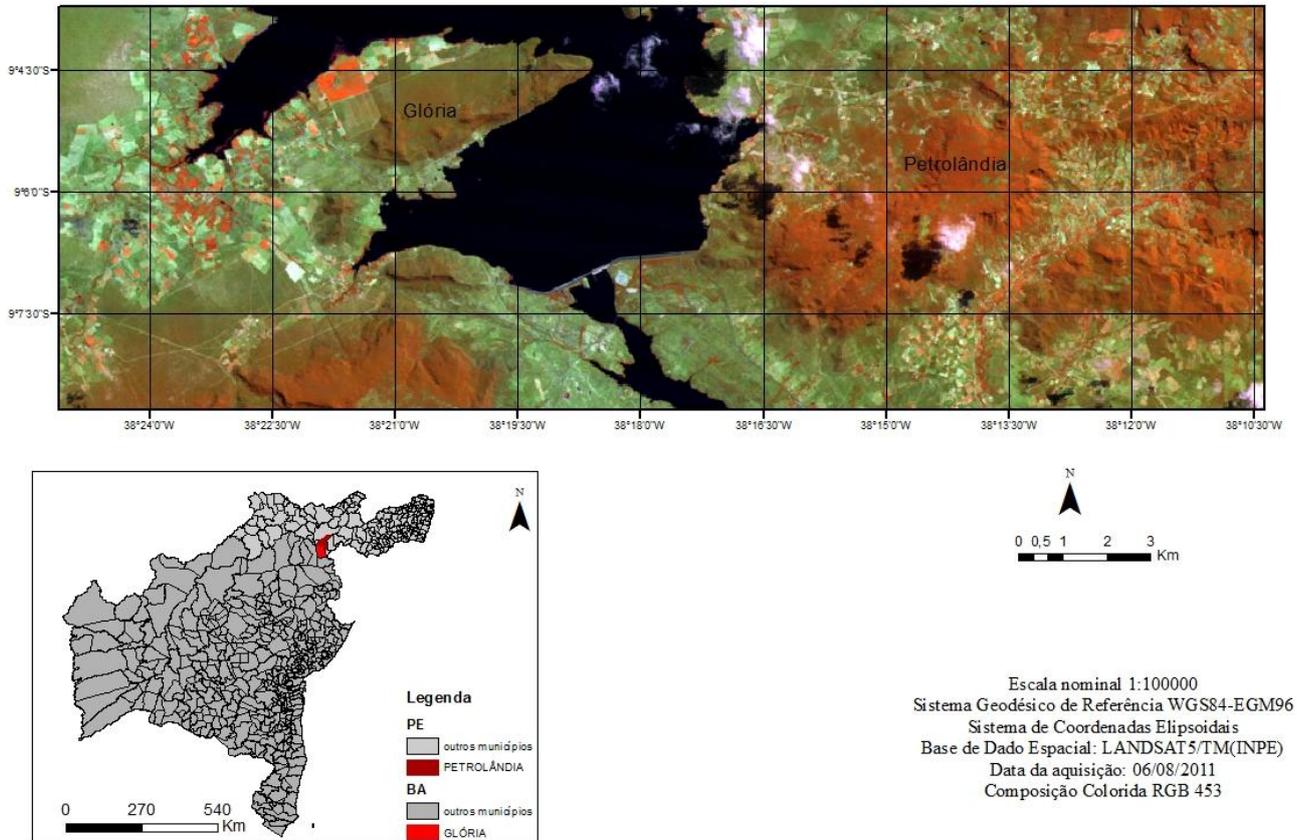


Figura 16. Localização das áreas de estudos. Fonte: Autor (2013).

Foram escolhidas duas áreas de estudos (Figura 16) que possuem relevo movimentado necessário para a aplicação da metodologia aplicada nesta pesquisa. A primeira área é a denominada de área teste 1 que possui as coordenadas $9^{\circ} 6' 5,08''$ S e $38^{\circ} 13' 3,32''$ W Gr, localizada no município de Petrolândia, Pernambuco. A área teste 2 possui as coordenadas $9^{\circ} 5' 12,31''$ S e $38^{\circ} 19' 48,82''$ W Gr, localizada no município de Glória, Bahia.

3.1.1 Características geomorfológicas para o município de Petrolândia

A área estudada apresenta uma compartimentação geomorfológica formada pela Bacia de Jatobá e Depressão Sertaneja com suas superfícies de pediplanação e elevações residuais (Brasil, 1983). As superfícies apresentam topografia plana a

suavemente inclinada e dissecada ocorrem em uma pequena área ao sul do município, compreendida entre altitudes relativas de 50 m (a partir da margem do Rio São Francisco) a 355 metros, com relevo plano a suave ondulado e ondulado. Destaca-se ainda a presença de trechos pediplanados com a presença de inselbergues, perfis íngremes e rochosos de testemunhos de níveis originários mais resistentes que permanecem na área isoladamente ou compondo grupos elevados. As altitudes destas áreas variam de 360 a 710 metros, estão localizadas ao sul e sudoeste da área municipal, apresentando relevo que varia de ondulado a forte ondulado e montanhoso (PARAHYBA et al., 2004).

As chapadas estão localizadas nas áreas sedimentares e de recobrimento de materiais residuais pertencendo à Bacia de Jatobá, onde o relevo é predominantemente plano e suave ondulado. Os vales aluvionares são áreas estreitas que se localizam nos arredores dos drenos naturais, formados por material sedimentar mais argiloso, ou mesmo pelo cristalino, apresentando relevo plano a suave ondulado (PARAHYBA et al., 2004).

3.1.2 Características geomorfológicas para o município de Glória

A área apresenta uma compartimentação geomorfológica formada pela Depressão Sertaneja do rio São Francisco e pela Bacia do Tucano, com suas superfícies de pediplanação e suas elevações residuais. As superfícies aplainadas apresentam relevo plano e suave ondulado com altitudes compreendidas entre 250 a 300 m. Em meios dessas superfícies aplainadas sobressaem formas residuais constituídas elevações de topografia acidentadas, com relevo forte ondulado e montanhoso. As altitudes destas áreas variam de 360 a 510 metros, estão localizadas ao sul e oeste da área municipal, apresentando relevo que varia de ondulado a forte ondulado e montanhoso (SILVA et al., 2004).

As chapadas estão localizadas nas áreas sedimentares e de recobrimento de materiais residuais pertencendo à Bacia do Tucano, onde o relevo é predominantemente plano e suave ondulado, com vales abertos e secos. Tendo ainda em certos locais, como nas bordas das chapadas, relevo mais movimentado do tipo suave ondulado a ondulado. Os vales aluvionares são áreas bastante

estreitas que se localizam nos arredores dos drenos naturais, formados por material sedimentar mais argiloso ou mesmo pelo cristalino, apresentando relevo plano e suave ondulado (SILVA et al., 2004).

3.2 Dados utilizados

A imagem ALOS/PALSAR utilizada neste trabalho possui a identificação ALPSRP131717000_H1_5_UA_FBD_ORTO.tif com duas polarizações que foram disponibilizadas no site do IBGE a partir de 2010 pelo site ftp://geofp.ibge.gov.br/imagens_orbitais/alos/ HH e HV. Atualmente, o acordo de cooperação científica entre o IBGE e a *Alaska Satellite Facility* (ASF), foi finalizado e o site acima mencionado não está mais disponível. Na Tabela 4 são apresentadas as principais características da imagem ALOS/PALSAR adquirida no site do IBGE.

Tabela 4 - Principais características da imagem PALSAR utilizada.

Modo de Aquisição	<i>Fine Beam Dual</i> (FBD)
Polarização	HH/HV
Data da Aquisição	Junho de 2010
Resolução Nominal	20 m
Tamanho do pixel	12,5 m
Formato	GEOTIFF
Resolução Radiométrica	16 bits
Banda	L

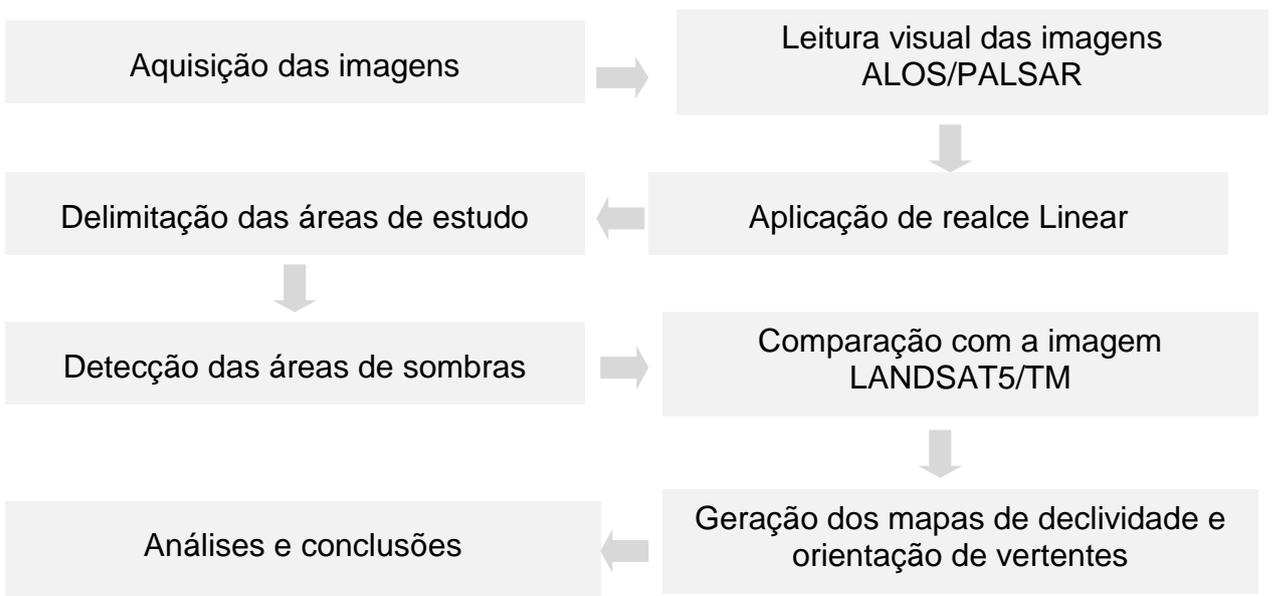
A imagem TM utilizada neste trabalho é de 2011 e possui órbita 216 e ponto 66, com as bandas adquiridas para realizar a composição colorida foram as bandas 3, 4 e 5.

Foram usados os planos de informação em GeoTiff (extensão.tif) da declividade (_SC), orientação (_OC) e curvas de nível (_ZN) do TOPODATA pertencentes a quadrícula 09S39_.

3.3 Softwares utilizados

- MATLAB R2009a: Utilizado para a criação de um programa para gerar a imagem binária a partir da imagem ALOS/PALSAR e assim detectar as áreas de sombreamento.
- SPRING 5.1.8: Utilizado para processar as imagens ALOS/PALSAR e LANDSAT/TM 5.
- ARCGIS 10: Para gerar os mapas de declividade, orientação de vertentes e cartas imagens.

3.4 Procedimentos metodológicos



3.4.1 Aquisição das imagens

A imagem ALOS/PALSAR foi adquirida gratuitamente no site do IBGE. A cena do satélite LANDSAT5/TM foi adquirida no acervo de imagens do site do INPE e os dados TOPODATA também pelo site do INPE.

3.4.2 Leitura visual das imagens, aplicação de realce e delimitação das áreas de estudos

A leitura das imagens ALOS/PALSAR e LANDSAT5/TM foram realizadas no software SPRING 5.1.8 e aplicado a estas imagens um realce linear para contrastar os objetos nas imagens para possibilitar a visualização das regiões de sombra na imagem ALOS/PALSAR. Após identificação da área de sombreamento foi realizado um recorte editado, no programa SPRING, para analisar separadamente a área de sombra e onde a mesma não foi gerada.

3.4.3 Detecção das áreas de sombras

Para detectar as áreas de sombra nas imagens ALOS/PALSAR supõe-se que estas áreas possuem um baixo retorno e por isto, nestas imagens, elas aparecem com níveis de cinza baixos. O retorno possui valores baixos e independente da imagem estar representada 2 bytes ou em 1byte..

Utilizou-se uma limiarização t e com valores $t = 1, 5$ e 10 . Para valores iguais ou abaixo de t , o valor é 255 e acima, o valor é igual a zero. Utilizou-se uma programação no MATLAB para se obter este resultado a partir da leitura da imagem ALOS/PALSAR. Este procedimento de binarização também pode ser feito diretamente no software de processamento de imagens.

3.4.4 Comparação com a imagem LANDSAT5/TM

Para realizar uma comparação do comportamento das feições terrestres reconhecidas como região de sombreamento encontrada na imagem ALOS/PALSAR é utilizada a imagem do satélite LANDSAT5/TM. A sua aquisição foi em 06 de

agosto de 2011, a composição colorida utilizada é RGB 4-5-3. Essa composição foi escolhida por apresentar sensibilidade à morfologia do terreno. A imagem não se encontra com a data equivalente a da imagem ALOS/PALSAR, sendo de junho de 2010, por causa da presença de nuvens.

3.4.5 Geração dos mapas de declividade, orientação de vertentes e o gráfico de posições preferenciais

Para analisar as características topográficas para a ocorrência da área de sombreamento foram utilizadas informações de curvas de nível, mapas de declividade e orientação de vertentes.

As curvas de nível foram geradas com equidistância de 50 m. E o mapa de orientação de vertentes levando-se em consideração os intervalos de 22.5° a 337.5°.

Para o mapa de declividade utilizou-se a classificação da Embrapa (2006) mostradas na Tabela 5.

Tabela 5 - Classes de relevo e declividade.

Classes de relevo	Classes de declive (%)
Plano	0 a 3
Suave Ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Fortemente Ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	> 75

Com as informações de SC (declividade) e OC (octantes) do TOPODATA foi adquirido o ROI da área de sombra e gerado um gráfico das suas posições preferenciais em relação às características do terreno.

3.4.6 Análises e conclusões

Após ter todos os dados necessários, iniciaram-se as análises dos resultados com a imagem ALOS/PALSAR, os mapas de declividade e orientação de vertentes, assim como a binarização para identificar as áreas de sombra e poder proceder com as conclusões sobre os aspectos de ocorrências do sombreamento.

4. RESULTADOS

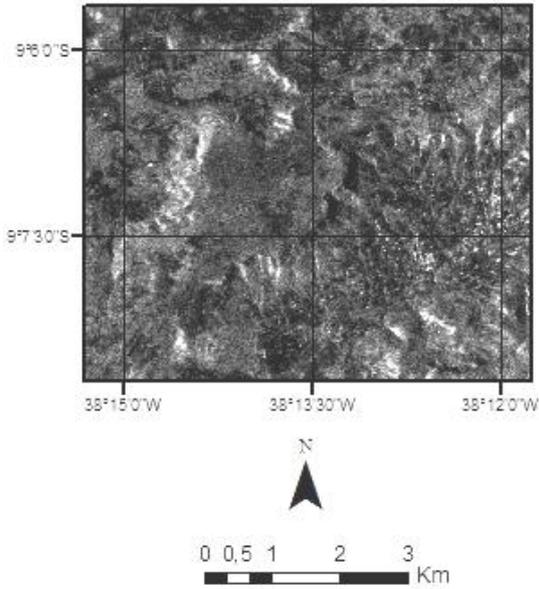
4.1 Resultado com a ocorrência de sombra para a área teste 1 na imagem PALSAR

Na área teste 1 foi identificada a região de sombreamento, causada pela declividade do terreno que altera o ângulo de incidência local.

Quando o ângulo de incidência local é pequeno, resulta em um maior retroespalhamento e um ângulo de incidência local grande resulta em um menor retroespalhamento, gerando assim áreas escuras na imagem obtida, ou áreas de sombreamento.

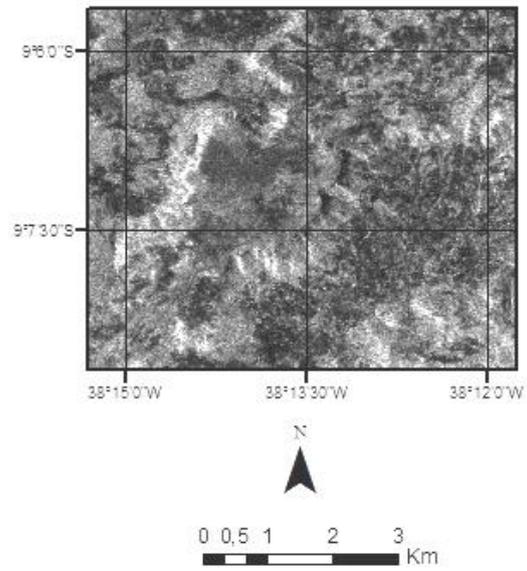
A sombra visualizada tanto na polarização simples HH (Figura 17) como na polarização cruzada HV (Figura 18) é resultado de um aumento do ângulo de incidência devido a presença do relevo acidentado com declive, predominantemente, maior que 75% (Figura 21). Entretanto para a área estudada, a polarização HV apresenta um contraste maior, evidenciando com mais clareza a sombra na cena. Também nas Figuras 17 e 18 as sombras PALSAR estão truncadas, ou seja, tem uma descontinuidade por onde o sinal de RADAR penetra e gera retroespalhamento mais fraco.

Na Figura 19 é possível identificar que a área de sombreamento presentes nas Figuras 17 e 18, encontram-se em um relevo com declives, favorecendo a formação de um ângulo de incidência grande por parte do feixe da imagem ALOS/PALSAR. A imagem TM registra a existência de uma área de feição íngreme pertencente ao relevo, porém, na imagem PALSAR tem-se uma área escura para esta feição íngreme.



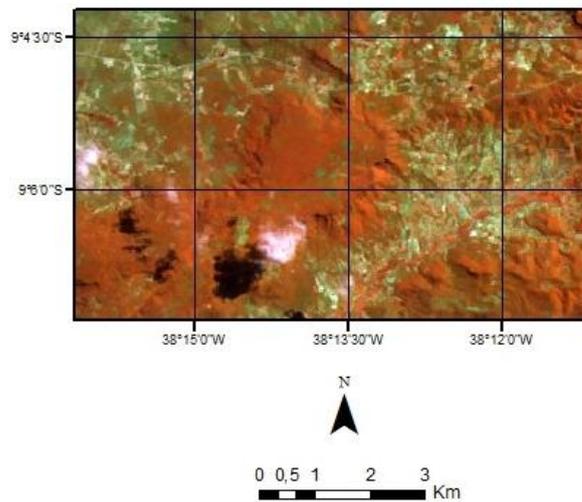
Escala nominal 1:100000
 Sistema Geodésico de Referência WGS84-EGM96
 Sistema de Coordenadas Elipsoidais
 Data da aquisição: Junho de 2010

Figura 17 – ALOS/PALSAR HH.



Escala nominal 1:100000
 Sistema Geodésico de Referência WGS84-EGM96
 Sistema de Coordenadas Elipsoidais
 Data da aquisição: Junho de 2010

Figura 18 – ALOS/PALSAR HV.



Escala nominal 1:100000
 Sistema Geodésico de Referência WGS84-EGM96
 Sistema de Coordenadas Elipsoidais
 Base de Dado Espacial: LANDSAT 5/TM(INPE)
 Data da aquisição: 06/08/2011
 Composição Colorida RGB 453

Figura 19 – Imagem TM área teste 1.

O resultado do mapa de orientação de vertentes gerado permitiu inferir em quais direções o imageamento realizado pela antena PALSAR, juntamente com a influência do ângulo de incidência, a área de sombreado é formada. Através do mapa de orientação de vertentes (Figura 20) identifica-se que a face não iluminada que gerou a sombra encontra-se nas orientações Sudeste e Sul.

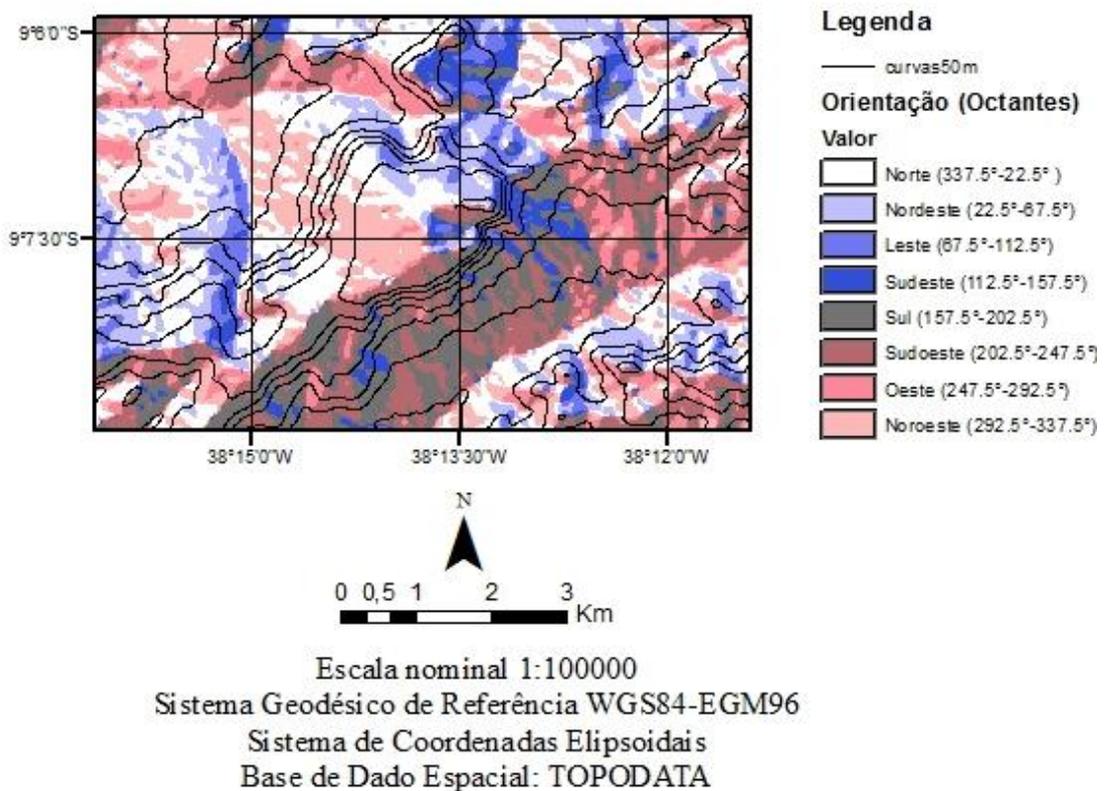


Figura 20 - Resultado da orientação de vertentes para a região de sombra.

A informação do mapa de declividade (Figura 21) mostrou as inclinações existentes na área fornecendo o comportamento e as características do relevo com relação a que declividade a região de sombra é gerada. Neste mapa é possível perceber que as áreas mais acentuadas é que são susceptíveis a sombra (ALENCAR, CANDEIAS e TAVARES JUNIOR, 2012). A região de sombreado está presente, predominantemente, na declividade maior que 75%.

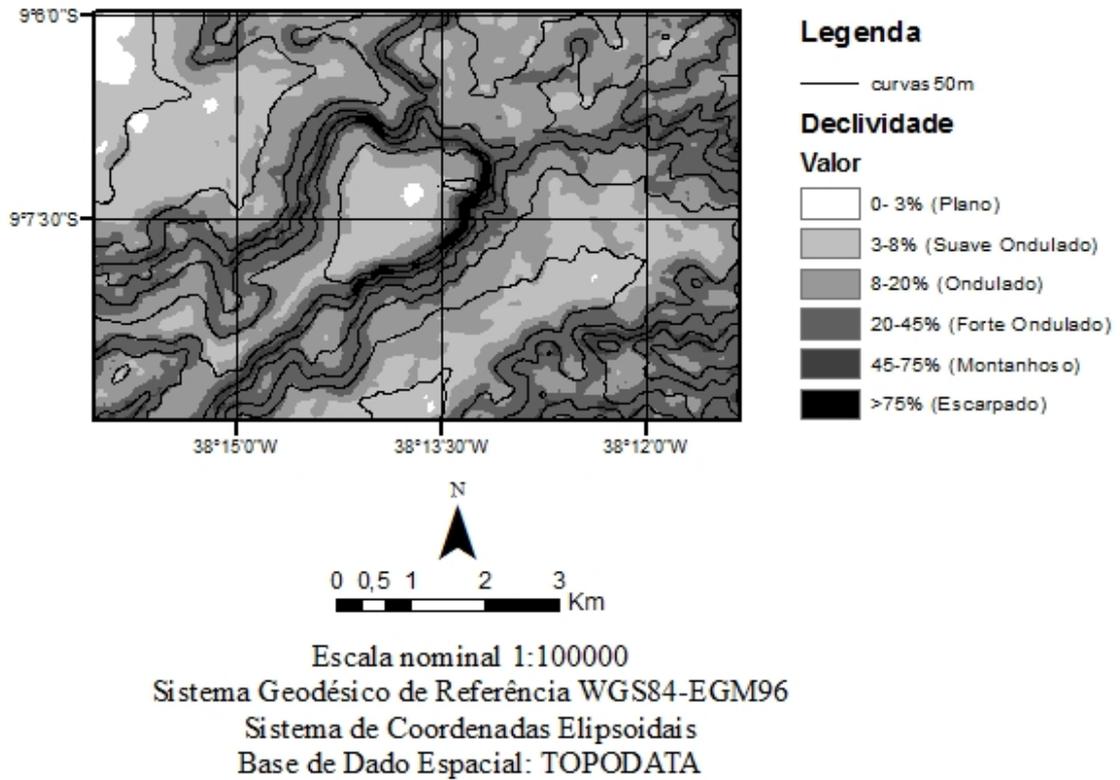


Figura 21 - Mapa de declividade para a região de sombra.

Na Figura 22 tem-se representado um gráfico contendo as posições preferenciais para a orientação de vertentes e declividade onde a sombra foi gerada e em seguida as Tabelas 6 e 7 com os respectivos valores relacionados ao TOPODATA.

Posições preferencias para área de sombra

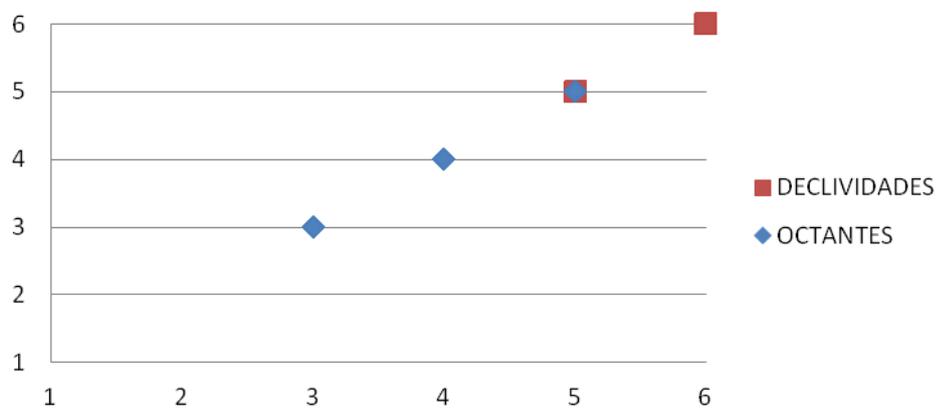


Figura 22 – Gráfico dos valores obtidos do TOPODATA para área de sombra.

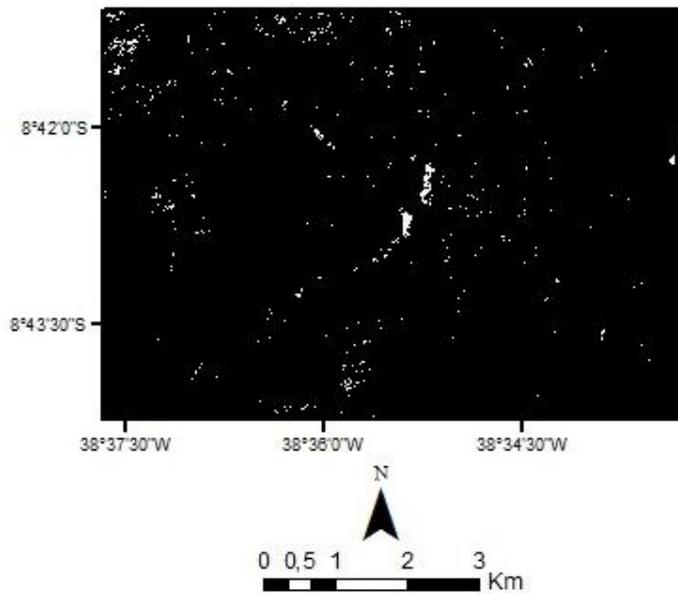
Tabela 6 - Classificação dos valores da declividade do TOPODATA.
Fonte: Valeriano (2008).

Plano	1
Suave Ondulado	2
Ondulado	3
Forte Ondulado	4
Montanhoso	5
Escarpado	6

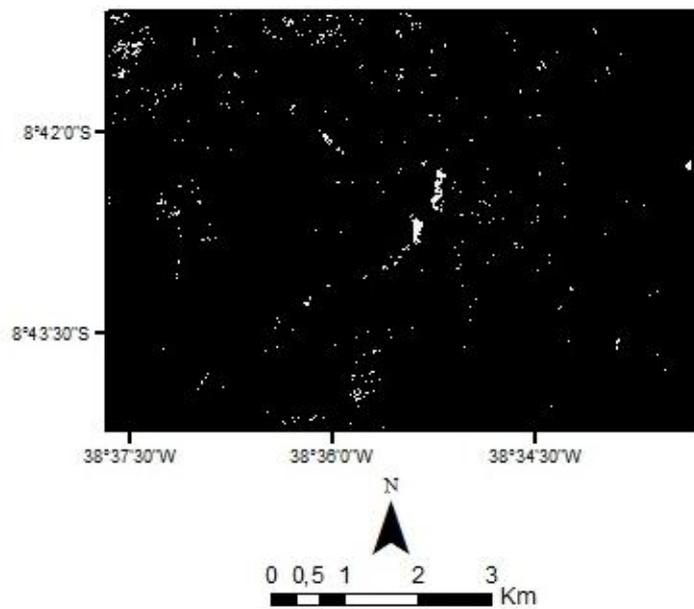
Tabela 7 – Classificação dos valores da orientação de vertentes do TOPODATA.
Fonte: Valeriano (2008).

Norte	1
Nordeste	2
Leste	3
Sudeste	4
Sul	5
Sudoeste	6
Oeste	7
Noroeste	8

Nas Figuras 23, 24 e 25 estão os resultados obtidos através da binarização com 3 limiares t diferentes ($t=1$, $t=5$ e $t=10$). Observando a Figura 27 tem-se que além da sombra outros alvos também representados na binarização.



Escala nominal 1:100000
Sistema Geodésico de Referência WGS84-EGM96
Sistema de Coordenadas Elipsoidais
Figura 23 - Imagem binarizada com limiar $t=1$.



Escala nominal 1:100000
Sistema Geodésico de Referência WGS84-EGM96
Sistema de Coordenadas Elipsoidais
Figura 24 - Imagem binarizada com limiar $t=5$.

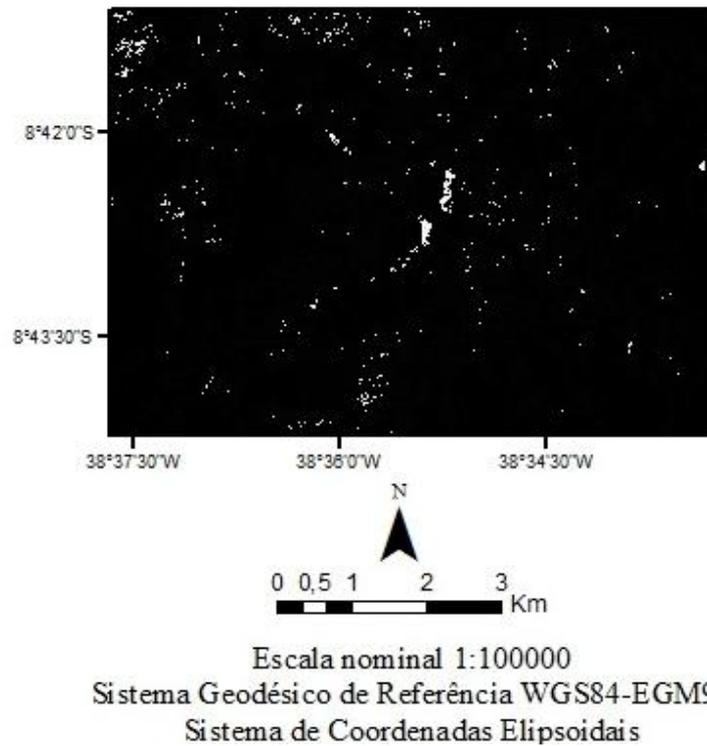


Figura 25 - Imagem binarizada com limiar $t=10$.

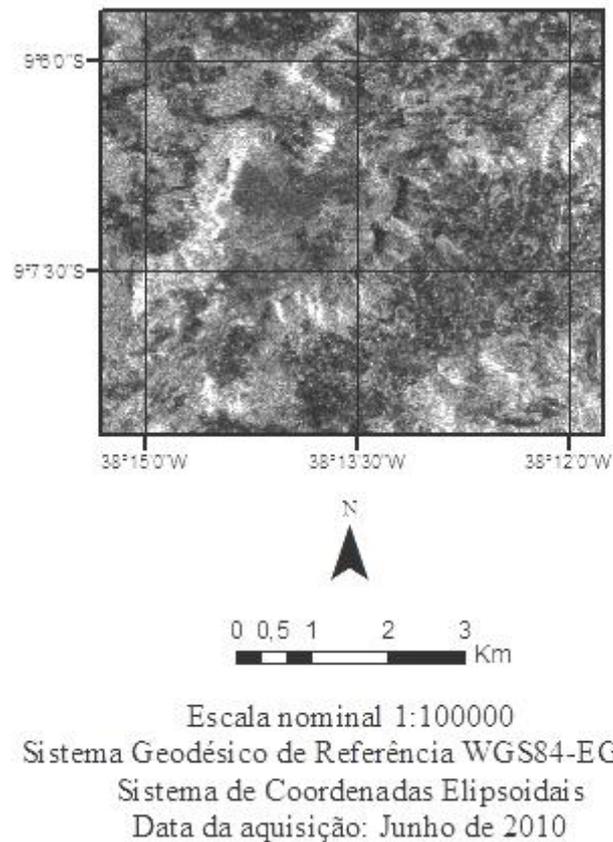


Figura 26 – Imagem ALOS/PALSAR HV

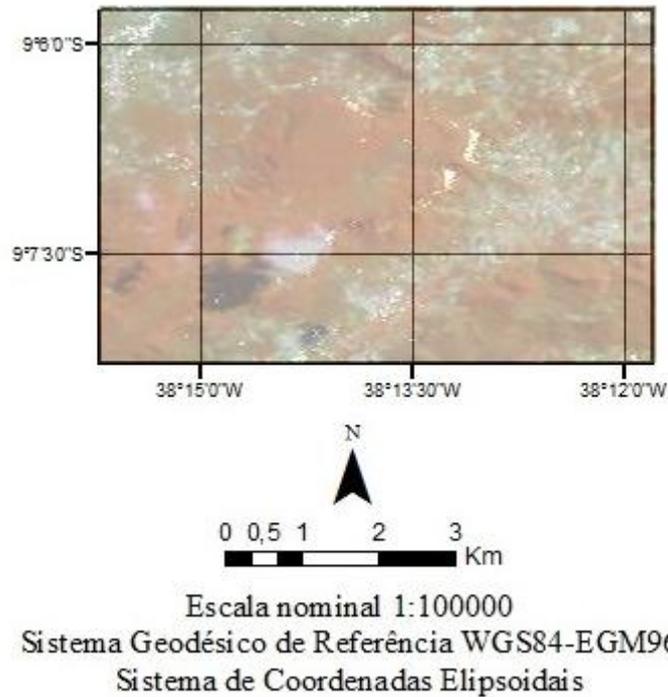


Figura 27 - Sobreposição entre a imagem binarizada com limiat $t=1$ e a imagem TM453.

A Figura 27 apresenta uma sobreposição da imagem binária da ALOS/PALSAR com a imagem TM453. Pode-se verificar através da sobreposição que o resultado da imagem binária corrobora a localização da região de sombreamento gerada nas Figuras 17 e 18, visualizadas anteriormente.

Abaixo se tem a binarização programada em MATLAB. Como parâmetros de entrada têm-se t (limiar e a imagem ALOS/PALSAR denotada por ALOS.tif) e a imagem denotada como 'ALOS.tif'.

```
% Programa para binarização de imagens
%Entrada do limiar
t=input('Entre com o valor do limiar → ');

%Entrada da imagem
display(' ');
f2=imread('ALOS.tif');
imshow(f2(:,:,1));

% Binarização
f=(f2(:,:,1));
[n,m]= size(f);
f1=zeros(n,m);
for i=1:n
    for j=1:m
        if f(i,j)<=t
            f1(i,j)=255;
        end
    end
end

%Imagem de saída
figure
imshow(uint8(f1));
imwrite(f1, 'binaria.tif')
```

4.2 Resultado onde não houve identificação da região de sombra para a área teste 2 na imagem PALSAR

As Figuras 28 e 29 apresentam as polarizações HH e HV. A Figura 30 mostra uma área de relevo movimentado e que não são claramente observados nas imagens ALOS/PALSAR (Figuras 28 e 29) como as Figuras 17, 18 e 19 da seção 4.1. A direção do relevo, o tipo do relevo e a trajetória da aquisição da imagem ALOS são decisivas quanto a imagem resultante.

Destaca-se que a área de cultivo agrícola da Figura 30 está visível na Figura 28 e 29. A tonalidade da vegetação nestas duas últimas imagens assemelha-se a região de sombra e de água. Devido a esta característica, o sombreamento presente na imagem ALOS/PALSAR pode gerar confusão em uma classificação.

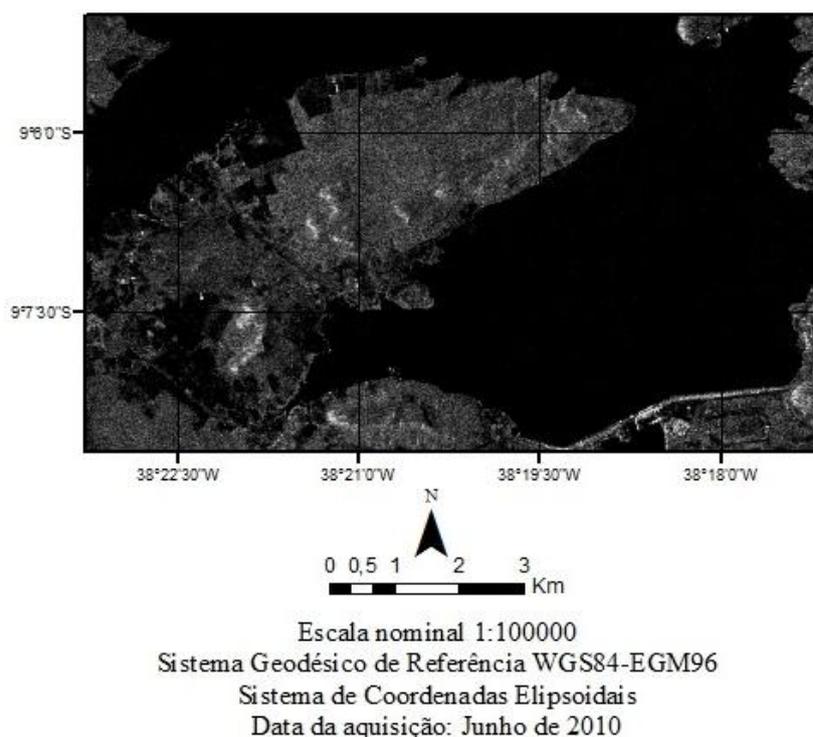


Figura 28 – ALOS/PALSAR HH.

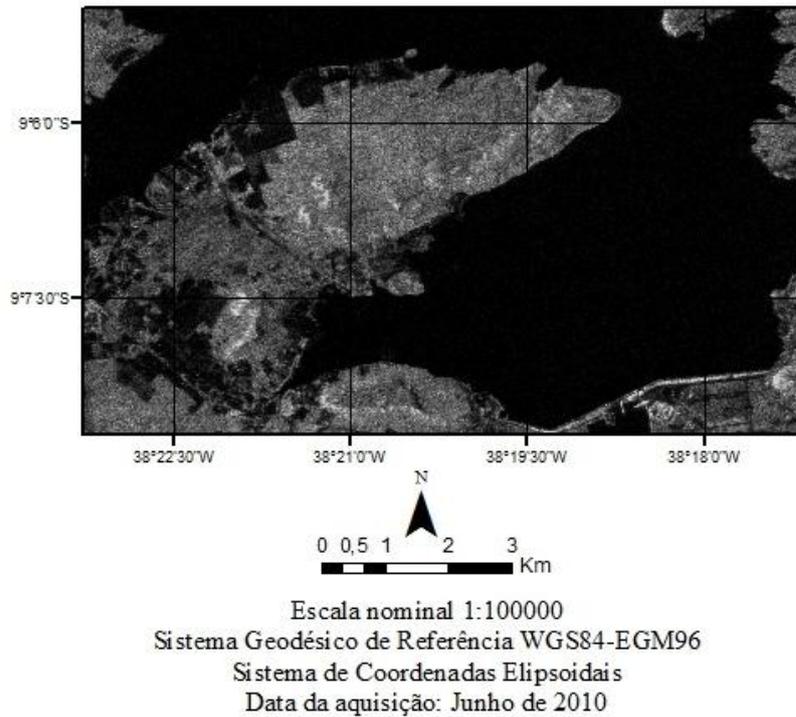


Figura 29 – ALOS/PALSAR HV.

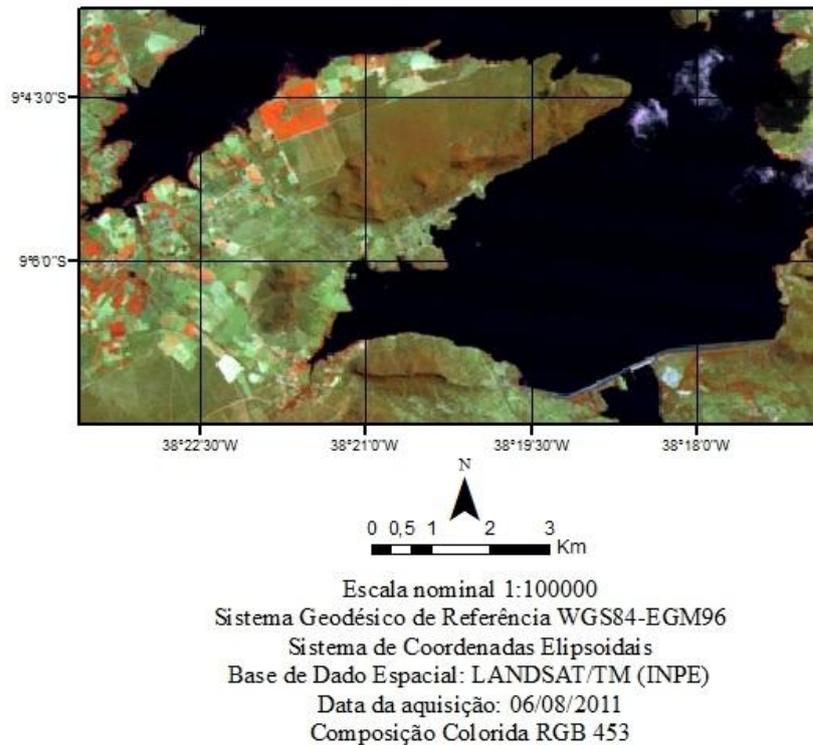


Figura 30 - Imagem TM área teste 2.

Sano et al., (2009) apresenta em seu trabalho que a presença da sombra nas imagens gerou uma confusão no mapeamento da vegetação. Relatou que a existência da área de sombra na imagem ALOS/PALSAR gerou uma confusão na classificação e dificultou a interpretação visual.

No trabalho de Sano et al., (2009) foi analisado estudo o potencial das imagens do sistema sensor PALSAR para discriminar as classes de uso e cobertura da terra mais representativa no Distrito Federal - Brasília. Imagens em amplitude na banda L e polarizações HH, HV e VV do final da estação chuvosa (25 de abril de 2007) foram utilizadas. O estudo identificou as fitofisionomias como culturas agrícolas, matas de galeria, pastagens e reflorestamentos. Entretanto, a presença mais acentuada de sombreamento nas imagens ALOS/PALSAR gerou uma confusão espectral entre as Matas Indiscriminadas (Florestas do Cerradão e Mata Seca) com o Cerrado Típico (árvores de pequeno porte, irregulares, em meio às herbáceas e arbustivas).

Esse resultado aconteceu, pois a região de sombra é escura, semelhante a resposta da vegetação nas imagens PALSAR tanto na polarização simples HH como na polarização cruzada HV. A imagem TM (Figura 30) comprova que a área possui agricultura e relevo acidentado. Essa informação é de extrema importância, pois com ela poderá ser verificada e analisada que feição encontrava-se em tal local e como o resultado de um mapeamento foi influenciado pela presença de sombra (ALENCAR, CANDEIAS e TAVARES JUNIOR, 2012).

O resultado da orientação de vertentes (Figura 31) para a área onde não foi gerada a sombra mostra que o relevo encontra-se, predominantemente, nas orientações Norte-Nordeste. Portanto o ângulo de incidência permitiu o alcance do feixe, evidenciando as formas do relevo diferentemente da região onde a sombra foi gerada que se encontrava nas orientações Sudeste e Sul.

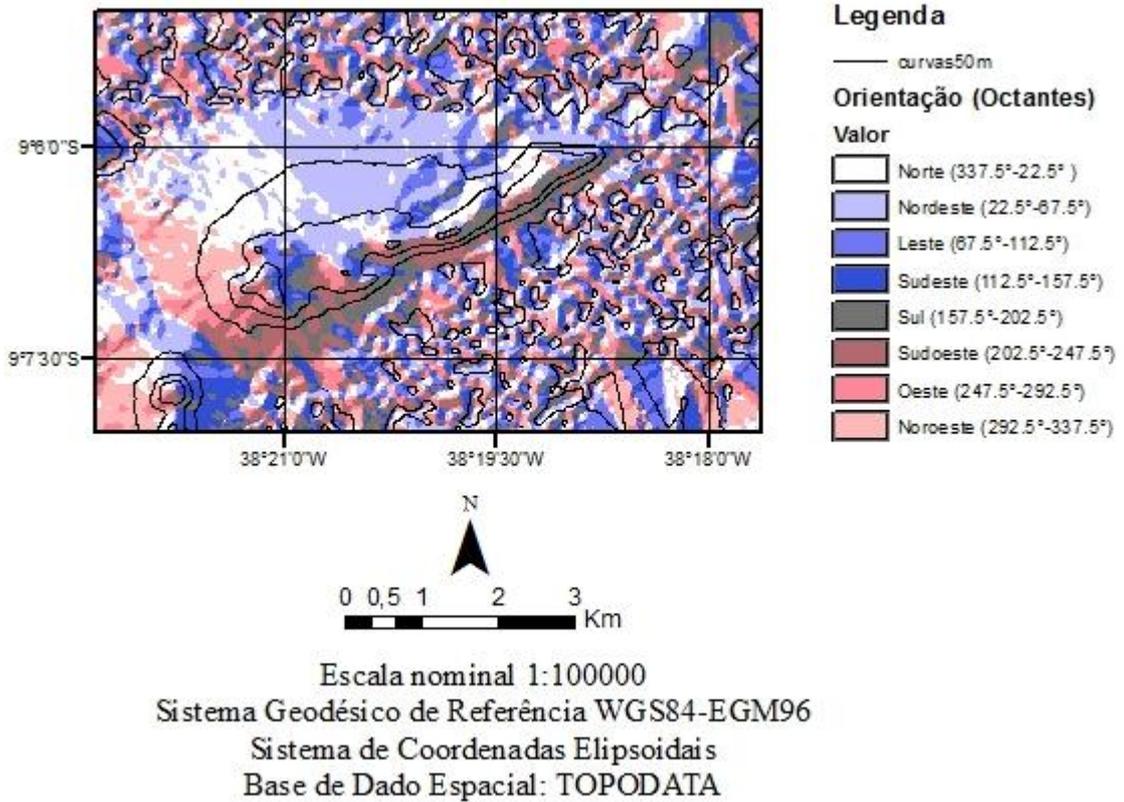


Figura 31 - Resultado da orientação de vertentes para a região onde a sombra não foi gerada.

A Figura 32 mostra o resultado da declividade da área teste 2. Mesmo apresentando uma declividade entre 45% e 75% que pode indicar inicialmente condições de sombra PALSAR, a binarização não confirmou, porque a orientação das vertentes não é a mesma que a da área 1. Nota-se também, que as vertentes que poderiam ter sombra formam escadas, e seu topo não é plano como o da área 1, tendo elevações isoladas.

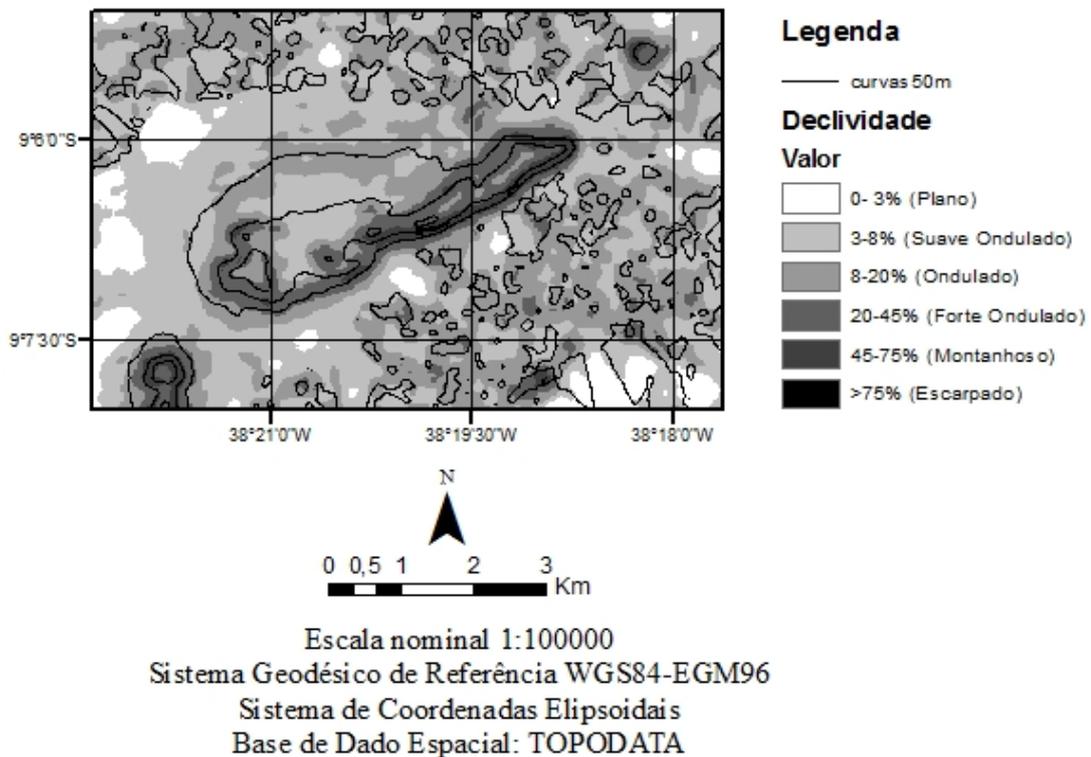


Figura 32 - Mapa de declividade para a região onde a sombra não foi gerada.

Nas Figuras 33, 34 e 35 estão os resultados da binarização obtida da imagem original ALOS/PALSAR HV (Figura 36) através da programação em MATLAB. Observa-se nestas figuras também que outros alvos como água e *speckle* foram binarizados supondo o limiar. A binarização não confirmou a presença da sombra PALSAR, além de definir bem as bordas existentes na imagem.

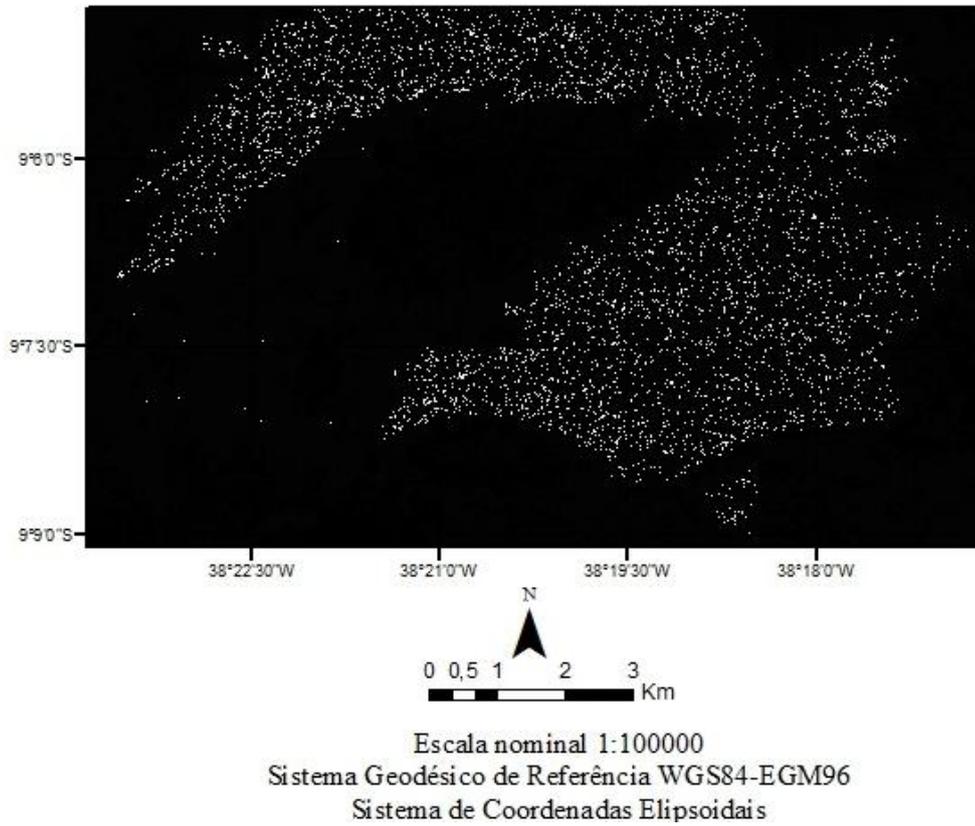


Figura 33 - Imagem binarizada com limiar $t=1$.

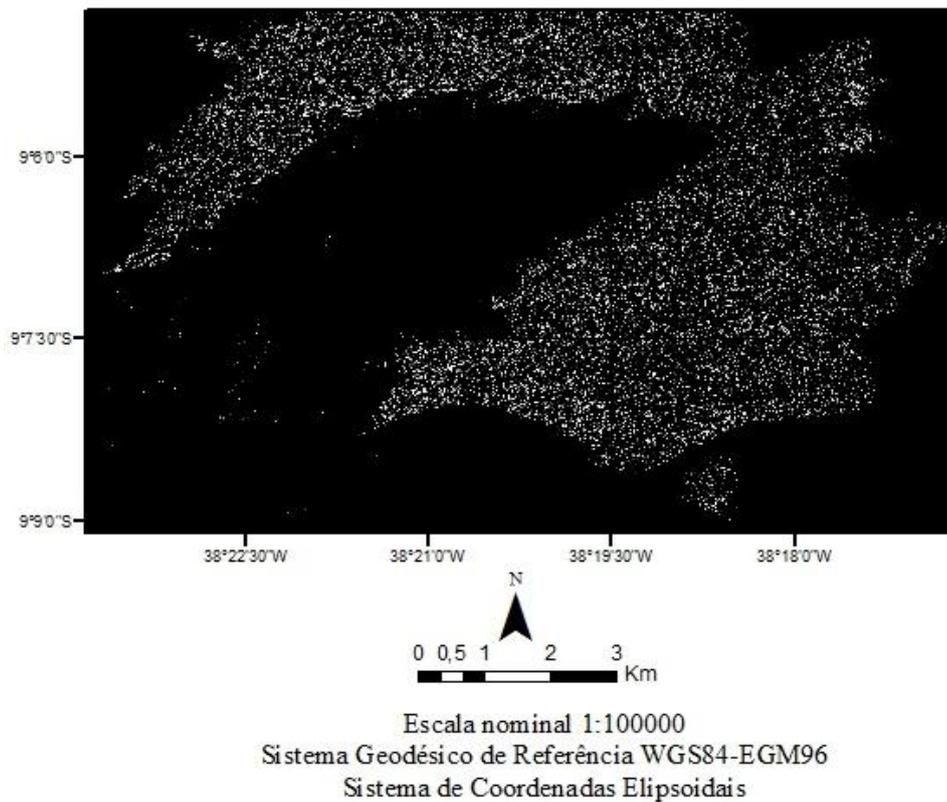


Figura 34 - Imagem binarizada com limiar $t=5$.

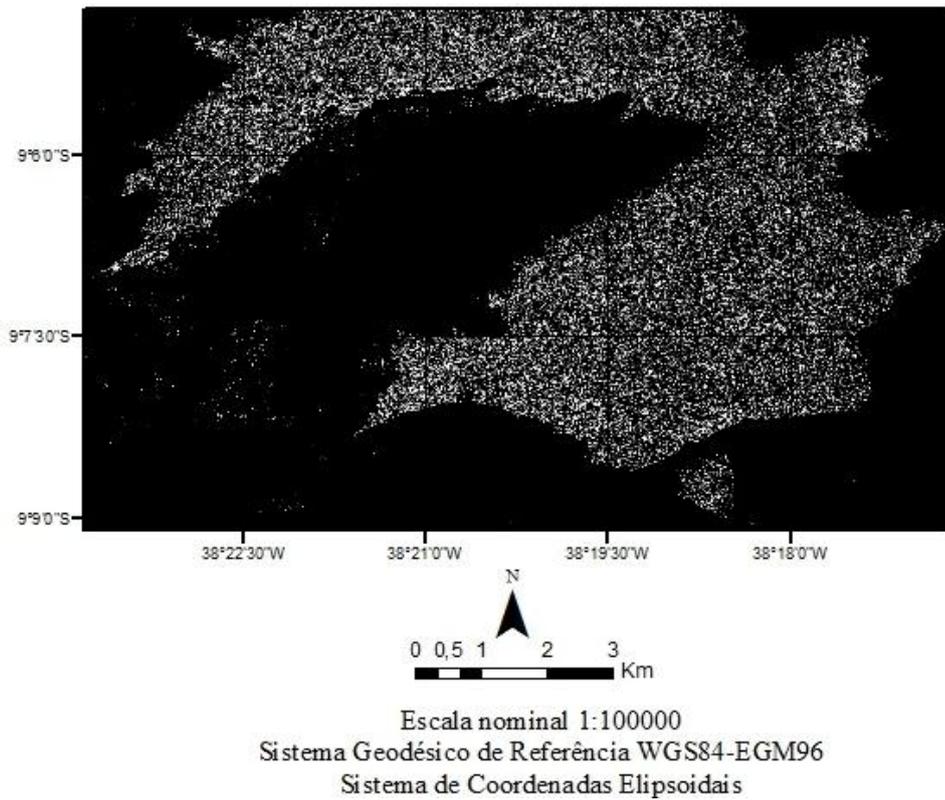


Figura 35 - Imagem binarizada com limiar $t=10$.

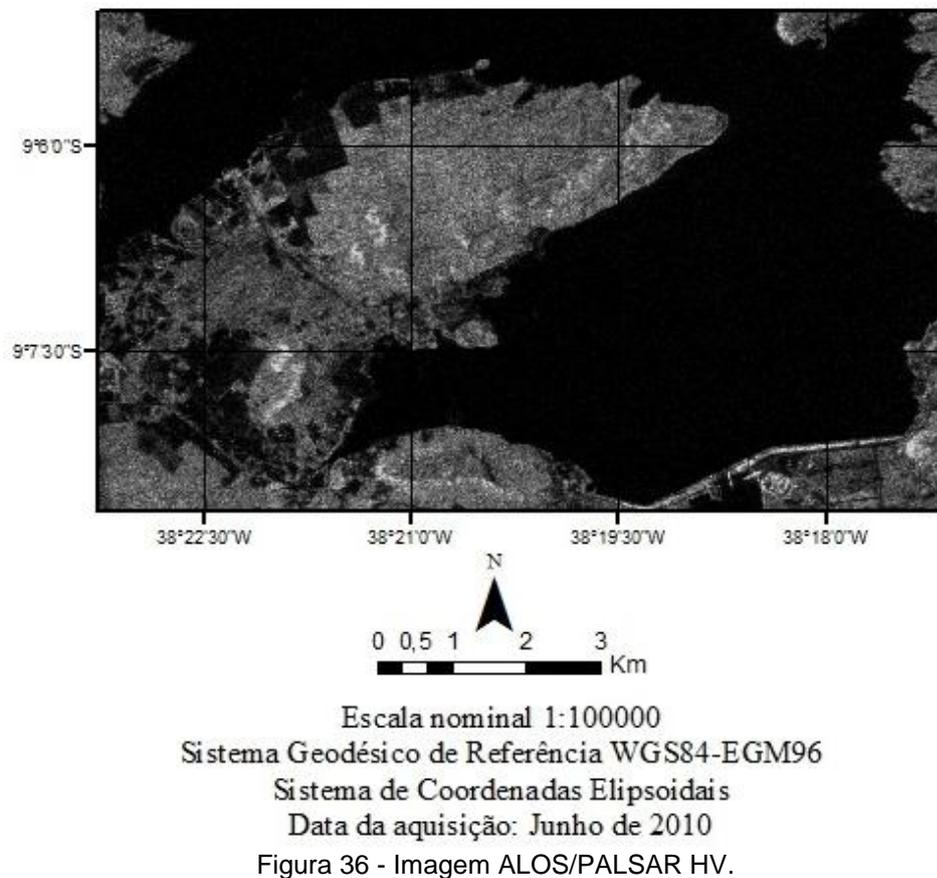


Figura 36 - Imagem ALOS/PALSAR HV.

5. CONCLUSÕES

Nesta dissertação estudou-se o problema das áreas de sombra presentes nas imagens de RADAR. A utilizada neste estudo foi a imagem ALOS/PALSAR com as polarizações HH e HV.

O sombreamento se caracteriza por ser uma área que não tem sinal de retorno e por gerar confusão no mapeamento de áreas como, por exemplo, as de vegetação. Este efeito de sombra ocorre nas imagens de RADAR devido a variação de declives dos terrenos, que influenciam o ângulo de incidência do feixe emitido pelo RADAR. À medida que o ângulo de incidência aumenta, a região de sombra também aumenta. Fazendo com que a face oposta voltada para o pulso do RADAR tenha um retroespalhamento mais baixo.

Na análise da geração da sombra, foram estudadas duas áreas de terreno movimentado. Ambas Elas apresentam relevo ondulado controlado por zonas de cisalhamento, dobramentos e falhas geológicas. As áreas escolhidas foram os municípios de Petrolândia em Pernambuco (área teste 1) que apresentou a região de sombra e Glória na Bahia (área teste 2) região onde não apresentou a região de sombra.

A metodologia de detecção da sombra ALOS/PALSAR foi realizada, através da binarização da imagem ALOS/PALSAR supondo que para a área de sombra o retorno de sinal é muito baixo. Verificou-se que o sombreamento ocorria em regiões com terreno acidentado. Esta informação foi confirmada através de dados auxiliares como as curvas de nível, declividade e orientação de vertentes. As imagens LANDSAT5/TM permitiram localizar as feições e compará-las com as regiões de sombra localizadas nas imagens ALOS/PALSAR.

A orientação de vertentes permitiu identificar a localização da área de sombreamento nas orientações Sudeste e Sul. Os resultados das orientações de vertentes para as duas áreas de estudos foram distintos (Figuras 20 e Figura 31), somente a área teste 1 pode ser caracterizada como região de sombra. A sombra foi

identificada na área que possui uma declividade, predominantemente, maior que 75%, se caracterizando como área escarpada.

A binarização mostrou ser é um método bom, porque não é influenciada por nuances de sombras e retroespalhamento PALSAR, e permite análises visuais separando a influência de cada fator (declividade, aspecto, uso do solo). Além de ter destacado para a área teste 2 a questão da borda.

Portanto a medida da orientação de vertentes e a declividade podem servir como dados fundamentais na identificação das áreas de sombra, juntamente com a imagem binarizada para identificar o baixo retorno do sinal que ocorre nas imagens de RADAR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, B.P.; CANDEIAS, A.L.; TAVARES JUNIOR, J.R. **Automatic Detection Method of ALOS/PALSAR Shadows**. 8th FIG Regional Conference 2012. Montevideo, Uruguay, 26 – 29 November 2012.

ANDRADE, N. S. O.; ROSA, A. N. C. S.; FARIA, P. C.C. Fundamentos de Polarimetria SAR. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis:INPE, 2007. p 4775-4782.

BENEDITTI, C. A. **Imagens multitemporais ALOS/PALSAR baseada em orientação a objeto na discriminação da cobertura da terra**. 2010.95f. Dissertação submetido ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, SP, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria-Geral. **Projeto RADAMBRASIL folha SC.24/25 Aracajú/Recife**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso da terra. Rio de Janeiro, 1983. 856 p. + 7 mapas. (Levantamento de Recursos Naturais, 30).

CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING (CCRS). Natural Resources Canada. **Tutorial: RADAR remote sensing**. Disponível em: <http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/earth_sciences/files/pdf/resource/tutor/gsarcd/pdf/gsarcd_e.pdf>. 2012. Acesso em 15 de jul.

COLAVITE, A. P; PASSOS, M. M. Integração de Mapas de Declividade e Modelos Digitais Tridimensionais do Relevo na Análise da Paisagem. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.1547 – 1559, 2012.

DUTRA, L. V.; MURA, J. C.; FREITAS, C. D. C.; SANTOS, J. R.; ELMIRO, M.T. Processamento de Imagens de Radar de Abertura Sintética – Princípios e Aplicações. In: IV WORKSHOP EM TRATAMENTO DE IMAGENS. 2003. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: NPDI/DCC/ICEx/UFMG, 2003. p 4-13.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 2º ed. 306 p.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por

Satélite, 2010. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/landsat.htm>>. Acesso em 10/05/2010.

FREITAS, C. C.; SANT'ANNA, S. J. S.; RENNO, C. D.; CORREIA, A. H. **Utilização de imagens de radar de abertura sintética na classificação de uso e ocupação do solo**. São José dos Campos: INPE, 2007 (e-print).

GUERRA, J. B.; MURA, J. C.; FREITAS, C. C. Discriminação de incrementos de desflorestamento na Amazônia com dados SAR R99B em banda L. **Acta Amazonica**, vol. 40, Ed. 3, p. 557 – 566, 2010.

HEMERLY, E. V.; LOURENÇO, F. R.; LÍCIO, I. Metodologia de Controle de Qualidade: Validação e Calibração de dados de Radar Interferométrico de Abertura Sintética Aerotransportado: estudo de caso, Cia. Mineração Rio do Norte. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis:INPE, 2007. p 4897-4905.

HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. **Principles and Applications of Imaging RADAR**. Manual of remote sensing. 3. ed. New York, NY: John Wiley & Sons, v. 2, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1998. 866p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TOPODATA. **Conjuntos de arquivos do TOPODATA**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/dados.php>>. Acesso em: 29 ago. 2012.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY (JAXA). Earth Observation Research AND Application Center. **ALOS Data Users Handbook**. Revision C. 2008. Disponível em: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/fdata/ALOS_HB_RevC_EN.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2012.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY (JAXA). Disponível em: <<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm>>. Acesso em: 25 jul. 2012.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2007. 592 p.

KUPLICH, T. M. Estudos Florestais com Imagens de RADAR. **Espaço e Geografia**, Brasília, v. 6, n. 1, p. 71-96, 2003.

LEWIS, A. J.; HENDERSON, F.M.; HOLCOMB, D. W. **Radar fundamentals: the geoscience perspective**. In: F.M. HENDERSON& A.J. LEWIS (eds.). Principles &

Applications of Imaging Radar. Manual of remote sensing. 3rd ed., .2, John Willey, New York, 1998. p.131 - 181.

LIMA, M.I.C. A importância das Estruturas Lineares e Planares na Interpretação radargeológica. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 1978. São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1978. p 500-513.

LIMA, M. I. C. D. **Introdução à Interpretação Radargeológica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 124 p. (Manuais Técnicos em Geociências).

MANTELLI, L. R. **Análise do Modelo de Elevação do terreno com base em dados SRTM na região DE BREVES, Sudeste da Ilha do Marajó**. 2008.145f. Dissertação apresentada ao Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, SP, 2008.

MARQUES, A. C. **Implementação de Dados Obtidos com Imagens do Sensor TM do LANDSAT 5 e da missão SRTM no Modelo Atmosférico BRAMS**. 2009. 82f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação do Centro Estadual Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre, RS, 2009.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sensor Radar de Abertura Sintética. In: MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. ed.1. Brasília: UnB/CNPQ, 2012. cap. 4.

MIGUENS, A.P. Navegação Radar. In: **Navegação: A Ciência e a Arte. Volume I – Navegação Costeira, Estimada e em Águas Restritas**. 1. ed. 1996. cap. 14. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap14.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2012.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; McGLONE, C. **Introduction to modern photogrammetry**, NY: John Wiley, 2001. 479p.

PARAHYBA, R. DA B. V.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, F. B. R.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, P. R. C. **Diagnóstico Agroambiental do Município de Petrolândia - Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro, 2004. 25p.

PRADO, B. R. **Análise dos Dados ALOS/PALSAR (Modo de Imageamento FBD) para Identificação dos Tipos de Cobertura da Terra na Região Norte do Estado do Mato Grosso**. 2009.175f. Dissertação apresentada ao Instituto de Nacional de

Pesquisas Espaciais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, SP, 2009.

ROSENQVIST, AKE; SHIMADA, M.; ITO, N.; WATANABE M. ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-scale Monitoring of the Environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 11, p. 3307- 3316, Nov. 2007.

SABINS, F. F. **Remote Sensing Principles and Interpretation**. 2^a Edição. W.H. Freeman and Company, New York, Editora Local, 1987. 449p.

SANO, E.E; SANTOS, E.M; MENEZES, P.R. Análise de Imagens do Satélite ALOS PALSAR para o Mapeamento de uso e Cobertura da Terra do Distrito Federal. **Geociências**, v.28, n. 4, p. 441 – 451, UNESP, 2009.

SANTOS, J. R.; ARAUJO, L. S.; KUPLICH, T. M.; FREITAS, C. C.; DUTRA, L.V.; SANT'ANNA, S. J. S.; GAMA, F. F. Tropical forest biomass and its relationship with P-band SAR data. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 58/01, p. 37 – 42, 2006.

SARMAP. **Synthetic aperture radar and SARscape**. The SAR Guidebook. 2008. 268 p.

SERVELLO, E. L. **Dados Polarimétricos do RADARSAT-2 (Banda C) na Discriminação de Uso e Cobertura da Terra na Região da Floresta Nacional do Tapajós**. 2010.95f. Dissertação apresentada ao Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, SP, 2010.

SILVA, F. F. **Avaliação Temática de Imagens ALOS/PALSAR no Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Região Semi-Árida Brasileira**. 2010.85f. Dissertação apresentada ao Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, SP, 2010.

SILVA, F. F; SANTOS, J.R. Imagens ALOS/PALSAR na Classificação da Cobertura Vegetal da Região semi-árida brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63, Ed. Especial 40 anos, p. 75 – 83, 2011.

SILVA, F. H. B. B.; PARAHYBA, R. B. V.; SILVA, F. B. R.; LOPES, P. R. C. **Diagnóstico Agroambiental do Município de Glória - Estado da Bahia**. Rio de Janeiro, 2004. 24p.

SOARES, J. V. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto por RADAR**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/dsr/vianeir/RADAR/DOCs_PDFs/Livro_RADAR.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2012.

VALERIANO, M. M. TOPODATA: **Guia para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 75p. (CNPq, processo nº 306021/2004-8 (NV). Disponível em: <<http://mtcm18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

VALERIANO, M. M; ROSSETTI, D. F. TOPODATA: **Seleção de Coeficientes Geoestatísticos para o Refinamento Unificado de dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010. 76p. CNPq, processo n. 307530/2008-6 (NV). Disponível em: <<http://mtcm19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm19@80/2010/05.10.18.35/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

VAN DER SANDEN, J. J.; HOEKMAN, D. H. Potential of airborne RADAR to support the assessment of land cover in a tropical rain forest environment. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, p. 26-40, 1999.

WOODHOUSE, I. H. **Introduction to Microwave Remote Sensing**. New York: Boca Raton, FL, 2006. 370 p.

ZHOU, Q.; LIU X. Error Analysis on Grid-Based Slope and Aspect Algorithms. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 70, Issue 8, Pag. 957-962, 2004.

ZHOU, Q. **Digital Terrain Modelling**. 2009. Disponível em: <http://geog.hkbu.edu.hk/geog3600/Lect-09.pdf>. Acesso em: 22 set. 2012.