



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

RONALDO RAMOS DA SILVA

**USO DO MDE SRTM PARA DEFINIÇÃO DO PERFIL DO TERRENO EM
TRAÇADOS DE LINHAS DE TRANSMISSÕES**

CAMPINA GRANDE - PB

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

S586u Silva, Ronaldo Ramos da.
Uso do MDE SRTM para definição do perfil do terreno em traçados de linhas de transmissões [manuscrito] / Ronaldo Ramos da Silva. - 2011.
43 f. : il. color.

Monografia (Especialização em Geoprocessamento)
– Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2011.

“Orientação: Prof. Dr. Anselmo Cardoso de Paiva, Universidade Federal do Maranhão”.

1. Geoprocessamento. 2. SRTM. 3. Topografia. I. Título.

21. ed. CDD 621.367

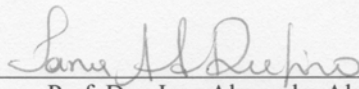
RONALDO RAMOS DA SILVA

**USO DO MDE SRTM PARA DEFINIÇÃO DO PERFIL DO TERRENO EM
TRAÇADOS DE LINHAS DE TRANSMISSÕES**

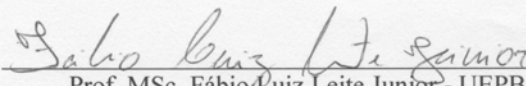
Monografia apresentada à Banca Examinadora como
requisito para a obtenção do título de Especialista,
pelo Programa de Especialização em
Geoprocessamento
Área de Concentração: Geoprocessamento

Aprovado em 11 de novembro de 2011.

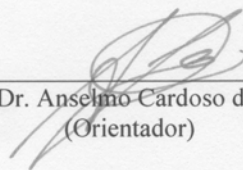
Banca Examinadora



Prof. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino
(Examinador externo)



Prof. MSc. Fábio Luiz Leite Junior - UEPB
(Examinador interno)



Prof. Dr. Anselmo Cardoso de Paiva
(Orientador)

CAMPINA GRANDE-PB

2011

RONALDO RAMOS DA SILVA

**USO DO MDE SRTM PARA DEFINIÇÃO DO PERFIL DO TERRENO EM
TRAÇADOS DE LINHAS DE TRANSMISSÕES**

Monografia apresentada à Banca Examinadora como requisito para a obtenção do título de Especialista, pelo Programa de Especialização em Geoprocessamento.

Área de Concentração: Geoprocessamento

Orientador: Prof. Dr. Anselmo C de Paiva

CAMPINA GRANDE - PB

2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa Lucicléa pela compreensão e apoio nos horas mais difíceis.

Agradeço a todos os professores da especialização, em especial ao meu orientador Anselmo C de Paiva pela confiança e dedicação.

Agradeço aos amigos da DEPL, DLT e SPT – Chesf, pela indicação, apoio e contribuições dadas nas aquisições dos dados, no compartilhamento do conhecimento sobre Linhas de Transmissão e elaboração da monografia.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise do uso do MDE (modelo digital de elevação) SRTM na definição do perfil de linhas de transmissão e uma proposta para a melhora da acurácia deste, utilizando a base de dados existente. O perfil do traçado é fundamental para a plotação preliminar da linha de transmissão e determinação do quantitativo da tonelagem de aço necessário a sua construção, sendo um item importante no orçamento do empreendimento e conseqüente participação nos leilões da ANEEL. Foi utilizado o levantamento topográfico da linha LT 230kV Ibicoara / Brumado, que se encontra em construção, imagens SRTM que se encontram disponíveis na internet e cartas topográficas da SUDENE do banco de dados da Chesf. Toda a análise foi feita através dos softwares Arc Map 10, Auto CAD 2009, Spring 5.1.7, Google Earth e PLS-CADD. O resultado da análise apresenta quantitativamente um bom resultado no uso do SRTM para a definição do perfil, principalmente após o seu processamento.

Palavras-chave: SRTM, Perfil, MDE, Registro de Imagens, Geoprocessamento.

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the use of the DEM (digital elevation model) SRTM in the profiling of transmission lines and a proposal for the improvement of this accuracy using the existing database. The profile of the route is key to plotação primary transmission line and determining the amount of the tonnage of steel required for their construction, being an important item in the budget of the project and consequent participation in the auctions of ANEEL. Was used to survey the line LT 230kV Ibiçara / Brumado, which is under construction, SRTM images that are available on the internet and topographic SUDENE database Chesf. All analysis was done using the software Arc Map 10, Auto Cad 2009, Spring 5.1.7, Google Earth and PLS-CADD. The result of quantitative analysis presents a good result in the use of SRTM to define the profile, especially after processing.

Keywords: SRTM, Perfil, MDE, Image Registration, geoprocessing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nivelamento Geométrico.....	13
Figura 2 - Instrumentos utilizados (Nível)	14
Figura 3 – Procedimento	14
Figura 4 – Nivelamento Geométrico	15
Figura 5 – Estações totais usadas no nivelamento trigonométrico.....	15
Figura 6 – Procedimento	16
Figura 7 - Perfilamento a Laser - LiDAR.....	17
Figura 8 - Equipamento a laser instalado no avião Fonte: www.lactec.org.br	18
Figura 9 - Restituição Estéreo-fotogramétrica.....	18
Figura 10 - Ortofoto digital colorida de Aracaju.....	19
Figura 11 - Imagens óptica (TM-Landsat) e de radar (JERS-1).....	20
Figura 12 – SAR imaging geometry.....	21
Figura 13 - Esquema da aquisição de dados do SRTM.....	25
Figura 14 - equações para os polinômios de 1o e 2o graus	27
Figura 15 - Fluxo de Trabalho.....	29
Figura 16 - – Traçado da LT 230kV Ibicoara / Brumado.....	30
Figura 17 - Saída da subestação de Ibicoara.....	32
Figura 18 - Vegetação de Campos e a Vegetação de Mata Arbórea num grotão, em meio a um relevo suave da Serra Geral, próximo a SE Ibicoara.....	32
Figura 19 – Cruzamento do Rio Brumado.....	33
Figura 20 – Passagem pela encosta da Serra do Paracatu em meio à Vegetação de Caatinga Arbórea, próxima a SE Brumado	33
Figura 21 – Chegada à SE Brumado, à margem da BR-030, em traçado paralelo à LT 230 kV Funil/Brumado.....	34
Figura 22 – Traçado da LT 230kV Ibicoara / Brumado	35
Figura 23 – Perfil gerado pelo Spring sentido Brumado - Ibicoara.....	36
Figura 24 – Perfil gerado no Auto-Cad	36
Figura 25 – Visão 3D do traçado.....	37
Figura 26 – Comparação dos perfis em uma região de serra.....	38
Figura 27 – Comparação dos perfis em uma região de serra.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da missão.....	26
Tabela 2 – Tipos de cobertura do solo na Alternativa 1	31
Tabela 3 – Tipos de relevo o traçado da LT	31
Tabela 4 – Erro médio quadrático na região do vale do rio Brumado.....	39
Tabela 5 – Erro médio quadrático na região sobre a chapada Diamantina	40
Tabela 6 – Erro médio quadrático na região que compreende a descida da chapada Diamantina	40
Tabela 7 – Erro médio quadrático da LT Ibicoara / Brumado.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MDE	Modelo digital de elevação
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
ASTER	Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer
DEPL	Departamento de engenharia de linha de transmissão
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
LiDAR	Light Detection and Ranging
SAR	Synthetic Aperture Radar
MDS	Modelo digital de superfície
MDT	Modelo digital de terreno
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NASA	National Aeronautics and Space Administration
EUA	Estados Unidos da America
NIMA	Agência Nacional Imagery Mapping
ASI	Agência Espacial Italiana
DLR.	Centro Aeroespacial German
USGS	United States Geological Survey
JPL	Jet Propulsion Laboratory
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. METODOLOGIAS DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO.....	13
3. O MDS e o MDT.....	23
3.1 SRTM.....	23
3.2 Georreferenciamento ou Registro de Imagens.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1 Planejamento.....	29
4.2 Vegetação.....	30
4.3 Relevo.....	31
4.4 Levantamento Topográfico.....	34
4.5 Aquisição do SRTM.....	34
4.6 Geração de Perfil.....	35
4.7 Cartas topográficas.....	37
4.8 Registro das Imagens.....	37
4.9 Geração do Perfil.....	38
5. RESULTADOS E DISCURSÕES.....	39
5.1 Vale do rio Brumado.....	39
5.2 Chapada Diamantina.....	40
5.3 Descida da chapada.....	40
5.4 LT 230kV Ibicoara / Brumado.....	41
6. CONCLUSÃO.....	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

A partir da abertura econômica brasileira e o incentivo a livre concorrência no setor elétrico brasileiro as empresas públicas que detinham o monopólio de construção de linhas de transmissão e barragens viram-se obrigadas a diminuir seus custos para concorrerem em pé de igualdade com as empresas privadas.

Um dos desafios a ser enfrentado foi o de minimizar o número de viagens a campo para verificação da topografia e conseqüentemente as diminuições dos custos além da diminuição do tempo para elaboração do projeto básico. Como solução para resolução desses problemas, adotou-se ao uso do sensoriamento remoto. O sensoriamento remoto tornou-se indispensável aos estudos envolvendo topografia, abrangendo trabalhos de restituição fotogramétrica com vistas ao mapeamento altimétrico em diferentes escalas, apoiado nos princípios da estereoscopia, até a obtenção de modelos digitais de elevação (MDE).

Utilizou-se o SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), um MDE com *pixel* de 90m, para determinação do perfil do terreno e estimar a tonelagem de aço a ser utilizada na linha através de uma definição preliminar do terreno. Em junho de 2009, o projeto ASTER GDEM lançou o MDE ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer) com pixel de 30m. O MDE ASTER diferencia-se do MDE SRTM não só pelo comprimento do pixel, mas também pela tecnologia utilizada.

No processo de elaboração do projeto básico das linhas de construção é de responsabilidade da DEPL (Departamento de Engenharia de Linhas de Transmissão) o levantamento da tonelagem de aço a ser prevista para a construção da linha de transmissão. Para determinação deste total, vários parâmetros são levados em conta como a família de estruturas a serem utilizadas, potência de operação da linha, entre outros. Das estruturas a serem utilizadas, fatores como desnível do terreno tem grande influencia em sua escolha.

Assim, o objetivo do presente trabalho é utilizar metodologias que melhorem a acurácia do MDE SRTM para as linhas de transmissão e avaliar a precisão dos MDE's para adequação do fator de segurança no orçamento das futuras concorrências em leilões da ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica). Para isto, este trabalho se propõe a gerar os perfis da linha de transmissão estudada a partir de MDE's obtidos pela técnica de interferometria de radar com cobertura sintética (SRTM), e avaliar sua acurácia usando como parâmetro os levantamentos topográficos da linha estudada.

De maneira mais específica, pretende-se realizar um estudo para as linhas de transmissão selecionada, de modo a:

- a) Analisar as técnicas de processamento digital de imagens para utilização dos MDE's;
- b) Gerar perfis das linhas de transmissão a partir do MDE, SRTM e do levantamento topográfico;
- c) Avaliar quantitativamente os perfis gerados;
- d) Calcular o erro médio quadrático das diferenças de cotas entre os perfis gerados a partir do SRTM com o perfil levantado em campo.

2. METODOLOGIAS DE LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO

Há um bom número de metodologias que podem ser aplicadas para a obtenção de altimetria, diferenciando-se nos custos e precisões. Hoje o profissional de topografia deve ter bastante habilidade para definir qual metodologia atende as necessidades de precisão e destes qual o menos oneroso com menor tempo de execução, tomando por base as características da área de estudo.

Dentre os métodos, destacamos os métodos de campo, os métodos remotos e os métodos mistos: Nivelamento Geométrico, Nivelamento Trigonométrico, Perfilamento a Laser LIDAR (Light Detection and Ranging), Restituição Estéreo-Fotogramétrica e Correção de Imagens.

Chamam-se genericamente de NIVELAMENTO, as operações que se executam em uma determinada região, nas quais se colhem dados com o objetivo de se determinar a diferença de nível de pontos da superfície em relação a outros, dividindo-se em três tipos: Geométrico, Trigonométrico e Barométrico.

O Nivelamento Geométrico é um método essencialmente de campo que necessita de profissionais de topografia, para os serviços de campo, calculistas e cadistas no trabalho de escritório. Neste tipo de nivelamento são usadas viradas horizontais para a coleta dos dados para a criação de um plano horizontal e determinação das intersecções deste plano com uma série de verticais levantadas nos pontos a nivelar, obtendo-se a distância vertical destes pontos ao plano de referência.



Figura 1 - Nivelamento Geométrico

Com precisões que variam de 5 mm a 50 mm por quilometro, este método tem precisão bastante elevada sendo aplicadas em trabalhos de terraplanagem, barragens, lavouras de arroz e terraceamento entre outros serviços.



Figura 2 - Instrumentos utilizados (Nível)

Os dados são colhidos através de viradas horizontais. Consiste, portanto, em criar um plano horizontal e determinar as interseções deste plano com uma série de verticais levantadas nos pontos a nivelar e em seguida obter a distância vertical destes pontos ao plano de referência.

Procedimentos: é estabelecida uma malha regular de pontos na área de estudo, de dimensões não muito grandes; a partir de uma referência altimétrica, faz-se o transporte da altitude (nível verdadeiro) ou da cota (nível aparente), até que todos os pontos tenham suas diferenças de cotas determinadas; estes dados são passados para a equipe de calculistas e cadistas para o cálculo das cotas de todos os pontos e desenho da expectativa planta.

Os produtos gerados são: pontos cotados, perfis altimétricos e curvas de nível, derivadas de interpolação.

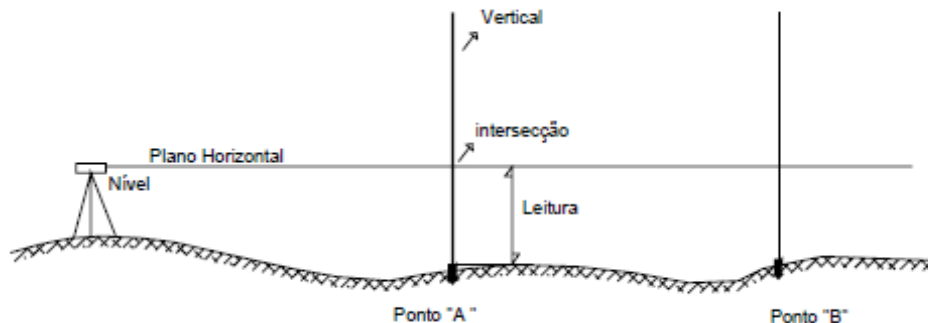


Figura 3 – Procedimento

O **Nivelamento Trigonométrico**, assim como o geométrico, é um método essencialmente de campo, que necessita de profissionais de topografia, para os serviços de campo, calculistas e cadistas no trabalho de escritório. Este tipo de nivelamento baseia-se na resolução de triângulos retângulos do qual se conhece um dos catetos (distância horizontal) para a determinação do segundo cateto (diferença de nível).



Figura 4 – Nivelamento Geométrico

O **Nivelamento Geométrico** apresenta um melhor rendimento em relação ao Geométrico, porém, com uma precisão inferior, acima de 10 mm em 1 km, mas seu rendimento não permite sua utilização em grandes áreas.

Sua aplicação é recomendada nos locais onde o Nivelamento Geométrico não permite sua aplicação, tais como locais onde os desníveis são acentuados ou na determinação da altura de morros prédios, etc.



(a) - TC400



(b) - TC307

Figura 5 – Estações totais usadas no nivelamento trigonométrico

Os procedimentos para esse tipo de nivelamento são:

- É estabelecida uma malha de pontos na área de estudo, de dimensões não muito grandes;
- A partir de uma referência altimétrica faz-se o transporte da altitude ou da cota e coordenadas (estação-prisma), até que todos os pontos tenham suas diferenças de cotas determinadas;
- Esses dados são passados para a equipe de calculistas e cadistas para o cálculo das cotas de todos os pontos e desenho da expectativa planta.

Os produtos gerados são: pontos cotados, perfis altimétricos e curvas de nível, derivadas de interpolação.

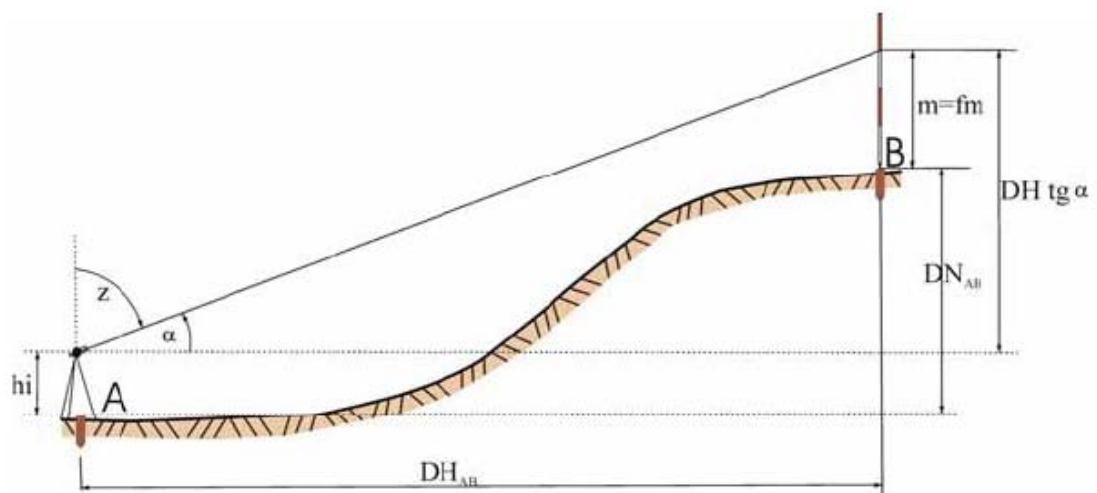


Figura 6 – Procedimento

O uso da tecnologia do mapeamento a laser **LiDAR** (Light Detection and Ranging) é de uso recente no Brasil, estando sendo descobertas a cada dia novas aplicações.

O Perfilador a Laser, equipamento utilizado no escaneamento, constitui-se em um aparelho instalado em uma aeronave, geralmente avião ou helicóptero, sendo os dados obtidos pelos ecos de um feixe de laser emitido em intervalos regulares e armazenados para posterior processamento em escritório, onde serão analisados e processados por equipe especializada. Como o equipamento permite obter o primeiro e o último pulso do laser refletido (eco), pode-se determinar facilmente a altura do terreno.

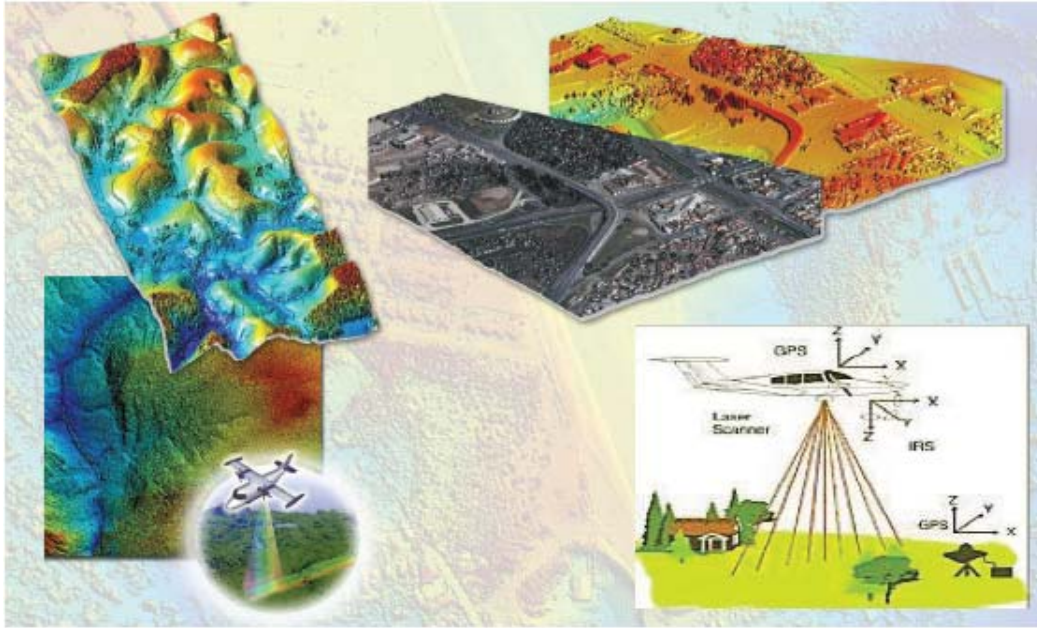


Figura 7 - Perfilamento a Laser - LiDAR

Em comparação com as técnicas de nivelamento, a técnica revela-se menos agressiva no sentido sócio-ambiental por poder sobrevoar áreas onde o acesso é limitado, impossível ou indesejável, dispensando o envio de equipes de campo.

O mapeamento a laser também se mostra muito eficiente na extração de informação tridimensional em áreas urbanas devido à grande densidade de pontos que podem ser coletados através do sistema.

Pela sua densidade de pontos, é possível extrair diversas feições do contexto como telhados, muros e linhas de transmissões, que é de grande interesse da Chesf, tornando-se assim em uma ferramenta atraente para usuários finais de dados topográficos em varias áreas.

Para qualquer aplicação que exija um modelo digital de elevação com alta densidade, alta resolução e precisão da ordem do decímetro, o mapeamento a laser oferece capacidade técnica impar, baixo tempo de processamento e consequentemente baixo custo operacional, se comparado as formas tradicionais de levantamentos de dados, mas devido à necessidade de sobrevoo, pequenas áreas mostram-se inviáveis a sua utilização. Os dados do Laser podem ainda serem combinados com imagens adquiridas por aerofotogrametria convencional, imagens de sensoriamento remoto ou imagens de câmeras digitais para o refinamento de modelos tridimensionais.



Figura 8 - Equipamento a laser instalado no avião Fonte: www.lactec.org.br

Até poucos anos atrás o uso da tecnologia de **Restituição Estéreo-fotogramétrica** era o único método confiável e preciso para confecção de mapas a partir de fotos aéreas. A técnica consiste na obtenção de fotos aéreas as quais as faixas de voos longitudinais exigem uma sobreposição entre fotos de 60% (overlap) e transversal de 30% (sidelap), as áreas em que as fotos se sobrepõem são chamadas de modelos estereoscópicos. A partir das imagens é feita a digitalização de feições do tipo ponto, linha e polígono a partir da visão tridimensional ou estereoscópica dos objetos fotografados utilizando o efeito paralaxe, efeito que permite o usuário ter a percepção de profundidade.



Figura 9 - Restituição Estéreo-fotogramétrica

Em específico sobre o LiDAR a restituição Estéreo-fotogramétrica apresenta a vantagem da fácil adequação da precisão altimétrica em função da escala de voo, isto é, variando a altura de voo pode-se aumentar ou diminuir a precisão, porém uma maior precisão demandará um maior tempo de voo e conseqüentemente aumentará os custos da operação.

Basicamente não há restrições para a sua aplicação, exceto as condições de voos, necessitando de tempo bom para a obtenção das fotos, de preferência que sejam feitas próximo ao meio dia, além de uma análise das circunstâncias da área de interesse e verificar se as vantagens deste método se aplicam e o tornam viável, ou seja, vantajoso sobre os demais.



Figura 10 - Ortofoto digital colorida de Aracaju

Seus produtos são: pontos cotados, curvas de nível e perfis altimétricos.

Praticamente todos os Sistemas de Fotogrametria Digital apresentam suas soluções para a obtenção de altimetria por correlação de imagens, estas ocorrem por meio de medições de similaridade entre imagens sobrepostas, bastando para isto que sejam parte de blocos de fotografias devidamente aerotrianguladas e orientadas.

Este método requer bastante trabalho de campo, requer equipe de vôo (piloto e navegador) e equipes de solo para apoio terrestre – GPS; em escritório necessita de fotogrametristas somente para a aerotriangulação (geo-referenciamento do vôo), a geração

automática da altimetria, é realizada por software específico, não necessitando de fotogrametrista. A precisão deste método é influenciada pela escala de vôo, mas sua precisão é bem inferior aos métodos já citados, tendo precisões de 1m a 20m. Este método é geralmente usado para levantamento de curvas de nível 5x5m, 10x10m e superiores, mas suas curvas são relacionadas à superfície, isto é, regiões de florestas ou áreas urbanas influenciam na definição das cotas das curvas de nível, diminuindo a confiabilidade em comparação aos métodos anteriormente citados.

Apesar da etapa de voo ser suscetível às condições climáticas, a correlação de imagens apresenta um ótimo rendimento devido ao processo automático ser bastante rápido.

Seus produtos são: pontos cotados, perfis altimétricos, curvas de nível, mapa hipsométrico.

Assim como a tecnologia do mapeamento a laser, o mapeamento com o uso de radares de abertura sintética – Synthetic Aperture Radar (SAR) são de uso recente no Brasil. Tal como suas características, o processo de formação das imagens ópticas e de radar são bastante distintos, uma vez que seus sensores detectam informações diferentes. Grandes partes das técnicas utilizadas no processamento de imagens ópticas não se adequam às imagens de radar. Fazendo-se necessário o desenvolvimento de técnicas e ferramentas específicas para trabalhos que utilizam esta tecnologia.

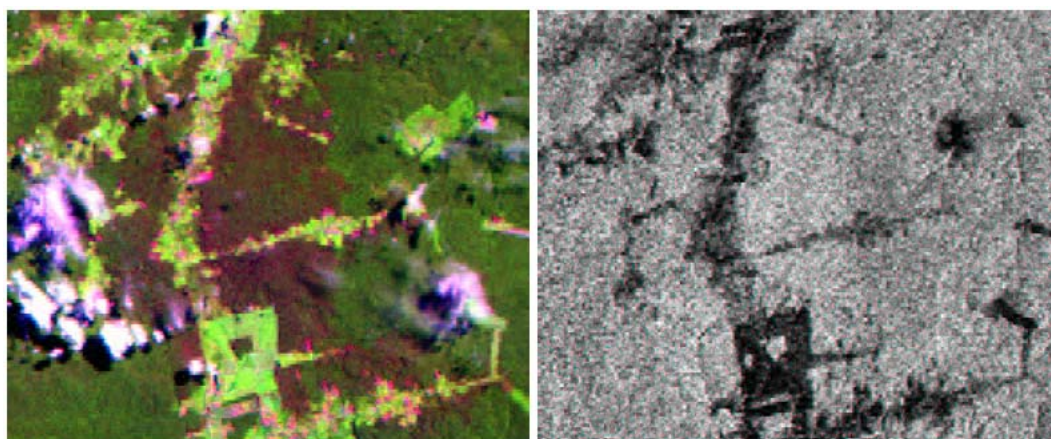


Figura 11 - Imagens óptica (TM-Landsat) e de radar (JERS-1)

Os sistemas de radar são, geralmente, compostos por um transmissor, um receptor, um modulador, um processador e uma antena. Esses sistemas são classificados como sistemas ativos por emitirem sua própria energia (ondas), e coletam os dados ao se deslocarem ao longo de sua trajetória, dada pela faixa de vôo da aeronave (ou satélite), por meio da chamada visada lateral. O imageador envia ondas eletromagnéticas para a superfície terrestre, recebe o

seu eco e realiza o seu registro. Em seguida, o sinal é processado para a geração de imagens digitais.

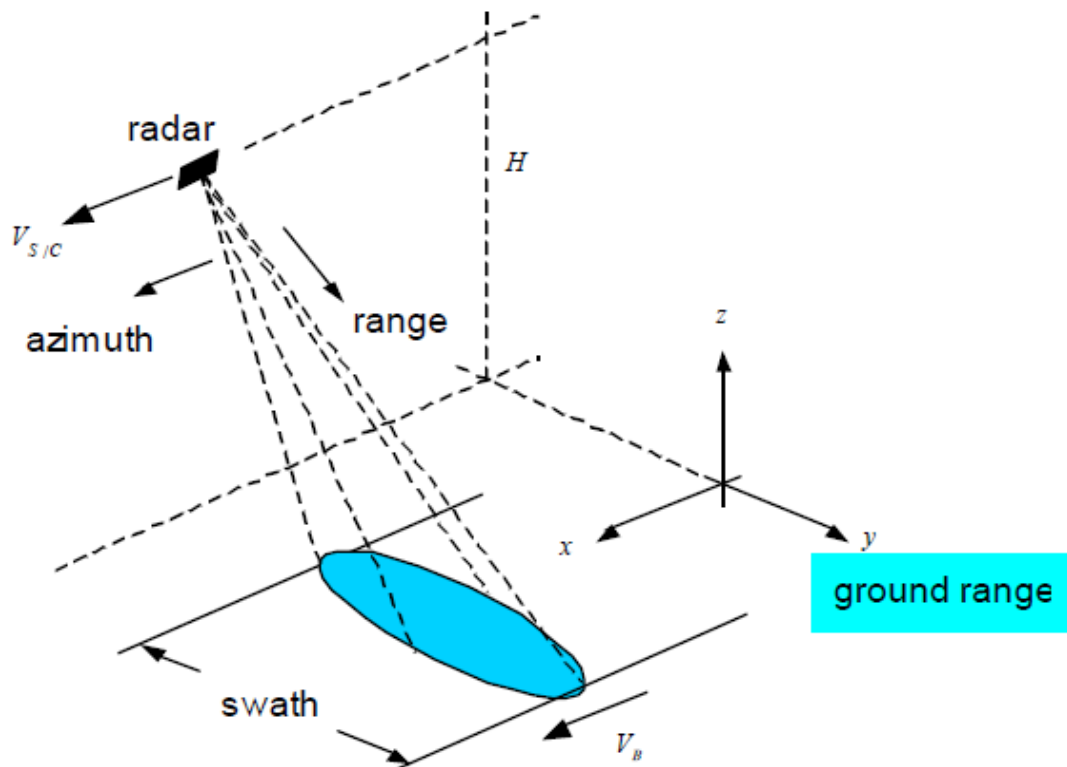


Figura 12 – SAR imaging geometry

Os dados obtidos por meio de sistemas de radar vêm sendo objeto de crescente utilização. Sendo seu uso nas regiões de clima tropical úmido bastante satisfatório pelo fato da nebulosidade não interferir na qualidade das imagens, já que a frequência das ondas utilizadas sofrerem pouca interferência da atmosfera terrestre.

A formação de uma imagem SAR requer o processamento coerente do sinal de retorno recebido após a emissão dos pulsos. O processamento do sinal é, geralmente, dividido em duas etapas: o processamento em range e o processamento em azimuth. O sinal recebido (complexo) de cada pulso emitido é demodulado em fase (I) e quadratura (Q), amostrado (dada uma função de referência) e convertido para o formato digital (para formar uma sequência de dados). A sequência de dados formada é denominada *range bin* ou *range gate* e irá formar uma linha da imagem, com número de pixels dependente da taxa de amostragem empregada no sinal. Esta taxa de amostragem define o espaçamento entre centros de pixels (pixel spacing). À medida que o sensor se desloca (na direção azimuthal), o processamento dos pulsos emitidos irá compor as colunas da imagem (processamento em azimuth).

O uso do radar é recomendado para determinadas aplicações por apresentar imagens de diversas resoluções, as resoluções de SAR espaciais são 5m - 100m, permitindo diferenciar feições como ondas do mar, estruturas geológicas e geomorfológicas, umidade do solo, etc. além de realização de observações em condições adversas como nebulosidade, precipitação ou falta de luz solar.

Os modelos em perspectiva são conhecidos como Modelos Digitais do Terreno ("Digital Terrain Model" ou DTM), ou Modelos Digitais da Superfície ("Digital Ground Model", DGM). O termo Modelo Digital do Terreno é o mais utilizado. Segundo DOYLE (1978), ele parece ter origem num trabalho de Charles L. Miller e colaboradores; no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, entre 1955 a 1960.

Todas as expressões acima fazem referência à aquisição, processamento e utilização de dados digitais para a elaboração de modelos que representem, graficamente, o relevo da superfície terrestre. DOYLE (1978) os definiu como arranjos ordenados de números, que reproduzem a distribuição espacial das características do terreno. Na maioria das vezes, essa distribuição é representada por um sistema de coordenadas retangulares ou pela latitude e longitude. A característica do terreno, geralmente referenciada, é o relevo estimado pela sua cota ou altitude. Além da elevação, podem ser incluídas, nos modelos, muitas outras feições do terreno. Essas se referem a tipo de solo, posse, valor da propriedade, profundidade do leito da rocha matriz, uso da terra e outros. Daí surgiu a expressão Modelo Digital de Elevação ("Digital Elevation Model", DEM), para se referir aos modelos que consideram como característica do terreno, somente a elevação.

MIKHAIL et al. (1978) consideram os modelos de elevação como subconjuntos dos modelos digitais do terreno.

3. O MDS e o MDT

O MDS e o MDT fazem referência à aquisição, processamento e utilização de dados digitais para a elaboração de modelos que representem, graficamente, o relevo da superfície terrestre.

O MDS pode ser gerado automaticamente em sistemas fotogramétricos digitais, pela computação de similaridades entre imagens sobrepostas devidamente orientadas, seu baixo custo quando comparado ao Perfilamento a laser e a Restituição aerofotogramétrica é um atrativo, mas sua precisão é bastante inferior a esses dois métodos.

A cobertura vegetal, tipo e inclinação do relevo, edifícios e construções influenciam diretamente na qualidade de um MDS, podendo até inviabilizá-lo por afetar nas medidas de correlação de imagens. A influência da cobertura vegetal e o topo das construções é o que trás o “S” do termo MDS.

O MDT obtido por correlação de imagem é em partes o mesmo produto do MDS, com o grande diferencial que a este é aplicada uma validação em ambiente estéreo, ou seja, um técnico fotogrametrista em estação fotogramétrica digital irá confirmar os locais em que a altimetria gerada está coerente com o relevo e corrigirão fotogrametricamente os locais onde esta não esteja, substituindo os pontos ou traçando novas curvas de nível, dependendo da forma de representação do relevo definida.

O grau, ou proporção de correção que será aplicado ao MDS até se tornar um MDT, com pontos ou curvas de níveis corretamente representados sobre o terreno, dependerá da qualidade das imagens, da cobertura vegetal e tipo de relevo das áreas de interesse, é em função destes que o tempo e o custo de produção do MDT serão determinados.

3.1 SRTM

O *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi lançado em setembro de 1999, seu voo ocorreu entre os dias 11 e 22 de fevereiro de 2000, a bordo do Endeavour (ônibus espacial), cumprindo os objetivos da missão. Para adquirir os dados de altimetria estereoscópica, a SRTM contou com dois refletores de antenas de radar separados em 60m (figura x) através de um extensor que permitiu tal ampliação e possibilitando a aquisição dos dados em uma mesma órbita e melhor qualidade dos mesmos. A técnica empregada conjugou software interferométrico com radares de abertura sintética (SAR). Após uma longa

calibração e validação dos nove terabytes de dados brutos, o conjunto de dados foi entregue ao NGA em janeiro de 2003.

O SRTM foi um esforço cooperativo entre a NASA dos EUA e a Agência Nacional Imagery Mapping (NIMA), da Agência Espacial Italiana (ASI), e o Centro Aeroespacial Gereman (DLR).

Foram adquiridos dados sobre mais de 80% da superfície terrestre nas bandas C e X, a resolução espacial das células nos dados fonte é de 1 arco segundo (1") ou aproximadamente 30m, mas apenas sobre os EUA, para o resto do mundo, é de 3" ou aproximadamente 90m. Cada zona de lado, três arcos segundo tem 1.201 x 1.201 células com valores em 16 bit.

Os DEMs relativos à banda C estão sendo distribuídos pela NASA, encontrando-se disponíveis gratuitamente com resolução espacial de aproximadamente 90 x 90 metros. Há a possibilidade de se adquirir dados com resolução de 30 x 30 metros dependendo de acordos analisados individualmente pela NASA. Os dados relativos à banda X estão sendo processados e distribuídos pelo DLR – Centro Aeroespacial Alemão.

Os dados SRTM disponibilizados para o território nacional correspondem àqueles que hoje se conhecem como versão 1, que eram disponibilizadas em meados de 2003 pelo Centro de Distribuição de Dados da USGS (*United States Geological Survey*), no endereço <http://seamless.usgs.gov/index.php> em formatos diversos.

Atualmente, a USGS vem oferecendo outras versões dos dados SRTM, atualizados conforme a evolução dos métodos adotados para processamento. Os dados da versão 1 ainda podem ser encontrados através da página do *Jet Propulsion Laboratory*(Jpl) da *National Agency for Space Administration*, a partir do endereço <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, em formato de extensão *hgt*.

Os DEMs relativos ao Brasil estão sendo também disponibilizados no seguinte endereço: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>. Cada arquivo tem aproximadamente uma linha e uma coluna de sobreposição com os arquivos correspondentes a áreas de sua vizinhança. O sistema de projeção utilizado é o geográfico é o Datum – WGS-84, sendo as altitudes dadas em metro.

Desde 2008, o INPE vem fornecendo gratuitamente através do projeto Topodata, os dados do SRTM refinados, foi utilizada krigagem e aplicados algoritmos de análise geomorfométrica sobre os dados refinados para o cálculo das variáveis de declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal e curvatura vertical. Os produtos gerados estão na resolução de 1 arco de segundo, aproximadamente 30m. A utilização destes dados pode ser

analisada através do endereço: http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia_utilizacao_topodata.pdf, o qual traz informações detalhada dos dados.

Apesar de todos os pontos positivos apresentados, os dados SRTM apresentam alguns problemas, tais como: valores espúrios (positivos e negativos) nas proximidades do mar e áreas onde não são encontrados valores. Estas últimas áreas recebem o valor -32768, indicando que não há dado disponível.

São diversas as possibilidades de correção desses problemas, desde substituição de tais áreas por dados oriundos de outros produtos ou o uso de programas que procuram diminuir tais incorreções através de edição de dados. Alguns destes programas são gratuitos e podem ser encontrados na Internet.

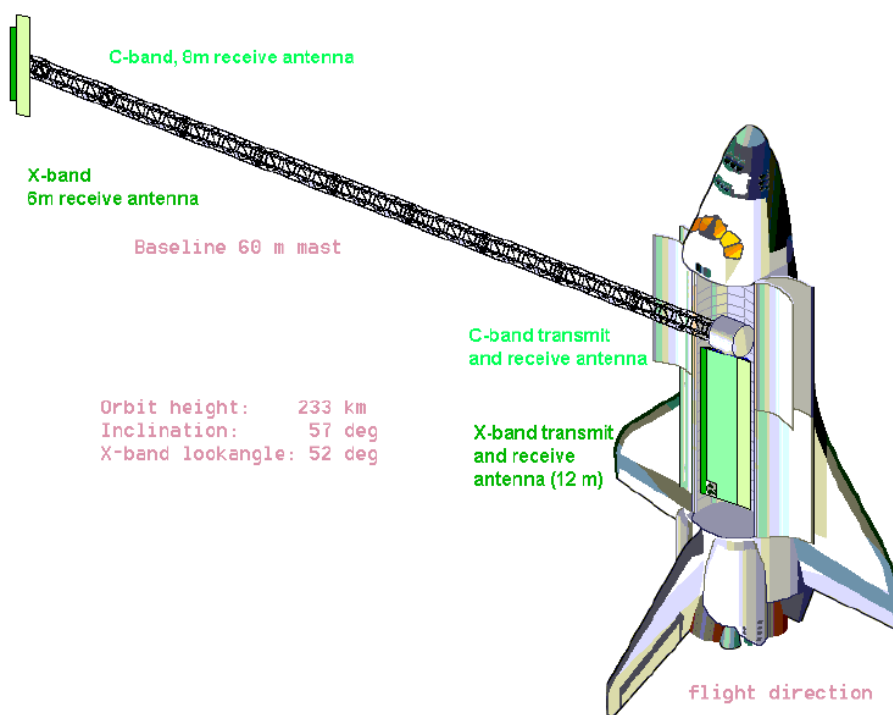


Figura 13 - Esquema da aquisição de dados do SRTM

Tabela 1 - Características da missão

Launch / Landing	September 16 / 27, 1999
Mission Duration	11 Days
Project Start / End	August 1996 / March 2001
Project Life Cycle	54 months (36 months start to launch; 18 months data processing)
Total Cost	\$ 220M (\$120M US; \$50M DLR; \$50M KSC)
Payload Weight	ca.13,600 kg (ca.15 mid-sized cars)
Energy Usage	ca.900 kWh (enough to power a typical home for 2-3 months)
Orbit Altitude	233 km
Orbit Inclination	57°
Planned Data Takes	ca.1,000 (over 80% of Earth's land mass)
Data Acquisition	> 80 hours
Data Recording Rate	180 Mbits/sec for C-band, 90 Mbits/sec for X-band
Total Raw Radar Data	ca. 9.8 Terabytes (15,000 CDs)
Data Tapes	ca. 300 high density tapes

3.2 Georreferenciamento ou Registro de Imagens

Registro de imagens é uma operação importante para aplicações de sensoriamento remoto, compreende uma transformação geométrica que relacionam coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência, pode-se dizer então que o registro estabelece uma relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas.

Outros termos comuns para a designação do procedimento de registro são geocodificação e georreferenciamento. Mas é importante fazer uma distinção entre registro e correção geométrica. O processo de correção geométrica de imagens elimina as distorções geométricas sistemáticas introduzidas na etapa de aquisição das imagens, enquanto o registro apenas usa transformações geométricas simples - usualmente transformações polinomiais - para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas. Por isso, sugere-se que o registro seja sempre utilizado como uma técnica que busca refinar a qualidade geométrica de imagens com correção geométrica de sistema.

O registro é uma operação necessária para se fazer a integração de uma imagem à base de dados existente num SIG. O registro também é importante para se combinar imagens de sensores diferentes sobre uma mesma área ou para se realizar estudos multi-temporais, caso em que se usam imagens tomadas em épocas distintas.

3.3 Transformações polinomiais - pontos de controle

O uso de transformações polinomiais é bastante comum no registro de imagens. As transformações polinomiais fazem o vínculo entre coordenadas de imagem e as coordenadas

no sistema de referência através de pontos de controle. Pontos de controle são feições passíveis de identificação na imagem e no terreno, ou seja, são feições homólogas cujas coordenadas são conhecidas na imagem e no sistema de referência. Cruzamentos de estradas, pistas de aeroportos e confluência de rios são candidatos naturais a pontos de controle.

A determinação dos parâmetros da transformação polinomial selecionada é feita através da resolução de um sistema de equações. Para que esse sistema de equações possa ser montado, as coordenadas dos pontos de controle devem ser conhecidas tanto no referencial da imagem como no sistema de referência. As coordenadas de referência são usualmente obtidas através de mapas confiáveis que contenham as feições homólogas usadas como pontos de controle ou medições feitas diretamente no terreno com GPS.

Uma vez determinados os n pontos de controle e selecionada a transformação polinomial, um sistema de $2n$ equações é montado para resolver 6, 12 ou 20 parâmetros, dependendo do polinômio ser de 1o, 2o ou 3o grau. Assim, conclui-se que o número mínimo de pontos de controle é 3 para o polinômio de 1o grau, 6 para o polinômio de 2o grau e 10 para o polinômio de 3o grau

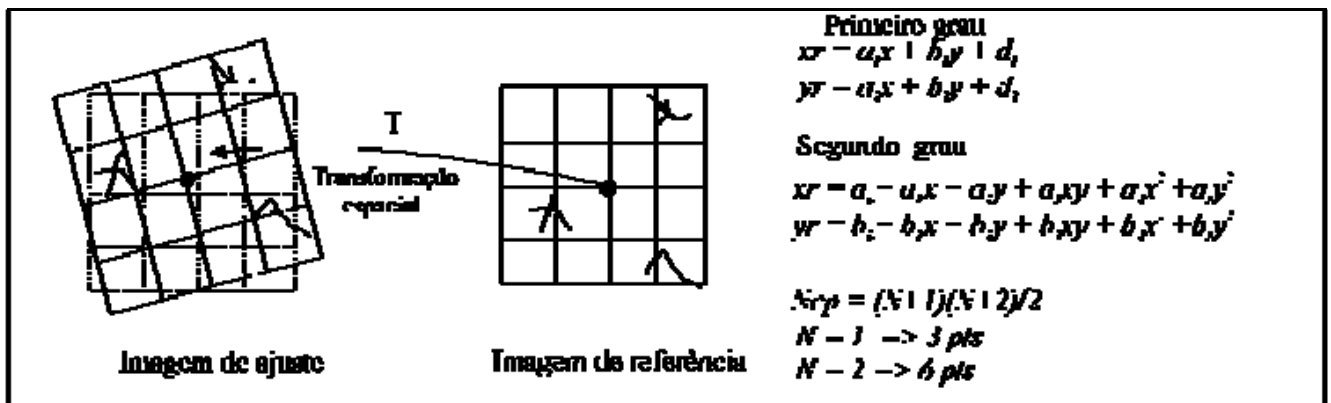


Figura 14 - equações para os polinômios de 1o e 2o graus

O número mínimo de pontos de controle representa a situação de um sistema de equações determinado, no qual o número de equações coincide com o número de incógnitas a calcular. Entretanto, como as coordenadas medidas dos pontos de controle estão sujeitas a erros, convém usar um número de pontos maior que o mínimo. Nesse caso, trabalha-se com um sistema de equações sobre-determinado, que tem mais equações que incógnitas e permite tratar e distribuir os erros de medição dos pontos de controle. Em termos práticos aconselha-se o uso de 6 pontos de controle para o polinômio de 1o grau, 10 pontos de controle para o polinômio de 2o grau e 14 pontos para o polinômio de 3o grau.

Deve-se ter em mente também que a distribuição dos pontos de controle na área a ser registrada é de suma importância, pois as transformações polinomiais tendem a se comportar adequadamente apenas na região onde se encontram os pontos de controle.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A necessidade de ter conhecimento da precisão dos dados adquiridos para tomadas de decisão é de fundamental importância, a qualidade dos MDEs a serem utilizados influenciará na tomada de decisão em concorrências de futuros leilões de linhas de transmissão, e para isso é preciso participar do processo aquisitivo e processamento dos dados para geração do perfil do terreno da linha de transmissão a ser plotada. Tudo isso pode ser acompanhado na descrição dos materiais e métodos usados para esse trabalho, nas seguintes fases:

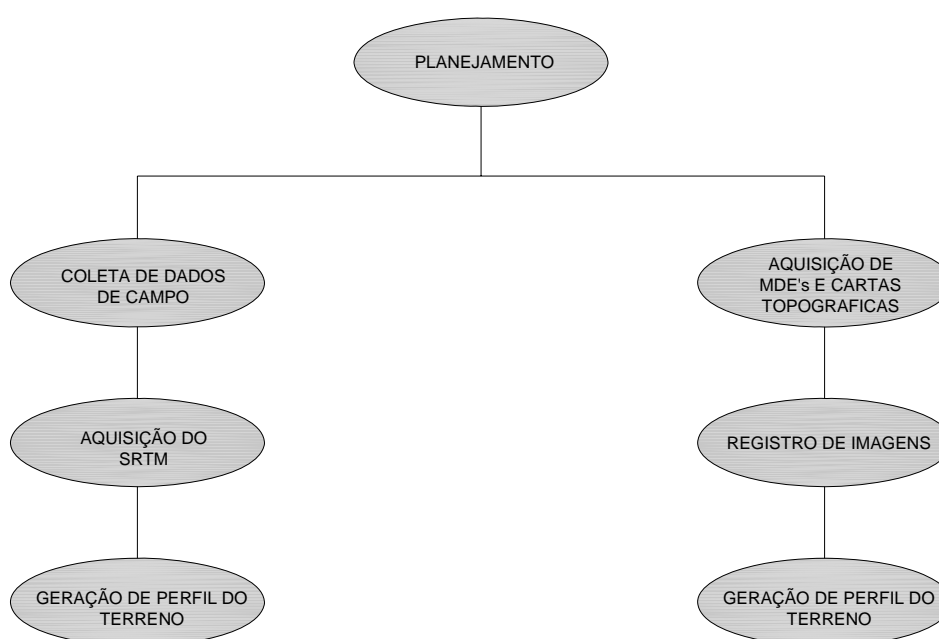


Figura 15 - Fluxo de Trabalho

Abaixo são descritas as fases de execução das atividades para a aquisição dos pontos levantados em campo, aquisição dos MDE's e cartas topográficas.

4.1 Planejamento

A linha de transmissão LT 230kV Ibicoara / Brumado, hoje em fase final de construção, encontra-se localizada no estado da Bahia atravessando os municípios de Ibicoara, Barra da Estiva, Ituaçu, Rio de contas e Brumado, ao pé da chapada diamantina, com altitudes em relação ao nível do mar variando entre 352m e 1300m, a linha encontra tem comprimento

de 96 km, o que permite encontrar diversos tipos de relevos e vegetação, tornando a linha um bom modelo para estudo, apresentando planícies, brejos, planaltos e serras.

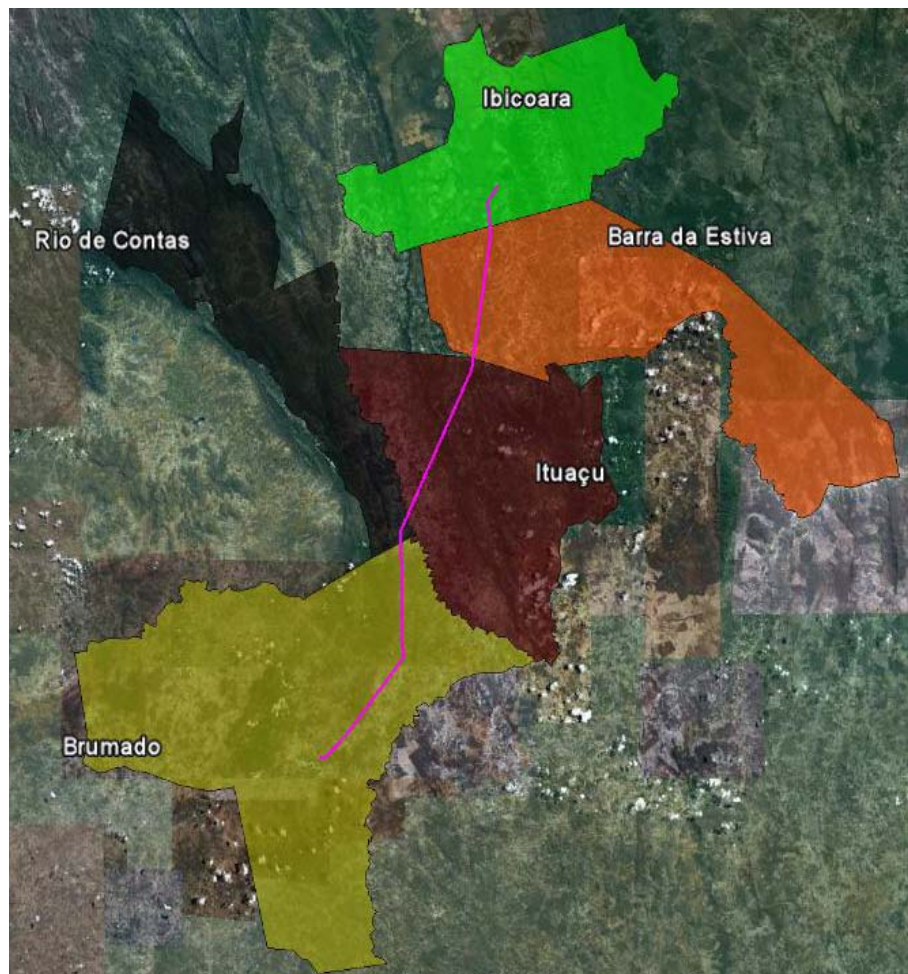


Figura 16 - - Traçado da LT 230kV Ibicoara / Brumado

4.2 Vegetação

A vegetação da região encontra-se bastante antropizada, com característica predominantemente de Caatinga Arbustiva, observadas em seus remanescentes. No entanto, é relevante a presença de Vegetação de Campos e Mata Arbustiva nos pontos de relevo mais acentuado e Vegetação de Mata Arbórea encontrada nos grotões, bem como em vegetações ciliares de alguns cursos d'água.

Tabela 2 – Tipos de cobertura do solo no traçado da LT

Cobertura do solo	Extensão (km)	%
Vegetação de caatinga arbórea	2,6	2,7
Vegetação de caatinga arbustiva	14,5	15,0
Vegetação de campos	16,0	16,6
Vegetação de mata arbórea	9,2	9,6
Vegetação de mata arbustiva	10,3	10,7
Área antropizada	43,8	45,5
TOTAL	96,4	100,0

4.3 Relevo

Os tipos de relevo foram divididos em sete classes: plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, forte ondulado/morro, montanhoso, montanhoso escarpado, conforme a TABELA 3. A classe “forte ondulado/morro” é uma re-distribuição da “forte ondulado”, constituindo o indicativo da formação de morros.

Tabela 3 – Tipos de relevo no traçado da LT

Classe de relevo	Extensão (km)	%
Relevo plano (0 - 3%)	9,2	9,6
Relevo suave ondulado (3 - 8%)	26,8	27,8
Relevo ondulado (8 - 20%)	49,9	51,8
Relevo forte ondulado (20 - 30%)	8,8	9,1
Relevo forte ondulado/morro (30 - 45%)	1,6	1,7
Relevo montanhoso (45 - 100%)	-	-
Relevo montanhoso escarpado (> 100%)	-	-
TOTAL	96,4	100,0



Figura 17 - Saída da subestação de Ibicoara



Figura 18 - Vegetação de Campos e a Vegetação de Mata Arbórea num grotão, em meio a um relevo suave da Serra Geral, próximo a SE Ibicoara



Figura 19 – Cruzamento do Rio Brumado



Figura 20 – Passagem pela encosta da Serra do Paracatu em meio à Vegetação de Caatinga Arbórea, próxima a SE Brumado



Figura 21 – Chegada a SE Brumado, à margem da BR-030, em traçado paralelo à LT 230 kV Funil/Brumado

4.4 Levantamento Topográfico

O levantamento topográfico da linha de transmissão, foi executado pela PET Engenharia, durante um período de 4 meses utilizando estações totais seguindo as especificações técnicas da Chesf. Foi adquirida uma nuvem de pontos em coordenadas UTM, e posteriormente convertida para extensão .pfl através do software PLS-CADD, utilizado para plotação da linha, e extraído as progressivas e cotas dos pontos do eixo e vértices da linha.

4.5 Aquisição do SRTM

Foram adquiridas as imagens SRTM através do site da Embrapa, <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/ba/ba.htm>, onde as mesmas podem ser baixadas gratuitamente, além de serem compatíveis com as cartas do IBGE escala 1:250.000, para o estudo da linha foram utilizadas as imagens compatíveis com as cartas SD-24-V-C e SD-24-Y-A, as imagens são adquiridas no formato GEOTIFF(16bits) com resolução espacial de 90 metros e sistema de coordenadas geográficas WGS-84.

Como a linha em estudo intersectava as duas imagens, foi feito um mosaico das imagens através do software Arc Map 10, através da função *mosaic to new raster*, resultando em uma única imagem o que possibilitou um melhor manuseio dos dados.

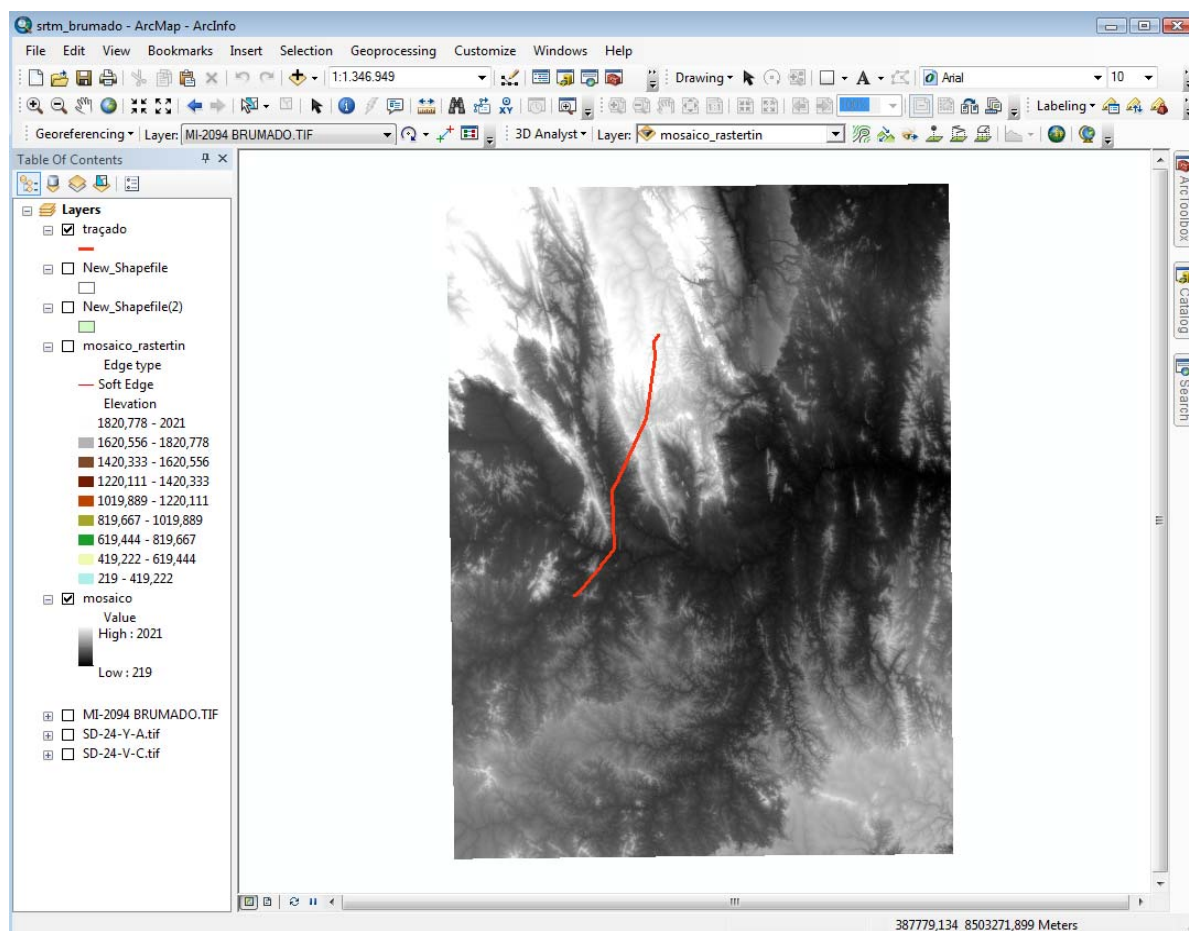


Figura 22 – Traçado da LT 230kV Ibicoara / Brumado

4.6 Geração de Perfil

De posse do MDE da região e do traçado implantado, foi gerado o perfil do terreno cruzando as informações utilizando o software Spring, software de código aberto fornecido pelo INPE. A partir da imagem do SRTM, foi gerado um MNT (modelo numérico de terreno), e através da função MNT->perfil, extraído uma tabela com os pontos de intersecção entre as duas feições resultando no perfil da figura 23.

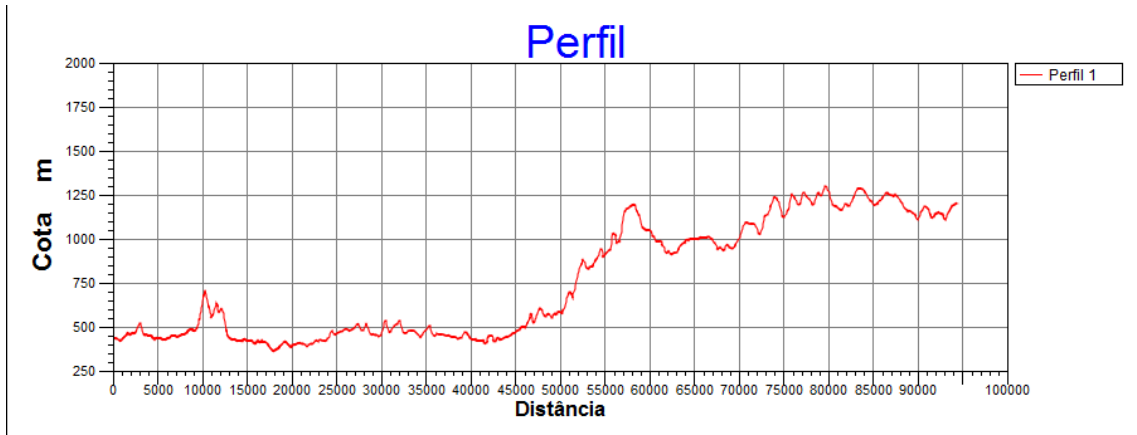


Figura 23 – Perfil gerado pelo Spring sentido Brumado - Ibiçara

Após a geração dos pontos de intersecção das feições o perfil foi plotado utilizando o software Auto Cad criando um perfil com uma escala vertical 10 vezes maior que a escala horizontal para melhor análise das variações de altitudes e compatibilizar com o perfil gerado pelo software PLS-CADD utilizado na plotação do traçado implantado.

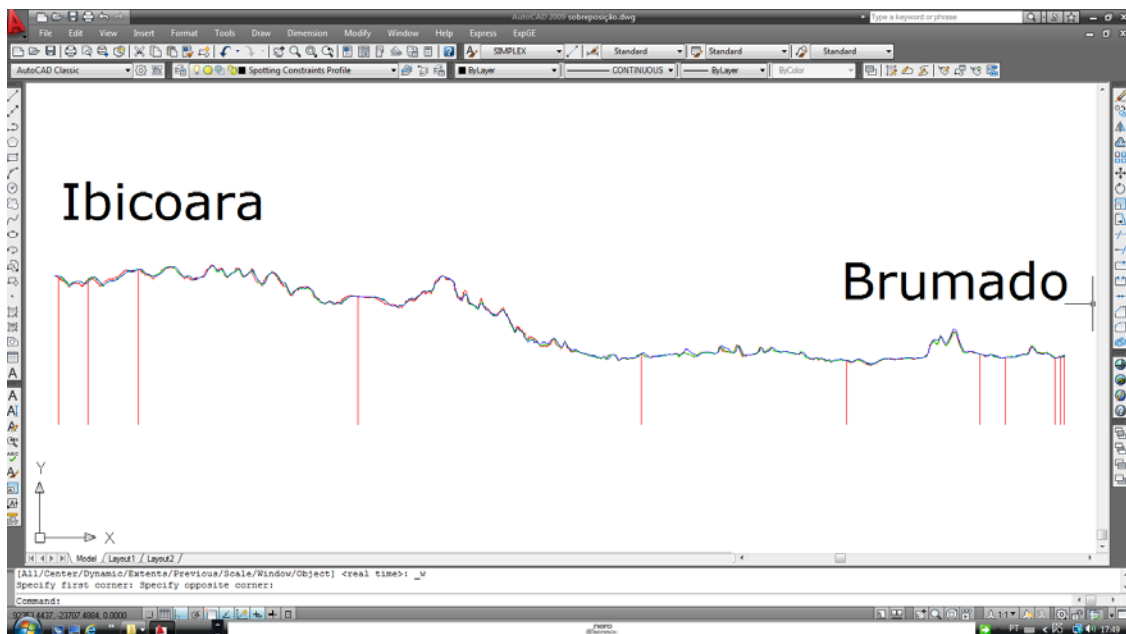


Figura 24 – Perfil gerado no Auto-Cad

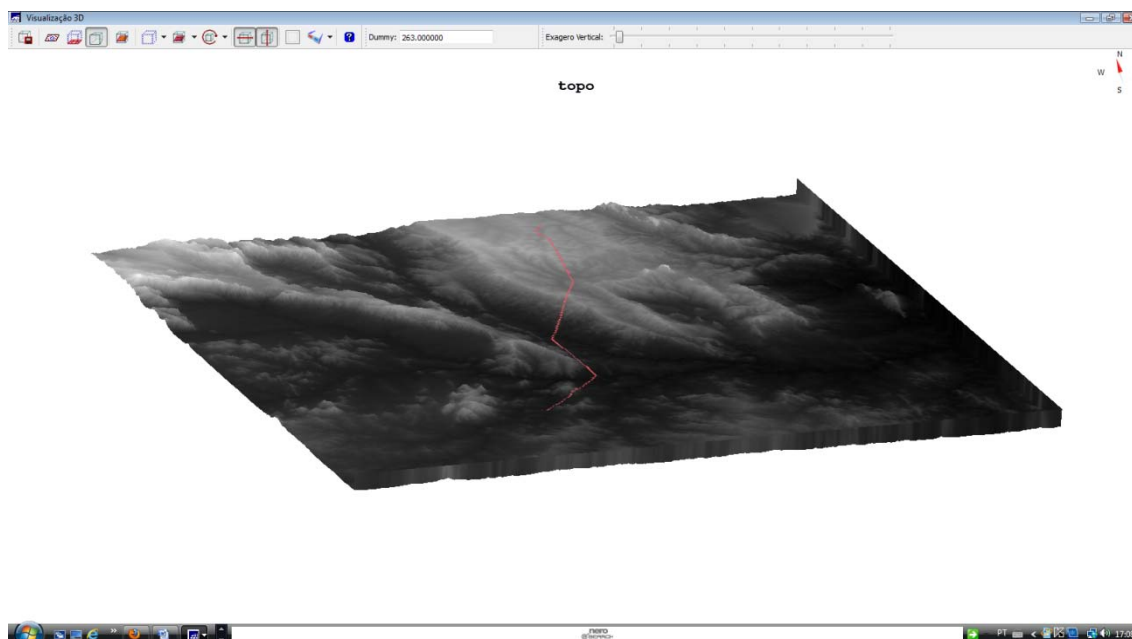


Figura 25 – Visão 3D do traçado

4.7 Cartas topográficas

Presentes no acervo da Chesf e utilizadas a época do estudo da LT 230kV Ibicoara / Brumado para fins de localização, foram adquiridas em formato digital (digitalizadas a partir das cartas originais) as cartas topográficas de Brumado (folha SD.24-Y-A-I), Tanhaçu (folha SD.24-Y-A-II), Rio de Contas (folha SD.24-V-C-IV) e Contendas do Sincorá (folha SD.24-V-C-V) junto ao NGEO (Núcleo de Geoprocessamento da Chesf) estas cartas foram produzidas na década de 70 a partir de fotografias aéreas, estas cartas topográficas encontram-se na escala 1:100.000 no sistema de coordenadas geográficas SAD-69, todas pertencentes ao fuso-24.

4.8 Registro das Imagens

De posse das cartas topográficas da região, foi possível fazer o registro das mesmas já que elas contem informações suficientes para tal operação, estas cartas carregam informações de sua projeção, UTM, em uma grade quadrangular, permitindo a aquisição de um grande numero de pontos, o que possibilitou diminuir o erro no processo de registro.

A partir da base cartográfica da região georeferenciada, o registro da imagem do SRTM mostrou-se um desafio, já que diferente de imagens óticas de satélite que apresentam feições

que podem ser definidas, as imagens do SRTM apresentam apenas diferenças em escala de cinza dificultando o processo de registro. Então, valeu-se de duas características do SRTM: espelhos d'água e topos de morro.

Os espelhos d'água têm respostas zero na frequência de microondas utilizadas pelos equipamentos de radar, isto permitiu identificar lagos e cursos d'água, que mesmo não tendo dimensões suficientes para que o pixel tivesse valor zero influenciou os pixels de forma a permitir a identificação de suas feições.

Como os espelhos d'água forneceram um número pequeno de pontos, e para o registro das imagens seria necessário um bom número de pontos de controle, foram utilizadas as informações das curvas de níveis das cartas topográficas, identificando morros isolados e de feições bem definidas que permitissem suas identificações na imagem SRTM. O uso destes dois métodos permitiu o registro da imagem de forma satisfatória para a geração de um novo perfil com base no SRTM (Souza, 2007).

4.9 Geração do Perfil

Como a base cartográfica utilizada estava no sistema de coordenadas geográficas SAD-69, a imagem SRTM, ficou registrada neste sistema, foi necessária a conversão das coordenadas do traçado da linha que havia sido gerado no sistema de coordenadas WGS-84, para o SAD-69 de forma a permitir o cruzamento das informações e geração de um novo perfil valendo-se dos mesmos métodos e softwares utilizados na geração do perfil com o SRTM sem o registro.

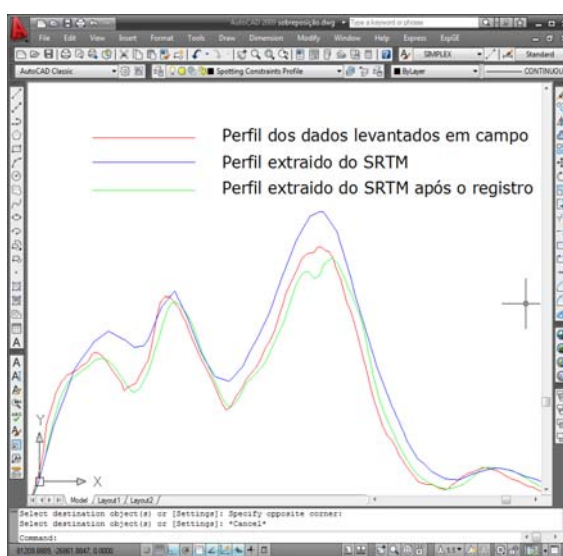


Figura 26 – Comparação dos perfis em uma região de serra

5. RESULTADOS E DISCURSÕES

Os resultados obtidos pelo uso das imagens SRTM são avaliados desde sua aquisição, pois o conhecimento das limitações destes dados é de importância para a qualidade dos serviços derivados.

A metodologia de avaliação consiste na comparação do perfil gerado a partir do SRTM antes e depois do registro das imagens com o perfil gerado a partir dos dados do levantamento de campo.

Para a análise do erro médio quadrático, foram escolhidas três regiões distintas: o vale do rio Brumado onde se encontra a região com menores diferenças de altitude, a descida da chapa Diamantina onde estão as maiores declividades e a região no topo da chapada onde se encontra terrenos ondulados e forte ondulados.

5.1 Vale do rio Brumado

Tabela 4 – Erro médio quadrático na região do vale do rio Brumado

	SRTM sem registro	SRTM com registro
Número de pontos	450	450
EQM	7,527	3,047

Por apresentar um terreno classificado como plano e suave ondulado, esta região apresentou os menores erros na comparação dos perfis produzidos a partir do SRTM em relação ao perfil plotado com os dados de campo, mas o perfil do SRTM apresentou um erro duas vezes maior do que o SRTM com registro.

5.2 Chapada Diamantina

Tabela 5 – Erro médio quadrático na região sobre a chapada Diamantina

	SRTM sem registro	SRTM com registro
Número de pontos	830	830
EQM	16,996	15,052

A região sobre a chapada diamantina apresenta um maior percentual de terrenos ondulados e fortemente ondulados, provocando uma taxa de erros maior tanto no SRTM sem registro com no SRTM com registro, este erro pode ser diminuído utilizando pontos de controles levantados em loco, melhorando a qualidade do registro sempre que o relevo apresentar estas características.

5.3 Descida da chapada

Tabela 6 – Erro médio quadrático na região que compreende a descida da chapada Diamantina

	SRTM sem registro	SRTM com registro
Número de pontos	660	660
EQM	18,181	12,754

Esta região apresentou o maior erro no SRTM sem registro, em decorrência do terreno ser bastante íngreme na região, o deslocamento na posição do traçado no perfil provoca grandes erros ponto a ponto, nestes casos é imprescindível um bom registro da imagem SRTM, pois estas regiões são as que geralmente necessitam de estruturas de maior peso e para suportar os esforços decorrentes dos grandes desníveis do terreno.

5.4 LT 230kV Ibicoara / Brumado

Tabela 7 – Erro médio quadrático da LT Ibicoara / Brumado

	SRTM sem registro	SRTM com registro
Número de pontos	3800	3800
EQM	14,722	10,685

Quando analisado todo o traçado da linha de transmissão, observa-se que o perfil relativo ao SRTM sem registro é 37,8% maior do que o erro do SRTM registrado, e que os erros concentram-se principalmente em regiões de grandes desníveis como nas serras, estes erros, influenciam bastante a plotação em pela necessidade de plotar a linha com estruturas mais robustas e conseqüentemente mais pesadas, influenciando no orçamento final para leilão, já as regiões relativamente planas, esse erro para efeito de plotação não influenciará de forma significativa o orçamento.

A figura x mostra de forma visual, as diferenças de cotas em uma região de serra no município de Brumado, onde a diferença entre o perfil do SRTM (linha azul) e a plotação de campo (linha vermelha) são bem maiores do que a diferença entre a plotação do SRTM com registro (linha verde) e a plotação de campo.

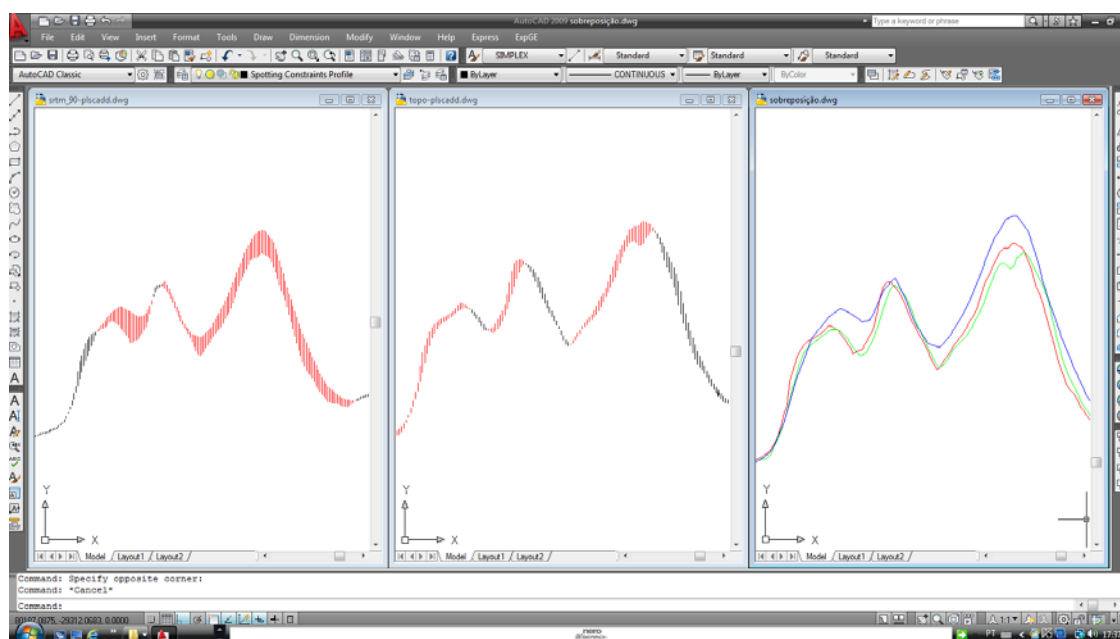


Figura 27 – Comparação dos perfis em uma região de serra

CONCLUSÃO

A finalidade dessa pesquisa foi utilizar técnicas de Geoprocessamento que permitissem um melhoramento na acurácia dos MDE's utilizados para definição do perfil do traçado de linhas de transmissão.

Os resultados apresentados nas tabelas 4, 5, 6 e 7 veem mostrar o ganho obtido ao utilizar técnicas de Geoprocessamento sobre as imagens do MDE SRTM principalmente em regiões de relevo acidentado, como é possível verificar de forma visual nas figuras 26 e 27 a diferença de cotas num trecho de serra.

Diante dos resultados e análises apresentadas, há de se observar um ganho na utilização da técnica de registro nas imagens SRTM sobre as mesmas antes da aplicação das técnicas. A utilização de cartas da SUDENE para este fim mostrou que de forma simples, barata e pouco tempo de processamento é possível adquirir um perfil satisfatório para uso em plotações preliminares, haja vista que para este fim não se faz necessário grandes precisões altimétricas.

Apesar do uso do SRTM ser satisfatório para determinação do perfil e conseqüentemente calculo de tonelagem de aço para fins de orçamento, este ainda não havia sido confrontado com o levantamento topográfico de campo, impedindo um melhor aproveitamento do dado. Este trabalho vem aumentar a confiança e permitir a Chesf a concorrer nos leilões com maior competitividade devido à maior confiabilidade das informações sobre o terreno e conseqüentemente custos com aço.

Mesmo ciente que os resultados da pesquisa apresentaram avanços, deve-se ressaltar a necessidade da análise ser expandida para regiões diversas a encontrada na linha do estudo. Isto é essencial para que o método venha a ser utilizado com maior confiabilidade e permita baixar o fator de segurança utilizado no preço estimado da tonelagem de aço nos orçamentos dos futuros leilões que a Chesf vier a participar.

O uso do Geoprocessamento foi imprescindível nas etapas de desenvolvidas da pesquisa, sendo impossível trabalhar essa variedade de dados sobre uma extensa área em pouco tempo sem a necessidade de viagens a campo para aquisição de novos dados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CORDOVEZ, J. C. G. *Mapeando cidades In Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto*, 5. 2004, Aracaju. Resumos... Aracaju: SEPLAM, Sergipe. P. 27.
- FITZ, PAULO ROBERTO. *Geoprocessamento sem Complicação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 158 p.
- FRIEDMANN, RAUL M. P. *Fundamentos de Orientação, Cartografia e Navegação terrestre*. 2ed. Curitiba UTFPR. 2008. 365p.
- MEIRELLES, M. S. P; CAMARA, G; ALMEIDA, C. M. *Geomática. Modelos e Aplicações Ambientais*. Brasília: Embrapa, 2007. 593 p.
- PINTO, M. B. P. *Entendimento e Acurácia dos Modelos Digitais de elevação Derivados de Dados SAR Aerotransportado do SIPAM*. 2007. 99 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2007.
- SILVA, H, S. *Métodos para Obtenção de Altimetria. Características, Vantagens e Aplicações*. 2008 Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S. A. Curitiba, 2008, 6 p.
- SOUZA, JULINA MIO DE, *Como melhorar a qualidade geométrica do modelo digital de elevação da Shuttle Radar Topography Mission, SRTM-3.13* 2007, Florianópolis, Anais... Florianópolis: INPE, 2007. P 1369-1376.
- VALERIANO, M. M; ALBUQUERQUE, P. C. G. TOPODATA. *Processamento dos Dados SRTM*. São José dos Campos: INPE, 2010. 81 p.