

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

João Mauricio Batista Filho

**ANÁLISE DA ACURÁCIA DA FERRAMENTA DE
ALTIMETRIA DO LABORATÓRIO DE AGRICULTURA E
FLORESTA**

ITAJUBÁ - MG

2013

João Mauricio Batista Filho

**ANÁLISE DA ACURÁCIA DA FERRAMENTA DE
ALTIMETRIA DO LABORATÓRIO DE AGRICULTURA E
FLORESTA**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu

ITAJUBÁ - MG

2013

João Mauricio Batista Filho

**ANÁLISE DA ACURÁCIA DA FERRAMENTA DE
ALTIMETRIA DO LABORATÓRIO DE AGRICULTURA E
FLORESTA**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 28 de junho de 2013, conferindo ao autor o título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Egidio Arai – INPE

Prof^a. Dr^a. Nívea Adriana Dias Pons - UNIFEI

Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu – UNIFEI (orientador)

ITAJUBÁ - MG

2013

Dedicatória

Dedico a todos os familiares e amigos, que me incentivaram e apoiaram nessa nova empreitada da minha vida.

Agradecimentos

Agradeço ao Pai Celestial pela oportunidade de trilhar esse novo caminho.

Agradeço também aos familiares e amigos que sempre valorizaram minha iniciativa e incentivaram minha dedicação.

Aos colegas de curso que sempre foram grandes companheiros nas horas difíceis e também nas horas boas durante esses dois anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu pela paciência em ensinar um aluno a tanto tempo afastado dos estudos. O Professor é realmente apaixonado pelo que faz, e com seu exemplo de dedicação ao trabalho, pude aprender muito mais do que técnicas de estudo e pesquisa. Obrigado.

Ao André Luiz Vieira Barouch, técnico responsável pelo laboratório de geoprocessamento, sempre solícito e disposto a ajudar com um sorriso no rosto, mesmo que fosse para sair no sol de meio-dia para subir morros com espinhos e carrapatos, grande pessoa, obrigado.

A todos os outros professores que de forma direta ou indireta estiveram presentes na minha formação.

A CAPES, pela bolsa que foi de fundamental importância para que eu me dedicasse a minha formação e ao desenvolvimento da pesquisa.

“Um homem demonstra ter verdadeira inteligência quando toma um assunto que é misterioso e grandioso por si mesmo e o desvenda e simplifica, de modo que até uma criança consiga compreendê-lo.”

PRESIDENTE JOHN TAYLOR

Resumo

O sensoriamento remoto é uma ferramenta de análise espacial de grande aplicabilidade que possibilita a visão sinótica de áreas a serem estudadas, o acompanhamento da evolução temporal e espacial de certos processos, além de outros estudos. Como exemplo desses estudos, na área de topografia, há uma ferramenta disponibilizado pelo LAF (laboratório de agricultura e floresta) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para Visualização de Séries Temporais MODIS em Aplicações de Análises de Mudanças de Uso e Cobertura da Terra. Essa ferramenta, além de apresentar os valores do índice de vegetação e precipitação, oferece ao usuário a possibilidade de visualizar a altimetria no entorno de um ponto qualquer da América do Sul. Esta informação, por estar disponível num ambiente de fácil acesso, fez com que esta plataforma se transformasse em fonte de contínuas consultas e aplicações. Porém, assim como os demais produtos de Sensoriamento Remoto, esses dados precisam ser continuamente testados e validados. Neste contexto, buscou-se nesse trabalho, cotejar dados de declividade medidos em campo, a partir do Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS) e, através do programa GLOBAL MAPPER, abastecido com dados do projeto TOPODATA do INPE com os perfis estimados através do programa do LAF. Esta comparação possibilitou chegar a um método satisfatório de uso da ferramenta de estimação da declividade do programa do LAF. Com isso, foram feitas várias análises relativas ao posicionamento da grade que sobrepõe o terreno, seu uso em diferentes tipos de relevo, o comportamento no cálculo da declividade do terreno, bem como sua acurácia.

Palavras chave: Sensoriamento Remoto, validação de dados, topografia, TOPODATA, LAF.

Abstract

Remote sensing is a tool for spatial analysis of wide applicability that enables the synoptic vision of the areas to be studied, the monitoring of temporal and spatial evolution of certain processes, in addition to other studies. As an example of these studies, in the field of topography, there is a program provided by LAF (laboratory of agriculture and forest) of the INPE for MODIS time series visualization in the analysis of Changes of use and land cover. This program, in addition to calculate the values of vegetation and precipitation index, offers the user the possibility to visualize the altimetry around any point of South America. This information is available in a very "friendly" environment, this platform became sources of continuous queries and applications. However, like other Remote sensing products, such information need to be continually tested and validated. In this context, this work, collating data from slope measured in the field, from the (DGPS) differential global positioning system and GLOBAL MAPPER program supplied with data from the TOPODATA project of the INPE with estimated profiles through the program of LAF. This comparison will make it possible to reach a satisfactory method of pet tool of declivity of the LAF program. With this, various analyses have been made concerning the placement of the grid that overlays the land, its use in different types of relief, the behavior in the calculation of the slope of the land, as well as its accuracy.

Key words: Remote Sensing, data validation, topography, TOPODATA, LAF.

Lista de Figuras

Figura 1: Gradeamento fixo e perfis do gráfico polar	20
Figura 2: Tamanho do quadrante e variação do ponto central	21
Figura 3: Distancias de estimativa dos perfis concêntricos em um perfil longitudinal	22
Figura 4: Exemplo de como o perfil longitudinal fica distante do perfil menor	23
Figura 5: Efeito espelho gerado pelo gráfico polar	24
Figura 6: Perfil do terreno em forma de vale obtido através do programa global mapper com dados SRTM	24
Figura 7: Em vermelho o ponto marcado no terreno	25
Figura 8: 5 pontos levantados na segunda área, e os 6 pontos levantados na terceira área	27
Figura 9: Origem dos valores para obtenção de alfa	28
Figura 10: Imagem DGPS.	29
Figura 11: Locais selecionados para análise dentro do município	30
Figura 12: Localização do município de Itajubá-mg	30
Figura 13: Pontos levantados na segunda área	32
Figura 14: Perfil longitudinal, bairro Unifei	34
Figura 15: Perfil longitudinal, bairro Estiva	34
Figura 16: Perfil longitudinal, campus Varginha	34
Figura 17: Localização dos pontos levantados nas áreas do bairro estiva e varginha e Unifei	35
Figura 18: Tela inicial do programa	37
Figura 19: Imagem da America do Sul e ponto selecionado e sua coordenada	38
Figura 20: Gráfico polar do respectivo ponto	39
Figura 21: Gradeamento fixo sobre o terreno	39
Figura 22: Detalhe do gráfico polar	40
Figura 23: Perfis concêntricos ao centro do quadrante	41
Figura 24: Distância norte-sul, leste-oeste do quadrante	41
Figura 25: Pontos medidos pelo DGPS sobre os perfis de 50 e 100m	44
Figura 26: Gráfico polar com estimativas de 50 e 100m	45
Figura 27: Perfil da rampa no bairro Estiva	46
Figura 28: Intercessões do perfil longitudinal	47
Figura 29: Intercessões do perfil	47
Figura 30: Gráficos dos quadrantes analisados na 2ª área, com estimativas de 50 e 100m	49
Figura 31: Vários quadrantes com apenas um gráfico	50
Figura 32: deslocamento do ponto marcado no terreno para o centro do quadrante	52
Figura 33: Cobertura do gráfico polar	52
Figura 34: Perfis longitudinais gerados pelo DGPS, TOPODATA e LAF	53
Figura 35: Gráfico polar com raios de 50 e 100m	53
Figura 36: distâncias entre as estimativas de dois quadrantes	54

Lista de Tabelas

Tabela01. Coordenadas do perfil longitudinal levantado no bairro Varginha.....	33
Tabela 02. Dados das três áreas estudadas, (Un) 1º área no campus da Unifei, (Es) 2º área na bairro Estiva, (Va) 3º área no bairro Varginha.....	36
Tabela 03. Valores de distância, altura e de diferença entre os pontos levantados pelo DGPS, GLOBAL MAPPER e TOPODATA.....	51

Sumário.

1-Introdução.....	12
2-Objetivos.....	13
2.1 <i>Objetivo Geral</i>	13
2.2 <i>Objetivo específico</i>	13
3-Fundamentação Teórica.....	14
4-Materiais e Métodos.....	26
4.1 <i>Fórmulas de cálculo</i>	27
4.2 <i>DGPS</i>	28
4.3 <i>Global Mapper com dados Topodata</i>	33
4.4 <i>O LAF</i>	36
5-Resultados e Discussões.....	43
5.1 <i>Resultados da 1ª área</i>	43
5.2 <i>Resultados da 2ª área</i>	46
5.3 <i>Resultados da 3ª área</i>	51
6-Conclusões.....	56
7-Referências Bibliográficas.....	57

1. Introdução

A declividade é componente de estudos para execução de várias atividades sobre o relevo, como diagnósticos de áreas passíveis de deslizamento e, conseqüentemente, para áreas destinadas a ocupação humana, delimitações de áreas de proteção permanente, regiões com potencial de geração de energia eólica, escoamento superficial de bacias hidrográficas, entre outros.

Assim, dada a importância dos dados topográficos para as diversas áreas das Ciências Ambientais e da aplicação extensiva destes dados, a presente proposta visa estudar o alcance de aplicação das informações altimétricas disponíveis no Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF).

Esta informação, por estar disponível num ambiente de fácil acesso, fez com que esta plataforma se transformasse em fontes de contínuas consultas e aplicações.

Porém, como será mostrado ao longo do trabalho, cuidados devem ser tomados quando de sua utilização, devido a algumas características do programa, como o gradeamento fixo e o espaçamento dos perfis do gráfico polar por exemplo, especialmente em terrenos que apresentam intensas variabilidades altimétricas.

Serão abordados alguns problemas associados ao uso do produto de altimetria do programa do LAF que merecem maior atenção: 1) deslocamento do ponto de estimativa do perfil do relevo; 2) a relação entre a posição da grade e o relevo; 3) o efeito espelho gerado em vales estreitos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral:

Investigar a eficiência da ferramenta do LAF nas estimativas de declividade do terreno, a partir de comparação com dados estimados pelo GLOBAL MAPPER abastecido com dados do TOPODATA e também com dados medidos em campo.

2.2 Objetivos Específicos:

- 1) Identificar e avaliar possíveis restrições quanto a utilização do produto altimétrico do LAF.
- 2) Propor um método de utilização deste produto que permita contornar os problemas identificados no objetivo anterior.

3. Fundamentação Teórica

Nas áreas de Ciências Geodésicas e Cartográficas é muito comum encontrar o termo acurácia, utilizado para indicar a qualidade de uma grandeza observada ou parâmetro estimado (MÔNICO et al., 2009).

Ainda segundo Mônico et al. (2009) a acurácia incorpora tanto tendência (erros sistemáticos) quanto precisão (erros aleatórios). Assim, vários procedimentos foram desenvolvidos nas áreas de Geodésia, Cartografia, Fotogrametria e ciências correlatas, visando reduzir erros sistemáticos durante a coleta de dados, bem como durante o processamento envolvendo o ajustamento dos dados.

Mikhail e Ackermann (1976) apresentam acurácia como sendo o grau de proximidade de uma estimativa com seu parâmetro (ou valor verdadeiro), enquanto precisão expressa o grau de consistência da grandeza medida com sua média.

O tamanho do pixel é de grande importância na acurácia de um modelo digital de elevação (MDE), um pixel de 90m tem área de 8100m² o que influencia o resultado final pois o relevo não é constante nesse espaço (BARROS e CRUZ, 2007).

A representação do terreno, onde são realizados trabalhos diversos, possui grande utilidade dentro das mais variadas áreas das engenharias e ciências da Terra. Modelagem de terreno, determinação de cotas, mapas topográficos e produtos satelitários são alguns dos produtos bastante requisitados, tanto num planejamento, bem como no monitoramento de diversas aplicações (FRANÇA, 2011).

Um dos instrumentos mais utilizados para medições em campo é o DGPS, pois apresenta um alto grau de confiabilidade em seus resultados com precisão na ordem de milímetros (LAROCCA, 2004).

O sistema de posicionamento global como é atualmente teve seu início após o lançamento dos primeiros satélites NAVSTAR (*Navigation System using Time and Ranging*) e após constatada sua grande aplicabilidade o governo

americano acabou por abrir o acesso para uso civil e a partir da década de 90 o sistema se popularizou já que o levantamento altimétrico feito com o auxílio do DGPS é bastante vantajoso em relação a outros métodos utilizados (TAGLIANI et al, 2006).

O modelo de altimetria do programa do LAF utiliza como base o Google Maps e, como o próprio site do laboratório informa, a precisão desses dados é desconhecida. Estudos mostram que quando comparado ao GPS de navegação, há uma ótima coerência entre estas fontes de dados (ALMEIDA FILHO et al. 2011).

Assim como o Sistema de Posicionamento Global, desde que foram disponibilizadas pela *United States Geological Survey* (USGS) após a missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), os modelos digitais de elevação (MDE) vem cada vez mais ganhando espaço nos mais variados estudos, devido a sua aplicabilidade e fácil acesso. Os novos sensores orbitais e a aquisição contínua de imagens da superfície terrestre têm oferecido um volume e variedade cada vez maior de dados a comunidade de sensoriamento remoto (Freitas et al. 2011).

A Agência Espacial Alemã (DLR) (<<http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10002/>>) busca realizar um novo trabalho que alcançará uma melhora na qualidade dos dados, passando de uma resolução espacial de 30m por 30m e vertical que vai de 16m a 10m para 12m por 12m e vertical de 2m. Tais esforços demonstram como os modelos SRTM constituem uma fonte de dados largamente utilizada em estudos e pesquisas nos dias de hoje.

SRTM é uma sigla referente à missão Endeavour, com o objetivo de obter dados altimétricos em diversas áreas do mundo. A nave espacial foi posta em órbita em fevereiro de 2000 e a missão teve duração de 11 dias, através dos quais 80% da superfície terrestre foi imageada, compreendendo os paralelos de 60°N e 56°S. A técnica utilizada no trabalho foi a interferometria, a partir da qual foram obtidos modelos tridimensionais (FRANÇA, 2011).

Nessa linha, o Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF-<https://www.dsr.inpe.br/laf/series/index.html>) disponibiliza uma ferramenta para

a visualização instantânea das séries temporais derivadas de imagens de sensoriamento remoto. Esta ferramenta que possibilita estimar a altimetria em torno de um ponto foi desenvolvida dentro do conceito de um Laboratório Virtual de Sensoriamento Remoto, para dar suporte a estudos e análises de mudança de uso e cobertura da terra (FREITAS et al., 2011).

A ferramenta do LAF gera dados de elevação que são obtidos dos modelos de elevação disponíveis no globo virtual do Google Maps. Essas curvas são úteis para avaliar a declividade e outros aspectos topográficos relacionados ao entorno da coordenada geográfica selecionada (FREITAS et al., 2011).

Há uma incerteza quanto a precisão altimétrica e planimétrica dos dados. Então, assim como os demais produtos de Sensoriamento Remoto, esses dados precisam ser continuamente testados e validados com dados medidos em campo.

Estudos feitos em regiões com baixas variações de altitudes mostram que os modelos SRTM podem ser utilizados em substituição as cartas de 1:100.000 (SANTOS et al, 2005) e também a comparação com mapas de 1:250.000 mostraram uma exatidão altimétrica do dados SRTM muito próximas as existentes nas cartas topográficas.(LEMOS et al, 2009).

Já em regiões montanhosas o modelo se comporta de maneira bastante boa. O tamanho do pixel tem grande influencia na qualidade do MDE, o MDE SRTM apresenta uma resolução de 3arcos seg. ou 90m, uma maneira de minimizar o efeito negativo do tamanho do pixel é objetivo do projeto TOPODATA. (BARROS e CRUZ, 2007).

Para o Brasil, os dados SRTM possuem uma medida altimétrica com resolução em uma área de 90 metros por 90 metros (3"). Por isso optou-se por utilizar dados do projeto TOPODATA que possui uma resolução de 30 metros por 30 metros(1").

O refinamento consiste na interpolação dos dados correspondentes ao MDE original do SRTM, tanto sobre o refinamento quanto como sobre a derivação foi feita extensa pesquisa de observação, análises e testes,

conduzida ao longo de projetos de pesquisa regionais (VALERIANO et al. 2009).

O projeto TOPODATA oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores (VALERIANO et al. 2009).

Esses dados, que são disponibilizados na internet para livre acesso da comunidade de usuários, representam insumos fundamentais para a elaboração de informações de maior complexidade do relevo. (VALERIANO et al. 2009).

Segundo Valeriano e Rossetti (2010) a iniciativa 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.

O atendimento a projetos diversos que favorecessem o levantamento das informações de interesse levou à preparação de diferentes conjuntos de dados SRTM. Assim, em busca de MDE's refinados que ilustrassem as condições do relevo foram apontadas áreas de planos, vertentes, drenagem, feições convexas e feições côncavas (VALERIANO et al. 2009).

A resposta do modelo TOPODATA, frente a outros modelos digitais de elevação, o colocam como o mais indicado para terrenos acidentados. Acredita-se que esse resultado deve-se ao processo de refinamento por krigagem que transformou as células originalmente do SRTM de 3 arco-segundo (~ 90 m), para 1 arco-segundo (~30 m) (MICELI et al. 2011) . O fácil acesso a esse tipo de informação torna mais ágil o desenvolvimento de análises ambientais que tem a declividade como fator de interesse.

A análise da declividade possibilita evidenciar a distribuição das inclinações de uma superfície do terreno na paisagem. A inclinação das vertentes é um dos fatores que contribuí na instabilidade das encostas, acarretando consequentes processos erosivos e movimentos coletivos de materiais. Quanto maior o ângulo da declividade, mais rapidamente a energia

potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, aumentando a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsável pelos processos erosivos (SILVEIRA et al. 2006).

A representação cartográfica da declividade do relevo é feita através de mapas temáticos, expressos em classes com agrupamentos de intervalos que podem variar, de acordo com o objetivo que o trabalho se propõe ou adaptação às condições físicas da área estudada (SILVEIRA et al. 2006).

A lei nº 12.651 de áreas de proteção permanente estipula, entre outros, que as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive e topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, devem ser preservadas.

Há vários agrupamentos de intervalos para classificação dos valores de declividade, por exemplo, estudos desenvolvidos pelo INPE (1999), visando subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico dos estados da Amazônia legal, os intervalos utilizados foram <2%, 2-6%, 6-20%, 20-50 e >50%. No trabalho desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2003) para o Zoneamento Geoambiental da Região de Irauçuba/CE, foram 0-3%, 3-8%, 8-20%, 20-45% e >45%. Na resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 289/2004, definindo intervalos de declividade para estudos de impactos ambientais, são propostas as classes de 0-5%, 5-10%, 10-15%, 15-25%, 25- 47%, 47-100% e >100% (SILVEIRA et al. 2006).

A declividade é usada também para estimar o índice de concentração da rugosidade (ICR), onde os valores de declividade são agrupados em classes e relacionados a rugosidade do terreno. Essa estimativa pode ser feita através do estimador de Kernel (SOUZA e SAMPAIO, 2010).

Para realizar essa análise espacial da dispersão ou concentração o ICR adota como referencial a distribuição espacial da declividade, utilizando valores indiretos da rugosidade, a partir da repetição dos valores de declividade por unidade de área (SOUZA e SAMPAIO, 2010).

Quanto à geração de energia eólica, as características do relevo constituem um dos elementos mais importantes na caracterização do escoamento atmosférico de um dado local, dada a sua elevada dependência da complexidade do terreno em análise (JERVELL, 2008).

As montanhas, depressões, vales e afunilamentos podem alterar as características do escoamento atmosférico de diferentes formas. O aquecimento das encostas das montanhas durante o dia e arrefecimento durante a noite, fazem com que o ar adjacente à montanha aqueça ou arrefeça por condução e mistura, originando fenômenos térmicos (JERVELL, 2008).

Assireu et al. (2011) usou dados de vento e MDE para mostrar que o efeito de afunilamento promovido pelo relevo no entorno do reservatório de Itumbiara promove uma intensificação do vento neste ambiente.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais. A caracterização morfométrica de uma microbacia hidrográfica é fundamental para a elaboração e instalação de projetos de infraestrutura, pois conhecendo a dinâmica do escoamento superficial de uma bacia, tem como minimizar enchentes e direcionar o fluxo de água pluvial para pontos estratégicos da microbacia (SILVA et al. 2009).

O estudo e a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas pode auxiliar a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos (OLIVEIRA et al. 2010).

As bacias hidrográficas são um conjunto de terras que drenam a água para um ponto comum. Para organizar as políticas públicas brasileiras adotou-se o conceito de Regiões Hidrográficas (RH). As RH brasileiras podem ser estudadas utilizando o SRTM, que permite estimar o comprimento e a localização, bem como a quantidade de ordens de rios (MALAFAIA FILHO, 2013).

Há um subproduto do SRTM, o *SRTM Water Body Data* (SWBD), o SWBD é uma compilação das massas de água obtidas através do SRTM, disponível no site da USGS (http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SWBD/) (MALAFAIA FILHO, 2013).

Em regiões semiáridas, o aproveitamento do volume de águas escoadas superficialmente ganha maior importância para uso humano e animal e para o armazenamento em reservatórios superficiais e subterrâneos, fazendo-se necessário um maior conhecimento dos canais de escoamento da água (ARAUJO e SILVA, 2011).

Canais com grande diferença de cota entre a nascente e a foz se comparada a um canal em uma área plana, possuirá um fluxo superficial mais rápido, assim, a declividade é fator preponderante para o comportamento do fluxo superficial na superfície do terreno (ARAUJO e SILVA, 2011).

Então, para chegar ao valor de declividade, são necessários os valores de altura do terreno, para isso, a ferramenta de altimetria do LAF gera um perfil do terreno através de um gráfico polar que estima o relevo através de dois perfis concêntricos de raio que pode variar de 50 a 5000m (Figura 1).

Ao marcar um ponto no terreno, espera-se que o gráfico polar ilustre o relevo que envolve este ponto. Porém, se o ponto em análise estiver na extremidade de um quadrante da grade que o programa sobrepõe ao terreno ocorre um deslocamento do gráfico.

Devido a forma de gradeamento fixo do programa, o centro do gráfico que deveria coincidir com o local do ponto P consultado pelo usuário é deslocado para o centro do quadrante onde o ponto está inserido (Figura 2).

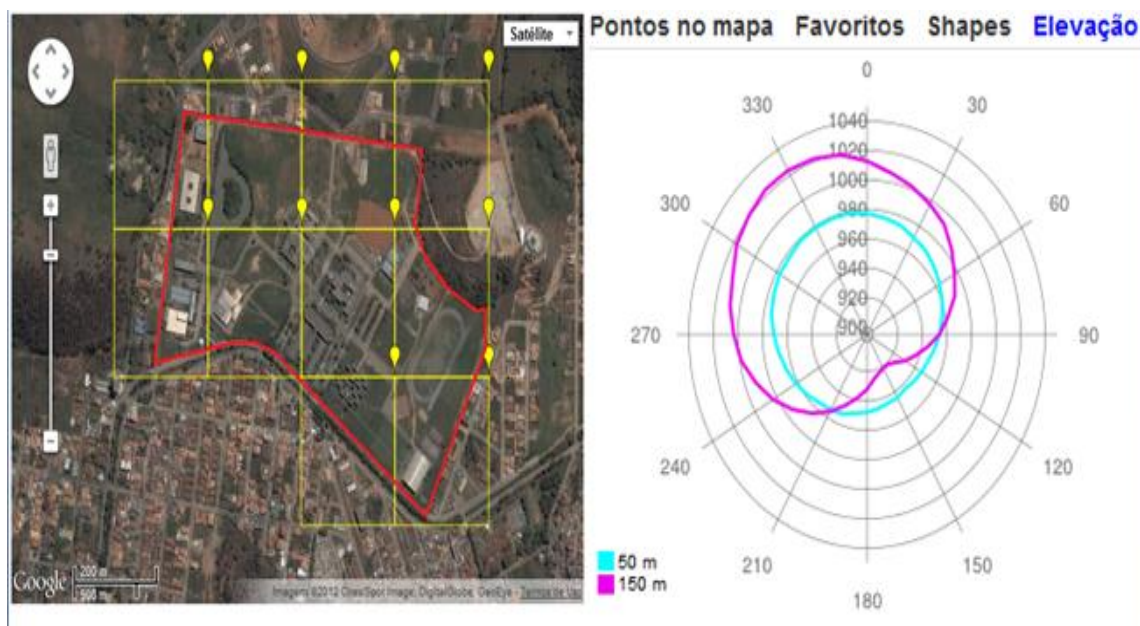


Figura 1: Gradeamento fixo e perfis do gráfico polar. Fonte: LAF, 2013.

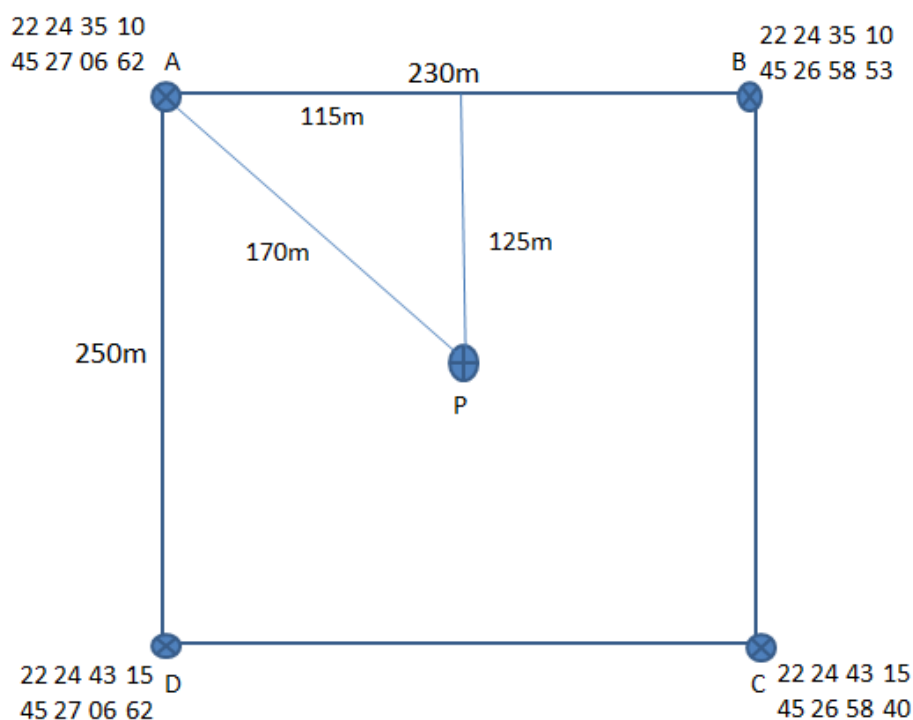


Figura 2: tamanho do quadrante e variação do ponto central.

O programa se baseia em um gradeamento fixo sobreposto ao terreno (Figura 1), e as estimativas altimétricas são feitas a partir do ponto central de cada quadrante dessa grade.

Com isso, em qualquer lugar onde o ponto esteja localizado, ele será deslocado para o centro do quadrante que está inserido.

Essa distância tem uma variação máxima de 170m (Figura 2) o que, em terrenos planos, não representa problemas. Porém, em terrenos com curvaturas acentuadas, alguns problemas podem surgir.

Esse gradeamento fixo influencia nas estimativas de diferentes modos, de acordo com o relevo e o recorte da área a serem estudados. Sendo que a distorção está diretamente relacionada à irregularidade do relevo, quanto maior a irregularidade maior a distorção conforme será mostrado detalhadamente adiante.

Outra situação identificada é a das lacunas geradas na interpolação das estimativas de vários quadrantes.

Quando há necessidade do uso de dois ou mais quadrantes na estimativa da declividade do terreno, ocorre o problema do espaçamento entre as informações do relevo. Isto ocorre, por exemplo, ao traçar um perfil longitudinal, cuja extensão ultrapasse o tamanho do quadrante que é de 230 x 250m. Neste caso, é necessário fazer o gráfico polar do quadrante seguinte e assim por diante (Figura 3).

Por exemplo, um quadrante tem 230m no sentido horizontal (Figura 2), então a partir do ponto central, o quadrante tem 115m até sua borda, assim a distância entre a estimativa de raio maior (100m) do primeiro quadrante para a estimativa de raio maior (100m) do segundo quadrante é de 30m, já que ambas estão a 100m de distancia do centro do seu respectivo quadrante. E a distancia entre as duas estimativas do raio menor do segundo quadrante é de 100m (Figura 3).



Figura 3: Distancias de estimativa dos perfis concêntricos em um perfil longitudinal (linha laranja).

Essa situação ocorre quando as estimativas de ambos os gráficos são feitas com o mesmo valor (50 e 100m, por exemplo), os pontos de intercessão ficam muito próximos e em seguida muito distantes (Figura 3).

Outro fator que influencia no uso de dois quadrantes ou mais é a posição do local a ser estudado em relação às estimativas dos perfis concêntricos. Como será explicado mais adiante pode acontecer de nem todos os perfis se sobreporem ao perfil longitudinal (Figura 4), que por se estender por vários quadrantes tem posição diferente entre eles, ocasionando erros nas estimativas de declividade.



Figura 4: Exemplo de como o perfil longitudinal (linha vermelha), por estar deslocado dentro do quadrante fica distante do perfil menor.

O terceiro item identificado é que ao utilizar o programa do LAF para análise da declividade em terrenos com o formato de vale aparece o problema do efeito espelho, que é quando o gráfico polar indica a rampa para o lado oposto ao real (Figura 5).

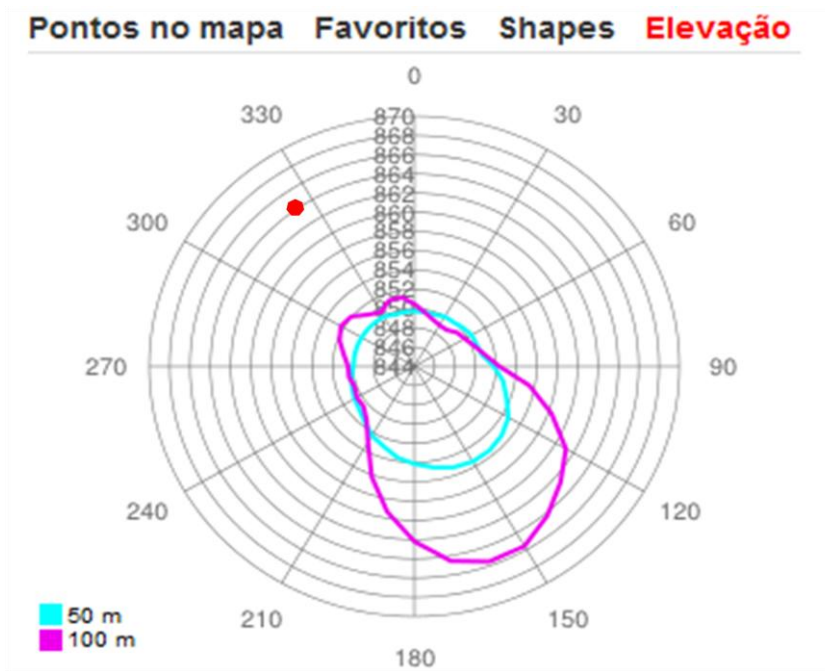


Figura 5: Efeito espelho gerado pelo gráfico polar, em vermelho o verdadeiro ponto a ser estimado. Fonte: LAF, 2013.

Tal efeito pode acontecer em vales estreitos, do mesmo tamanho ou que não tenham largura maior que o espaço do quadrante que é de 230 x 250m, de modo que não seja necessário o uso de mais um quadrante, ressaltando sempre que esse efeito, como todas as outras distorções que foram discutidas, estão condicionados a posição fixa da grade sobre o terreno.

Isso ocorre quando é marcado um ponto de um lado do vale (Figura 6) e esse está na extremidade do quadrante (Figura 7). Como o gráfico polar é feito a partir do centro do quadrante do respectivo ponto, no caso dos vales estreitos faz com que seja representado no gráfico o lado oposto, como indicado na figura 5.

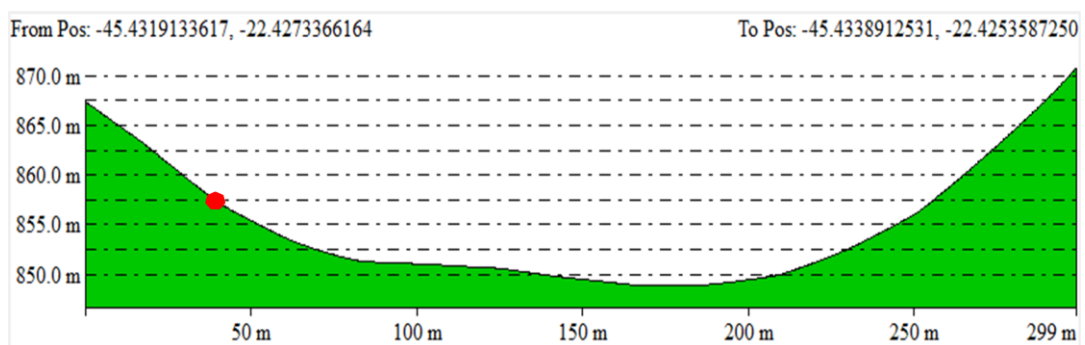


Figura 6: Perfil do terreno em forma de vale obtido através do programa global mapper com dados SRTM. Em vermelho o ponto a ser estimado.

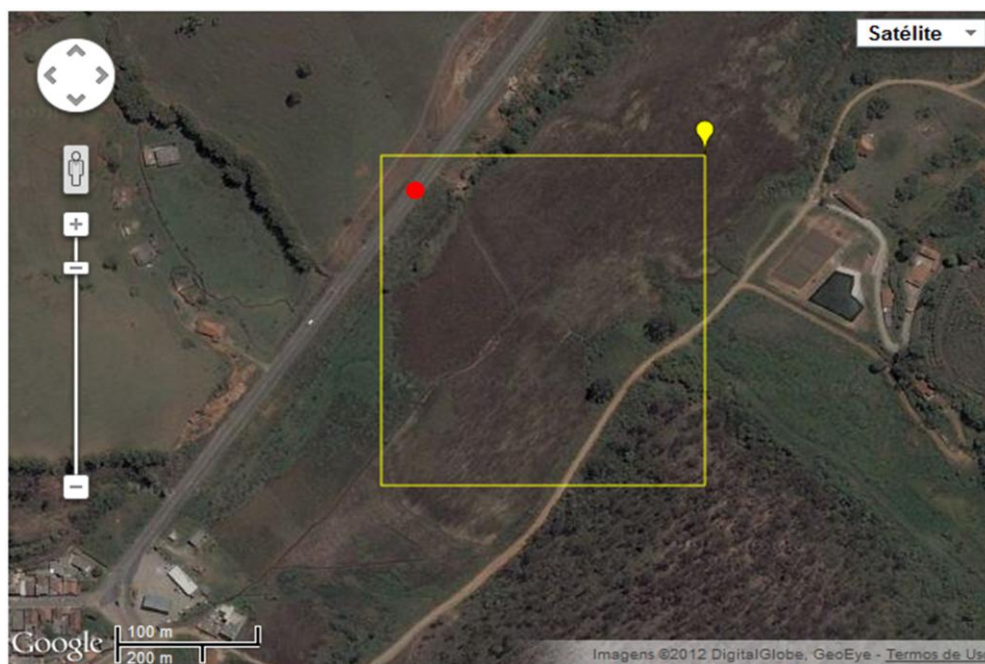


Figura 7: Em vermelho o ponto a ser estimado e sua posição dentro do quadrante.

Fonte: LAF, 2013.

4. Materiais e Métodos

Foram analisados três aspectos do produto de altimetria do LAF: 1º a acurácia dos dados altimétricos, 2º a relação da posição da grade sobre o terreno e 3º a distorção causada pelo deslocamento do gráfico polar.

Para o primeiro caso foi escolhida uma área plana para que a variação do relevo influenciasse o menos possível nos resultados. Nesse caso as medidas com o DGPS foram realizadas exatamente onde o gráfico polar ilustra o relevo.

Para o segundo caso foi escolhida uma rampa que ocupa a extensão de dois quadrantes, posicionada de forma desigual entre eles. Este caso evidencia os cuidados a serem tomados, nesse tipo de situação, ao calcular a declividade usando o gráfico polar.

Foi traçado um perfil longitudinal com o GLOBAL MAPPER através de cinco pontos levantados com o DGPS, que serviram como referencia do resultado a ser alcançado usando o gráfico polar (Figura 8)

Para o terceiro caso foi escolhida uma área na forma de vale, onde o posicionamento da grade exemplifica como o deslocamento do ponto para o centro do quadrante influi na ilustração do relevo (Figura 8).

Este caso mostra como o deslocamento do ponto pode mudar o resultado gerado pelo gráfico polar de maneira que o relevo fica ilustrado na parte oposta a real.

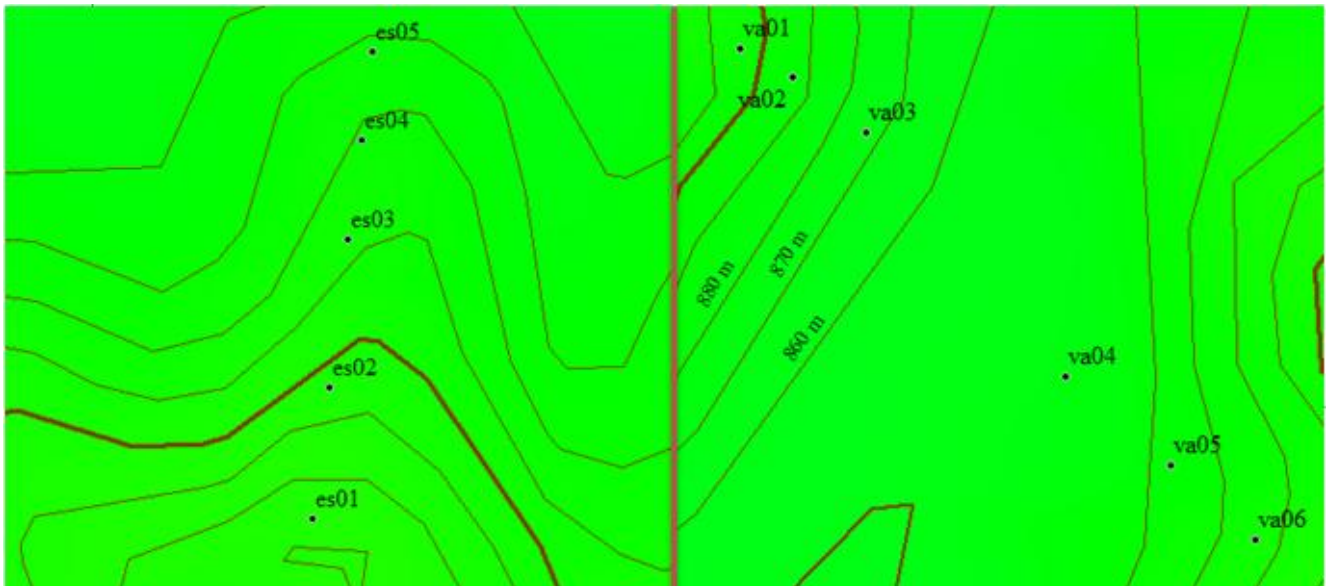


Figura 8: 5 pontos levantados na segunda área, e os 6 pontos levantados na terceira área.

4.1 Fórmulas de Cálculo.

A declividade foi obtida através das seguintes equações:

$$tg\alpha = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \quad (1)$$

Para resultado em %:

$$D = tg\alpha \times 100 \text{ Onde } D \text{ é declividade.} \quad (2)$$

Para resultado em graus:

$$\alpha = tg^{-1}\left(\frac{D\%}{100}\right) \quad (3)$$

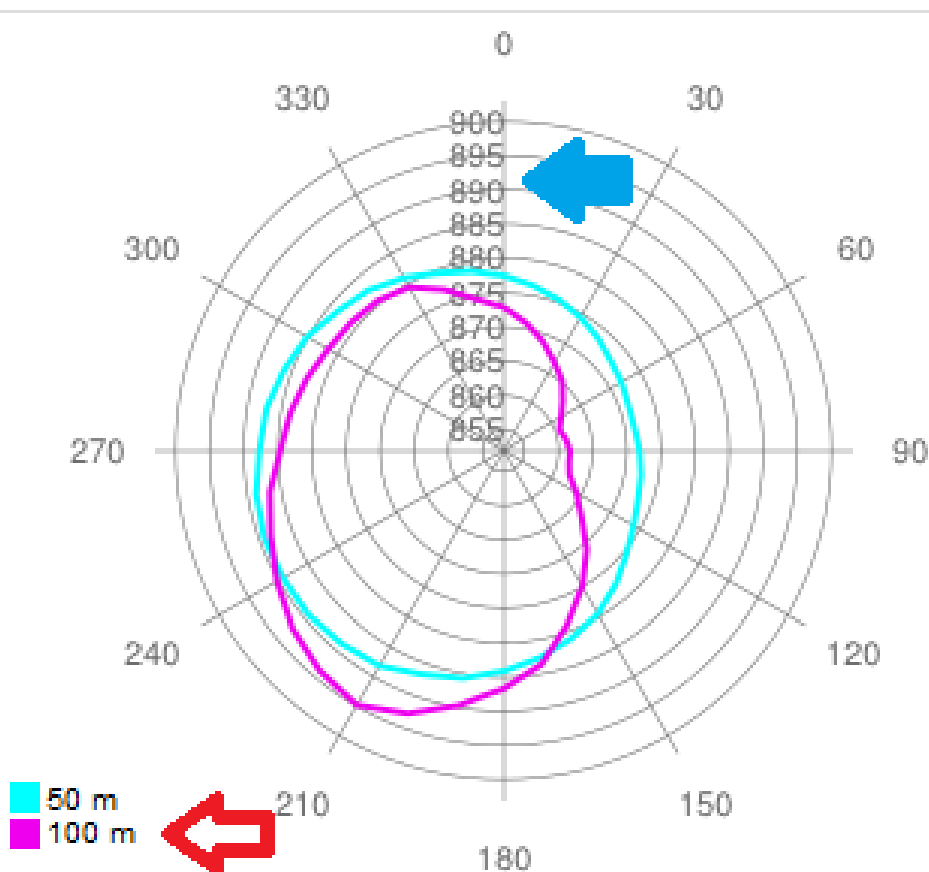


Figura 9: Origem dos valores para obtenção de alfa. A seta azul indica o valor do cateto oposto e a vermelha do adjacente.

Como a figura 9 exemplifica, o valor do cateto oposto é indicado na escala do gráfico polar, e do cateto adjacente no incremento entre as isolinhas (que varia de 50 em 50m). No caso acima o gráfico mostra que o terreno está a 885m de altura a 50m metros do ponto marcado, sentido sul.

4.2 DGPS.

Para o levantamento de campo foram utilizados dois DGPS ASHTECH, modelo PROMARK 3 e 2 código C/A e L1 (Figura 10).

O uso do DGPS tem por finalidade obter precisões superiores às precisões obtidas com o GPS de navegação. O DGPS fornece informações precisas ao usuário a respeito de sua localização através do emprego de estações base ou de referência fixa em terra, essa estrutura acrescenta maior precisão aos dados coletados por receptores GPS a partir de uma correção diferencial.

Foram feitas visitas a campo em três áreas, dentro do município de Itajubá-MG, para levantamento dos dados altimétricos através do DGPS (Figura 11).



Figura 10: Imagem DGPS.

O município de Itajubá está localizado no sul do estado de Minas Gerais (Figura 12), situa-se entre relevos de degradação em planaltos dissecados com morros rebaixados, arredondados ou alongados e escarpas, denominados relevo de morros e montanhoso. Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300 metros nos morros, e no relevo montanhoso predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais acima de 300 metros (PRIMO, 2004 apud Mota e Pons, 2011).

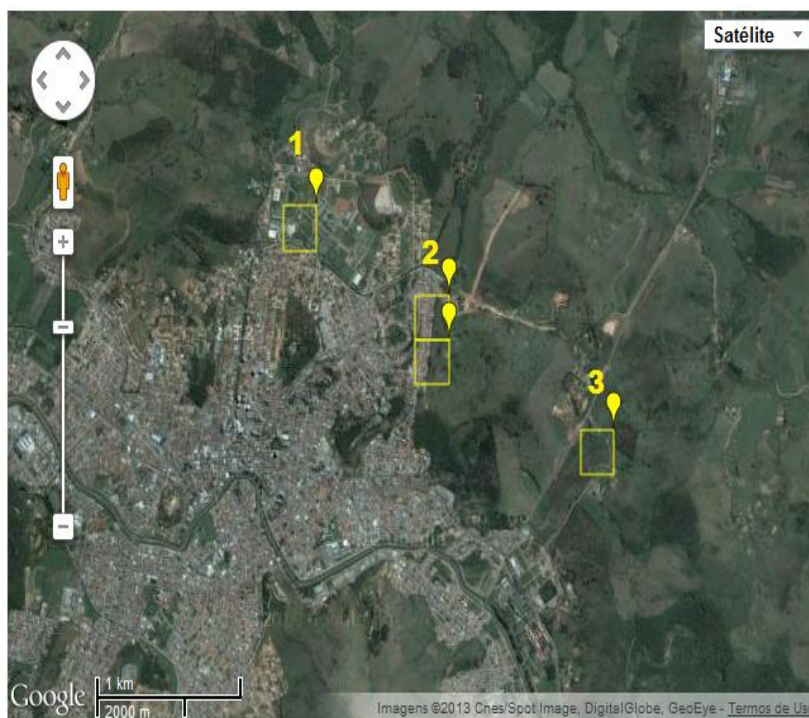


Figura 11: Locais selecionados para análise dentro do município. O quadrante 1 corresponde a área situada no campus da Unifei, o quadrante 2 a área no bairro Estiva e o quadrante 3 a área no bairro Varginha. Fonte: LAF



Figura 12. Localização do município de Itajubá-mg, e área do município dentro dos limites da Serra da Mantiqueira (linha vermelha). Fonte: Pastor da Mantiqueira.

A primeira área corresponde ao quadrante de coordenada -22.314120, -45.450715, onde foram feitas três medições com o DGPS.

Essa área fica situada dentro do Campus da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), e tem feição plana.

A primeira medida foi realizada no ponto correspondente ao centro do quadrante.

Foi utilizado um GPS de navegação para localização da coordenada do quadrante, e após isso, foi feita a medição com o DGPS.

No gráfico polar, o terreno foi ilustrado com raios de 50 e 100m, assim sendo, após a primeira medida correspondente ao centro do quadrante, foi feito, utilizando uma trena, outra medida a 50m de distância do 1º ponto no sentido norte.

Em seguida, novamente utilizando a trena, foi medido mais um ponto a uma distância de 50m do 2º ponto, sentido norte, totalizando 100m de distância do ponto central.

Assim, foram levantados três pontos com o DGPS correspondentes ao ponto central do gráfico polar, ao raio de 50m e de 100m, possibilitando a comparação entre os resultados de cada método.

A segunda área corresponde aos quadrantes -22.419655, -45.441735 e -22.417610, -45.441735, e fica localizada no bairro Estiva no município de Itajubá-MG.

Nessa área foram medidos cinco pontos com o DGPS de forma a revelar a declividade da rampa onde se localiza o bairro (Figura 13).

A distância entre o primeiro ponto (22°25'15.3010"S 45°26'34.1436"W) e o segundo (22°25'11.0475"S 45°26'33.5467"W) é de 132m.

Entre o segundo e o terceiro (22°25'06.2501"S 45°26'32.8738"W) a distância é de 148m.

Do terceiro ao quarto (22°25'03.0340"S 45°26'32.4215"W) são 99m.

E entre o quarto e o quinto ponto ($22^{\circ}25'00.1626''S$ $45^{\circ}26'32.0110''W$), 89m.

Esses pontos foram medidos partindo da parte mais alta da rampa em direção a base, e os valores de altura foram: 1ª ponto 923,9m, 2º ponto 909,1m, 3º ponto 895,4m, 4º ponto 886,5m, 5º ponto 874,5m.

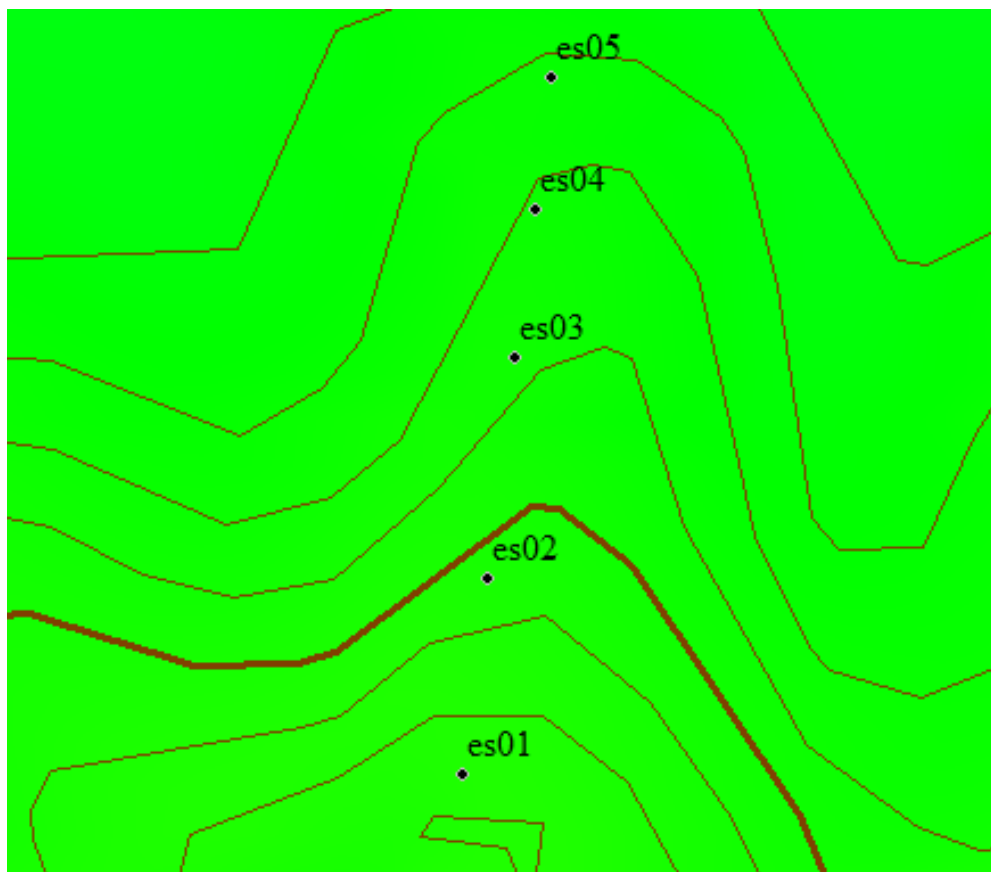


Figura 13: Pontos levantados na segunda área.

A terceira área corresponde ao quadrante -22.424345 , -45.430510 que fica localizado no bairro Varginha no município de Itajubá-MG.

Para esta área foram levantados seis pontos no sentido transversal ao vale do qual o quadrante está sobreposto. Tabela 01.

Tabela01: Coordenadas do perfil longitudinal levantado no bairro Varginha.

ponto	Coordenada (LAT. LONG.)
1º	22°25'21.6223"S 45°25'56.9160"W
2º	22°25'22.3003"S 45°25'55.5872"W
3º	22°25'23.6109"S 45°25'53.7839"W
4º	22°25'29.3359"S 45°25'48.7970"W
5º	22°25'31.4217"S 45°25'46.1542"W
6º	22°25'33.1725"S 45°25'44.0525"W

As distancias entre eles são: Entre 1º e o 2º 43m, entre o 2º e o 3º 65m, entre o 3º e o 4º 226m, entre o 4º e o 5º 99m, entre o 5º e o 6º 80m.

4.3 GLOBAL MAPPER com dados TOPODATA.

Foram feitas comparações entre os resultados obtidos pelo laboratório virtual e os gerados pelo GLOBAL MAPPER com dados TOPODATA.

A imagem utilizada foi obtida através do banco de dados do projeto TOPODATA disponível em (<<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>), cena 22s465, variável grade, extensão .grd.

Com essa imagem, foram inseridas através do programa GLOBAL MAPPER, as coordenadas dos pontos levantados em cada área e assim foi gerado um perfil longitudinal (Figuras 14, 15 e 16) das áreas propostas a serem estudadas, para avaliar o comportamento de ambos os métodos.

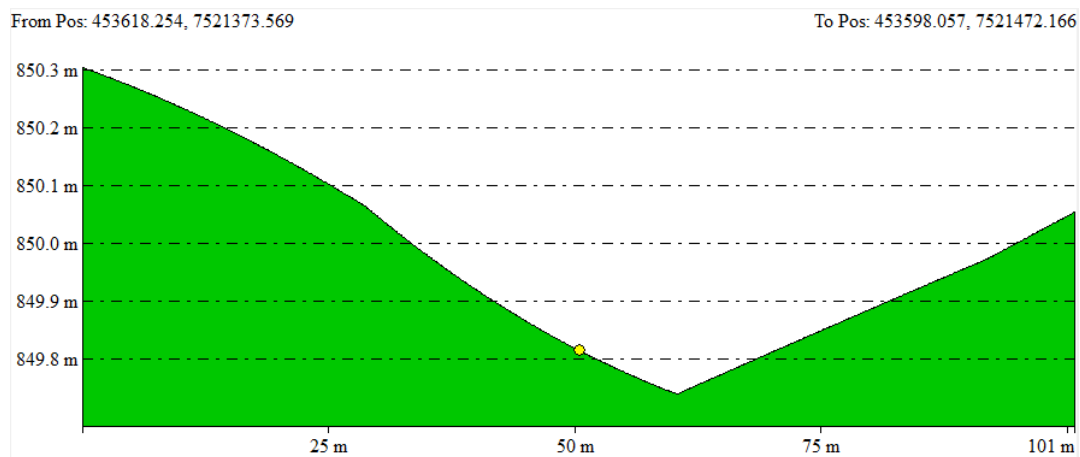


Figura 14: Perfil longitudinal, campus Unifei. . O ponto amarelo indica o local onde foram feitas as medidas com o DGPS.

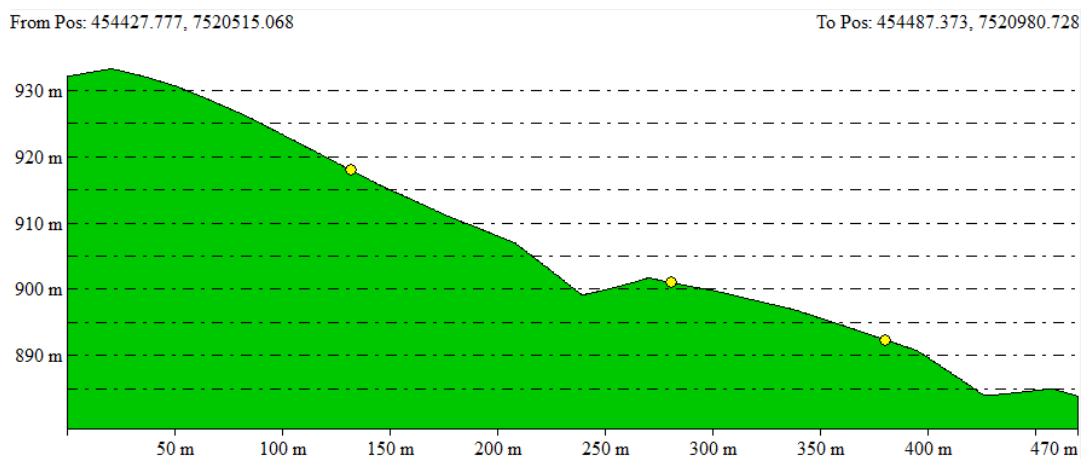


Figura 15: Perfil longitudinal, bairro Estiva. Os pontos amarelos indicam os locais onde foram feitas as medidas com o DGPS.

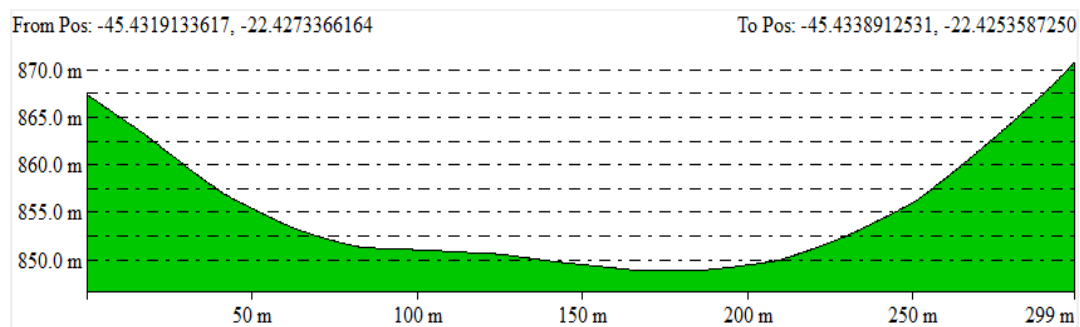


Figura 16: Perfil longitudinal, bairro Varginha

Foi utilizada a mesma nomenclatura para os pontos em todas as etapas do levantamento, sendo *Un* para os pontos da Unifei, *Es* para o bairro Estiva e *Va* para o bairro Varginha. As figuras ilustram as três áreas analisadas no trabalho, destacando-se a forma em vale da área localizada no bairro Varginha na figura 16. Na figura do bairro Estiva são apontados os locais dos pontos levantados pelo DGPS. Na figura 14 do campus da Unifei, apesar da imagem aparentar um forte declive deve-se atentar para a escala que mostra a variação de apenas 0,5m no perfil de 100m de comprimento.

O programa fornece a localização dos pontos (Figura 17) e também os dados de altura (Tabela 2) do terreno nos catorze pontos coletados em campo com o DGPS.

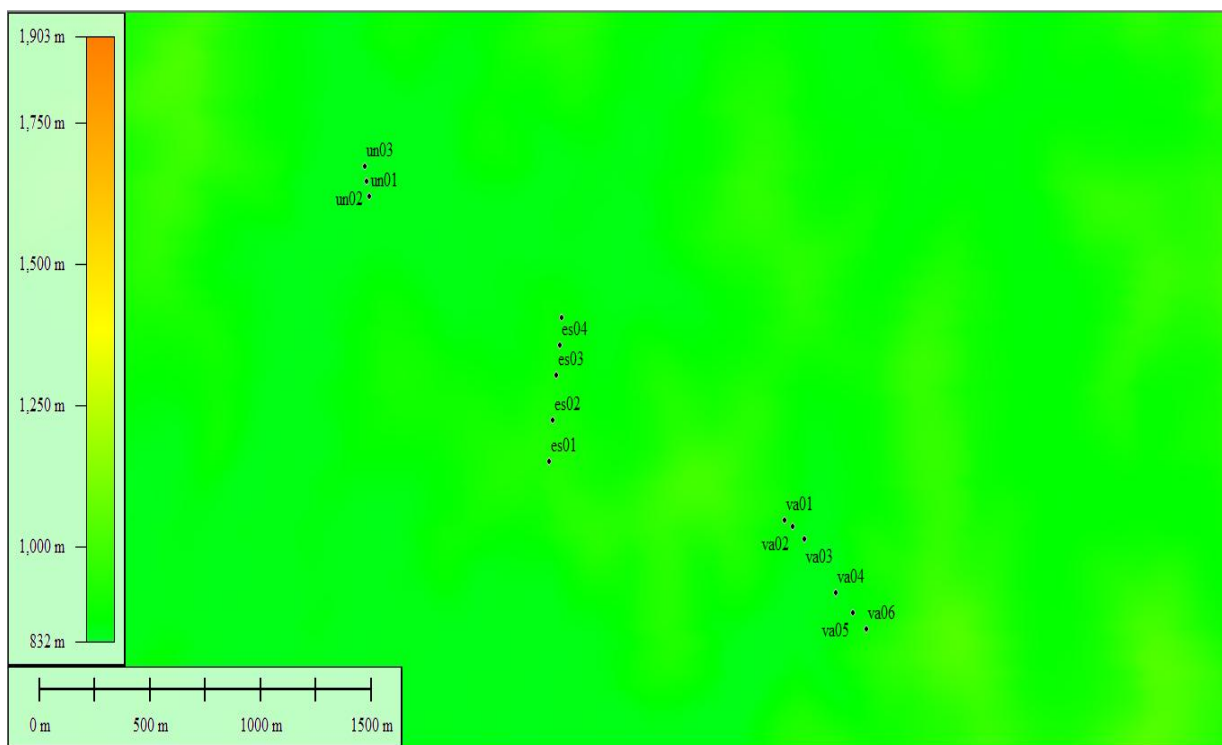


Figura 17: Localização dos pontos levantados nas áreas do bairro Estiva e Varginha e Unifei.

Tabela 02: Dados das três áreas estudadas, (Un) 1º área no campus da Unifei, (Es) 2º área na bairro Estiva, (Va) 3º área no bairro Varginha.

Locais	Altura (m) pontos topodata
Un01	850,300
Un02	849,814
Un03	850,057
Es01	932,078
Es02	917,928
Es03	900,998
Es04	892,322
Es05	883,872
Va01	889,792
Va02	870,554
Va03	855,050
Va04	856,454
Va05	868,061
Va06	900,108

4.4 O LAF

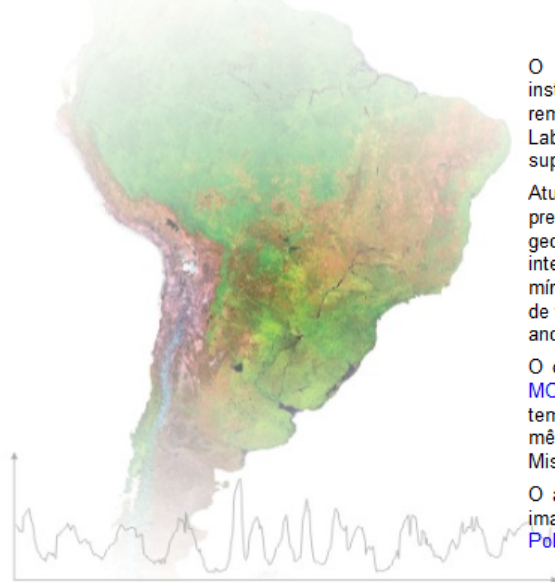
O laboratório virtual do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), está disponível em ambiente eletrônico (<<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/>>).

No primeiro acesso é necessário um breve cadastro com e-mail e senha (Figura 18), após isso é possível utilizar os recursos da ferramenta.

Visualização de Séries Temporais
MODIS para análise de
 mudanças de uso e cobertura da terra



[home](#) | [informações](#) | [publicações](#) | [equipe](#)



O LAF disponibiliza neste portal uma ferramenta para a visualização instantânea das séries temporais derivadas de imagens de sensoriamento remoto. Esta ferramenta foi desenvolvida dentro do conceito de um Laboratório Virtual de Sensoriamento Remoto (Freitas *et al.*, 2011) para dar suporte a estudos e análises de mudança de uso e cobertura da terra.

Atualmente estão disponíveis as séries temporais EVI2-MODIS e precipitação acumulada mensal do TRMM para qualquer coordenada geográfica da América do Sul, desde o ano de 2000. Estas séries estão integradas às funcionalidades do globo virtual do Google Maps. Com um mínimo de conhecimento técnico sobre a dinâmica de diferentes coberturas de vegetação é possível recuperar o histórico de uso da terra nos últimos 10 anos, bem como da precipitação acumulada mensal.

O cálculo do EVI2 (Jiang *et al.*, 2008) utiliza imagens MODIS do produto MOD13, coleção 005, com resolução espacial de 250 m e resolução temporal de 16 dias. A série de precipitação pluviométrica (milímetros por mês utiliza o produto 3B43 V6 do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Ambas são disponibilizadas pela NASA.

O acesso é livre mediante ao cadastro (abaixo). A utilização de dados e imagens desse portal devem seguir as recomendações apresentadas em [Políticas de citação e agradecimentos](#).



Forneça o seu e-mail e senha para se conectar

e-mail senha

Caso tenha esquecido a sua senha. Clique [aqui](#) para receber uma nova senha no seu e-mail.

Figura 18: Tela inicial do portal de séries temporais. Fonte LAF, 2013

Na página inicial aparece uma imagem da América do Sul, onde o usuário pode escolher um ponto qualquer a ser avaliado (Figura 19). As coordenadas do(s) ponto(s) escolhido(s) são exibidas ao lado da imagem e também são marcadas na imagem.

O usuário também pode optar por inserir as coordenadas do ponto ao invés de marca-lo manualmente na imagem.

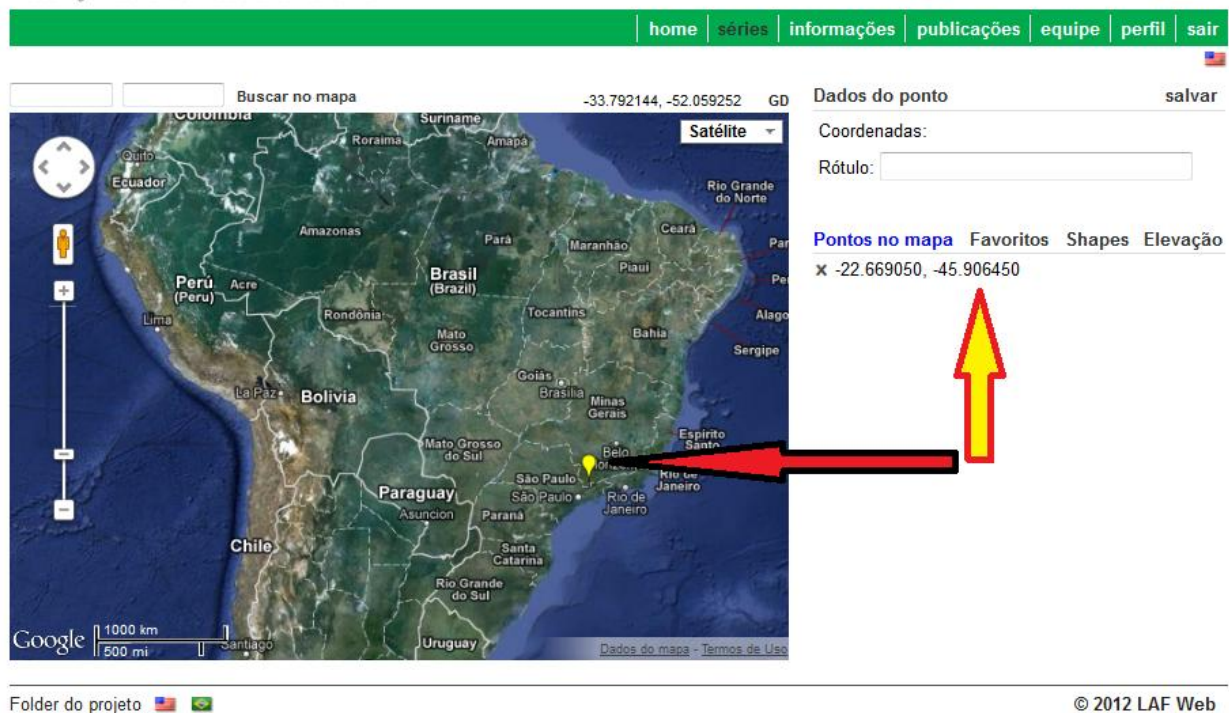


Figura 19: Imagem da América do Sul e ponto selecionado e sua coordenada. Fonte: LAF, 2013.

Em seguida, pode-se selecionar a palavra “elevação” (Figura 20) ao lado da imagem e, assim, visualizar através do gráfico polar a forma do relevo.

O modelo de altimetria do programa do LAF utiliza como base o Google Maps e, como o próprio site do laboratório informa, a precisão desses dados é desconhecida. Estudos mostram que quando comparado ao GPS de navegação, há uma ótima coerência entre estas fontes de dados (ALMEIDA FILHO et al. 2011).

O programa permite avaliar a anisotropia do relevo, através de um gráfico polar de elevação em torno de dois raios amostrais (Freitas et al., 2011). Esses raios amostrais geram dois círculos concêntricos que podem ser ajustados de acordo com o objetivo do estudo. Os círculos resultantes possuem raios que podem variar desde 50m até 5000m, com incremento de 50 em 50m ao longo de cada círculo.

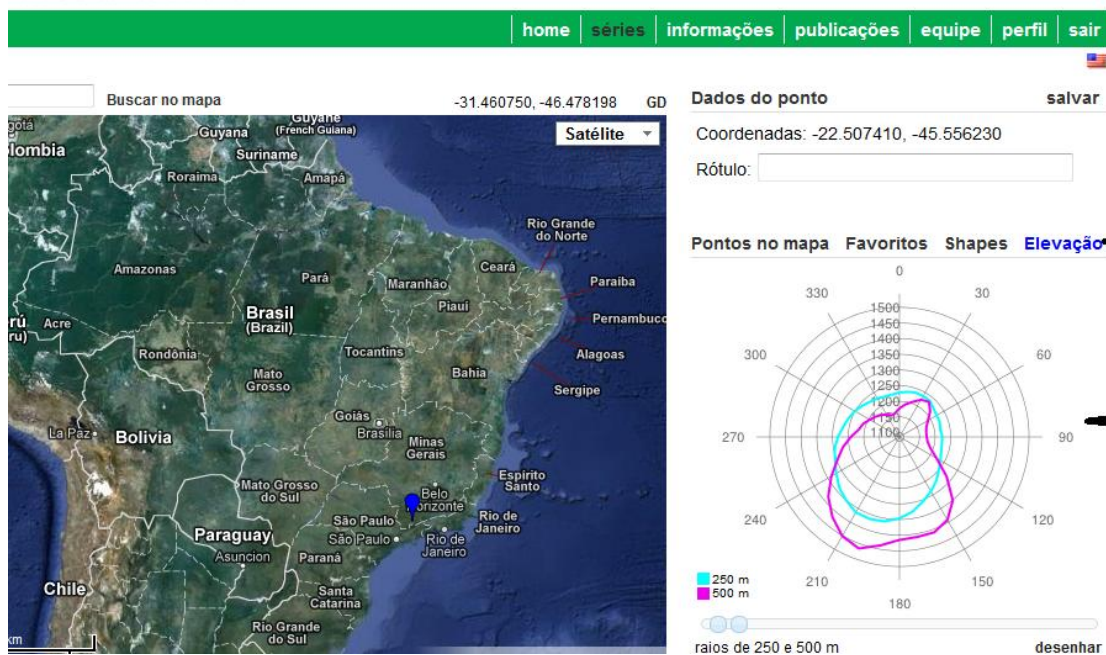


Figura 20: Gráfico polar do respectivo ponto. Fonte: LAF, 2013.

Feito isso, é possível através do mapa, determinar pontos no terreno onde o programa faz estimativas do perfil do relevo local. Há uma divisão pré-estabelecida na forma de grade sobre o terreno (Figura 21) e os perfis são traçados em relação ao ponto central de cada quadrante da grade.



Figura 21: Gradeamento fixo sobre o terreno.

A partir do ponto central de cada quadrante da grade é possível obter um gráfico polar (Figura 22) representado por dois perfis concêntricos ao centro do quadrante. Estes círculos indicam a distância avaliada a partir deste ponto. (Figura 23).

Pontos no mapa Favoritos Shapes Elevação

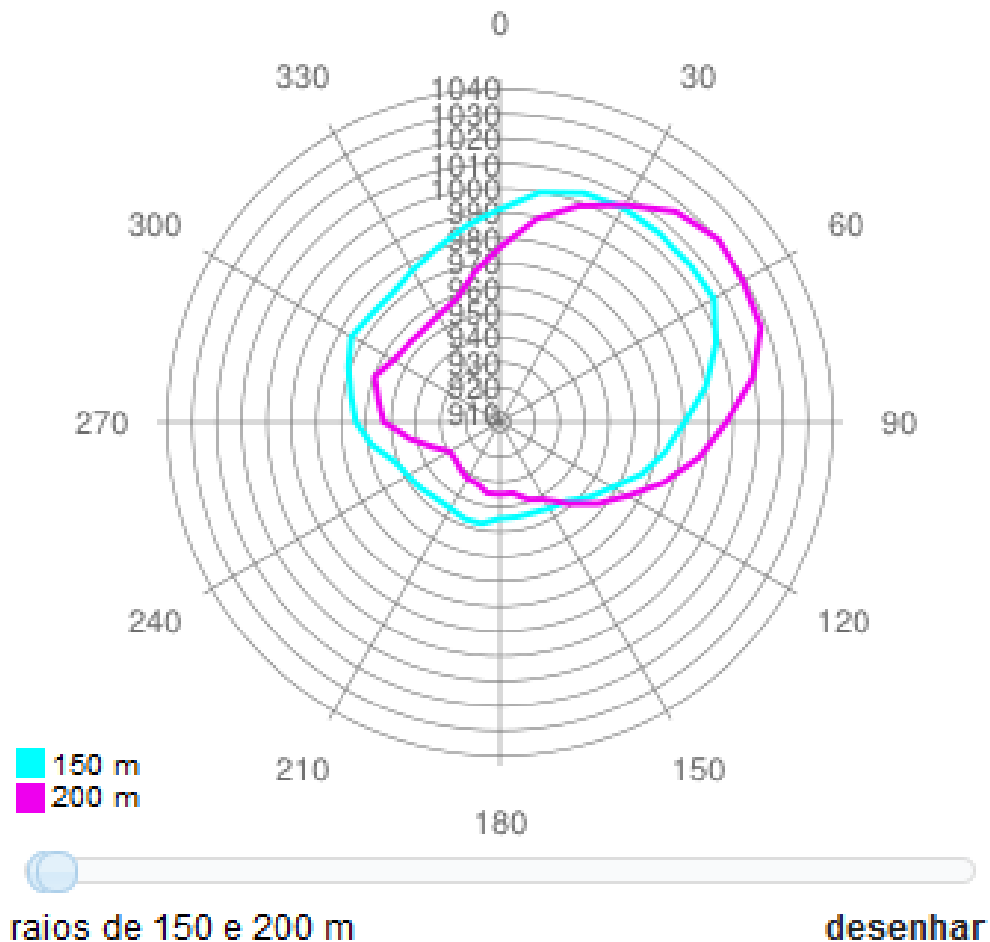


Figura 22. Detalhe do gráfico polar.

O perfil do terreno ,então, é ilustrado no gráfico, com distâncias que vão de 50m a 5000m do ponto selecionado. O perfil ao redor de um ponto selecionado no terreno é avaliado em relação ao centro do quadrante que ele está inserido.

Cada quadrante da grade tem formato retangular de, aproximadamente, 250m, sentido norte-sul e 230m, leste-oeste (Figura 24). Isso implica em uma variação máxima de, aproximadamente, 170m do centro do quadrante para o ponto selecionado.



Figura 23: Perfis concêntricos ao centro do quadrante.
 Fonte: LAF, 2013.



Figura 24: Distância norte-sul, leste-oeste do quadrante. Fonte: LAF, 2013.

Assim é possível obter o perfil do terreno através dessas duas estimativas fornecidas pelo programa.

Para as análises realizadas neste estudo o perfil foi ilustrado em três locais dentro do município de Itajubá-MG. O primeiro no campus da UNIFEI, o segundo no bairro Estiva e o terceiro no bairro Varginha.

5. Resultados e Discussões.

Trabalhos com aplicações diversas mostram uma boa qualidade dos dados de altimetria fornecidos pelo Google Maps o que evidencia que o programa do LAF não sofre distorções altimétricas oriundas da sua base de dados, mas sim da organização das informações obtidas através desses dados.

Como os resultados evidenciaram, há uma concordância entre os valores de cota de cada método analisado, porém a fixação dos perfis altimétricos ao centro da grade gera resultados irreais do relevo pelo programa do LAF.

Para demonstrar esse comportamento do programa foram destacadas três áreas a serem analisadas.

Na primeira área (-22.314120, -45.450715) localizada no campus da UNIFEI foram estimados dois raios de 50 e 100m.

Na segunda área, no bairro Estiva, foram utilizados dois quadrantes (-22.419655, -45.441735 e -22.417610, -45.441735) onde foram estimados em ambos os quadrantes raios de 50 e 100m.

No bairro Varginha, onde está localizada a terceira área (-22.424345, -45.430510), foi utilizado também somente um quadrante com estimativas de 50 e 100m de raio.

5.1 Resultados da 1ª área.

A primeira área estudada fica localizada no campus da UNIFEI. Nessa área a proposta é de comparar os resultados do DGPS com os dados estimados em laboratório através do produto de altimetria do LAF e do TOPODATA.

A primeira medida com o DGPS foi feita na coordenada -22.314120, -45.450715, que corresponde ao centro do quadrante e conseqüentemente ao centro do gráfico polar.

Essa medida acusou a altura de 850,3m para esse ponto. O resultado serve de parâmetro para confirmação das demais medidas no terreno plano, já que o centro do gráfico polar tem apenas o valor de escala.

O objetivo é fixar o DGPS no local onde o gráfico polar traça os perfis concêntricos, que para esse caso tiveram a medida de 50 e 100m a partir do centro do gráfico (Figura 25).



Figura 25. Pontos medidos pelo DGPS sobre os perfis de 50 e 100m.

Assim após fazer a primeira medida na coordenada correspondente ao centro do gráfico foram feitas mais duas no sentido norte a 50 e 100m de distancia.

Foi escolhida essa área, que tem feição plana, para evitar possíveis distorções causadas pela declividade do terreno.

O produto de altimetria do LAF, para a estimativa de 50m mostrou uma altura de 850m, enquanto o DGPS apontou 841,9m, e o TOPODATA 849,8m.

Esses resultados mostram que o TOPODATA e o LAF concordam bem, mas que existe uma diferença aproximadamente de 8m entre estes e o DGPS.

Para a estimativa de 100m o LAF teve valor de 850m, o DGPS de 842,0m e o TOPODATA de 850,0m, resultados que apontam também uma diferença em torno de 8m.

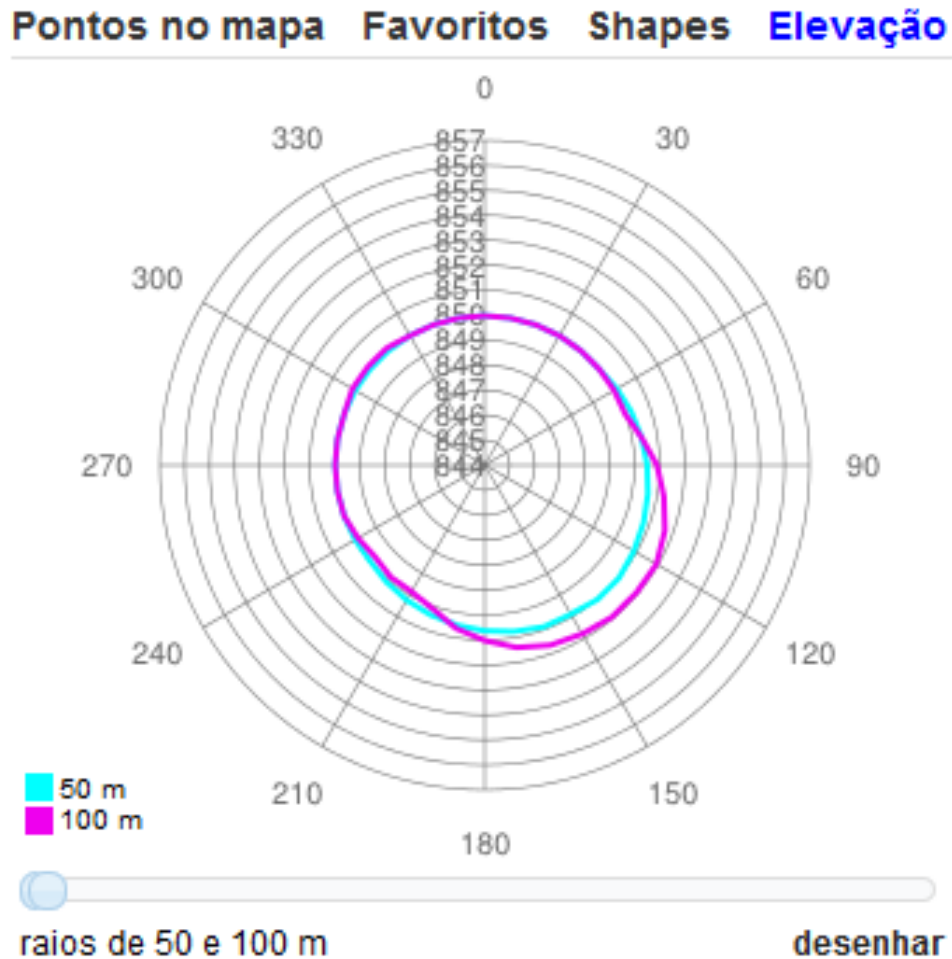


Figura 26. Gráfico polar do quadrante -22.314120, -45.450715 com estimativas de 50 e 100m.

Os resultados das estimativas em terreno plano indicam um comportamento extremamente satisfatório dos métodos de laboratório quando comparados com os valores medidos em campo, o que corrobora com os trabalhos citados anteriormente (MICELI et al. 2011, ALMEIDA FILHO et al. 2011, BARROS e CRUZ, 2007), tanto para o LAF quanto para o TOPODATA.

Isso reforça mais uma vez a confiabilidade da base de dados utilizada pelo LAF, quando isolado os problemas de representação do relevo ao posicionamento da grade sobre o terreno.

5.2 Resultados 2º área.

Para a segunda área localizada no bairro Estiva, foi avaliado o comportamento dos métodos em uma rampa que abrange dois quadrantes.

Foram feitas medidas em cinco pontos com o DGPS, e mostram que a rampa tem 469,6m de comprimento indo de 874,5m de altura no ponto mais baixo a 933,9m de altura no ponto mais alto (Figura 27).

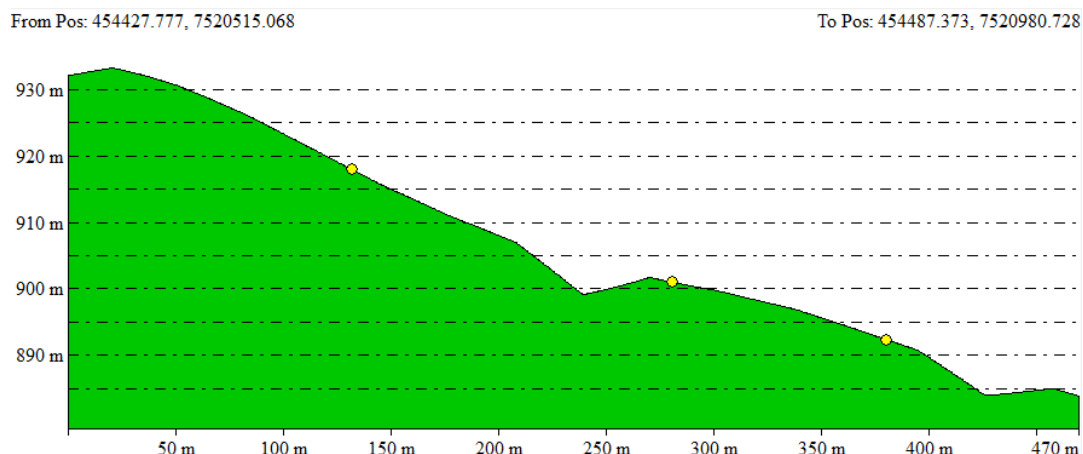


Figura 27: Perfil da rampa no bairro Estiva.

A rampa tem a face voltada para o norte e sua base inicia na extremidade do quadrante -22.417610, -45.441735 e a parte mais alta termina na extremidade do quadrante -22.419855, -45.441735.

Foram feitas duas estimativas com o produto de altimetria do LAF, uma para cada quadrante, com o valor de 50 e 100m em cada gráfico.

O perfil longitudinal feito como referencia para os resultados gerados pela altimetria do LAF acompanha o centro da rampa que está posicionada de forma desigual nos dois quadrantes, figuras 28 e 29, como pode ser observado nessas figuras ao invés de oito valores de altura, temos apenas seis, devido ao posicionamento da grade em relação a rampa.



Figura 28: Intercessões do perfil longitudinal com as estimativas de 50 e 100m do quadrante referente à base da rampa.



Figura 29: Intercessões do perfil longitudinal com as estimativas de 100m do quadrante referente ao topo da rampa.

Como pode ser observado na figura 29, a rampa fica posicionada na parte lateral do segundo quadrante, e a estimativa de 50m não sobrepõe o local do perfil. Isso faz com que se tenham apenas os dois valores dos perfis de 100m.

Os valores observados nas seis estimativas citadas acima (quatro do primeiro e duas do segundo quadrante) foram de 880, 882, 889, 894, 906, 920, com resultado de declividade 10,4%, valor próximo aos 10,6% obtidos através dos valores de altura registrados pelo DGPS.

Caso não fossem retirados os valores do perfil de 50m do segundo quadrante (905, 912) o resultado da declividade seria 8,2%, o que indica uma tendência de erro com a incorporação desse tipo de dado. A posição da grade sobre o terreno influencia todos os resultados gerados pelo programa. Quando o relevo é ilustrado a partir de um ponto no terreno, quanto mais próximo do centro do quadrante estiver o ponto, melhor será o resultado (BATISTA FILHO et al., 2013). Já em perfis longitudinais não há essa relação, pois o perfil pode ultrapassar os limites de um único quadrante, e conseqüentemente estar posicionado de forma diferente em cada um deles. Isso exige atenção quanto a quais perfis considerar e quais descartar, pois como o trabalho evidencia, os acréscimos de valores que não correspondem a área pretendida prejudica o bom desempenho do programa. Problema que pode ser acentuado em áreas com maiores variações de altitude.

O relevo pode distorcer de forma acentuada o resultado da declividade já que em terrenos acidentados, a feição do relevo pode variar muito em 50m (SILVEIRA et al. 2006, SOUZA e LOCH, 2006). Para esta área estudada, utilizar outras estimativas de raio não soluciona o problema, pois o perfil longitudinal passa entre os raios de 100 e 50m e o incremento entre as estimativas é de 50m impossibilitando que seja avaliada a altura de terreno nesse ponto específico (entre os raios de 50 e 100m).

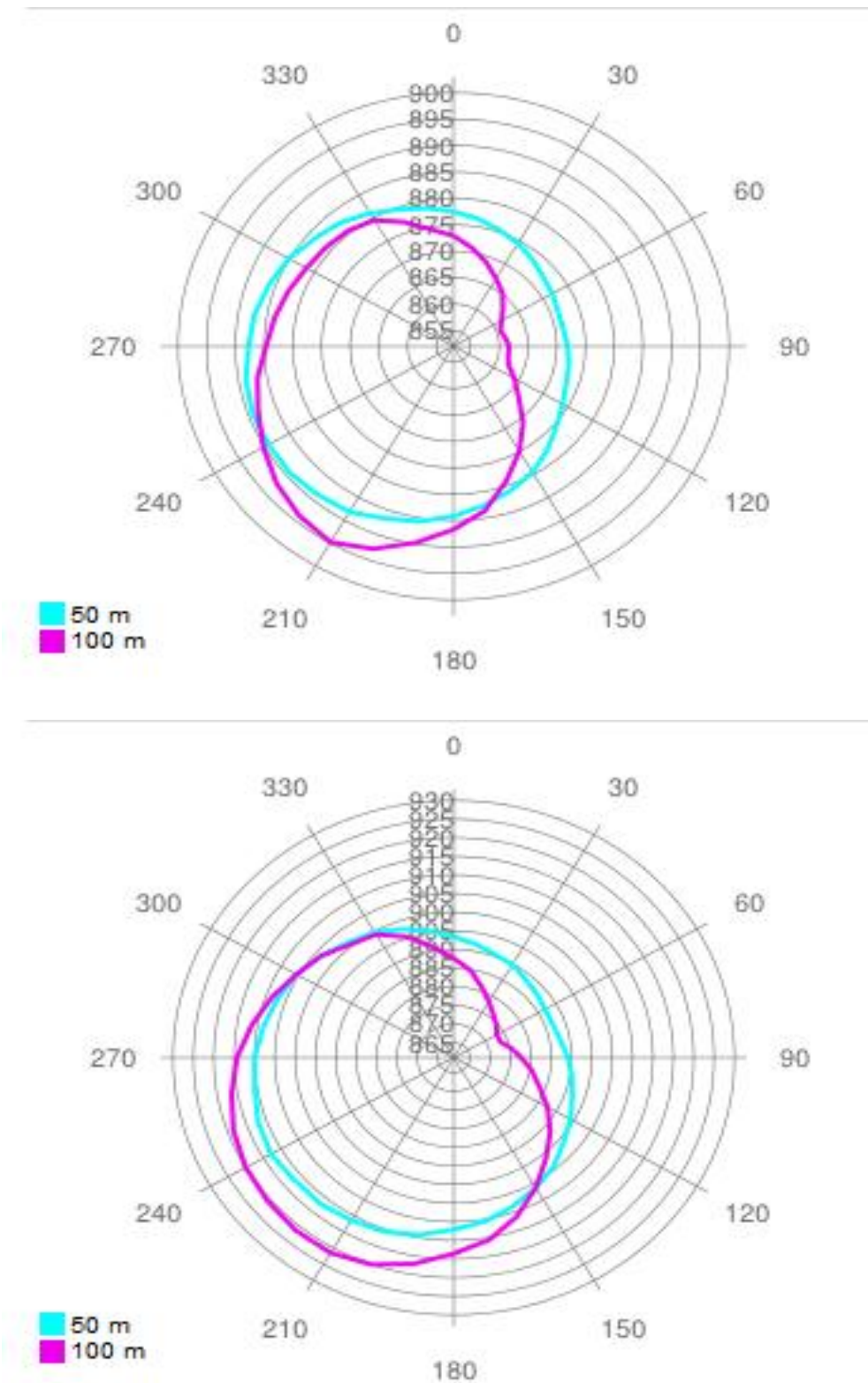


Figura 30. Gráficos dos quadrantes analisados na 2ª área, com estimativas de 50 e 100m.

Como os resultados mostram o programa representa bem o relevo desde que o usuário tenha atenção quanto à posição da rampa dentro do quadrante.

Observações feitas com alunos de graduação mostraram que é um erro recorrente entre usuários com pouca prática no manuseio da ferramenta a análise da posição do perfil longitudinal em relação ao gráfico polar.

A posição do perfil é sempre em relação ao quadrante, não em relação ao gráfico polar, este tipo de equívoco pode ocorrer pela falta de prática no uso da ferramenta o que, junto com a utilização de estimativas que não sobrepõem o perfil longitudinal, são as principais fontes de erro observadas.

Deve-se então, em casos que são necessários vários quadrantes para representar o relevo, ter atenção a quais perfis utilizar e quais descartar. O programa não permite que se gere mais de um gráfico polar por vez, mas permite que sejam visualizados quantos quadrantes forem necessários (Figura 31), isso ajuda na percepção da localização da área a ser estudada sob o gradeamento e assim o usuário, sabendo o tamanho de cada quadrante e o valor de cada estimativa, consegue saber também quais perfis se sobrepõem a sua área de interesse.

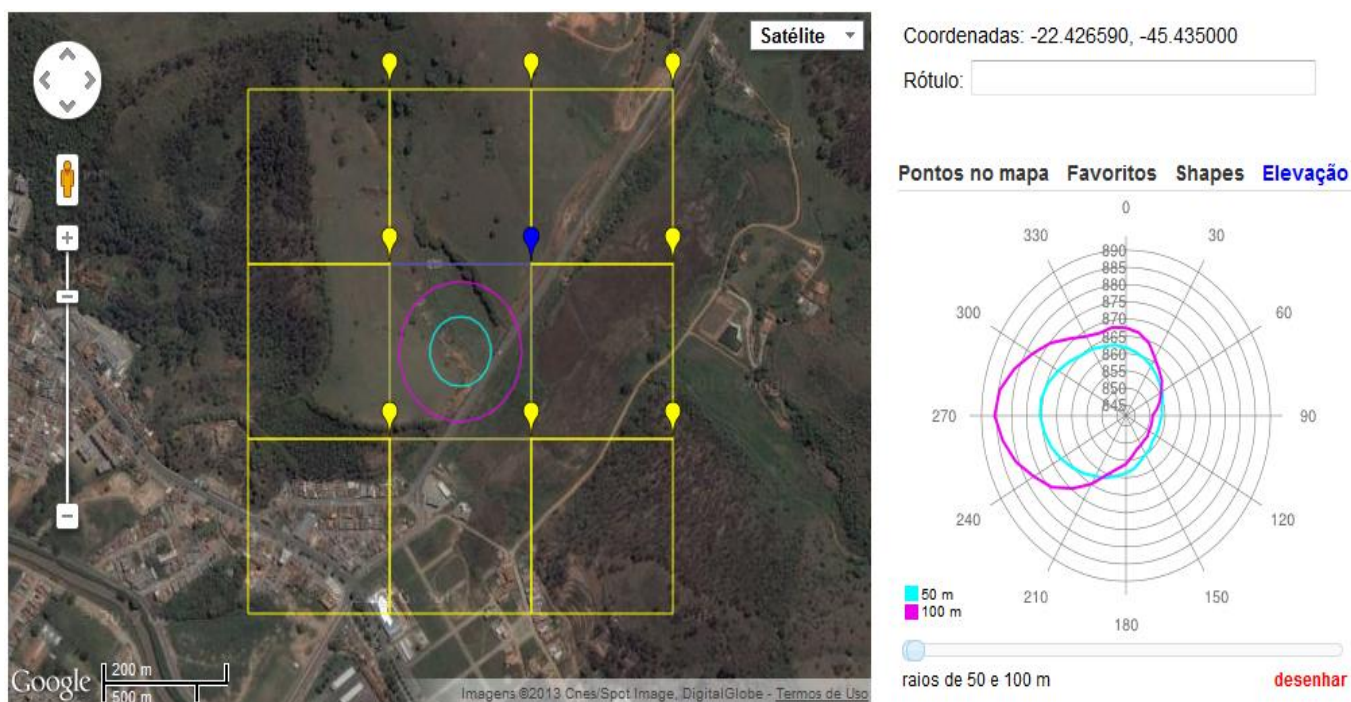


Figura 31. Vários quadrantes com apenas um gráfico.

5.3 Resultados 3ª área.

Para a 3ª área localizada no bairro Varginha, foram feitas 6 (seis) medidas com o DGPS no sentido transversal ao vale do qual o quadrante está sobreposto. Os 6 (seis) pontos foram levantados com intuito de traçar o perfil longitudinal da área de estudo, um vale com média de 1300 metros de largura por 1700 metros de comprimento.

Tabela 3. Valores de distância, altura e de diferença entre os pontos levantados pelo DGPS e pelo GLOBAL MAPPER com dados TOPODATA.

Pontos	Distância entre o ponto e o ponto anterior	Altura TOPODATA	Altura DGPS	Diferença entre as alturas.
01	-	889,79	895,30	5,51
02	43,34	870,55	872,81	2,26
03	65,45	855,05	848,19	6,85
04	226,6	856,45	844,87	11,57
05	99,13	868,06	856,37	11,68
06	80,70	900,10	878,90	21,20

No ambiente LAF foi marcado o ponto -22.423292 -45.431562 e feita à ilustração do relevo com medidas de 50 e 100m. Esse ponto está dentro do quadrante -22.424345, -45.430510, e devido ao deslocamento do gráfico polar para o centro do quadrante (Figura 32) a rampa não é ilustrada no gráfico.

Devido à forma em vale do relevo e o posicionamento do quadrante, o gráfico polar ilustra o lado sudeste do vale onde a rampa tem a face voltada para o noroeste.

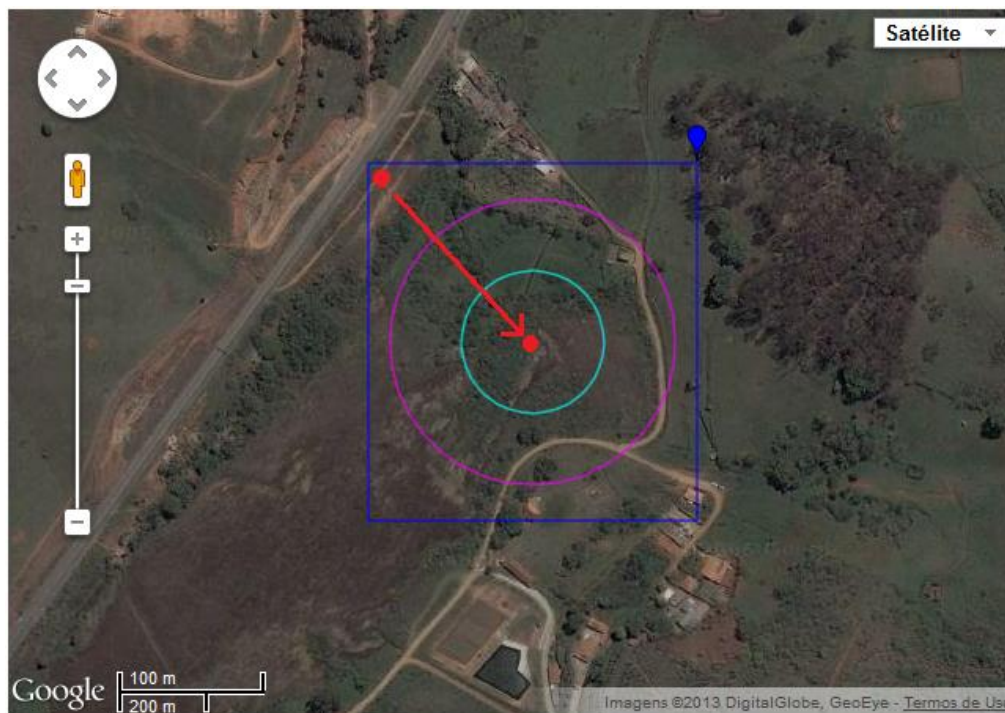


Figura 32: deslocamento do ponto marcado no terreno para o centro do quadrante.

Devido ao deslocamento do ponto central do gráfico polar a superfície coberta pelos círculos concêntricos não abrange a área pretendida, como demonstrado na figura 33. Ao marcar um ponto no terreno, indicado pela seta preta (Figura 33), o usuário espera que a superfície a ser coberta pelas estimativas ocorra na região indicada pela linha preta.

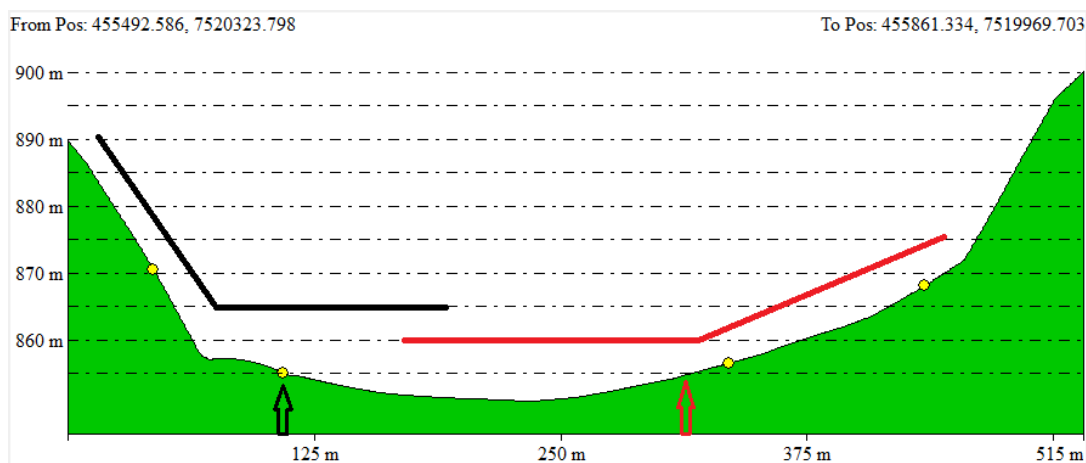


Figura 33: Seta preta e linha preta indicam, respectivamente, o ponto e a superfície selecionada pelo usuário. A seta vermelha e linha vermelha indicam, respectivamente, ponto e área avaliada pelo programa.

Porém, o programa desloca o ponto para outro local (indicado pela seta vermelha) e representa outra parte do terreno, indicada pela linha vermelha.

Assim, o programa de altimetria do LAF, quando utiliza as distancias de 50 e 100m para demonstrar a anisotropia do relevo, não “enxerga” o lado noroeste do vale investigado, ilustrando apenas o lado sudeste (Figura 34).

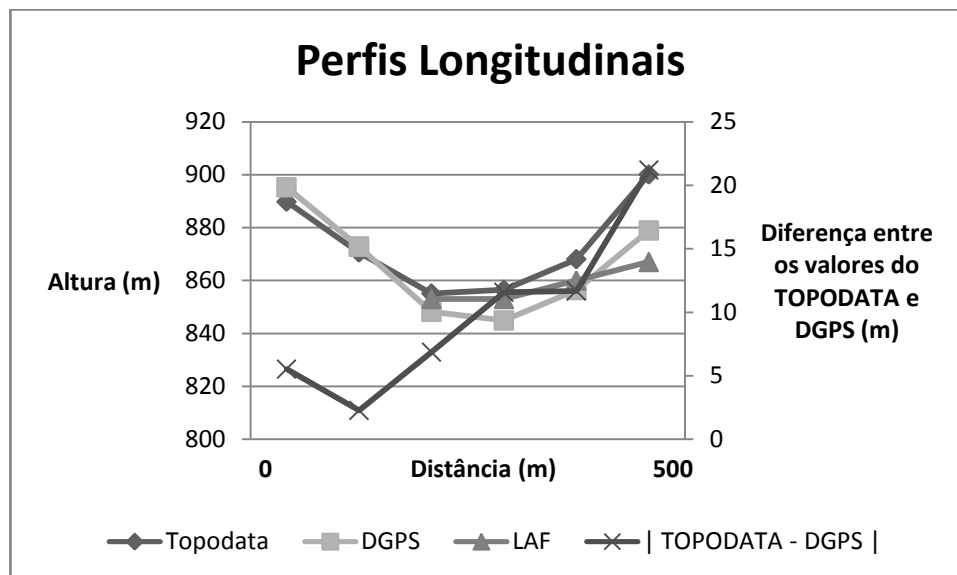


Figura 34: Perfis longitudinais gerados pelo DGPS, TOPODATA e LAF, demonstrando como o LAF omite parte do relevo.

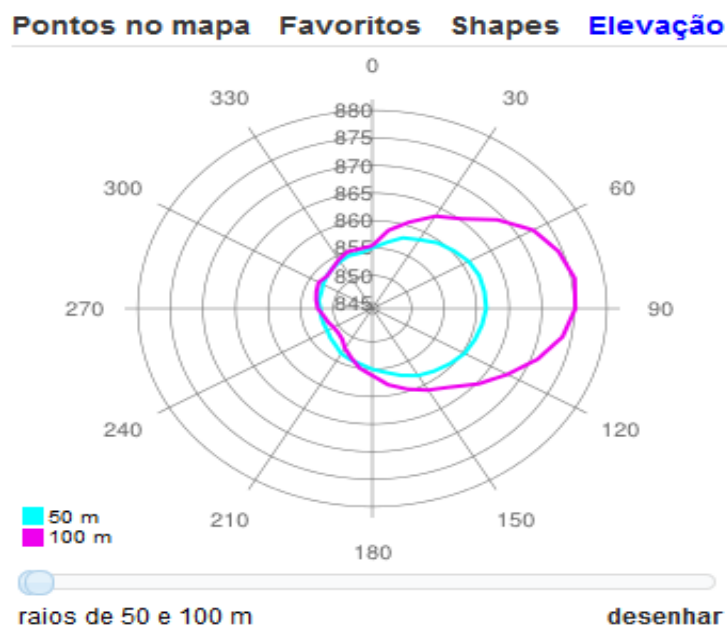


Figura 35. Gráfico polar com raios de 50 e 100m do quadrante -22.424345, -45.430510.

Essa situação gera o que se convencionou chamar neste trabalho de “efeito espelho” que ocorre quando o gráfico polar ilustra o relevo de maneira invertida a realidade. Tais casos podem acontecer, como evidenciado neste estudo, pela feição estreita do vale, em que um pequeno deslocamento do gráfico gera grandes distorções no perfil do relevo gerado pelo programa.

Esse problema pode ser contornado variando o incremento entre as estimativas do perfil. Porém, para que essa técnica seja executada corretamente deve-se ter atenção quanto as lacunas geradas pelo espaçamento entre as estimativas.

Essas estimativas são irregulares, não seguem um padrão de distancias entre elas. Assim, a atenção deve estar nos valores das distancias entre cada estimativa. Por exemplo, primeiro anota-se o valor de altura do primeiro ponto, na sequencia, anota-se o valor de altura do segundo ponto e a distância entre o primeiro e o segundo ponto, é essa distancia que varia, indo de 30 a 100m em apenas dois quadrantes (Figura 36). Se forem usados mais quadrantes ou mais estimativas, essa variação aumenta, dificultando ainda mais o controle das distâncias.



Figura 36: Distâncias entre as estimativas de dois quadrantes

Como o trabalho aborda situações em topografia complexa, com variações agudas, a mudança nas distancias das estimativas de um único quadrante pode não ser o bastante para resolver o problema, sendo necessário o uso de outros quadrantes. Quando isso for necessário é importante que o usuário tenha um grande controle das distancias entre as estimativas, que são muito irregulares.

Ainda assim é possível que se consiga os valores de cota para essas áreas, porem há necessidade de um grande controle na localização dos valores, o que torna o trabalho vagaroso e passível de erro.

A posição do ponto é condicionada pela posição do quadrante, ou seja, o ponto que ilustra o relevo está sempre no centro do quadrante, e isso, em estimativas de grandes áreas, não tem grande influencia no resultado final. Porém, em áreas menores com relevo irregular, o resultado das estimativas, como mostra o trabalho, são prejudicadas.

Uma grade móvel ao invés de fixa poderia ser uma opção para solucionar as distorções geradas pelo programa.

Os resultados seriam mais precisos se a posição do quadrante fosse condicionada a posição do ponto, com a grade sendo móvel e se ajustando a posição do ponto, ao invés de deslocar o ponto para o centro do quadrante o programa deslocaria o centro do quadrante para onde o ponto foi marcado.

6. Conclusões

O produto de altimetria do LAF apresenta a necessidade de alguns cuidados durante seu uso, sendo que grande parte das incertezas são minimizadas quando há um conhecimento prévio do local a ser estudado.

Deve-se sempre avaliar o resultado do gráfico polar a fim de evitar maiores distorções como o efeito espelho gerado em vales estreitos.

Como evidenciado neste trabalho, quando a área em estudo encontra-se encaixada de forma favorável dentro do gradeamento fixo pré-estabelecido, o programa responde bem e ilustra o relevo de forma muito semelhante aos outros métodos usados: DGPS e TOPODATA.

Para uma maior aplicabilidade da ferramenta de altimetria do LAF, é necessária uma adequação do gráfico polar, desassociando-o do gradeamento fixo.

Os resultados mostram que o programa é muito confiável quanto aos valores que apresenta e que os problemas com os resultados estão associados à localização das estimativas. O programa estima o valor de altura com grande qualidade, mas nem sempre o faz onde o usuário quer. O gradeamento fixo usado mostrou-se o maior limitador para aplicações da ferramenta de altimetria do LAF em regiões onde o relevo possui variações acentuadas.

Assim, ao invés de grades fixas, sugere-se a utilização de grades que assegurem que o centro destas coincidirá com o ponto em análise.

O fácil manuseio e acesso que o programa do LAF oferece constitui ainda um grande atrativo para muitos usuários e, respeitando-se as características do programa, constitui uma boa fonte de obtenção de dados altimétricos.

7. Referências Bibliográficas

ALMEIDA FILHO F. G. V.; BRITO JR., I.; YOSHIZAKI, H. T.Y.; CUNHA C. B. Análise comparativa do perfil altimétrico obtido pelo gps de navegação e o google elevation api. **XXV Congresso Nacional da ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**, v. 1, p. 1-12, 2011.

ARAUJO, A.M.; SILVA, A.B.; Modelagem de Áreas de Escoamento Superficial a Partir do Modelo Digital de Terreno. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, INPE p. 3735. Curitiba, 2011.

ASSIREU, A. T., PIMENTA, F. M., SOUZA, V. C. O. Assessment of the wind power potential of hydroelectric reservoir. In: Energy Resources: Development, Distribution, and Exploitation. Nova Science Publishers, NY, p. 176-236, 2011.

BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M. Avaliação da altimetria de modelo digital de elevação do SRTM. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1243-1250.

BATISTA FILHO, J. M.; ASSIREU, A. T.; BAROUCH, A. L. V; PONS, N. A. D. Comparação dos produtos altimétricos TOPODATA, LAF e medidas *in situ* em região de topografia complexa. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

COSTA, C. A. G.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M.; LUCENA, A. M. P.; CASTRO, M. A. H. Análise da influência vegetacional na altimetria dos dados SRTM em bacias hidrográficas no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 222-230, abr-jun, 2010.

DUARTE, G. G. F.; ASSAD, M. L. L. Avaliação de MDE obtidos por meio de SRTM. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4849-4855.

FRANÇA, A. F. Mapas altimétricos do estado de Pernambuco utilizando dados SRTM e dados altimétricos provenientes da Base de Dados do Estado

de Pernambuco. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.3666.

FREITAS, R.M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A.F.; SATO, F.Y.; SHIMABUKURO, Y.E.; ROSA, R.R.; ANDERSON, L.O.; RUDORFF, B.F.T. Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, 2:57-64. 2011.

JERVELL, J.T.; Estudo da influência das características do vento no desempenho de aerogeradores. **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**. Porto, Julho 2008.

LAROCCA, A. P. C. O Uso do GPS com Instrumento de Controle de Deslocamentos Dinâmicos de Obras Civis – Aplicação na Área de Transporte. Tese. **Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo**, São Carlos, 2004.

LEMOS, M. C.; SOUZA, S. F.; ROCHA, R. S. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS DADOS ALTIMÉTRICOS DERIVADO DO *SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION* (SRTM): *Resultados Preliminares*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MALAFAIA FILHO, M.; Análise hidrográfica avaliando rede de drenagem brasileira: implicações limnológicas. Dissertação. **Universidade Federal de Juiz de Fora**, 2013.

MICELI, B. S.; DIAS, F. M.; SEABRA, F. M.; SANTOS, P. R. A.; FERNANDES, M. C. Avaliação vertical de modelos digitais de elevação (mdes) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. **Revista Brasileira de Cartografia** No 63/01, 2011.

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. *Observations and Least Squares*. **University Press of America**, 1976, p. 497.

MONICO, J.F.G.; DAL PÓZ, A.P.; GALO, M.; OLIVEIRA, C.L.; Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Bol. Ciênc. Geod., sec. Comunicações**, Curitiba, v. 15, no 3, p.469-483, jul-set, 2009.

MOTA, M.S.; PONS, N. A. D.; Uso de geoprocessamento para análise do uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente do município de Itajubá – MG – Brasil. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011.**

OLIVEIRA, P.T.S.; SOBRINHO, T.A.; STETTEN, J.L.; RODRIGUES, D.B.B.; Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.8, p.819–825, Campina Grande, 2010.

PIC, A.; RENNÓ, C. D.; PINHEIRO, T. F.; SOARES, J. V. Avaliação da influência da vegetação nos dados SRTM para a região amazônica. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6929-6931.

SANTOS, P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4473-4480.

SILVA, M.C.; COSTA, C.D.O.; CAPPI, N.; GENTIL, R.H.P.; Morfometria da microbacia do córrego fundo no município de Aquidauana, MS. **Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Corumbá, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.290-295, 7-11 novembro 2009.

SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; FIORI, A. P.; ZAI, C.; mapeamento de declividade de vertentes: aplicação na apa de guaratuba / Paraná. **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Goiania, 06 a 10 setembro 2006.

SOUZA, J. M.; LOCH, R. E. N. Refinamento do Modelo Digital de Elevação da *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM e sua qualidade cartográfica. **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário** - UFSC Florianópolis - 15 a 19 de Outubro 2006.

SOUZA, L.F.; SAMPAIO, T.V.M.; Aplicação do Índice de Concentração da Rugosidade à Identificação de Classes de Dissecação do Relevo: Uma Proposta de Quantificação e Automatização em Ambiente SIG. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, 2010.

TAGLIANI, C. R. A.; CONTERATO, M. R.; ANTIQUEIRA, J. A. F.; CALLIARI, L. J.; TAGLIANI, P. R. Construção de um modelo de elevação digital de terreno para a Ilha dos Marinheiros, Rio Grande-RS, com uso DGPS e rotinas de geoprocessamento. Gravel, Porto Alegre, Dezembro, 2006.

VALERIANO, M. M.; ROSSETI, D.F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. TOPODATA: Desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5499-5506.**

VALERIANO, M. M.; ROSSETI, D.F.; Topodata: Seleção de Coeficientes Geoestatísticos para o Refinamento Unificado de Dados SRTM. **Projeto de Produtividade em Pesquisa "Desenvolvimento de aplicações de dados topográficos SRTM", CNPq.** INPE, São José dos Campos, 2010.

Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm#art83> . Acesso em 11/06/12

IBGE Cidades, Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em: 11/06/12.

German Aerospace Center (DLR). Disponível em: <<http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10002/>> Acesso em 8/ 11/12.

Pastor da Mantiqueira, Disponível em:
<<http://www.pastordamantiqueira.com.br/localizacao.php>> Acesso em 05/ 08/ 13.