

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC

ESTIMATIVA DA ALTURA DA VEGETAÇÃO
UTILIZANDO DADOS *AIRBORNE LASER SCANNER*

MAURO JOSÉ ALIXANDRINI JÚNIOR

FLORIANÓPOLIS, 2005

Mauro José Alixandrini Junior

**ESTIMATIVA DA ALTURA DA VEGETAÇÃO
UTILIZANDO DADOS *AIRBORNE LASER SCANNER***

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil**

**Área de Concentração: Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial
Orientador: Prof. Dr. Carlos Loch**

FLORIANÓPOLIS, 2005

Alixandrini, Mauro José Jr.

Estimativa da altura da vegetação utilizando dados *Airborne Laser Scanner*. 68p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.- Florianópolis, Brasil, 2005.

Área de concentração: Cadastro Técnico Multifinalitário.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Loch.

1.Introdução 2.Revisão Teórica 3.Materiais e método 4.Resultados 5.Análise e Discussões
6.Referências Bibliográficas.

“Ninguém é tão grande que não possa aprender, nem tão pequeno que não possa ensinar.”

(Autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida.

Aos meus pais Mauro e Carmen, pelo apoio e amor que me cederam, vocês são os principais responsáveis por tudo de maravilhoso que aconteceu comigo, obrigado.

Aos meus avós maternos, Herminia de Oliveira Matozo e Luiz Mário (In Memoriam), aos meus avós paternos, Maria Bona Alexandrine e Américo Alexandrine, pela compreensão de minha ausência.

À minha amada esposa, Vivian de Oliveira Fernandes, amiga e colega, por toda a força e amor doados.

Aos meus familiares e amigos próximos.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Loch, pelo apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pelas oportunidades oferecidas no curso de Pós-Graduação e no Departamento de Expressão Gráfica.

Aos bolsistas, alunos e colegas da UFSC.

Aos Professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Ao LACTEC e ao Eng. Cartógrafo Marlo Martins, pela cessão dos dados ALS.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	
1.1 INTRODUÇÃO	01
1.1.1 Justificativa.....	04
1.2 OBJETIVOS	05
1.2.1 Objetivos Gerais	05
1.2.2 Objetivos Especificos	05
2 REVISÃO TEÓRICA	
2.1 CADASTRO AMBIENTAL	06
2.1.1 Cadastro Técnico Multifinalitário	06
2.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL	08
2.2.1 Processo de licenciamento ambiental	08
2.2.2 Estudo e Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA	10
2.3 AIRBORNE LASER SCANNER ALS	11
2.3.1 Unidade de varredura	12
2.3.2 Unidade de posicionamento	14
2.3.3 Unidade de medida inercial.....	14
2.3.4 Unidade de controle e processamento	15
2.3.5 ALS x Aerofotogrametria.....	15
2.4 MODELOS DIGITAIS	16
2.4.1 Extração DTM e Filtragem ALS	17
2.4.2 Interpoladores.....	18
2.4.2.1 Vizinho mais próximo.....	18
2.4.2.2 Inverso da distância	19
2.5 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	20
2.5.1 Filtragem de imagens digitais	20
2.5.1.2.1 Passa baixa	21
2.5.1.2.2 Passa alta	21
2.6 PERCEPÇÃO DA TRIDIMENSIONALIDADE	22
3 MATERIAIS E MÉTODO	
3.1 DADOS	23
3.1.1 Fitogeografia da região	25
3.1.1.1 Floresta ombrófila densa montana	26

3.2 RECURSOS DE SOFTWARE E HARDWARE	29
3.3 MÉTODO.....	31
4 RESULTADOS E ANÁLISES	
4.1 AMOSTRAGEM	37
4.2 MODELOS DIGITAIS DO TERRENO	40
4.3 MODELOS DIGITAIS DA COPA DAS ÁRVORES.....	44
4.4 MODELOS DIGITAIS DA ALTURA DAS ÁRVORES	46
4.5 ANÁLISE DAS ESTIMATIVAS DAS ALTURAS DA VEGETAÇÃO NAS AMOSTRAS.....	47
4.6 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA MASSA DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO NA ONDULAÇÃO GEOIDAL	52
CAPITULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
5.1 CONCLUSÃO QUANTO À AMOSTRAGEM.....	57
5.1.1 Recomendações	58
5.2 CONCLUSÕES QUANTO AOS MODELOS DIGITAIS	59
5.3 CONCLUSÕES QUANTO A ESTIMATIVA DA ALTURA DA VEGETAÇÃO	60
5.3.1 Recomendações	60
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

LISTA DE FIGURAS

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 – Disposição das etapas de Licença ambiental	09
2.2 – Sistema ALS.....	11
2.3 – Varredura ALS (nuvem de pontos).....	12
2.4 – Unidade ALS	13
2.5 – Padrões de varredura (a) Zig-Zag, (b) Linhas Paralelas, (c) Elíptico.....	13
2.6 – DGPS	14
2.7 – MDT (em azul)	16
2.8 – MDS (em azul)	17
2.9 – MDE (pontos)	17
2.10 – Interpolação de DTM com vizinho mais próximo.....	18

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 – Mapa de Localização Barragem da Usina Governador Parigot de Souza.	24
3.2 – Região do Rio Capivari/ Floresta Ombrófila Densa	25
3.3 – Região do Rio Capivari/ Floresta Ombrófila Densa Montana.	27
3.4 – Organograma com o método empregado	31
3.5 – Funcionamento do Software REALM.....	32
3.6 – Estrutura dos dados ALS.....	33
3.7 – Grade regular associada a níveis de cinza.....	34
3.8 – (a) Ponto de Terreno, (b) Pontos de Vegetação	35
3.9 – Perfil dos pontos na amostra	35
3.10 – Modelos do terreno e da altitude da vegetação	36
3.11 – Modelo da altura da vegetação.....	36

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 – Distribuição das amostras na imagem de isometria da região	37
4.2 – Perfis AB, BC e EF.....	38
4.3 – Histograma das declividades das amostras.	40
4.4 – Modelos Digitais do Terreno	41
4.5 – Perspectiva do MDT da área 15.	42
4.6 – Perspectiva do MDT da área 3.	42
4.7 – Perspectiva do MDT da área 29.	43
4.8 – Perspectiva do MDT da área 10.	43

4.9 – Matriz do filtro Gaussiano 5 x 5 e 3 x 3.....	45
4.10 – Histograma das altitudes médias do estrato arbóreo, Grupos A, B e C.....	48
4.11 – Mapa da distribuição das alturas médias encontradas, Grupos A, B e C. ...	50
4.12 – Gráfico das médias ordenadas de forma crescente com valores máximos e desvio padrão.	51
4.13 – Variação do Geóide em função do nível do reservatório	52
4.14 – Dimensões médias de um Lago proposto.....	53
4.15 – Influencia das variações estimadas.	55
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
5.6 – Estratos mais altos e mais baixos identificados nos perfis dos dados.....	58
5.7 – Gráfico Declividade x Penetração	59

LISTA DE TABELAS**2 REVISÃO TEÓRICA**

2.1 – Comparações ente o ALS e a Aerofotogrametria	15
---	-----------

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1– Configurações ALS	23
-------------------------------------	-----------

3.2– Vegetação Ombrófila densa.	26
---	-----------

3.3 – Relação número de pontos carregados memória.....	30
---	-----------

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 – Características das áreas das amostras.....	39
--	-----------

4.2 – Parâmetros para interpolação dos dados.	44
---	-----------

4.3 – Alturas das árvores para as amostras.	47
---	-----------

4.4 – Teste t de Student.....	49
--------------------------------------	-----------

4.5 – Variação da altitude x distância do centro de massa reservatório	55
---	-----------

LISTA DE SIGLAS

2D	Bidimensional
2,5D	<i>False 3D</i>
3D	Tridimensional
ALS	<i>Airborne Laser Scanning</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
ASPRS	<i>American Society of Photogrammetry and Remote Sensing</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DG	<i>Direct Georeferencing</i>
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
DWG	<i>AutoCAD Drawing Format</i>
DXF	<i>AutoCAD Drawing Exchange Format</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
HD	<i>Hard Disk</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IFOV	<i>Instantaneous Field of View</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
INS	<i>Inertial Navigation System</i>
ISPRS	<i>International Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LADAR	<i>Laser Detection and Ranging</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LRF	<i>Laser Rangefinder</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PR	Estado do Paraná
RADAR	<i>Radio Detection and Ranging</i>
REALM	<i>Results of Airborne Laser Mapping</i>
RGB	<i>Red-Green-Blue (Spectral Channels)</i>
RLG	<i>Ring Laser Gyro</i>
RTK	<i>Real-Time Kinematic</i>
S/N	<i>Signal to Noise Ratio</i>
SAD-69	<i>South American Datum of 1969</i>
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SC	Estado de Santa Catarina
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
TXT	<i>Text File Extension</i>
WGS-84	<i>World Geodetic System of 1984</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>

RESUMO

Esta pesquisa foi conduzida buscando estimar a vegetação uma altura, ou mais especificamente do estrato arbóreo, que contém a parte mais elevada da vegetação de um dado tipo florestal, também descrito como superfície acima da copa dossel, sendo um importante parâmetro para caracterizar o estágio de regeneração ou degradação de uma região. Assim, este parâmetro concentra grande relevância, quando imaginamos o papel dos estudos e relatórios de impacto ambiental que hoje são requeridos quando da instalação de atividades potencialmente degradadoras do meio ambiente. A proposta desta dissertação é utilizar o sistema ALS, que fornece informações ligadas a diferentes estratos da cobertura vegetal, para analisar o comportamento e alcançar uma estimativa para a altura do estrato mais elevado. A metodologia elaborada baseia-se na diferenciação de superfícies identificadas no conjunto de dados originais e na utilização dessas superfícies com uma estrutura *raster*, que é obtida a partir da interpolação dos diferentes conjuntos de pontos das superfícies de interesse. A estrutura *raster*, ao contrário da vetorial, é passível de processos ligados ao processamento digital de imagens, possibilitando a implementação de filtros digitais sobre os dados, que na metodologia proposta, são utilizados para reduzir a influência de erros ocorridos durante a classificação e aproximar a superfície obtida da superfície teórica. Os resultados revelam um relacionamento coerente com aspectos externos de influência sobre a vegetação. Obtiveram-se estimativas que podem ser correlacionadas a, por exemplo, influências antrópicas. Assim, a altura da vegetação pode ser um índice de conservacionismo adotado por cadastros e licenciamentos ambientais. A amostragem realizada ainda revela que fatores como a inclinação do terreno estão, de certa maneira, correlacionados à incidência dos pulsos laser do Sistema ALS, abaixo da copa das árvores.

ABSTRACT

This research was driven looking for to determine an estimate for height of vegetation, or lives specifically of arboreal stratum, that contains highest part of vegetation of the specific forest type, also described the surface above the dossal cup, is an important parameter to characterize regeneration apprenticeship or degradation of an area. That parameter reveals great relevance, when we imagin the paper of the studies and reports of environmental impact that today plows requested when of the activity installation potentially degradation of the environment. This dissertation propose is to use the ALS system, that supplies linked information to different strata of the vegetable covering, to analyze the behavior and to reach an estimate for the height of the highest base. The elaborated methodology is based on differentiation of identified surfaces in the original dataset and in the use of those surfaces with a structure raster, that is obtained starting from the interpolation of the different groups of points from surfaces of interest. The structured raster unlike the vectorial one is susceptible to processes linked to the digital processing of images that makes possible the implementation of digital filters on the data, that in the proposed methodology, are used to reduce the influence of mistakes happened during the classification, and to approximate the obtained surface from the theoretical surface. The results have revealed promising possibilities of implementation and a coherent relationship with external aspects of influence on vegetation. Estimates were obtained that can be correlated with, for instance, influences antropicus, being like this the height of the vegetation can be a conservacionismo index adopted by registers and environmental licensings. The sampling accomplished reveals still that you factor with the inclination of the land are in a certain way correlated the incidence of the pulses laser of ALS below the cup of trees.

CAPÍTULO 1

– Introdução e Objetivos –

1.1 INTRODUÇÃO

O mapeamento ao longo dos séculos tem evoluído diante da integração de novas tecnologias; a Topografia e a Fotogrametria são dois exemplos dessa afirmação.

A topografia surge em muitas civilizações antigas associando medidas diretas, isto é, através das comparações de padrões, que deram origem a representações e estas, por sua vez, serviram ao reconhecimento do território. Com o desenvolvimento dos primeiros equipamentos: trenas e sextantes; surgiu a possibilidade de se associar medidas diretas com medidas indiretas, que não necessitavam a comparação com o padrão de unidade que se desejava representar, que é o caso da taqueometria, que surge e evolui até os dias atuais com o desenvolvimento dos sistemas mecânicos, óticos e digitais que foram se agregando ao método.

A inserção de uma nova e poderosa tecnologia a denominada tecnologia LASER cria um outro princípio adotado pelo antigo método indireto, a variável medida, que até então era uma distância sobre a mira, passa a ser o intervalo de tempo entre a emissão e recepção do pulso laser, possibilitando um incremento de exatidão nunca antes imaginado.

Praticamente paralelo ao desenvolvimento contemporâneo da topografia têm-se a fotogrametria, que tem seu início anterior à invenção da câmara fotográfica, ANDRADE (1998) afirma que a fotogrametria teve início em 1726, quando Carpeller já se utilizava perspectivas centrais feitas a mão, a partir de dois pontos, para a medida de distância. Desta forma, valendo-se do método das intersecções, podia-se determinar a posição de acidentes geográficos que se desejava representar. Só em 1839 o invento da fotografia foi divulgado e o método de Carpeller foi aprimorado. Mas foi no início do século passado (sec. 1900), com o invento do avião e com a primeira e segunda guerras mundiais que se deram os grandes saltos na formação do corpo teórico da fotogrametria, consolidando a fotogrametria analógica: desenvolvida em instrumentos fototrianguladores (equipamentos

ópticos mecânicos), as fotografias de uma faixa eram progressivamente orientadas de modo que os modelos concatenavam-se analogicamente, isto é, a faixa formada constituía uma unidade referida a um único sistema de coordenadas e de um relacionamento mecânico, se transferiam as coordenadas de uma dada faixa para um referencial terrestre e, assim, criava-se a chamada carta de traço (LUGNANI, 1987).

Na década de 50 foram criados e consolidados os primeiros sistemas que utilizavam a fotogrametria analítica (ANDRADE, 1998), esta última baseada em sistemas ótico eletrônicos e na solução das transformações fotogramétricas dadas de forma analítica, com isso foi possível um incremento muito grande na acurácia dos sistemas. E na década de 80 se estabeleceram os pilares da fotogrametria digital, que tinha a solução analítica aliada a muitos outros algoritmos que podiam realizar operações sobre a fotografia baseados em técnicas computacionais.

A partir da fotogrametria analítica foi possível gerar modelos tridimensionais, cuja desvantagem, reside na a coordenada altimétrica têm exatidão cerca de duas vezes menor que a planimétrica em condições usuais, devido à desvantagens geométricas impostas pela relação base altura de vôo.

O *Airborne Laser Scanning* ALS surge convenientemente na década de 90 com um novo princípio, o de varredura laser, capaz de gerar uma modelagem do Terreno e da Superfície com uma precisão altimétrica compatível às dos modelos gerados tradicionalmente por Fotogrametria, porém com uma velocidade de resolução muito superior. Assim, a utilização destes dados é indicada para as mais variadas aplicações que tenham, na variável altimétrica, o seu elemento de análise.

A estimação do volume de biomassa e a detecção da vegetação dominante, caracterizando as maiores árvores que normalmente estão entre as espécies que se tem interesse de identificar são exemplos de aplicações onde o ALS pode ser muito explorado.

Nesse contexto, esta dissertação analisa a estimativa da altura da vegetação, servindo como parâmetro para análise da condição da mata residual no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza, a partir dos dados cedidos pelo instituto LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento).

Como a altura pode dar indícios a respeito do estado de conservação de uma área, com a comparação dos valores obtidos com os valores esperados por estudos de fitosociologia vegetal dos espécimes vegetais arbóreos mais altos da região se pode presumir estados de conservação ou mesmo de recuperação para um dado resultado, existe então a relação direta da pertinência deste estudo com processos de avaliação

ambiental tal como o Licenciamento Ambiental. Este é um importante processo para a avaliação do impacto ambiental de grandes empreendimentos, tal como as barragens. Atualmente ele se dá de maneira nem sempre eficaz, evidenciando a necessidade de estudos para o aperfeiçoamento dos processos, utilizando os recursos técnicos mais modernos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Criado na metade da década de 1970, para prevenir e controlar a poluição, o Licenciamento Ambiental fornece autorização para instalação e expansão de diversas atividades potencialmente degradadoras do meio ambiente, que passam a depender de autorização e cadastramento. Com a Lei Federal 9.433 de 08.01.1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a relevância do licenciamento ambiental aumentou significativamente, como objeto para negociação e intervenção na gestão global dos recursos hídricos.

Uma política efetiva de redução de impactos ambientais pressupõe o uso das melhores tecnologias disponíveis na gestão do meio ambiente, sendo que os avanços tecnológicos têm possibilitado uma maior flexibilidade na fusão de métodos e, conseqüentemente, obtenção de uma visão mais adequada da problemática ambiental (FIGUEIREDO, 2000).

O setor elétrico brasileiro se viu pressionado por um aumento da demanda, em contrapartida dos pequenos investimentos feitos no setor e por isso, ocorreram diversas pesquisas de ferramentas que poderiam auxiliar no aumento da capacidade de produção e distribuição da energia elétrica. Essa necessidade é uma das principais influências da introdução do sistema ALS no país. O ALS, inicialmente, serve à avaliação das redes de transmissão de alta tensão, comparando valores de projeto com valores levantados em campo, e possibilitando então, utilizar a capacidade máxima real das linhas de transmissão.

O problema é a sub-utilização de um sistema que tem amplas possibilidades de aplicação, por isso, o sistema ALS é muito pesquisado no que se destina a novas aplicações do seu potencial. O foco deste trabalho é estimar a altura da vegetação que pode dar suporte ao processo de licenciamento de barragens, em especial àquelas construídas para o setor hidrelétrico e contribuir com os estudos que envolvem a fitosociologia, que é o estudo da vegetação levando em consideração as características de estrutura, composição e dinâmica dos diferentes estratos vegetais, ou seja, que avalia as interações entre os tipos de vegetação com base na sua altura (ISERNHAGEN; SILVA; GALVÃO, 2001).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Caracterizar o estrato arbóreo da mata residual da área de entorno da barragem da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza, no Paraná, utilizando dados derivados do ALS.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar os modelos digitais envolvidos na pesquisa;
- b) Analisar a influência da barragem sobre a variação da ondulação geoidal e conseqüente influência sobre um monitoramento ALS.
- c) Mostrar o potencial do ALS para o Cadastro Ambiental, com produtos derivados tais como: alocação de perfis de terreno e de vegetação para futuros processos de monitoramento;
- d) Agrupar os dados em classes de declividade e altitude e avaliar sua pertinência;
- e) Correlacionar os resultados obtidos com a situação das amostras no entorno do reservatório e com a penetração do laser na Floresta Ombrófila Mista Montana.

CAPÍTULO 2

– Revisão Teórica –

2.1 CADASTRO TÉCNICO AMBIENTAL

O Cadastro Técnico Ambiental foi citado pela primeira vez como tema de um trabalho na Pós Graduação em Eng. Civil da UFSC, único programa que Pós-Graduação no Brasil, que conta com a área de Cadastro Técnico Multifinalitário, pelo professor FIGUEIREDO (1995). Na sua dissertação de mestrado Figueiredo se refere ao Sistema de Cadastro Técnico Ambiental como elemento chave no apoio a Gestão e Avaliação Ambiental, embasado num planejamento harmônico das áreas de interesse ecológico que apresentem riscos comprometendo sua qualidade ambiental.

2.1.1 Cadastro Técnico Multifinalitário

Em quase todos os países do mundo ocidental, o termo CADASTRO está associado ao estabelecimento dos registros legais e técnicos da situação presente, ou esperada, das parcelas territoriais (Henssen & Williamson, 1997).

O Cadastro de bens imobiliários, tal como hoje é conhecido, surgiu na França no início do século XIX. A partir de então, e entre outros países, o Cadastro desenvolveu-se na Alemanha como meio para a fiscalização imobiliária. Em meados do século XX, serviu de registro e garantia da propriedade. Com a expressiva urbanização na década de 20 (Século XX), a qual exigiu maior número de dados para o planejamento local e regional, os cadastros passaram a ser utilizados para fins de planejamento, adquirindo o caráter Multifinalitário (BÄHR, 1994).

É muito difícil administrar e planejar uma região sem o conhecimento preciso de todos os fatores envolvidos com a terra e suas características naturais e antrópicas.

O Cadastro Técnico Multifinalitário deve, portanto, ser entendido como um sistema de registro de propriedade imobiliária, feito de forma cartográfica e descritiva,

constituindo desta forma, o veículo mais ágil e completo para a parametrização dos modelos exploratórios de planejamento, sempre respaldado pela sua estruturação e funcionalidade (LOCH, 2005).

No estudo do Cadastro, este se porta como eixo temático que congrega técnicas e ciências que tentam retratar realidades, físicas ou não, presentes em uma região, em um dado período de tempo, com a finalidade de registrar as alterações impostas.

Entendendo o cadastro como um eixo temático, pode-se imaginar que o Cadastro Ambiental é uma ramificação que procura reunir e dispor de variáveis que descrevam da melhor maneira, o ambiente, de modo que se registre as alterações sobre ele impostas. LOCH (1993) afirma que o cadastro técnico para ser multifinalitário obrigatoriamente deve ser fundamentado em um número expressivo de parâmetros que caracterizam a área, está é uma forma de que seus resultados passem a ser multifinalitários.

Desse modo, pode-se inferir que o cadastro é uma ferramenta essencial para o monitoramento ambiental, pois com base na forma como se modela a realidade podem ser feitas análises sobre a variação ocorrida no ambiente.

Na Agenda 21, é dada considerável ênfase sobre o potencial da Avaliação de Impacto Ambiental, como suporte para alcançar formas mais sustentáveis de desenvolvimento. De acordo com o capítulo 9 da referida agenda: “os governos com a cooperação dos organismos pertinentes das Nações Unidas e, conforme apropriado, das organizações intergovernamentais e não-governamentais, bem como do setor privado, devem: desenvolver, melhorar e aplicar métodos de Avaliação de Impacto Ambiental com o objetivo de fomentar o desenvolvimento industrial sustentável” (ONU, 1997, p.9.6).

Figueiredo (2000) afirma que o crescimento populacional está aumentando a demanda pela terra e diminuindo a oferta, e que isto está levando os pesquisadores cada vez mais a se investirem em estudos para otimizar a produtividade da terra e racionalizar o consumo, visando o desenvolvimento harmônico.

Desta forma, tanto os setores públicos quanto os privados, devem poder contar com as informações espaciais que descrevem, de forma aceitável, o ambiente. O pré-requisito para que isto se desenvolva é o desenvolvimento do Cadastro Ambiental, criando de forma harmônica uma base para decisões relacionadas ao ambiente, buscando evitar ou atenuar os danos à fauna e a flora.

Porém, a viabilidade econômica também é uma questão relevante quando se discute uma dada realidade, descrita através do registro de dados, essa realidade tem que

se adaptar aos meios técnicos disponíveis para que se possa modelar o ambiente, tolerando, por vezes, métodos que não proporcionam uma resposta ideal.

2.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O Licenciamento Ambiental é um procedimento no qual o poder público, representado por órgãos ambientais, autoriza e acompanha a implantação e a operação de atividades, que utilizam recursos naturais ou que sejam consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou degradadoras do meio ambiente (FIRJAN,2004).

É obrigação das empresas ou atividades, previstas em lei, buscar o licenciamento ambiental junto ao órgão competente, desde as etapas iniciais de seu planejamento e instalação até a sua efetiva operação.

Este foi criado em 1975 através dos decretos 1.413 e 76.389 que definiram medidas de prevenção e controle da poluição industrial em meio a discussões ligadas ao Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento. Tais decretos autorizam a criação de sistemas de licenciamento por estados e municípios, para instalação e funcionamento de atividades potencialmente poluidoras (HENNING, 1998).

E em 1981, com a lei da Política Nacional de Meio Ambiente e com a regulamentação, em junho de 1983, da lei Federal n. 6.938 de 31/08/81, e Decreto n. 88.351/83, relativos à preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, complementou o Licenciamento com a criação das seguintes entidades:

- a) CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente;
- b) SISNAMA: Sistema Nacional de Meio Ambiente.

2.2.1 O processo de licenciamento Ambiental

A emissão do Licenciamento Ambiental além de estar condicionada às diretrizes de uso e ocupação definidas por um Zoneamento Ambiental (quando existente, tal como plano diretor, etc.), é concedida mediante a aprovação do EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental) ou de outros documentos técnicos, de acordo com o empreendimento ou atividade a ser licenciado.

Segundo HENNING (1998), o processo compreende três tipos de licença:

LICENÇA PRÉVIA: concedida na fase preliminar do planejamento da atividade ou na sua expansão, permite verificar a viabilidade do projeto e/ou localização do equipamento ou atividade, quanto aos aspectos de impacto e diretrizes de uso do solo.

LICENÇA DE INSTALAÇÃO: autoriza o início da implantação da atividade ou instalação de qualquer equipamento, de acordo com o plano de controle ambiental e com base no projeto de impactos ambientais, estudadas na fase da Licença Prévia.

LICENÇA DE OPERAÇÃO: autoriza o funcionamento do equipamento, atividade ou serviço, com base em vistoria, teste de operação ou qualquer meio técnico, verificando o funcionamento dos equipamentos de controle de poluição e dos sistemas de controle de degradação ambiental, estudados nas fases anteriores.

O organograma apresentado na figura 2.1, mostra o concatenamento das licenças descritas anteriormente, com as etapas do projeto.

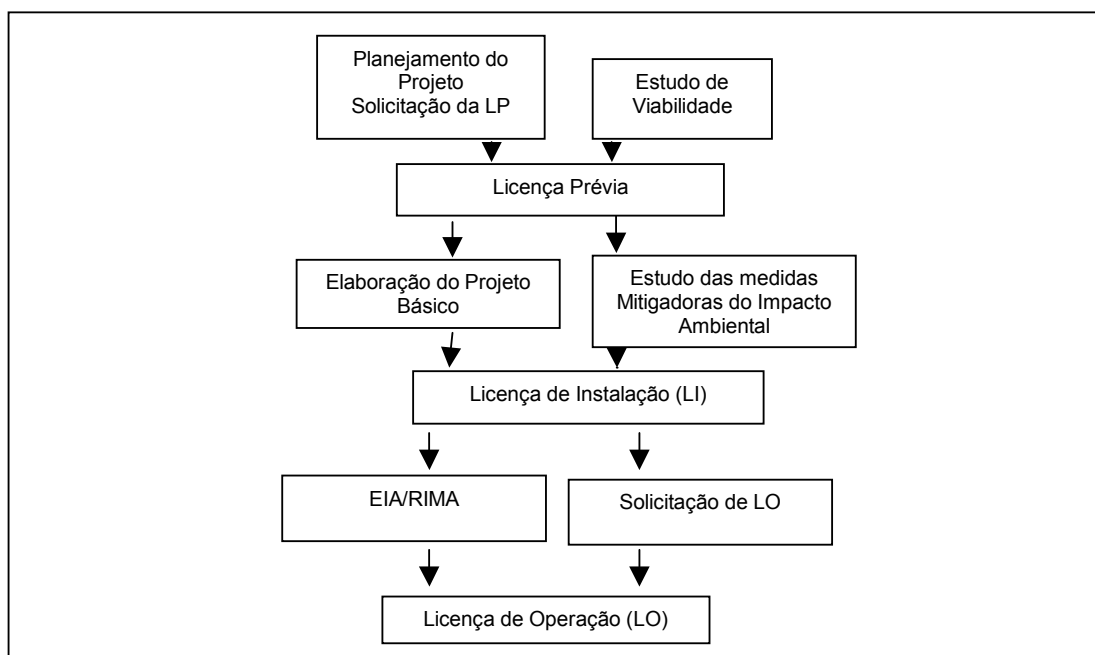


Figura 2.1 – Disposição das etapas de Licença ambiental

2.2.2 Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA)

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), são exigências legais instituídas pela Resolução CONAMA 001/86, para implantação de projetos com significativo impacto ambiental. O primeiro consiste de um estudo realizado no local, mais precisamente no solo, água e ar, para verificar se a área contém algum passivo ambiental. Além disso, permite prever como o meio sócio-econômico-ambiental será afetado pela implantação do empreendimento (FIRJAN, 2004).

Ambos EIA e RIMA, são elaborados segundo um padrão específico, desenvolvidos pelo órgão ambiental estadual responsável e, este padrão, é elaborado de acordo com as peculiaridades e especificidades da atividade e da região onde se promoverá a atividade ou o empreendimento e que se dá pela caracterização do empreendimento, sua localização, diagnóstico ambiental e controle periódico. Para uma hidrelétrica, que representa a área de estudo, em termos gerais, a caracterização se daria pelos seguintes itens:

- Caracterização do empreendimento;
- Localização;
- Diagnóstico Ambiental.

Outro aspecto relevante é o da medida compensatória que deverá ser definida pelo Órgão de Licenciamento Ambiental, por ocasião da emissão da Licença Prévia (LP), com base nos danos ambientais causados aos ecossistemas (HENNING, 1998).

2.3 AIRBORNE LASER SCANNER (ALS)

Segundo a *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) (2004) um típico ALS é formado por uma unidade de medida laser, um scanner óptico mecânico e uma unidade de controle e processamento. Um sistema *Airborne Laser Scanner* pode ser instalado em aviões ou helicópteros. Este sistema mede a distância entre o sensor e o objeto através de feixes de luz LASER. Tais objetos irão refletir a luz incidente, permitindo ao sistema realizar o cálculo da distância. Utilizando-se de unidades de medições auxiliares, tal como o DGPS (*Diferential Global Position System*) e o IMU (*Inertial Measurement Unit*), o sistema permite registrar a posição e a atitude do avião durante o voo.

O *Airborne Laser Scanner* (ALS) (figura 2.2) utiliza um sistema de varredura ótico-mecânico associado a uma unidade de controle e armazenamento digital e dois sistemas integrados que objetivam o referenciamento das posições alcançadas pelo pulso laser.

A maioria dos sistemas opera numa faixa do espectro eletromagnético entre 0,8 μm a 1,6 μm e suas propriedades físicas, são: alta potência; pulsos curtos e espectro ótico estreito. O laser emite pulsos de alta energia diferenciando-se das técnicas de radar (DALMOLIN&SANTOS,2004) .

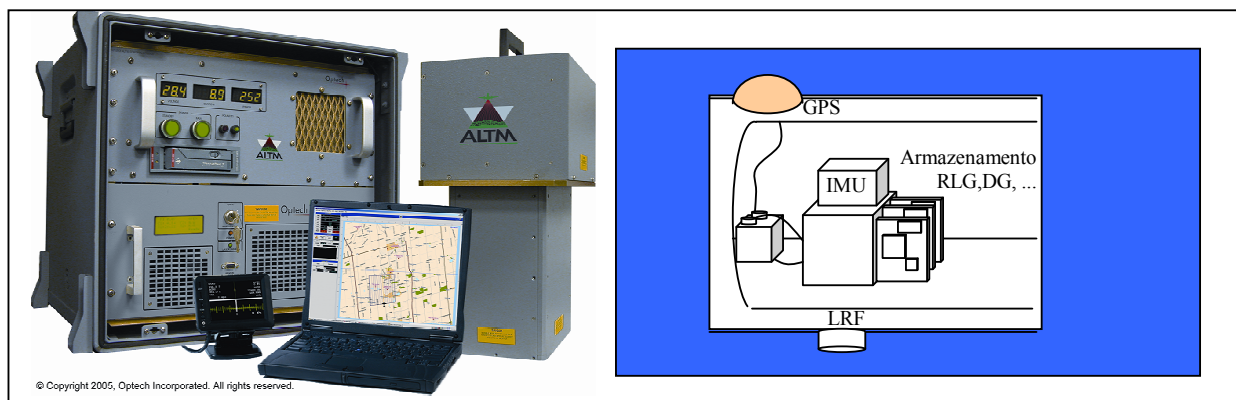


Figura 2.2 – Sistema ALS

FONTE: Optech,2005, adaptado.

O resultado destes levantamentos é representado geralmente sob uma forma que se assemelha a uma grade raster, figura 2.3, porém representa reamostragem de múltiplas determinações de distâncias associadas à posição do ALS, quando associada em forma de grade regular, por meio de interpolações, por exemplo, se comporta como uma matriz

tal como uma imagem digital e pode ser analisada usando as técnicas de processamento digital de imagens. A identificação de objetos nas imagens, no entanto, merece uma atenção especial, pois a natureza da informação nelas contida é diferente das imagens associadas às faixas do visível e do infravermelho tradicionalmente analisados. (MIQUELES & CENTENO, 2003).

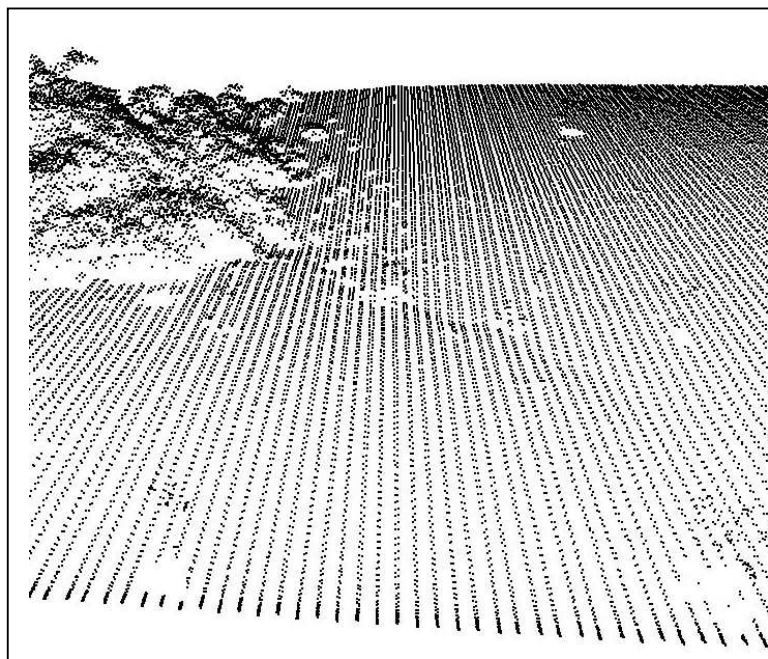


Figura 2.3 – Varredura ALS (nuvem de pontos)

2.3.1 Unidade de Varredura Laser

Embora o sinal usado seja altamente coerente no espaço, ele não atinge a superfície de maneira pontual (figura 2.4), a não ser que se cubra uma área unitária desta superfície. Então, o eco captado, pode provir de diferentes pontos dentro desta área unitária. Por isto, o ALS pode separar e gravar diferentes reflexões. Duas destas são as mais importantes, a primeira e a última (primeiro e último pulso) (CENTENO; STEINLE; VÖGTLE, 2000). A relevância da importância destas duas medições torna-se evidente quando se considera um objeto pouco denso (MIQUELES, et al, 2003), como por exemplo, a copa de uma árvore.

O primeiro pulso resulta da reflexão do feixe incidente pelos pontos mais próximos ao sensor, ou seja, o topo das árvores. Quando a copa não é densa, parte do feixe passa por ela e é refletido em alguns casos no sub-bosque ou até no solo (último pulso). Este último pulso, cuja duração é mais longa, registra as informações que o primeiro pulso não conseguiu captar, ou seja, permite detectar objetos mais baixos ou obstruídos por outros.

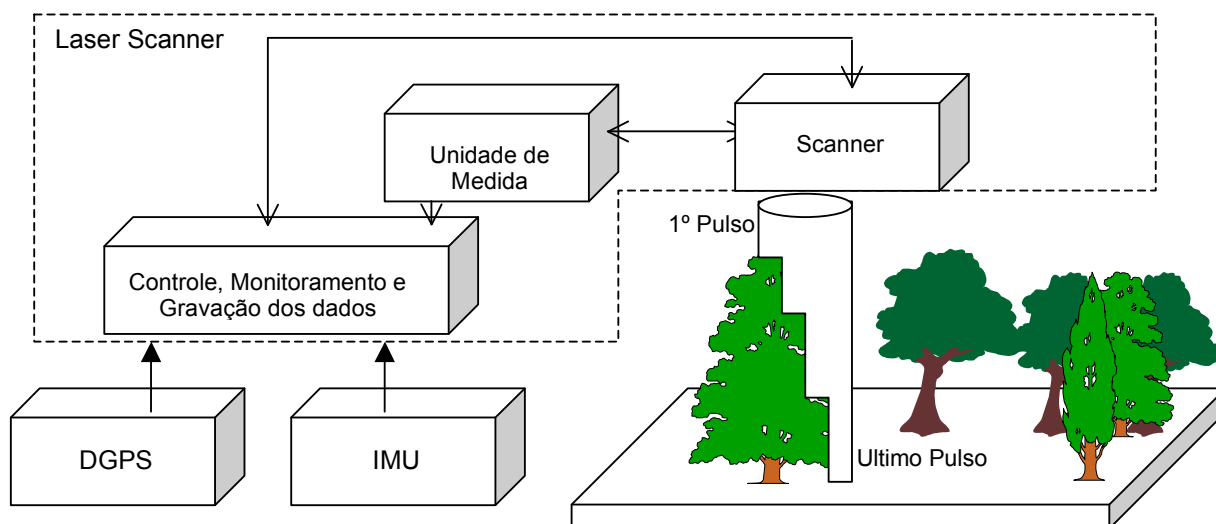


Figura 2.4-- Unidade ALS (adaptado WERHR, 1999)

O movimento do pulso laser, na direção transversal à linha de voo, é denominada varredura, esse movimento proporciona a cobertura da faixa. Os padrões de varredura mais comuns são, figura 2.5:

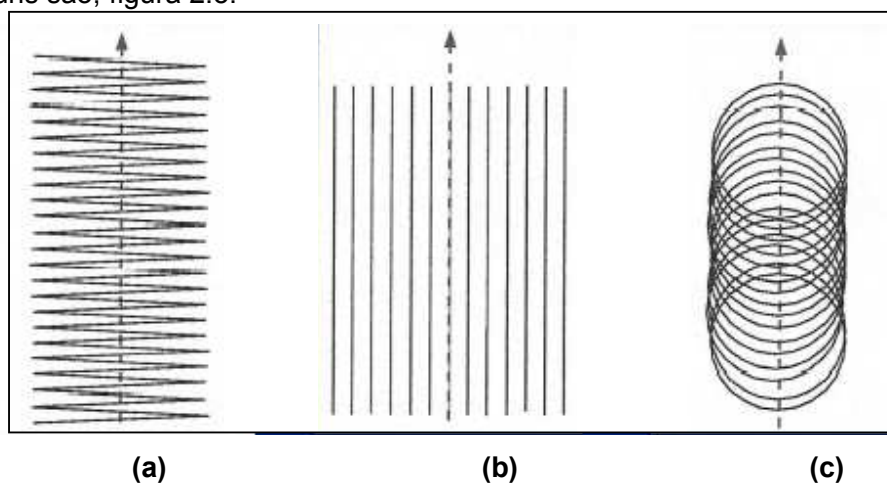


Figura 2.5 – Padrões de varredura (a) Zig-Zag, (b) Linhas Paralelas, (c) Elíptico.

FONTE: LOHMAN,2003.

2.3.2 Unidade de posicionamento

Fazendo um paralelo com o voo apoiado em fotogrametria, o ALS através da técnica DGPS, obtém o posicionamento da aeronave sem utilizar pontos fotoidentificáveis, como no método de voo apoiado citado.

O DGPS (fig. 2.6), no ALS, consiste em um receptor GPS geodésico integrado ao sistema na aeronave e uma ou mais estações GPS distribuídas na área a ser varrida de forma que as linhas base – distância entre o GPS da aeronave e as estações – não excedam limites máximos, estes últimos variam de acordo com a finalidade do levantamento (BRANDALIZE,2004).

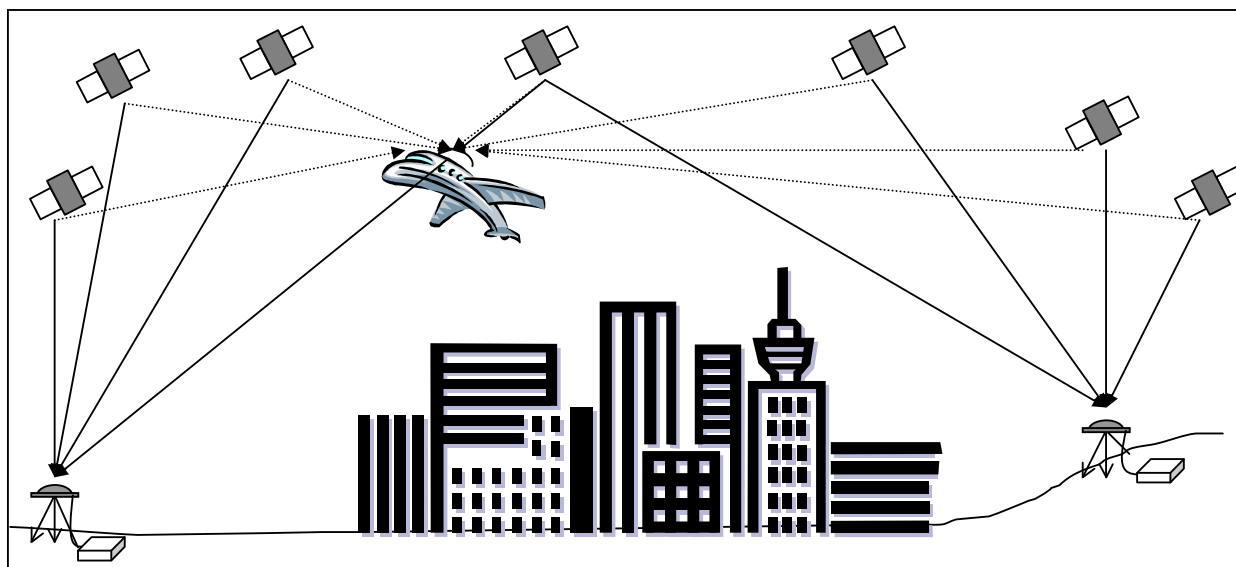


Figura 2.6 – DGPS

2.3.3 Unidade de medida inercial

O princípio do IMU é baseado nas leis de movimento. Se o campo gravítico através da trajetória for conhecido, então, a posição pode ser determinada através de integrações duplas. Por outro lado, a informação relativa à gravidade pode ser extraída, se a posição e a velocidade do veículo forem conhecidas (SOUSA,2004).

O fundamento da navegação inercial baseia-se, portanto, na integração de acelerações observadas através da montagem de acelerômetros num veículo ou avião. A primeira integração da aceleração fornece a velocidade e a segunda integração fornece a posição, mas de qualquer forma, as condições iniciais de integração têm de ser

conhecidas (SOUSA, 2004). Por isso, e ao contrário do sistema GPS, o IMU como o INS é um sistema de posicionamento relativo.

2.3.4 Unidade de controle e processamento

A unidade de controle e processamento tem como objetivo armazenar e gerenciar todos os dispositivos que estão integrados ao sistema e armazenar as informações por ele coletadas, outra função que vale destacar é o sincronismo associado ao controle do tempo, fundamental para a qualidade das informações finais.

2.3.5 ALS x Aerofotogrametria

A Fotogrametria faz parte das técnicas de mensuração passivas, isto é, a luz visível refletida pelos objetos e captada por uma câmara métrica, que permite a medição de elementos diretamente nas imagens, desde que aqueles elementos estejam visíveis em, pelo menos, duas imagens (TOMMASELLI,2003). Já, o ALS, é um sistema de mensuração ativo que registra o retorno de um feixe laser emitido, por isso, muitas vantagens e desvantagens observadas na tabela 2.1 são decorrentes dessa característica.

	CARACTERÍSTICAS	ALS	Aerofotogrametria
Sensor	Ativo	SIM	NÃO
	Óptico	SIM	SIM
	Imageador	(1)	SIM
Dados	Exige calibração periódica	SIM	SIM
	Georreferenciados (POS)	SIM	(1)
	Coletados digitalmente	SIM	(1)
	Processados automaticamente	SIM	(1)
	Podem ser integrados aos dados obtidos por outras técnicas	SIM	SIM
Obstáculos	Condições climáticas (vento, nuvem, chuva, névoa, neve)	SIM	SIM
	Inclinação do Sol	NÃO	SIM
	Uso noturno	NÃO	SIM
Problemas	Provoca áreas de sombras	SIM	NÃO
	devido à inclinação do sinal emitido Na presença de declividades intensas	NÃO	SIM

(1) uso restrito

Tabela 2.1 – Comparações ente o ALS e a Aerofotogrametria (Fonte: adaptado de BRANDALIZE, 2004)

Como se percebe, o uso de uma ou outra técnica só se justifica se a técnica escolhida apesar das suas limitações, fornece a informação necessária. Isto não exclui a possibilidade de complementação de uma técnica pela outra, o que é recomendável como

pode-se observar na tabela 2.1, sobre tudo nos obstáculos e problemas relacionados a cada uma das técnicas. Sua relação é, portanto, complementar.

2.4 MODELOS DIGITAIS

Os modelos digitais são definidos por meio de um grande número de pontos plano-altimétricos que, normalmente, estão relacionados na forma de uma grade regular ou numa estrutura *Triangular Irregular Network* (TIN), Estes pontos dão origem a superfícies que, de acordo com a composição dos elementos ou feições integrantes, geram um modelo digital específico. Além dos pontos, alguns modelos digitais podem estar agregados de feições denominadas “linhas de quebra”, que são limites de reversão ou alteração de declividade representativos do relevo, como exemplo, pode-se citar “grades” de estradas e divisores de água. ANDRADE (1998) afirma que uma diferenciação entre o MDE e outros modelos pode ser feita pela ausência, neste último, de linhas de quebra.

Os principais modelos digitais são os de terreno (MDT), superfície (MDS) e elevação (MDE).

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é composto de pontos que estão sobre a superfície nua do terreno, isto é, retiram-se as feições artificiais como edificações e construções e retiram-se também as feições naturais como vegetação, e são atribuídas as linhas de quebras (figura 2.7).

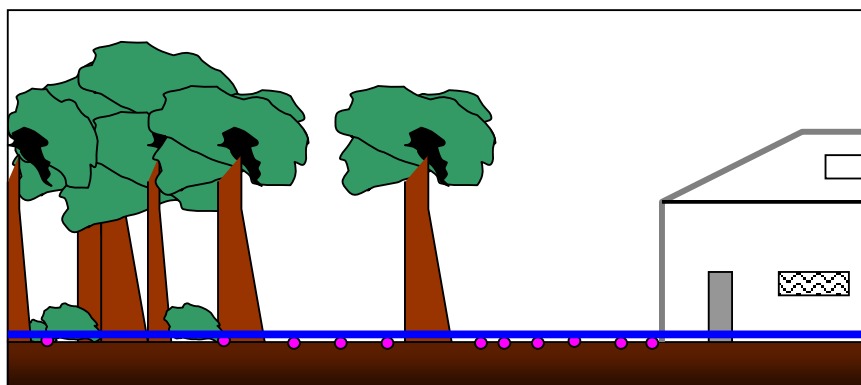


Figura 2.7 – MDT (em Azul)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) denomina os modelos semelhantes ao MDT porém sem as linhas de quebra.

O Modelo digital de Superfície MDS é igualmente como o MDT é construído com os pontos da superfície do terreno, porém, modelam-se também as feições naturais e artificiais (figura 2.8).

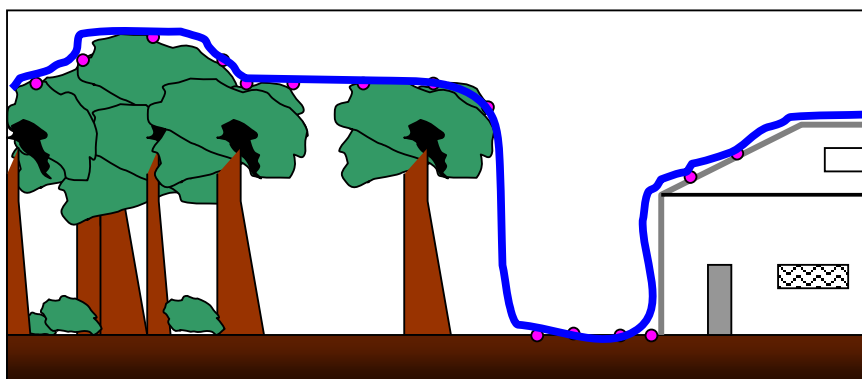


Figura 2.8 – MDS (em Azul)

2.4.1 Extração do MDT

A extração do MDT é uma etapa básica para a maioria das aplicações dos dados ALS, por isso, tem sido objeto de estudo de inúmeros autores.

KRAUS e PFEIFER (1998) desenvolveram um algoritmo baseado na distinção de pontos laser que estão no terreno e pontos que estão fora dele, usando uma previsão do MDT e comparando a altura do ponto analisado com a distância vertical do MDT esperado.

AXELSSON (1999,2000,2001) desenvolveu um método de densificação progressiva do TIN onde uma superfície pode flutuar de certos valores, controlados por um tamanho mínimo de descrição, impondo funções de suavização e ativando modelos de contorno para as diferenças de elevação. Os pontos do solo ficam conectados o TIN a partir de uma região essa rede vai se ampliando por meio da derivação de pontos de vizinhança até gerar a superfície.

SITHOLE (2001) e VOSELMAN e MAAS (2001) desenvolveram uma técnica de filtragem baseada na declividade. E o método de WACK (2002) os pontos que não estavam no terreno eram detectados hierarquicamente.

Neste trabalho, optou-se por não utilizar a extração automática, porém, ela é sugerida para aplicações mais extensas.

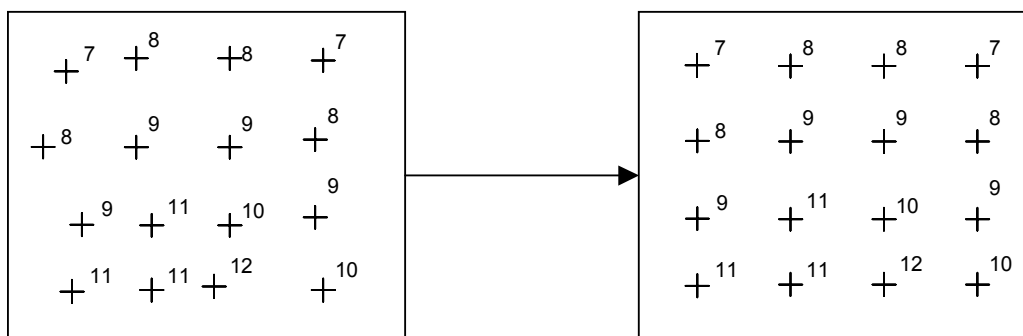
2.4.2 Interpoladores

Interpolação é um procedimento matemático de ajuste de uma função a pontos não amostrados baseado em valores obtidos nos pontos amostrados (LANDIN, 2000).

Assim, os interpoladores são as funções que realizam esse ajuste e dentre os interpoladores mais comuns, pode-se citar “vizinho mais próximo”, “vizinho natural”, “inverso de uma distância”, “*Kriging*”, “curvatura mínima”, “regressão poligonal”, etc. A seguir descreve-se dois interpoladores utilizados na pesquisa.

2.4.2.1 Vizinho mais próximo

Este interpolador atribui o valor mais próximo à posição interpolada, por isso, exige o menor esforço computacional. Outra vantagem é que este se utiliza apenas de valores presentes nas amostras, isto é, ele não cria novos valores (figura 2.9). É muito utilizado em procedimentos de reamostragem onde existe uma variação muito pequena entre a posição original e a posição interpolada.



(valores de cota dos pontos em metros em relação a plano arbitrário)

Figura 2.9 – interpolação de DTM com vizinho mais próximo

2.4.2.2 Inverso da distância

O “inverso da distância” nada mais é de que um interpolador linear, que pondera os valores utilizados de acordo com a distância. Isso faz com que, ao contrário do interpolador linear, sejam geradas superfícies mais suaves, no entanto, ele não tem como resultado valores maiores ou menores que os amostrados (figura 2.10).

Por essas razões LANDIN (2000) e SOUZA (2002) afirmam que esse interpolador é muito indicado para a interpolação do terreno.

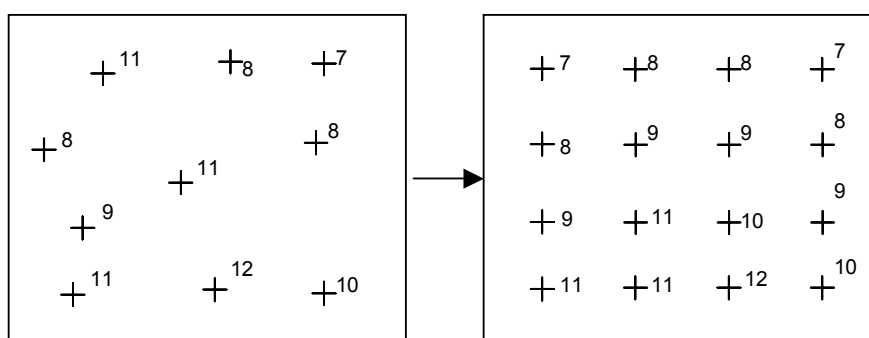


Figura 2.10 – interpolação de DTM com o inverso da distância

2.5 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O Processamento de Imagens vem, na realidade, do Processamento de Sinais. Os sinais, como as imagens, são suportes físicos que carregam em seu interior determinadas informações. Estas informações podem estar associadas a uma medida (neste caso, de um sinal associado a um fenômeno físico), ou podem estar associada a um nível cognitivo (neste caso falamos de conhecimento). Processar uma imagem consiste em transformá-la sucessivamente com o objetivo de extrair mais facilmente a INFORMAÇÃO nela presente (ALBUQUERQUE, 2000).

Por Processamento Digital de Imagens entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. Por comparação, na disciplina de reconhecimento de padrões, a entrada do processo é uma imagem e a saída constitui-se numa classificação ou descrição da mesma. Já, a área de gráficos por computador envolve a geração de imagens a partir de descrições das mesmas (INPE, 2005).

O objetivo de se usar o processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

A área de processamento digital de imagens tem atraído grande interesse nas últimas duas décadas. A evolução da tecnologia de computação digital, bem como o desenvolvimento de novos algoritmos para processar sinais bidimensionais, estão permitindo uma gama de aplicações cada vez maior (INPE, 2005).

2.5.1 Filtragem de imagens digitais

No processamento de sinais, os filtros lineares são geralmente descritos através de matrizes de "convolução". Um filtro numérico vai influenciar a variação da frequência espacial em uma imagem. Na frequência temporal, a escala usada é geralmente o Hertz (s^{-1}), e numa imagem usamos o 1/metro (m^{-1}) ou 1/pels (pix^{-1}). O termo "frequência espacial" é análoga ao termo "frequência temporal" e descreve a velocidade de modificação de uma luminosidade em uma direção em uma imagem (ALBUQUERQUE, 2000).

Na prática, para realizarmos uma operação de filtragem espacial, devemos escolher uma matriz de dimensão $n \times n$ com valores que dependem do filtro que queremos usar, seja ele “passa baixa” (filtrando as altas freqüências), ou “passa alta” (filtrando as baixas freqüências).

2.5.1.1 Passa baixa

Filtros “passa-baixa” recebem esta denominação pois são filtros que deixam passar apenas as baixas freqüências. Em uma imagem, as altas freqüências correspondem às modificações abruptas dos níveis de cinza, as bordas dos objetos ou valores de intensidade muito diferenciados da sua vizinhança. As baixas freqüências correspondem às variações suaves dos níveis de cinza. Eliminando grandes contrastes, temos então uma imagem suavizada sem variações abruptas. São chamados ainda de “filtros de suavização” devido ao efeito que causam na imagem original, depois de sua aplicação (figura 2.11).

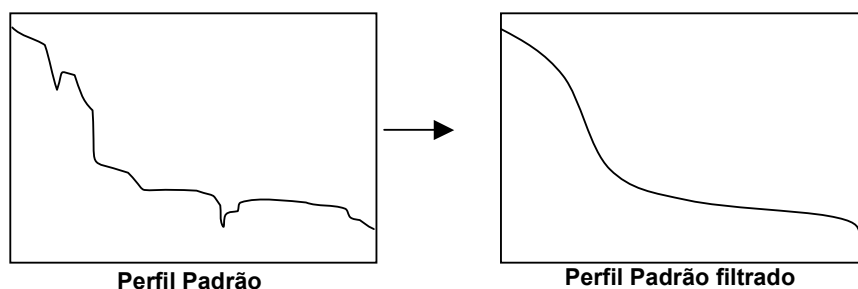


Figura 2.11 – Filtragem Passa Baixa.

2.5.1.2 Passa alta

Filtros “passa-alta” são filtros que deixam passar apenas as altas freqüências. São chamados filtros de realce de bordas, pois ressaltam mudanças bruscas nos níveis de cinza que caracterizam as bordas. Quando se quer evidenciar os contornos de um determinado objeto, pode-se usar filtros do tipo passa-alta (figura 2.12).

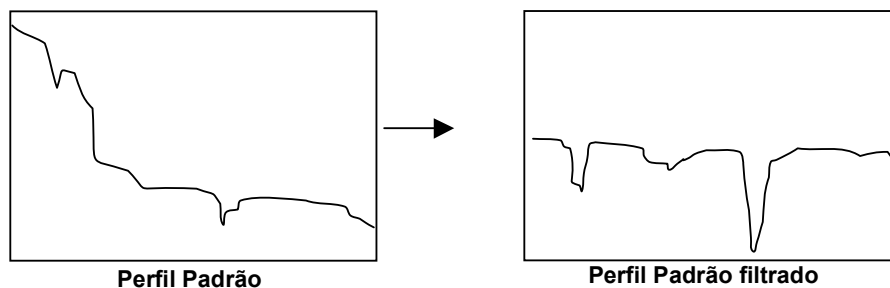


Figura 2.12 – Filtragem Passa Baixa

2.6 PERCEPÇÃO DA TRIDIMENSIONALIDADE

Parece claro ao referir-se a um elemento localizado no espaço euclidiano, está-se fazendo referência a três eixos coordenados, porém a percepção de elementos, nesse mesmo espaço, é muito mais complexa (VARLORG, 2003).

Quando se imagina um objeto tridimensional, também se imagina a capacidade de visualizá-lo integralmente, isto é, poder ocupar todos os pontos de vista possíveis no entorno do objeto, ou então, poder movimentá-lo em um ângulo sólido de 360 graus. Porém, essa capacidade nem sempre é observada em representações ou visualizações construídas pelo homem, como perceber o 3D em superfícies planas como *displays* eletrônicos e papel.

Pode-se dizer ainda que a visão humana não seria dotada da capacidade de visualizar objetos em tridimensionalidade, conforme o conceito apresentado, e sim a imaginação humana é que estaria sendo a detentora dessa capacidade, pois só na imaginação se pode reconstruir o objeto mentalmente de forma a percebê-lo em todas as suas dimensões. A visão humana seria apenas um meio para perceber esta tridimensionalidade (WATANABE, 1998).

Assim, tem-se mais um termo a considerar quando se utilizam artifícios para a visualização da terceira dimensão, como é o caso da paralaxe na visão humana ou então das curvas de nível em uma carta topográfica. Tem-se aí constituída, uma visualização em 2,5D ou em falso 3D.

Esta discussão se torna importante para o presente estudo quando se imagina a representação do espaço gerada a partir do sistema ALS. A estas representações se aplica uma série de simplificações que são de total relevância quando se procura aplicar modelos de estimação de biomassa, por exemplo.

CAPÍTULO 3

– Material e Método –

Neste capítulo são apresentados: a região com suas principais características de interesse para a pesquisa, os demais recursos utilizados e a descrição detalhada da metodologia empregada para se obter a estimativa da altura da vegetação na área de estudo.

3.1 DADOS ALS UTILIZADOS

O levantamento dos dados ALS utilizados nesta pesquisa foi realizado pelo LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. O LACTEC é um centro de pesquisa tecnológica do Paraná que dispõe de um Sistema ALS. Foi criado pela COPEL, Companhia Paranaense de Energia e, por isso, um de seus principais focos de pesquisa é o setor elétrico.

O Sistema utilizado pelo LACTEC é o ATLM 2050, fabricado pela empresa canadense Optech. Tal sistema tem frequência de até 50.000 Hz, registra o primeiro e o último pulso de retorno, possui um ângulo de varredura variável de +/- 20 graus e a altitude nominal máxima de operação é de 2.000 m. O Instituto disponibilizou seus dados e informações sem custo para o trabalho. As configurações utilizadas no levantamento dos dados, que são objeto do presente trabalho, estão dispostas na tabela 3.1:

Parâmetros de Configuração	
Altura de vôo	2000 m
Velocidade de vôo	280 km/h
Largura das faixas	1456m
Ângulo de varredura	40°
Densidade de pontos média	1,5 ponto/m ²
Frequência de perfilamento	30 kHz
Pegada do feixe	0,54 m

Tabela 3.1 – Configurações ALS FONTE: LACTEC

Os dados avaliados correspondem à área de entorno da barragem da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza, estado do Paraná, localizada sobre o Rio

Capivari, junto à Rodovia BR-116 (trecho Curitiba - São Paulo), no Município de Campina Grande do Sul, aproximadamente 50 km ao norte da Capital do Estado.

A Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza (figura 3.1) possui a potência de 260 MW e entrou em operação em outubro de 1970, tendo sido inaugurada oficialmente em 26 de Janeiro de 1971, quando entrou em operação comercial. Ela é a maior central subterrânea do sul do país e é a principal responsável pelo abastecimento de energia elétrica da Capital do Estado, Curitiba. (COPEL,2005).

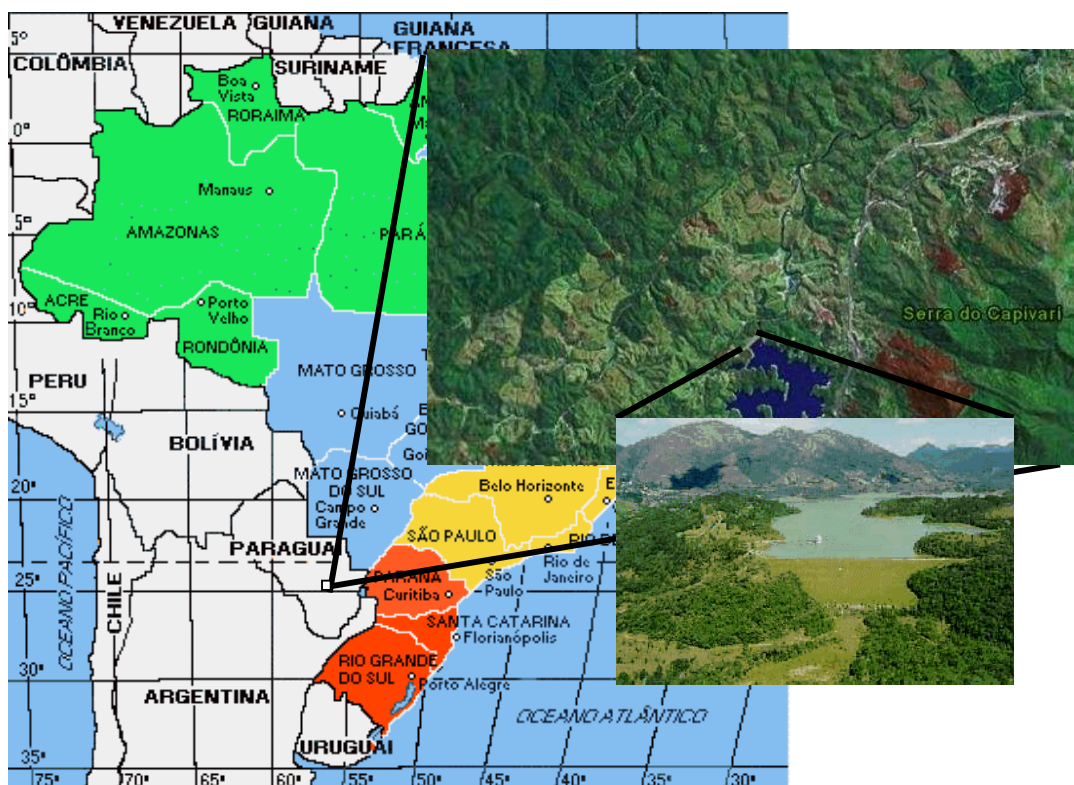


Figura 3.1 – Mapa de Localização Barragem da Usina Gov. Parigot de Souza.

(Fonte: GoogleEarth e COPEL,2005)

A área de estudo possui uma variação de altitude de 700 m a 1000 m, sendo ocupada por áreas rurais e de vegetação densa.

3.1.1 Fitogeografia da região

A geografia da região estabelece surgimento da Floresta Ombrófila Densa, em decorrência de temperaturas amenas e uma pluviometria alta e regular.



Figura 3.2 – Região do Rio Capivari/ Floresta Ombrófila Densa (FONTE MÜLLER ET AL, 2004)

A Floresta Ombrófila Densa (Figura 3.2) também é conhecida como Floresta Atlântica ou Mata Atlântica. Atualmente, os remanescentes mais expressivos se encontram nas regiões sudeste e sul do Brasil. A característica ombro térmica da Floresta Ombrófila Densa está ligada aos gradientes ecológicos, fatores climáticos tropicais de temperaturas (médias de 25°C) e de alta precipitação, sem período seco prolongado (entre 0 e 60 dias sem chuva). De acordo com muitos autores, a Floresta Ombrófila Densa é a classe de formação mais pujante e heterogênea do Sul do país (ISERNHAGEN;SILVA;GALVÃO, 2001).

Segundo os limites estabelecidos pelo sistema de Classificação da Vegetação Brasileira do IBGE (1992) a Floresta Ombrófila Densa divide-se em:

- a) Sub-formações Aluvial, de Terras Baixas;
- b) Submontana;
- c) Montana;
- d) Alto-montana;

Apesar da região apresentar uma variação altimétrica elevada, a Floresta Ombrófila Densa é classificada somente como Montana, como se verifica na tabela 3.2.

CATEGORIA DE VEGETAÇÃO Ombrófila Densa	Altitude (m)	nº de Famílias
Terras Baixas	5 à 30	147
Submontana	30 à 400	209
Montana	400 à 1.000	92
Alto-Montana	Acima de 1.000	38

Tabela 3.2 – Vegetação Ombrófila densa. (FONTE: IBGE, 1992 e ISERNHAGEN;SILVA;GALVÃO, 2001)

Pode-se ainda, no trabalho de ISERNHAGEN, SILVA e GALVÃO (2001) observar a variabilidade de uma categoria para outra, através do número de famílias (Tabela 3.2) arbóreas e arbustivas relatadas em cada uma delas e como no trabalho aborda-se a categoria que oferece segunda maior variabilidade.

3.1.1.2 Floresta Ombrófila Densa Montana

Compreende as formações florestais distribuídas sobre a porção intermediária das encostas da Serra do Mar, em altitudes superiores a 400 m. Região esta com relevo de maior declividade e sob temperaturas mais amenas, influenciadas pelo escoamento do ar frio planáltico onde são observáveis diferenciações florísticas sem relação com o patamar inferior, porém fisionômica e estruturalmente, as formações “Montana” e “Sub-Montana” são muito semelhantes.

A Floresta Ombrófila Densa (figura 3.3) Montana, para a região de estudo, se apresenta densa, variando em torno de 20 m de altura.

Predominam, no estrato superior, várias espécies da família Laurácea e com destaque para *Ocotea catharinensis* (canela preta), *Ocotea odorífera* (sassafrás) e *Cryptocarya aschersoniana* (canela fogo). São também comuns a *Copaifera trapezifolia*

(pau óleo), *Aspidosperma olivaceum* (guatambu), *Pouteria torta* (guapeva) e *Lamanonia speciosa* (guaperê), entre outras. Os estratos inferiores são predominantemente caracterizados pelas famílias *Myrtaceae* e *Rubiaceae*. Esta formação caracteriza-se ainda pela abundância de pteridófitas (xaxins) ocorrentes no sub-bosque, dentre as quais se cita *Dicksonia sellowiana* e diversas espécies da família *Cyatheaceae*. (SEMA, 2003)



Figura 3.3 – Região do Rio Capivari/ Floresta Ombrófila Densa Montana.
(FONTE MÜLLER ET AL, 2004)

Na figura 3.4 pode ser observado o perfil de uma floresta ombrófila densa. O estrato A contém as copas das árvores dominantes ou emergentes que geralmente se sobressaem acima do dossel contínuo da floresta. Logo abaixo, no estrato B observam-se as árvores co-dominantes, cujas copas se tocam e que também, como as dominantes, recebem a luz diretamente.

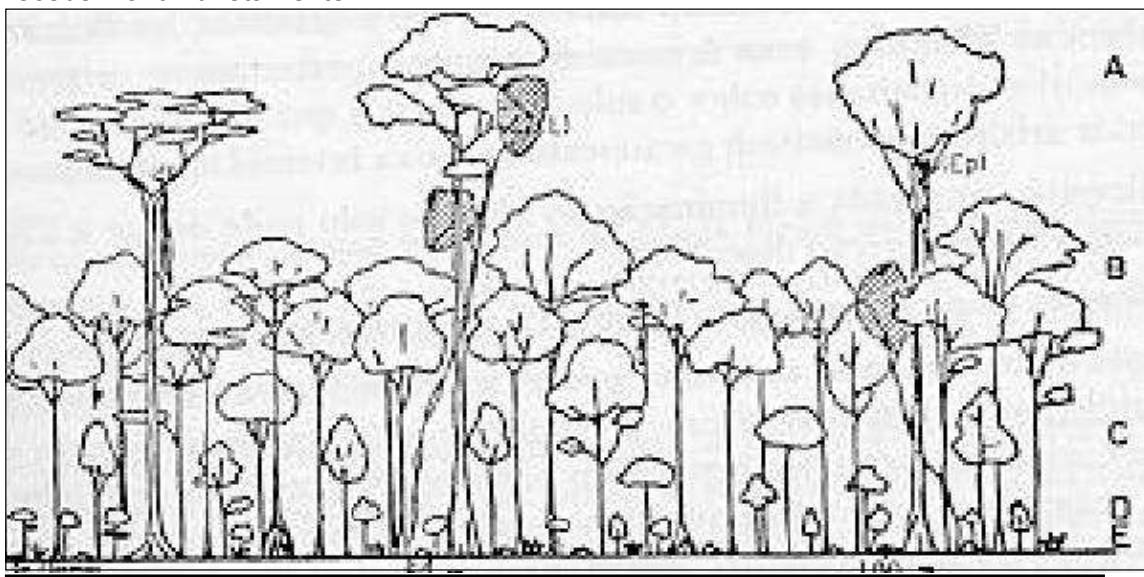


Figura 3.4 – Estratos da floresta ombrófila densa. Fonte: POGGIANI, 1989.

Eventualmente, o estrato B, devido à queda de uma ou mais árvores, pode abrir clareiras, permitindo a penetração dos raios luminosos diretamente sobre o estrato C, constituído pelas árvores dominadas que usualmente recebem luz diretamente apenas através das eventuais clareiras. As árvores do estrato C apresentam geralmente um crescimento reduzido, em virtude da baixa luminosidade. Todavia, quando uma clareira se abre estas árvores tendem a ocupar os estratos superiores respondendo rapidamente ao estímulo luminoso. Os estratos (A), (B) e (C) são chamados de estratos arbóreos. Ao abrigo destes três primeiros estratos observa-se a vegetação que constitui o sub-bosque formado pelo estrato (D) dos arbustos e pelo estrato herbáceo (E), composto de ervas prostradas de 30 a 70 cm de altura (POGGIANI, 1989).

3.2 RECURSOS DE SOFTWARE E HARDWARE

Para a realização do trabalho utilizaram-se as dependências do Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (LABFSG) da UFSC. Os dados ALS propiciam uma série de restrições para sua manipulação, por se tratar de um volume muito grande de pontos, onde existem duas possibilidades de operação.

A primeira forma seria adotar uma interpolação para os dados que passariam a ser tratados na forma de uma grade regular ou de uma imagem em tons de cinza. Neste caso, se aplicariam ferramentas utilizadas em processamento digital de imagens, pois os dados passariam a estar agregados na forma de uma grade raster. A desvantagem está na interpolação e reamostragem necessárias, estes processos podem influir demasiadamente nos resultados finais por estarem alterando os valores originais.

A outra alternativa é o uso das coordenadas na forma de vetores, onde o ambiente passa a ser o de um *Computer Aid Design* (CAD), os algoritmos de trabalho, funções necessárias para a classificação, seleção, divisão e operações entre as superfícies passam a ganhar um nível superior de complexidade, porém, ao contrário da primeira alternativa, os dados não são interpolados, isto é, sofrem menor influência que na utilização da primeira forma, dependendo mais da capacidade do *hardware* disponível. Existe uma relação entre o número de pontos carregados num ambiente CAD e a memória RAM do *hardware*.

Uma situação que ilustra estas restrições, principalmente no que se refere ao *hardware*, acontece quando se procura operar funções automáticas do *software*, como os classificadores. Conforme informações dos manuais, o sistema operacional e os programas utilizados para a manipulação dos dados laser necessitam:

- a) 35 MB para o *Microsoft Windows XP*;
- b) 12 MB para o *MicroStation SE*;
- c) 20 MB para cada milhão de pontos carregados no *TerraScan*;

Estes valores correspondem à memória *Random Access Memory* (RAM), porém, se utilizam classificadores como os utilizados na classificação do solo, pode-se chegar até a relação observada na tabela 3.3.

Número de Pontos	Memória RAM disponível
2 – 5 milhões	256 MB
4 – 10 milhões	512 MB
8 – 20 milhões	1024 MB

Tabela 3.3 – Relação número de pontos carregados memória (TERRASOLID,2003)

Observa-se uma relação quase linear entre memória RAM e número de pontos laser processados.

O *Hardware* disponível para o trabalho possui 1024 MB RAM, processador Pentium IV 2.8 GHz, *Hard Disk* de 80 GB.

Os softwares utilizados foram:

- a) *Microsoft Windows XP*: Sistema operacional e interface de suporte para todos os outros programas;
- b) *MicroStation SE*: Interface CAD para operação do Terrascan;
- c) *TerraScan*: Modulo proprietário especializado na visualização e classificação dos dados ALS;
- d) *Surfer 8.0*: programa especialista que opera com grades regulares, diferentes interpoladores, operações de superfícies e visualização 3D.

3.3 MÉTODO DE TRABALHO

Como o objetivo é estimar valores de alturas que possam representar o comportamento da floresta ombrófila mista montana, no organograma abaixo, figura 3.5, são apresentados os relacionamentos entre as etapas do método.

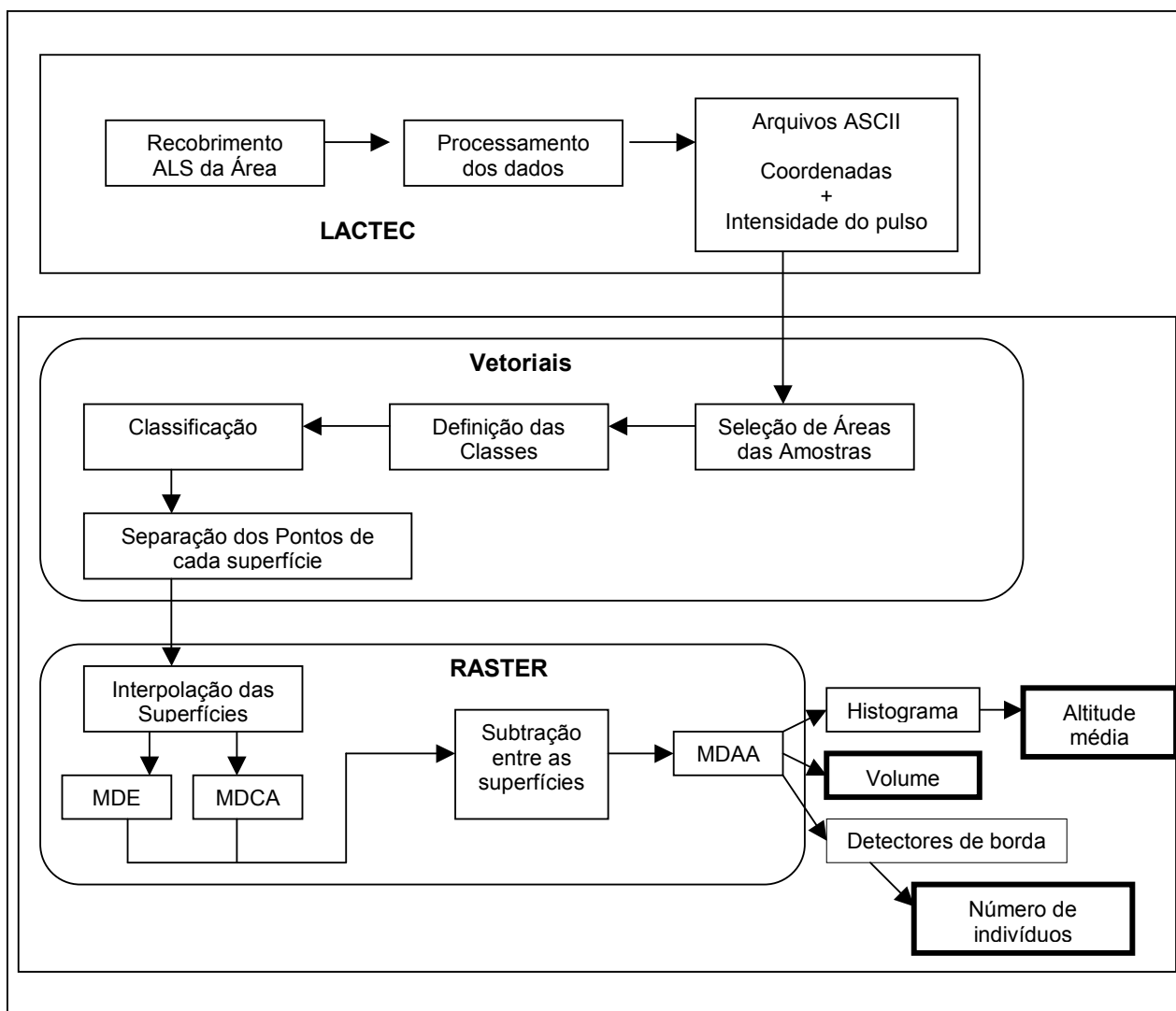


Figura 3.5 – Organograma com o método empregado

A primeira fase realizada integralmente pelo LACTEC, consiste do recobrimento da região com o sistema ALS e do processamento dos dados resultantes, gerando, assim, um arquivo que relaciona informações de pontos levantados com as suas altitudes.

As duas etapas seguintes foram divididas de acordo com a estrutura de dados utilizada. Na primeira correspondente a estimativa, vetorial, os pontos são classificados e

separados em arquivos individuais. Posteriormente na estrutura RASTER, acontecem as operações de filtragem e subtração entre as superfícies.

Após a cobertura da área os dados passaram pelo primeiro processamento, realizado pelo LACTEC. O processamento dos dados brutos ALS foi realizado por meio do *software* REALM *Survey Suite* (fornecido com os referidos sistemas ALS e, atualmente, na versão 3.1), cujas funções básicas encontram-se apresentadas na figura 3.6.

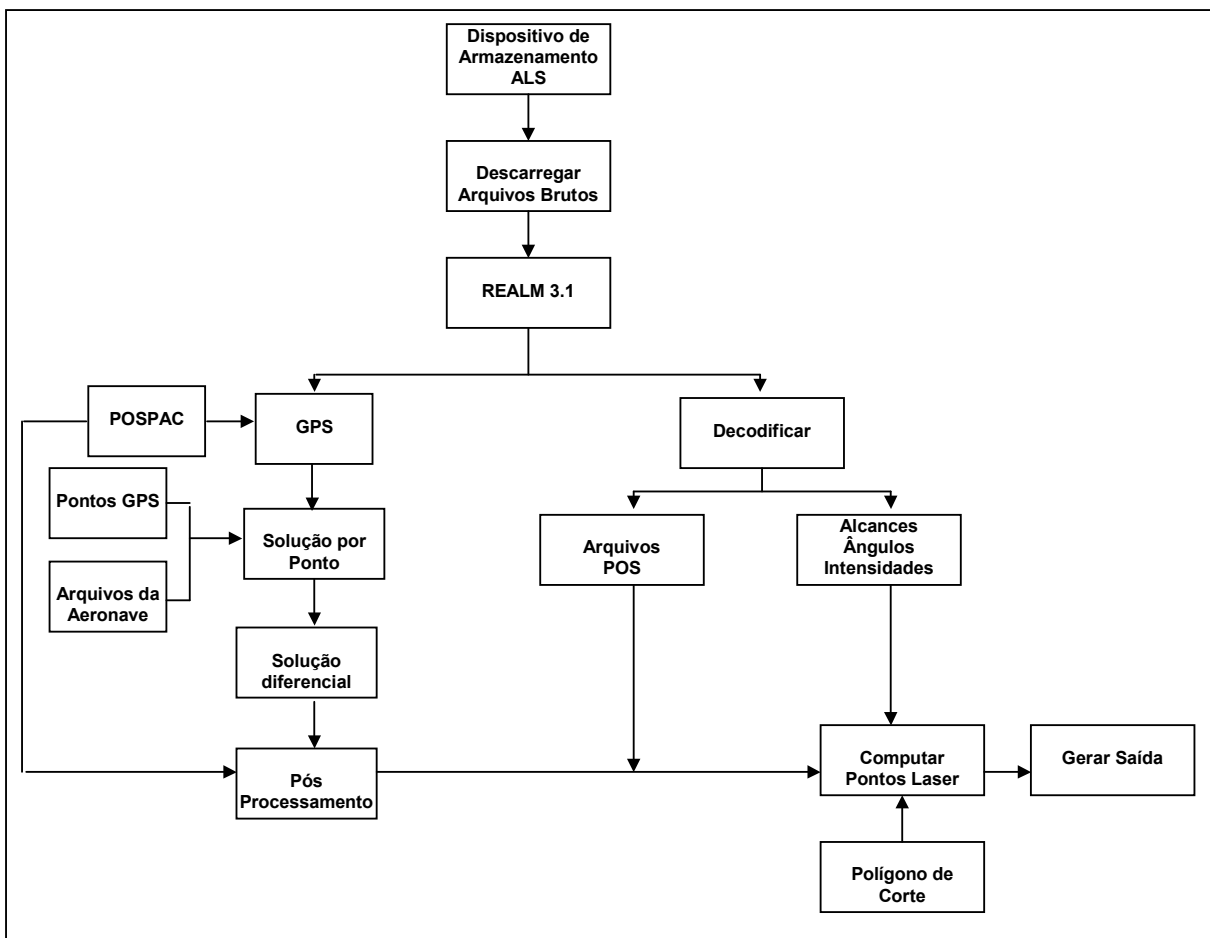


Figura 3.6 – Funcionamento *Software* REALM (fonte: Brandalize, 2004, adaptado)

No organograma da figura 3.5 observa-se que os dados armazenados durante a cobertura são interpretados pelo programa REALM 3.1. Este, por sua vez, processa primeiramente os dados GPS, com o auxílio de correções diferenciais das bases instaladas em terra, obtendo, assim, a solução por ponto, que fornece a posição da aeronave nos diferentes instantes do levantamento. Esta posição é associada às informações derivadas do IMU, que determina a atitude da aeronave e do ângulo de

varredura, juntamente com o dos valores de distância da aeronave aos pontos no terreno derivados do registro do tempo de emissão e retorno do sinal laser. Estes ainda são associados às intensidades dos pulsos de retorno, que derivam da iteração do pulso laser e da superfície de reflexão.

Desse processamento obteve-se um arquivo de coordenadas no formato ASCII, delimitadas por espaços tabulares que agrupavam pontos de primeiro e últimos pulsos, além da intensidade do pulso laser de retorno, estruturados da seguinte maneira (figura 3.7):

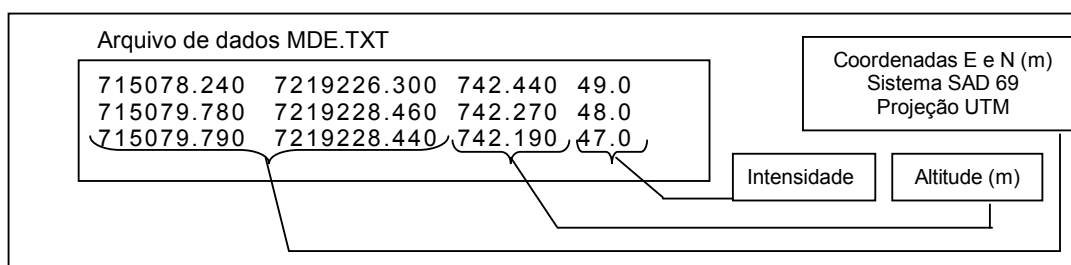
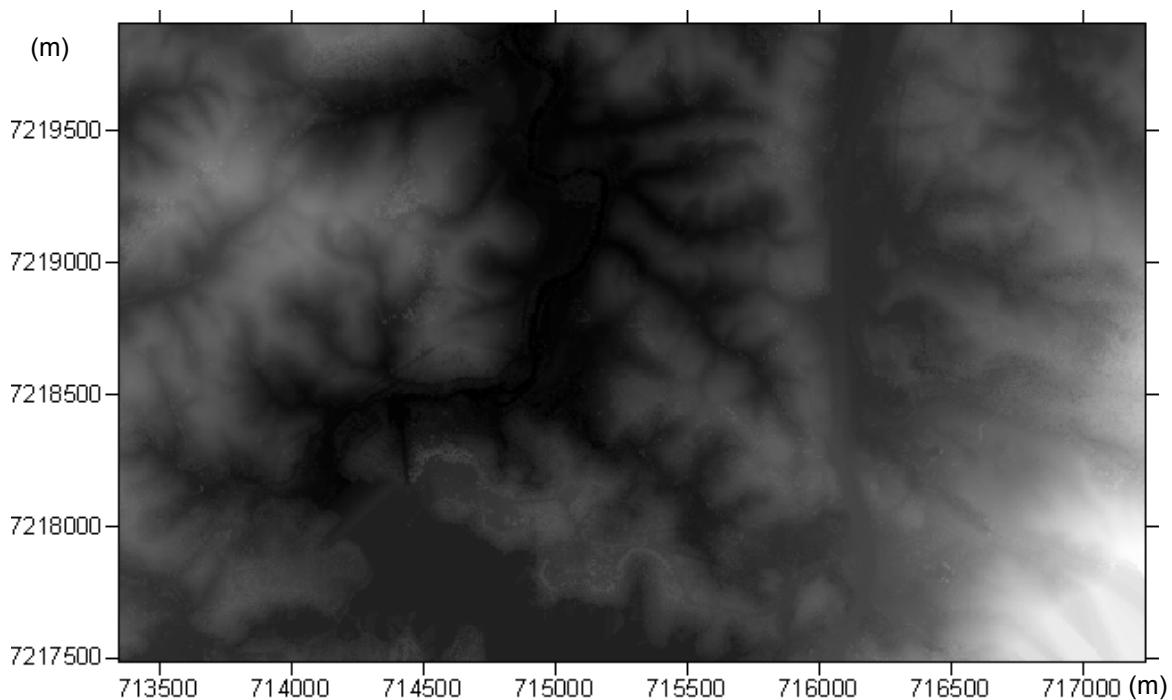


Figura 3.7 – Estrutura dos dados ALS.

Uma primeira visualização dos dados pode ser criada com a utilização de uma interpolação sobre os pontos, gerando, assim, uma grade regular que encontra-se associada à diferentes níveis de cinza (figura 3.8), onde os tons mais escuros correspondem a altitudes menores enquanto os mais claros correspondem a altitudes mais elevadas.



**Figura 3.8 – Grade regular associada a níveis de cinza
(Sistema de Referência SAD69, Sistema Projeção UTM, fuso 22)**

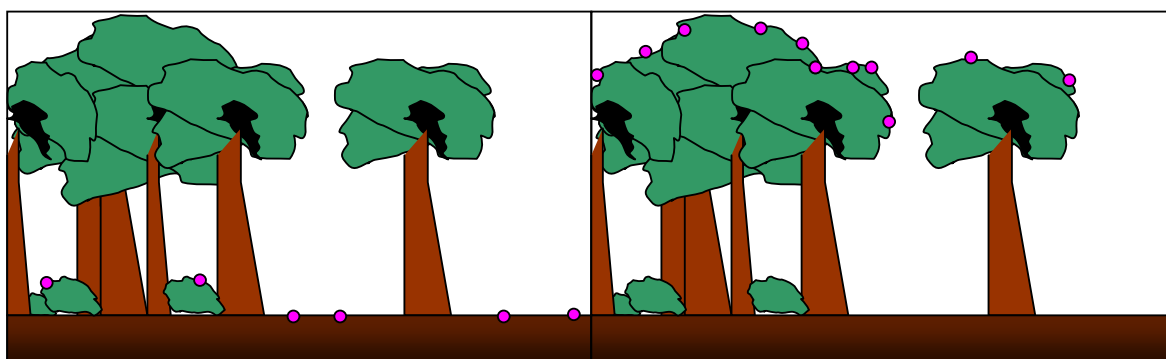
Na seqüência selecionaram-se amostras dentro da área disponibilizada, com diferentes altitudes médias e diferentes tipos de relevo, regiões íngremes e planas.

Após a seleção, separaram-se arquivos individuais para cada uma das amostras e, tal como no arquivo original, manteve-se a estrutura ASCII.

Procedeu-se a separação das amostras em duas classes de interesse:

a) Pontos do Terreno: compreendendo todos os pontos classificados como terrestres e geralmente derivados do modo último retorno (figura 3.9a).

b) Pontos de Vegetação: compreendendo todos os pontos classificados como vegetação (correspondentes ao topo de árvores, plantas, arbustos, edificações) e geralmente derivados do modo primeiro retorno (figura 3.9b).



(a) (b)
Figura 3.9 – (a) Ponto de Terreno, (b) Pontos de Vegetação

Nesta etapa, utilizou-se os dados na sua forma vetorial. Desta forma, a classificação dos pontos de vegetação e de solo foi realizada de modo a se apoiar em uma avaliação visual dos pontos a partir de seções (figura 3.10), sem utilização de algoritmos e técnicas de segmentação automatizadas.

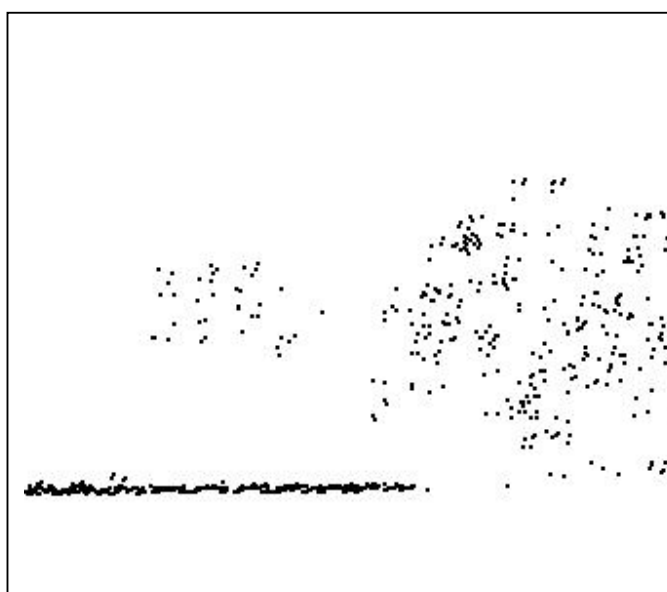


Figura 3.10 – Perfil dos pontos na amostra

Estas duas classes foram estabelecidas visando gerar dois modelos de elevação, o primeiro corresponderia ao terreno e segundo corresponderia à altura das copas das árvores.

A separação dos pontos culminou na formação dos modelos de interesse (Figura 3.11). Na etapa seguinte cruzou-se as informações altimétricas presentes em cada uma dos modelos. Para tanto, não se poderia realizar operações entre as superfícies sem antes obter valores correspondentes à altitude em toda a área de interesse. Por isso, utilizou-se modelo de grades regulares para possibilitar a comparação dos modelos.

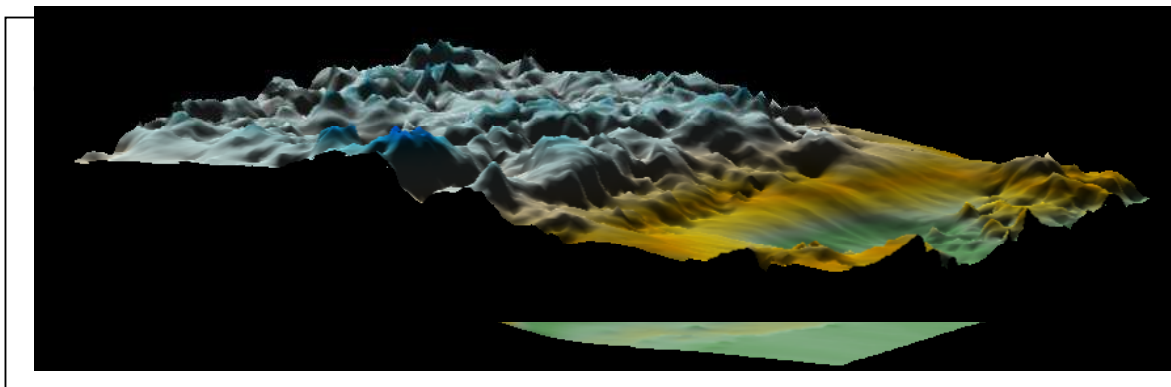


Figura 3.11 – Modelo do terreno MDE e da altitude da vegetação MDS

A operação entre as superfícies é a de subtração, assim, a altitude das árvores, subtraída da altitude do terreno, possibilita a geração de um terceiro modelo, que corresponde à altura das árvores (figura 3.12).

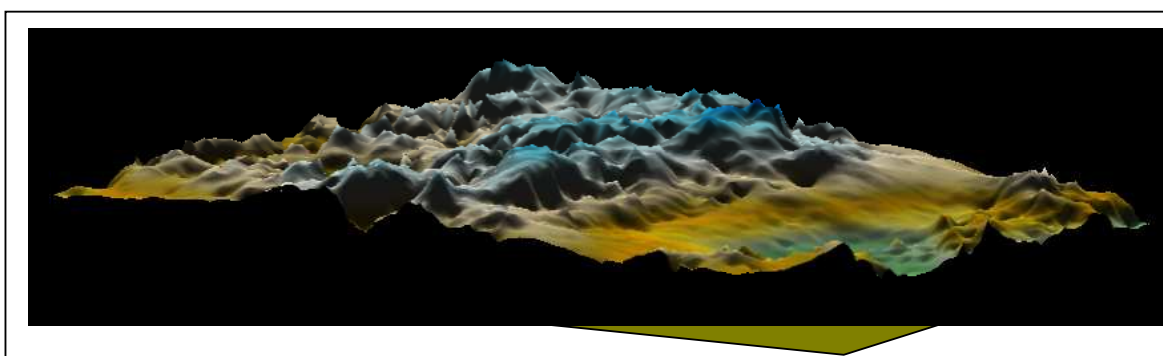


Figura 3.12 – Modelo da altura da vegetação

A partir deste modelo, foi possível obter parâmetros como: altura média das árvores, número árvores de certas espécies e volume da copa das árvores.

CAPÍTULO 4

– Resultados e Análises –

Neste capítulo são apresentados os resultados da metodologia empregada sobre a área de estudo, juntamente as análises pertinentes ou relacionadas à aplicação da metodologia para o monitoramento ambiental da área.

4.1 AMOSTRAGEM

Considerando a área total disponível, foram definidas amostras de tamanhos regulares, correspondentes a 30 áreas retangulares com as mesmas dimensões, 50 x 50 m, em regiões onde o relevo apresentava diferentes declividades, ora suave, ora acidentado, como pode ser observado na figura 4.1.

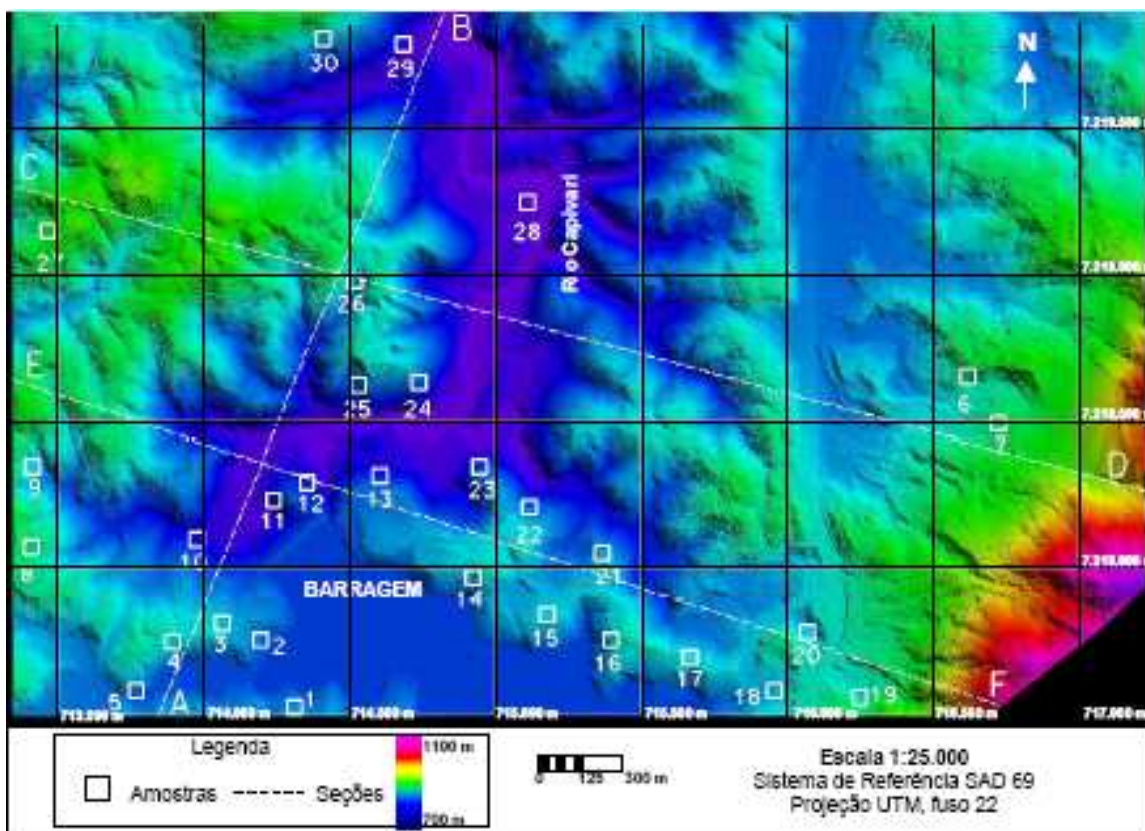


Figura 4.1 – Distribuição das amostras na imagem ipsométrica da região

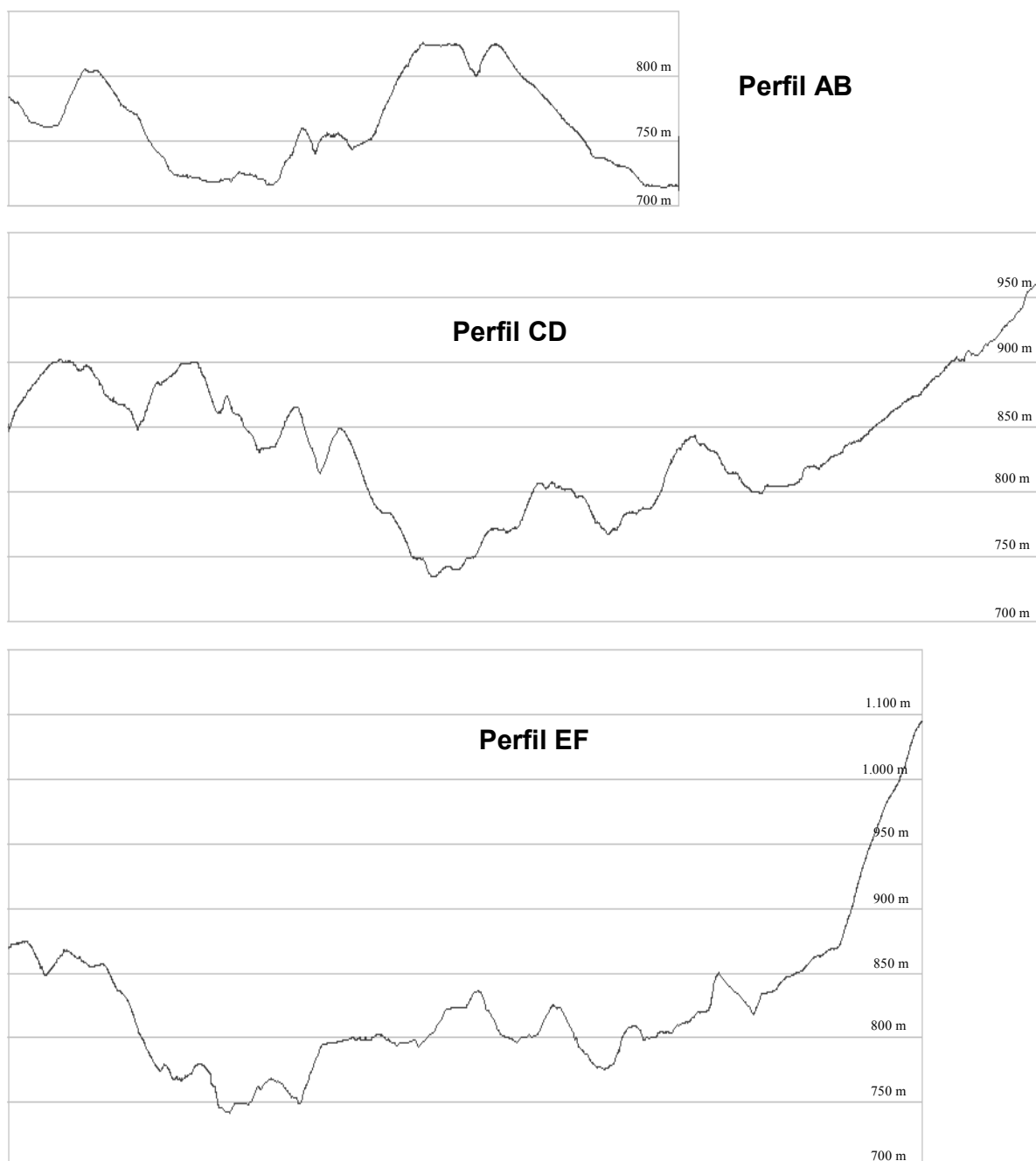


Figura 4.2 – Perfis AB, BC e EF. Escala Horizontal – 1:25.000; Escala vertical– 1:5.000.

Os perfis foram obtidos com a prévia classificação dos pontos ALS nas regiões da linha do perfil e com a vetorização da união desses pontos se obteve então os perfis apresentados na figura 4.2.

É possível observar uma grande variação altimétrica diretamente associada à proximidade da formação da serra do Capivari, à leste da barragem.

Cada uma das amostras contava com 13 mil a 30 mil pontos ALS, que derivaram do arquivo que continha o MDE, isto é, pontos do primeiro e segundo pulsos laser agrupados. A partir deste ponto as áreas foram tratadas individualmente para as operações propostas na metodologia.

É possível observar, na tabela 4.1, as principais características de cada uma das áreas como declividade, altitude e o total de pontos.

	Declividade Média (%)	Altitude média da amostra (m)	Total de Pontos	Penetração na Vegetação (%)
Área 1	19	806	3273	24,6
Área 2	12	796	3292	15,8
Área 3	12	816	3253	26,4
Área 4	8	835	3341	2,9
Área 5	12	799	3103	2,1
Área 6	34	821	4185	5,4
Área 7	55	862	2985	2,0
Área 8	17	821	1311	11,1
Área 9	25	826	1466	4,4
Área 10	53	772	1355	1,1
Área 11	11	774	1708	7,0
Área 12	26	768	1462	11,3
Área 13	11	770	1373	8,2
Área 14	16	823	3203	7,7
Área 15	3	821	4440	25,6
Área 16	25	823	4262	3,1
Área 17	2	829	2886	23,4
Área 18	8	818	1601	4,6
Área 19	3	842	2600	4,2
Área 20	16	822	3550	3,3
Área 21	27	811	4195	2,7
Área 22	58	798	3039	2,4
Área 23	47	782	3255	3,4
Área 24	25	803	4582	2,1
Área 25	38	800	2287	3,9
Área 26	34	822	1401	6,2
Área 27	29	892	2838	4,6
Área 28	5	747	1285	7,6
Área 29	27	758	2777	2,8
Área 30	12	809	2769	2,5

Tabela 4.1 – Características das áreas das amostras.

As declividades apresentadas em porcentagem correspondem à razão entre a variação altimétrica do terreno e a variação planimétrica, assim, uma declividade de 100% corresponderia a um ângulo de 45° formado entre a superfície média do terreno e uma superfície horizontal.

De acordo com os valores de declividade apresentados na tabela 4.1, pode-se obter o histograma da figura 4.3:

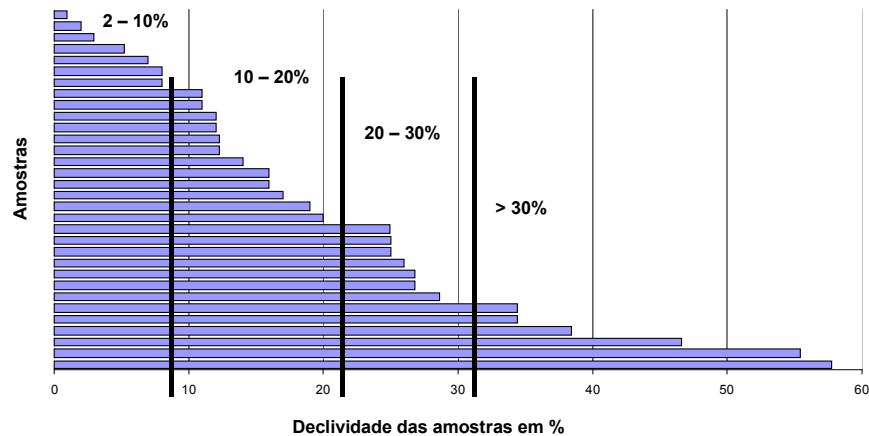


Figura 4.3 – Histograma das declividades das amostras.

Neste histograma (figura 4.3) percebe-se quatro classes de declividade derivadas pelo método das máximas diferenças e, que consiste em agrupar os valores em que as diferenças máximas no histograma servem de limite das classes apresentadas a seguir:

- a) Suave ondulado: 2 – 10 %;
- b) Ondulado: 10 – 20 %;
- c) Fortemente Ondulado: 20 – 30%;
- d) Montanhoso: > 30 %.

Outro valor apresentado na tabela 4.1 é a penetração do sensor que é obtido da razão entre os pontos reconhecidos como de solo e o total de pontos na mesma área. Este valor pode servir de índice para se avaliar a classificação do solo ou mesmo uma variação no tipo ou densidade da vegetação numa dada amostra.

4.2 MODELOS DIGITAIS DO TERRENO

Com o MDE de cada uma das áreas, foram classificados pontos do estrato arbóreo e de terreno, através da visualização das seções nas amostras.

Essa classificação foi realizada de maneira arbitrária, visto que para uma correta interpretação, seriam necessários visitas a campo para a comprovação de algumas hipóteses levantadas na classificação, principalmente no que tange à identificação dos pontos que compõem o solo, frente à vegetação arbustiva, em regiões de baixa penetração dos pontos ALS.

Na figura 4.4 encontra-se apresentada uma visualização dos modelos derivados das amostras através da classificação efetuada em cada uma das classes de declividade. Para obter a visualização destes modelos, utilizou-se uma imagem hipsométrica associada a um TIN, esta imagem demonstra a variação altimétrica, através da variação de tons de cinza, ordenada do preto ao branco.

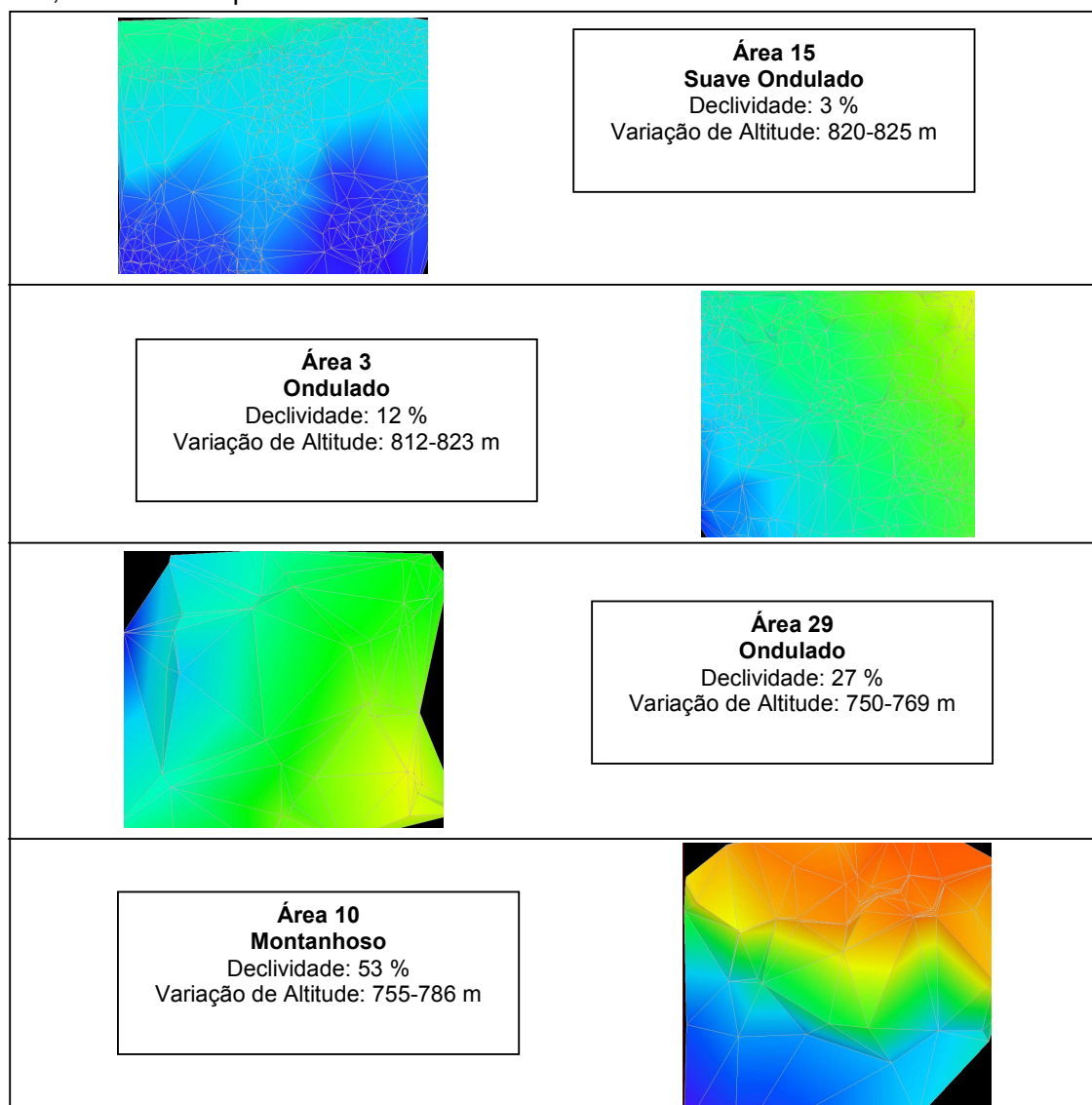


Figura 4.4 – Modelos Digitais do Terreno

Os arquivos de pontos dos MDT's foram convertidos TIN para grades regulares através de interpolações. Este procedimento foi empregado objetivando a comparação de diferentes superfícies criadas.

As grades geradas têm resolução de um metro e foram geradas através do interpolador inverso da distância.

A seguir, nas figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8, são apresentados os MDT's interpolados em grades regulares para as áreas em cada uma das classes de declividade definidas. Para sua visualização empregou-se uma perspectiva ortogonal, gerada para a modelagem da superfície.

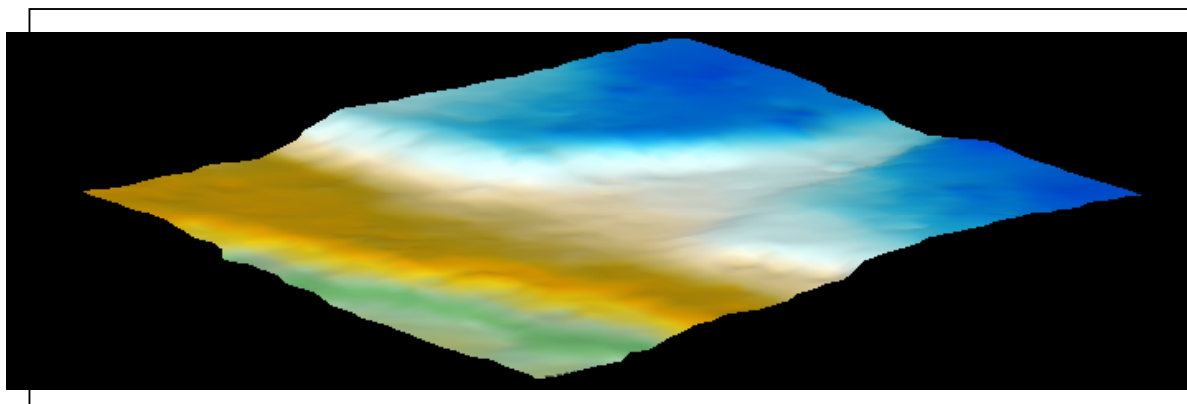


Figura 4.5 – Perspectiva do MDT da área 15.

Na Figura 4.5, uma área de relevo classificado como suave ondulado, a declividade associada a esta área foi de 3%, percebe-se que existem três patamares na amostra que mesmo apresentando variação altimétrica de seis metros, denotam predominância de relevo plano.

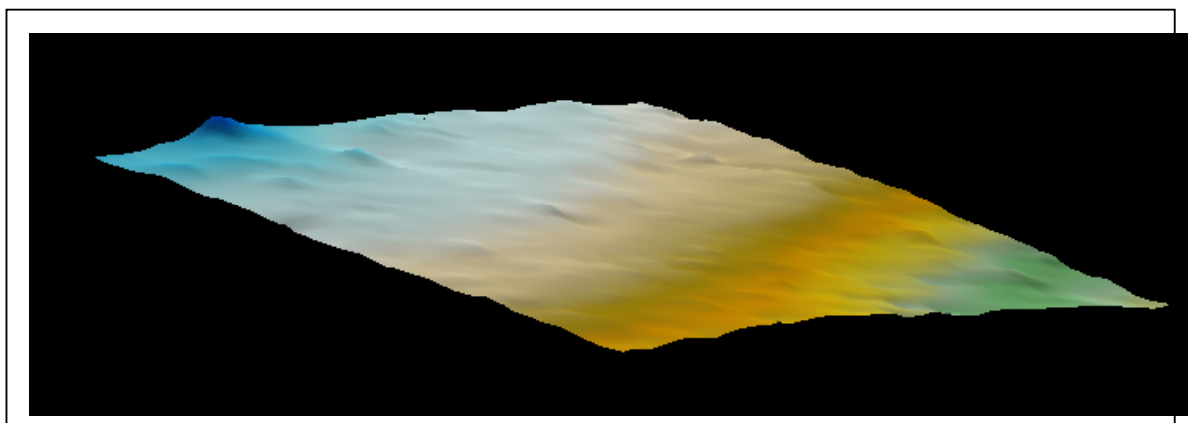


Figura 4.6 – Perspectiva do MDT da área 3.

A figura 4.6 representa a classe de relevo ondulado, esta amostra possui declividade aproximada de 12%. A variação altimétrica chega a 11 m.

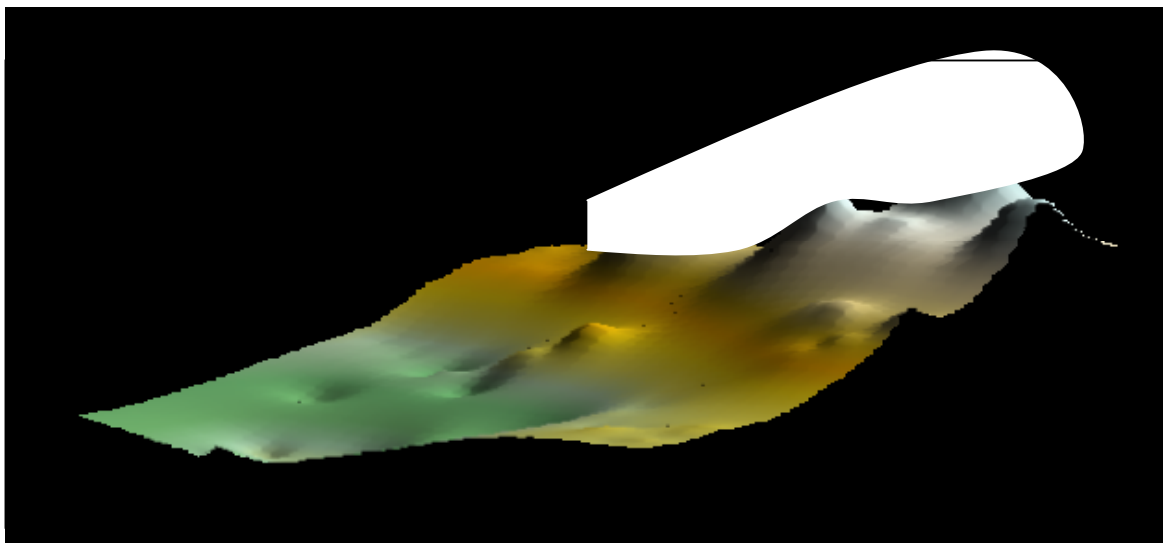


Figura 4.7 – Perspectiva do MDT da área 29.

À área 29 foi atribuída a classe de relevo forte ondulado por se situar, como se percebe na figura 4.7, numa região de início de encosta. A dificuldade da classificação nestas regiões é observada pelo número de pontos utilizados no modelo, apenas 77 pontos.

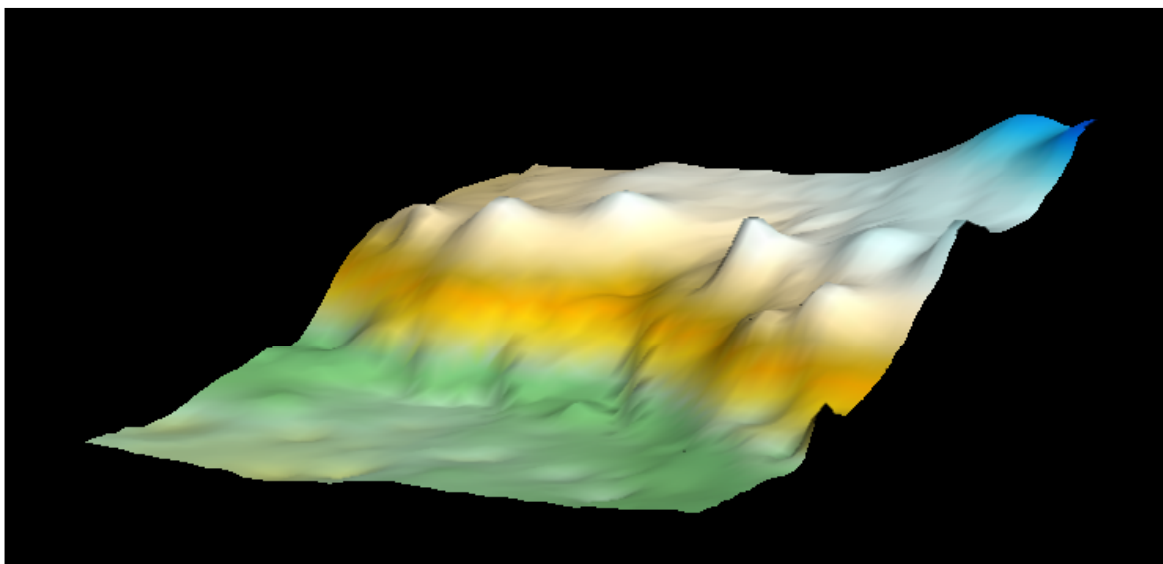


Figura 4.8 – Perspectiva do MDT da área 29.

A área 29, que neste trabalho esta classificada como montanhosa, apresentando 53% de declividade, reafirma a dificuldade de classificação deste tipo de relevo. Na figura 4.8 são claras as possíveis inconsistências do modelo, geradas por pontos que deveriam pertencer a um estrato arbustivo.

4.3 Modelos Digitais das Copas das árvores

O chamado MDCA (Modelo Digital da Copa das Árvores) é um modelo digital composto pelos pontos presentes no estrato arbóreo (ou dossel). No presente trabalho, a primeira etapa para a obtenção deste modelo foi a classificação. Porém, devido a um número muito elevado de observações na região das copas, optou-se pela interpolação, para eliminar observações e generalizar a superfície das copas. Mesmo mantendo o interpolador utilizado no MDT, os parâmetros de interpolação se alteraram, devido às características das amostras utilizadas neste processo. Como tem-se que generalizar o número de vizinhos analisados para a interpolação de um novo ponto, aumenta também o número mínimo de vizinhos em cada quadrante, como é possível perceber na tabela 4.2, que mostra comparativamente estes parâmetros.

Parâmetros do Interpolador	MDT	MDCA
Raio de Amostragem	20 m	5 m
Número de setores de amostragem	3	4
Número máximo de dados em todos os setores	10	80
Número máximo de dados em cada setor	4	20
Mínimo de dados em todos os setores	6	40
Mínimo de dados em cada setor	1	5

Tabela 4.2 – Parâmetros para interpolação dos dados.

Finalmente, utilizou-se um filtro digital passa baixa, para eliminar contornos inadequados às superfícies, gerados por pequenas clareiras, leitos de rios não perenes, e pequenos córregos; que permite que pontos sejam capturados em uma região mais baixa que a esperada.

O filtro passa baixa permite que se selecione apenas o comportamento mais geral da superfície, suavizando-a no todo. Os filtros passa baixa escolhidos foram os Gaussianos 3 x 3 e 5 x 5, que possuem as seguintes matrizes de filtragem na (figura 4.9). Os pesos desse filtro são gerados de acordo com a vizinhança do pixel central. Pixels que apresentam uma maior relação de vizinhança estarão agregados a um peso maior e com isso terão uma maior influência no valor resultante.

,003	,006	,018	,006	,003			
,006	,013	,037	,013	,006	1	2	1
,018	,037	1	,037	,018	2	4	2
,006	,013	,037	,013	,006	1	2	1
,003	,006	,018	,003	,006			

Figura 4.9 – Matriz do filtro Gaussiano 5 x 5 e 3 x 3

4.4 Modelos Digitais da Altura das árvores (MDAA)

O Modelo digital da altura das árvores (MDAA) nesta pesquisa tem o propósito de gerar um modelo similar ao MDCA, mas que possui uma característica importante, a obtenção deste modelo é feita subtraindo-se o MDT do MDCA, isto é possível por que quando os dois modelos citados são criados por meio da interpolação dos dados amostrados, as informações sobre a altimetria passam a ser armazenadas numa estrutura em forma de matriz, ou grade regular, onde são definidas áreas de dimensão correspondente ao MDT e MDCA. A subtração então é realizada sobre os valores dos pontos comuns as duas grades regulares.

O modelo da superfície que sobrepõe as árvores passa a ficar dissociada do comportamento do relevo e pode ser comparada sem esta interferência. Assim se obtém-se um novo modelo que permite a consulta de valores de variáveis a ele relacionadas como a altura das árvores e o volume da superfície gerada pelo modelo.

4.5 Análise das estimativas das Alturas da Vegetação nas amostras

A tabela 4.3 mostra os valores obtidos para as alturas das árvores nas 30 amostras utilizadas em relação ao MDAA:

	Altura Mínima (m)	Altura Máxima (m)	Altura média (m)	Desvio Padrão (m)
Área 1	4,69	17,04	9,58	2,43
Área 2	3,55	14,74	6,20	2,64
Área 3	3,38	13,27	5,80	1,55
Área 4	3,44	13,23	6,31	1,60
Área 5	7,01	22,41	17,47	2,78
Área 6	0,83	19,60	11,36	3,97
Área 7	1,02	20,33	12,60	4,14
Área 8	0,32	8,97	5,12	1,34
Área 9	5,43	18,08	9,67	2,23
Área 10	0,68	20,10	10,42	3,37
Área 11	2,36	14,57	8,77	2,77
Área 12	5,34	16,33	10,21	1,88
Área 13	2,37	28,81	22,34	8,48
Área 14	2,37	18,16	3,32	2,56
Área 15	3,72	19,80	12,47	3,58
Área 16	6,01	19,85	12,32	2,19
Área 17	3,64	12,70	6,75	1,69
Área 18	0,89	16,52	6,74	2,88
Área 19	5,60	16,22	9,79	1,66
Área 20	4,47	16,15	8,82	1,98
Área 21	3,37	14,57	7,08	1,79
Área 22	6,00	17,70	11,80	1,90
Área 23	1,74	23,31	12,26	3,28
Área 24	7,51	22,12	11,95	3,17
Área 25	6,67	21,94	11,62	3,02
Área 26	4,91	28,98	16,65	4,42
Área 27	5,61	22,32	11,09	2,45
Área 28	8,65	22,17	13,42	3,5
Área 29	13,58	25,81	20,59	2,31
Área 30	2,25	26,50	12,16	4,47

Tabela 4.3 – Alturas das árvores para as amostras.

Como visto no capítulo III, no item 3.1.2, que tratava da fitogeografia da região, afirmava-se, baseado em SEMA (2003), que a floresta ombrófila densa montana tem altitudes médias variando em torno de 20 m de altura.

Quando se compara este dado com a distribuição das altitudes obtidas, na tabela 4.3, pode-se criar um gráfico com a distribuição das altitudes médias como na figura 4.10. A altitude correspondente a 20 metros, somente pode ser atribuída aos integrantes do grupo denominado como “A”, isso induz a concluir que as amostras do grupo “A” corresponderiam à áreas onde a vegetação se mantinha com as características originais ou em grau muito avançado de regeneração. No restante das amostras é possível diferenciar mais dois grupos, “B” e “C”, que correspondem a estágios menos avançados de

regeneração, esses grupos possuem respectivamente altitudes médias em torno de 10 e 6 metros de altura.

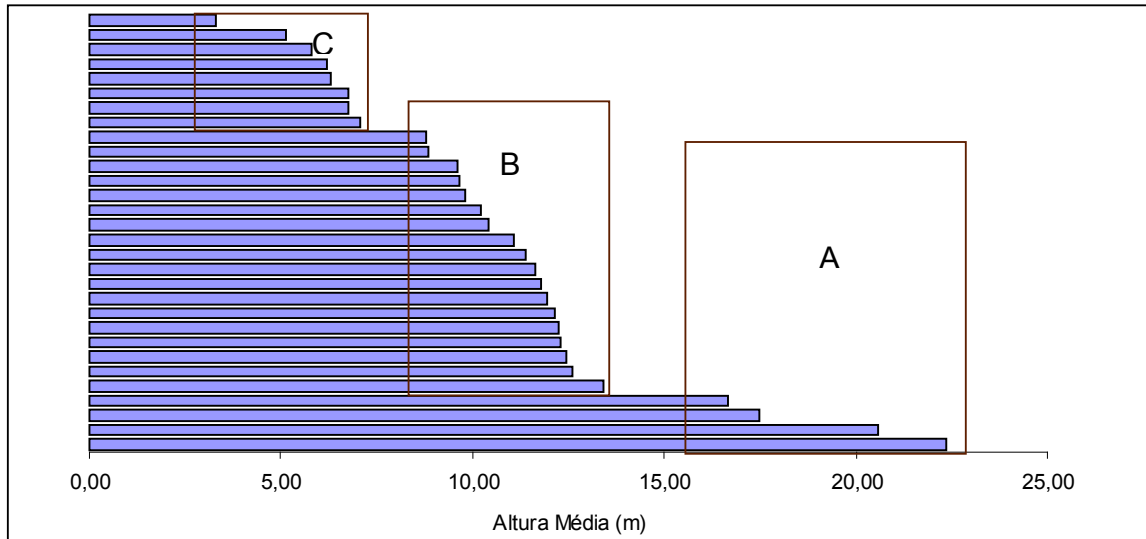


Figura 4.10 Histograma das altitudes médias do estrato arbóreo, Grupos A, B e C.

Com a finalidade de se comprovar a hipótese da existência dos três grupos apresentada acima, utilizou-se o teste t de Student, conforme apresentado por GEMAEL (1994):

$$P = \left| \bar{x} - \sigma_{\bar{x}} \cdot t_{1-\alpha} \leq u \leq \bar{x} + \sigma_{\bar{x}} \cdot t_{1-\alpha} \right| \therefore \quad (1)$$

$$t^c = \frac{\bar{x} - u}{\sigma_{\bar{x}}} \quad (2)$$

para um nível significância de 10% = 0,10 1-0,5. $\alpha = 0,950$ (teste bilateral)

Sendo os parâmetros amostrais:

Grupo A	Grupo B	Grupo C
graus de liberdade $v = n - 1 = 3$	$v = n - 1 = 17$	$v = n - 1 = 6$
$\bar{x} = 19,26$ m	$\bar{x} = 11,13$ m	$\bar{x} = 6,29$ m
$\sigma_{\bar{x}} = 2,66$ m	$\sigma_{\bar{x}} = 1,39$ m	$\sigma_{\bar{x}} = 0,67$ m

da tabela da distribuição t de Student:

$$t_{3;0,950} = 2,353$$

$$t_{17;0,950} = 1,740$$

$$t_{6;0,950} = 1,943$$

Formulou-se a seguinte hipótese:

$H_0 : u_x = x_i$, sendo u_x o valor dentro do intervalo de confiança dos grupos e x_i o inésimo componente da amostra. Sendo assim, para aceitar um valor no grupo, esse deve ter o módulo de t^c calculado conforme a fórmula 2 menor que o valor teórico t , retirado da tabela da distribuição de Student.

Amostra	Média (m)	t^c para o Grupo A	t^c para o Grupo B	t^c para o Grupo C
14	3,32	5,992	5,619	4,433
8	5,12	5,316	4,324	1,746
3	5,80	5,060	3,835	0,731
2	6,20	4,910	3,547	0,134
4	6,31	4,868	3,468	-0,030
18	6,74	4,707	3,158	-0,672
17	6,75	4,703	3,151	-0,687
21	7,08	4,579	2,914	-1,179
11	8,77	3,944	1,698	-3,701
20	8,82	3,925	1,662	-3,776
1	9,58	3,639	1,115	-4,910
9	9,67	3,605	1,050	-5,045
19	9,79	3,560	0,964	-5,224
12	10,21	3,402	0,662	-5,851
10	10,42	3,323	0,511	-6,164
27	11,09	3,071	0,029	-7,164
6	11,36	2,970	-0,165	-7,567
25	11,62	2,872	-0,353	-7,955
22	11,80	2,805	-0,482	-8,224
24	11,95	2,748	-0,590	-8,448
30	12,16	2,669	-0,741	-8,761
23	12,26	2,632	-0,813	-8,910
16	12,32	2,609	-0,856	-9,000
15	12,47	2,553	-0,964	-9,224
7	12,60	2,504	-1,058	-9,418
28	13,42	2,195	-1,647	-10,642
26	16,65	0,981	-3,971	-15,463
5	17,47	0,673	-4,561	-16,687
29	20,59	-0,500	-6,806	-21,343
13	22,34	-1,158	-8,065	-23,955

Tabela 4.4 – Teste t de Student.

O resultado do teste pode ser observado na tabela 4.4, onde na cor verde estão os casos das amostras que eram integrantes dos grupos e na cor vermelha, a amostra 28 e 14 que são ambíguas, podendo tanto corresponder ao grupo A quanto ao B no caso da 28 e não corresponder a nenhum dos grupos no caso da 14. O teste mostrou que existe um relacionamento entre o agrupamento proposto, como era esperado.

Agregando o valor da média obtida de cada uma das amostras às suas posições originais, utilizando, para tanto o mapeamento de pontos proporcionais e diferenciando as amostras com os grupos propostos no parágrafo anterior, tem-se como resultado o mapa da figura 5.2.

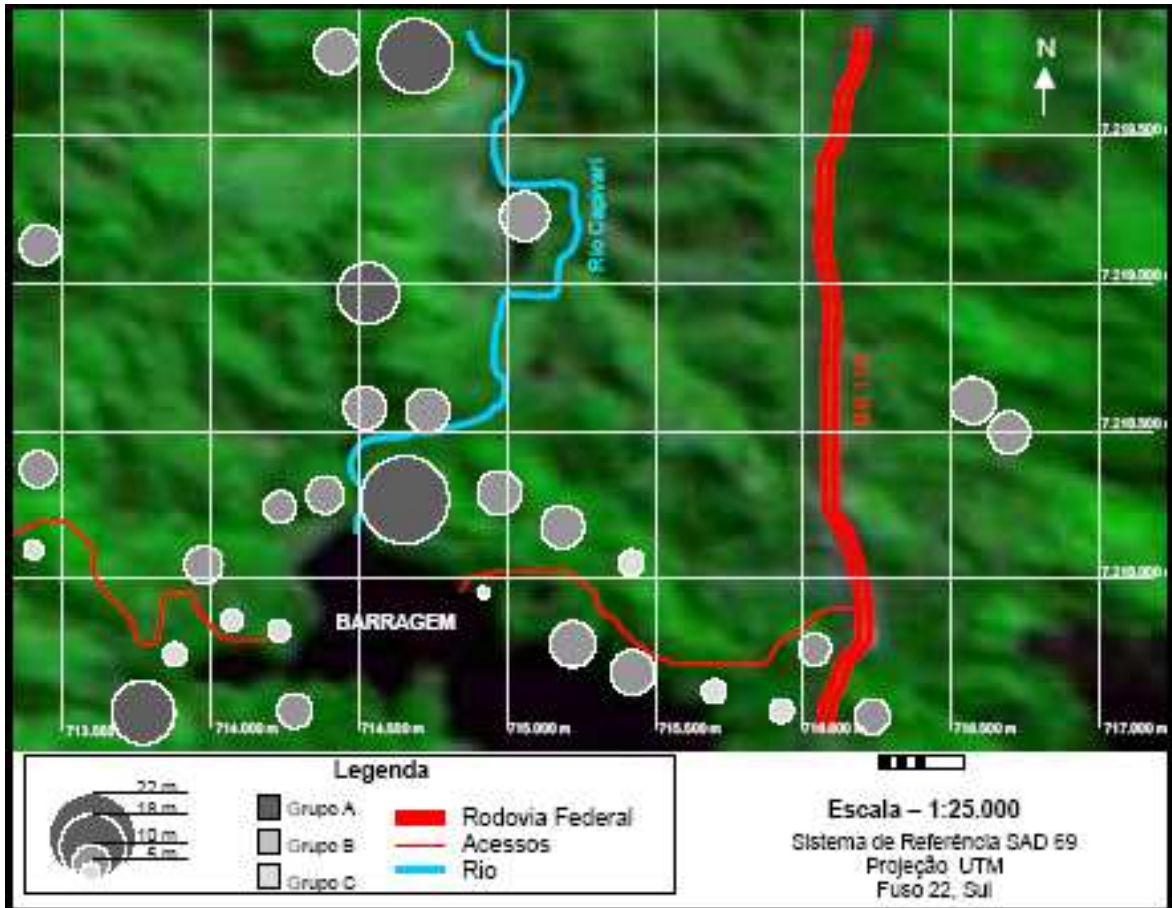


Figura 4.11 – Mapa da distribuição das alturas médias encontradas, Grupos A, B e C.

No mapa da figura 4.11 é possível observar duas tendências claras nas áreas que sofrem maior influência antrópica nas margens das rodovias e acessos à barragem encontram-se as amostras do grupo C. Em estágio menos avançados de regeneração, verificam-se as áreas às margens do rio Capivari que contemplam amostras do grupo A e B, principalmente na região de mata ciliar. Portanto, há certa coerência entre os resultados obtidos e a distribuição destas amostras.

Os erros agregados às determinações estão muito correlacionados com o processo da classificação, e a quantificação deste erro pode ser observada no gráfico a seguir (figura 4.12). Este gráfico associa os valores da média das altitudes das árvores,

dispostas de forma crescente, com os valores máximos de altitude, obtidos em cada amostra, e duas curvas auxiliares que delineiam o intervalo do desvio padrão a partir da média.

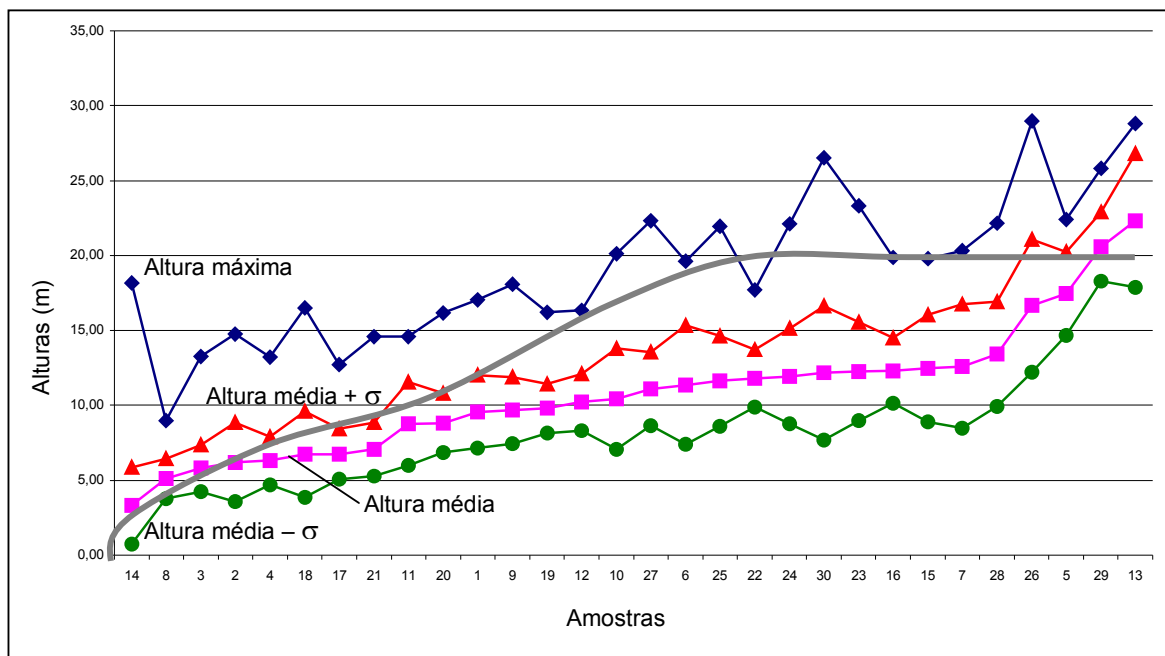


Figura 4.12 – Gráfico das médias ordenadas de forma crescente com valores máximos e desvio padrão.

No referido gráfico observa-se uma variação acentuada da altitude máxima e um acompanhamento moderado desse comportamento nas curvas que relacionam a média ao desvio padrão, porém, um comportamento homogêneo seria o esperado. Também pode ser percebido que os valores deveriam tender a um patamar superior único, um valor de limite associado à vegetação em equilíbrio como é mostrado no referido gráfico pela curva em cinza.

5.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA MASSA DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO NA ONDULAÇÃO GEOIDAL

Imaginando o uso do ALS para o monitoramento ambiental, como, por exemplo, na avaliação da biomassa antes e depois da implantação de uma barragem, remete-se ao problema gerado a partir da criação de um reservatório artificial formado pela barragem.

Como se observa na figura 4.13 o geóide se deforma localmente, com a variação do nível do reservatório, neste caso levantamentos ALS seriam afetados por não levarem em considerações medidas que avaliem localmente o comportamento da referida superfície que é referência para medidas altimétricas.

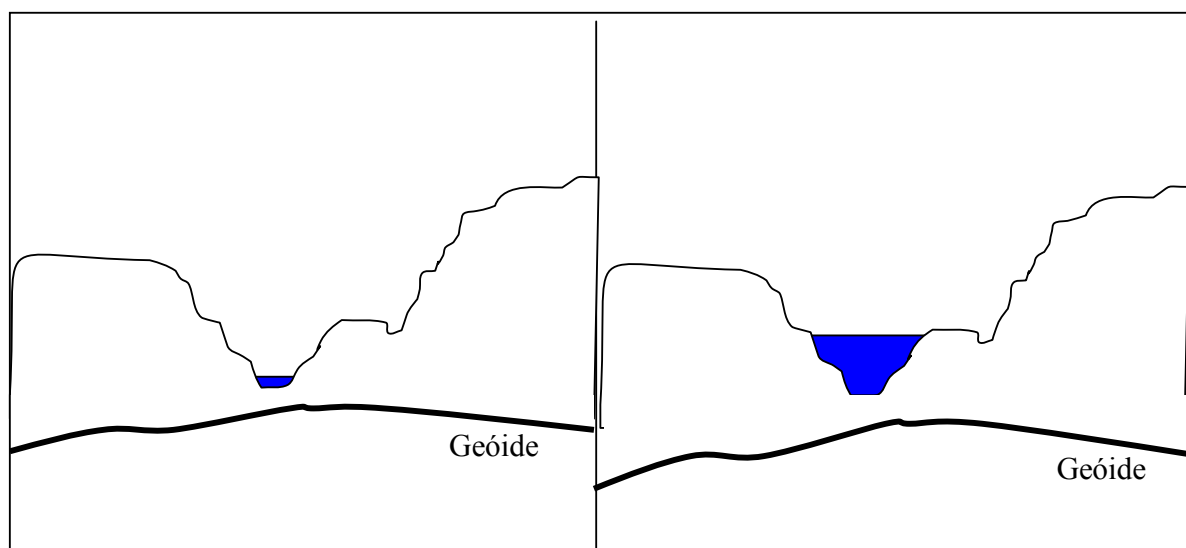


Figura 4.13 – Variação do Geóide em função do nível do reservatório.

O ALS é um sistema que realiza medidas de base puramente geométrica e depende, para a conversão da altitude levantada (geométrica ou elipsoidal), de uma altitude ortométrica determinada a partir de um modelo geoidal ou modelo de ondulação geoidal - tal como o MAPGEO2004 - software desenvolvido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) que gera valores de ondulação geoidal para posições pontuais no terreno. Este modelo geoidal é um modelo matemático baseado em medidas empíricas que devolvem, para um ponto no espaço, um valor da distância do geóide ao elipsóide de referência. Para entender a magnitude desta correção, suponha-se um reservatório de dimensões médias descritas na figura 4.14.

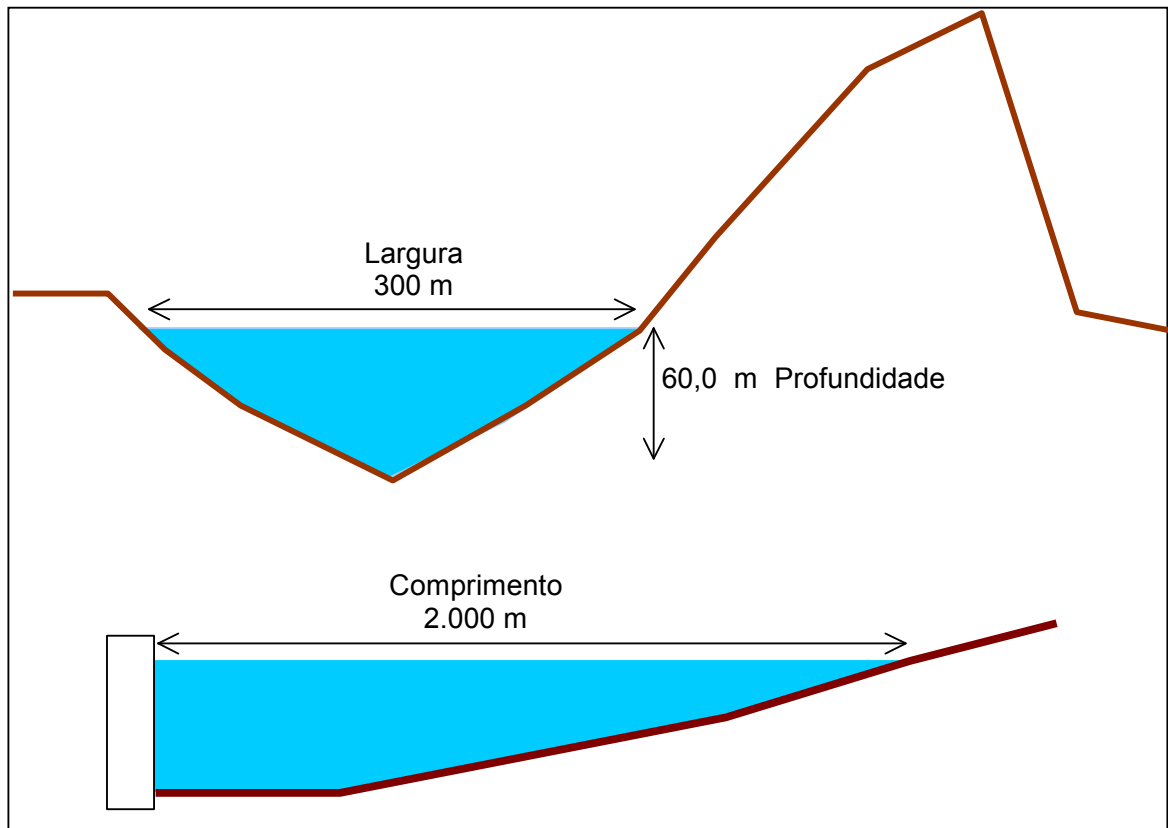


Figura 4.14 – Dimensões médias de um reservatório proposto.

Para as medidas apresentadas encontrara-se um volume:

$$V = \frac{H_{ml} \cdot L_{ml}}{2} \cdot E_l = \frac{60 \cdot 300}{2} \cdot 2000 = 18 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \quad (3)$$

Admitindo-se para as condições normais de temperatura e pressão (CNTP), o valor da densidade da água como sendo de 100 kg/m^3 , obteve-se para massa do reservatório $18 \cdot 10^8 \text{ kg}$. Esta massa estaria distribuída em toda a extensão do reservatório, mas, para efeito de simplificação, utilizou-se esse valor aplicado ao centro de massa do reservatório. Assim, a implicação dessa massa de água em um ponto na margem do reservatório, poderia ser descrita utilizando a equação fundamental da gravitação:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}, \quad (4)$$

onde,

F = força gravitacional (N)

M, m = massas dos objetos (kg)

D = distância entre as massas (m)

G = $6,7 \cdot 10^{-11}$ N.m²/kg²

Para efeito de cálculo, aplicou-se como distância mínima entre um ponto e o centro de massa do reservatório, o valor de 300 m. Este valor foi estimado a partir das medidas médias, multiplicadas por um fator 2, visto que, a distância dependeria da forma do reservatório, que foi desconsiderada, por se tratarem de dimensões médias impostas neste problema, assim:

$$Dg = \frac{G \cdot M}{D^2} = \frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 18 \cdot 10^8}{152^2} = 5,22 \cdot 10^{-4} \text{ Gal} = 0,1340 \text{ mGal} \quad (5)$$

É necessário, então, relacionar este valor de variação de gravidade Dg com a variação altimétrica. A abordagem mais natural dessa questão parte da definição de altitude ortométrica que seria a: distância do geóide ao ponto, medida sobre a vertical. Integrando-se a diferença dos potenciais gravíficos entre duas superfícies equipotenciais separadas por uma distância infinitesimal, obtém-se (Torge, 2001) a expressão da ALTITUDE ORTOMÉTRICA:

$$h = \frac{C}{g} \quad (6)$$

$$C = W_0 - W = \int g \cdot dh = \sum g \cdot \Delta h_{\text{obs}} \quad (7)$$

sendo C o NÚMERO GEOPOTENCIAL, g o valor médio da gravidade ao longo da linha de prumo entre o geóide e a superfície física, W, o potencial gravífico (índice zero significando potencial do geóide), gm os valores médios da gravidade observada nos pontos nivelados e Δh_{obs} os desníveis entre estes pontos. A expressão exposta por Torge (2001) refere-se a valores relacionados à diferenças de nível, mas compara proporcionalmente altitudes e medidas de gravidade. Assim sendo, pode-se comparar os valores estimados para um ponto na superfície terrestre e uma variação gravífica.

A correspondência da variação da gravidade Dg com a variação da ondulação geoidal pode ser observada quando se calcula o raio médio para a latitude local, através da equação 8, e aplica-se o valor resultante à equação 6:

$$R_m = (N \cdot M)^{-0.5} \quad (8)$$

onde:

$$N = a \cdot (1 - e^2 \cdot \sin^2(\phi))^{-2}$$

$$M = a \cdot (1 - e^2) \cdot (1 - e^2 \cdot \sin^2(\phi))^{-2}$$

SAD 69

$$a = 6378160,0$$

$$f = 1/298,25$$

$$e^2 = 2 \cdot f - f^2$$

Raio médio para latitude de $25^\circ 08' 15'' = (N \cdot M)^{-0.5} = 6360601,741 \text{ m}$.

Então, admitindo a gravidade na superfície terrestre como $g = 9,8665 \cdot 10^5 \text{ mGal}$, temos a variação de gravidade devido ao reservatório em termos de:

$$Dh = R_m \cdot Dg / G = 0,86 \text{ m} \quad (9)$$

Uma importante variável associada a esta estimativa é a distância do ponto considerado ao centro de massa do reservatório. No exemplo proposto, pode-se imaginar uma distância mínima de 300 m. Na tabela a seguir, demonstra-se as variações obtidas com a mesma estimativa para novas distâncias.

Distância do centro de massa do reservatório ao ponto considerado	Varição da altitude
300 m	0,80 m
500 m	0,20 m
1.000 m	0,05 m

Tabela 4.5 – Variação da altitude x distância do centro de massa do reservatório.

A tabela acima (4.5) ilustra as variações obtidas (figura 4.15). Tais variações só afetariam as medidas ALS numa pequena área no entorno do centro do reservatório, numa amplitude que pudesse ser considerada dentro da acurácia vertical das medidas ALS (cerca de 20 cm). As estimativas postas aqui necessitam de uma série de aprofundamentos. Visto que, para efeitos de simplificação, se eliminam muitas variáveis. Sugere-se que o tema seja aprofundado, comparando-se medidas de campo com cálculos mais detalhados, a respeito do problema que, para este trabalho, não é relevante para

efeito de correções. Num futuro próximo, com o desenvolvimento do sistema ALS, estes efeitos podem ter forte influência em aplicações em barragens artificiais.

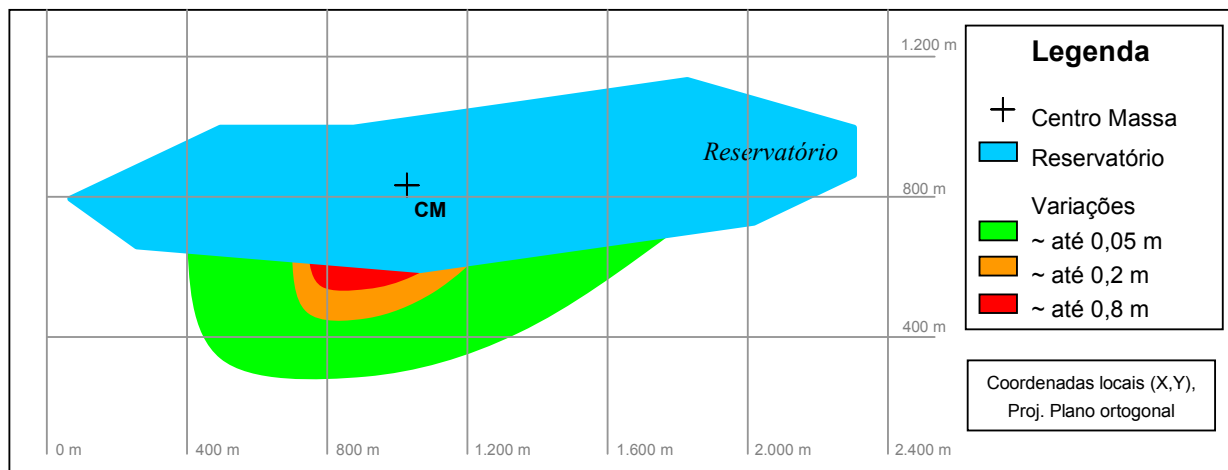


Figura 4.15 – Influência das variações estimadas.

CAPÍTULO 5

– Conclusões e Recomendações –

As conclusões foram divididas de forma a agregares os comentários dos assuntos correspondentes aos principais temas abordados nesta pesquisa: amostragem, modelos digitais e estimativas da altura da vegetação, este ultimo mostrando o potencial do ALS para o Cadastro Ambiental, com seus produtos derivados.

5.1 CONCLUSÃO QUANTO À AMOSTRAGEM

A decisão de se empregar o método proposto no trabalho, em pequenas áreas amostradas, está calcada em dois fatos principais. O primeiro diz respeito às características dos dados ALS, que dependem, sobremaneira, de processadores e memória compatíveis com o volume de dados processados. O outro fato está relacionado com a região de estudo, que proporciona restritos fragmentos de mata utilizáveis no estudo. A predominância é de áreas com topografia ondulada, ao longo do rio Capivari e de seus afluentes, nas áreas de mata ciliar.

O tamanho da amostra foi definido, com base em dois problemas antagônicos. O número de pontos que seria atribuído ao modelo das copas das árvores e uma suficiência mínima de pontos classificados como de solo para a geração do modelo digital de terreno. Está suficiência foi arbitrada no trabalho, pois, não levaram-se em consideração a densidade da vegetação para este estudo.

A dificuldade na classificação dos pontos das amostras era prevista. Por isso, não se empregaram, neste trabalho, métodos automáticos para a diferenciação das classes de interesse. Como visto no capítulo II, muitos destes métodos utilizam algoritmos que sofrem restrições que devem ser avaliadas para os fins propostos.

As áreas mais acidentadas acrescentaram um grau maior de dificuldade na classificação. Junto à identificação do solo, como pode-se observar no gráfico da figura 5.1, existem mais dois comportamentos que estão ligados a esta identificação.

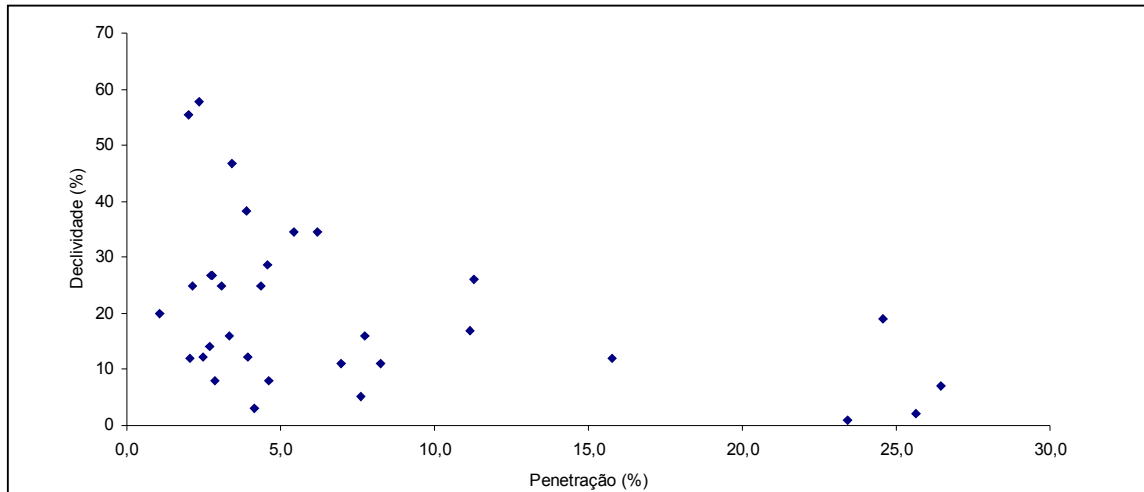


Figura 5.1 – Gráfico Declividade x Penetração

O primeiro comportamento é o da vegetação com um relevo menos ondulado, que tem baixa penetração devido à alta densidade das copas. Nesta região, poucos pulsos laser chegam aos estratos mais baixos.

O outro comportamento também é ligado à vegetação em relevo menos ondulado. Mas, neste caso, tem-se uma menor densidade de vegetação ligada à proximidade de estradas e acessos, leitos de córregos, entre outros agentes, que facilitam a penetração dos pulsos em estratos mais baixos da vegetação.

5.1.1 Recomendações

Recomenda-se ampliar o número de amostras em locais com vegetação uniforme, para verificar os resultados obtidos em laboratório com dados obtidos através de levantamento “in loco”.

Buscar a possibilidade utilizar-se a comparação sem amostras, usando áreas de estudos completas de algumas regiões que possuam a mesma tipologia de vegetação, assim, seria possível verificar se o comportamento médio de uma região poderia contribuir para o entendimento de um dado efeito ambiental sobre a mesma área.

Verificar a resposta do método utilizado em regiões com diferentes tipos de vegetação.

5.2 Conclusões Quanto Aos Modelos Digitais

Certamente, os modelos de terreno gerados a partir da classificação, não continham pontos que se originavam a partir da penetração do feixe laser na mata e efetiva interação do mesmo com o solo, mas, ele deveria conter pontos dos estratos mais baixos da vegetação. Da mesma forma, o modelo das copas das árvores conteriam somente pontos dos estratos mais altos, como se pode observar na figura 5.2.

Na classificação a decisão de confundir a superfície do terreno com os pulsos que aparentemente seriam resultados do retorno em um estrato inferior da vegetação não comprometeu o resultado geral da pesquisa.

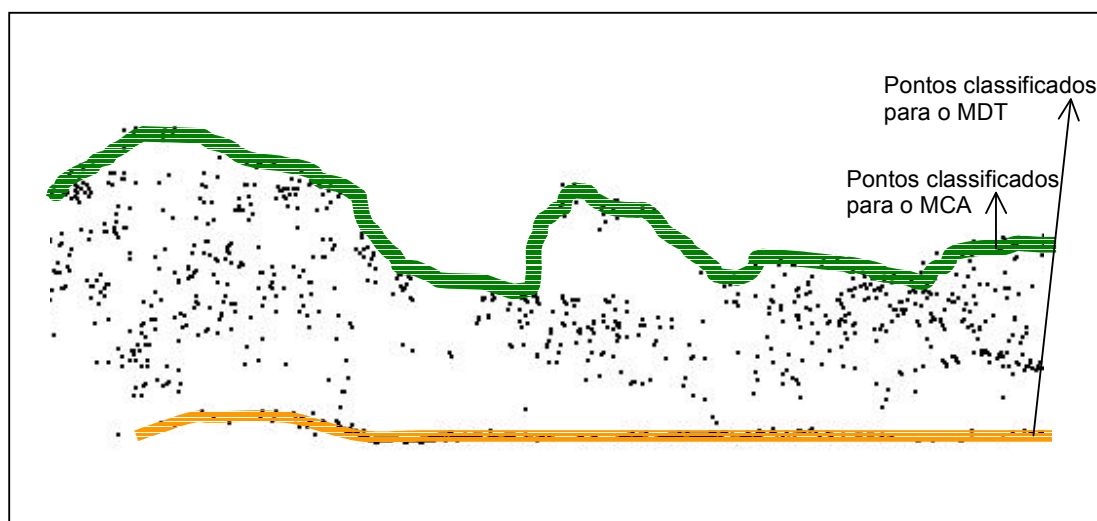


Figura 5.2 Estratos mais altos e mais baixos identificados nos perfis dos dados.

As referências relacionadas com os modelos digitais são na sua maioria superficiais, sugere-se então uma investigação mais aprofundada que foque seus objetivos nesses modelos.

Os modelos digitais baseados em grades regulares alteram os valores levantados e podem interferir na exatidão dos dados, porém favorecem uma série de operações e integrações de dados.

5.3 CONCLUSÕES QUANTO A ESTIMATIVA DA ALTURA DA VEGETAÇÃO

As estimativas se mostraram relevantes no aspecto de apresentar diferentes respostas, que podem estar diretamente associadas à regeneração da vegetação nas áreas amostradas, como se percebeu quando se locaram as respostas no entorno do reservatório.

Muito embora, como explanado nos resultados, onde se afirma que os valores superiores obtidos fiquem num patamar compatível com valores esperados para a floresta ombrófila mista montana, é possível também que valores não correspondentes aos esperados indiquem a inserção de espécies exóticas à região. Desta forma, a estimativa da altura da vegetação poderia agir como forte indicativo para a alteração do meio ambiente.

A associação deste indicativo a uma descrição mais criteriosa do meio que se deseje monitorar pode, tanto para um cadastro ambiental como para um processo de licenciamento ambiental, ser de grande valia, pois se trata de um levantamento muito mais detalhado do que o que se tem atualmente em ambos os casos.

Muito embora nesta pesquisa se tenha observado uma das implicações do potencial do ALS nas medidas altimétricas, existem inúmeras possibilidades, quando associamos o emprego do sistema ALS a reservatórios artificiais, como no relacionamento com propriedades lindeiras, a avaliação e monitoramento de áreas na bacia hidrográfica do reservatório. No artigo de ALIXANDRINI & LOCH (2005) são apresentadas aplicações ALS para fins florestais descritos a seguir:

Delimitação de Bacias – a bacia hidrográfica pode ser definida como unidade física, caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas. Segundo MOLDAN & CERNY (1994), a bacia do ponto de vista hidrológico, pode ser considerada como a unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados como a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água. Ambientalmente, pode-se dizer que a bacia hidrográfica é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas, tais como a ocupação da terra com as atividades agrícolas. (JENKINS et al., 1994).

A bacia hidrográfica é o elemento básico para o gerenciamento sobre estudos dos recursos hídricos e para os estudos ambientais como é o caso do licenciamento está a escolha mais indicada para unidade básica de cadastro e gerenciamento.

O MDT é o elemento básico para a delimitação da bacia hidrográfica com ele se identificam as chamadas linhas divisoras de água que são definidas a partir de uma exultória escolhida no trecho em que se deseja realizar a pesquisa. Esses divisores de água também são considerados linhas de quebra bastante relevantes quando de uma modelagem para visualização tridimensional.

Extração da altura das copas – segundo HYYPPÄ (2004), a técnica mais utilizada para obter o MDS relativo ao topo das árvores é calcular o TIN da mais alta reflexão (retira-se o ponto mais alto de uma vizinhança definida) e interpolam-se os pontos utilizando a triangulação de Delaunay. Os modelos das copas são obtidos com a subtração do MDT do MDS correspondente.

Para a detecção de pontos numa floresta é necessária uma suficiente densidade de cobertura de pulsos laser na região, para que se obtenham retornos de pulsos que penetraram a vegetação através dos espaços deixados entre as folhas e galhos.

Pode-se compreender a dificuldade desses estudos, essa densidade de pontos laser irá depender:

- a) Da altura de voo;
- b) Do tipo do sensor;
- c) Do tipo da floresta;
- d) E dos algoritmos utilizados nos dados.

Extração de informações de árvores individuais – existem inúmero autores que desenvolvem algoritmos para realizar o inventário florestal a partir das informações ALS, porém hoje quase a totalidade destes estudos se restringe ao estudo de conífera e *decidius* que são espécies de clima temperado.

Utilização de métodos de detecção de mudanças – está é uma vantagem muito atrativa do sistema, ele permite o que vem se observando em estudos, uma avaliação automática de variação da paisagem com uma ótima quantificação. Isto é a utilização de sistema na estimação de alteração por extração de madeira pode se dar de maneira mais rápida e com confiabilidade.

5.2.1 Recomendações

Verificar a variação das estimativas para recobrimentos tomados em mais de uma ocasião, ou ainda, para diferentes configurações do sistema.

Sugere-se tentar uma abordagem em regiões homogêneas visando chegar a uma convergência de resultados.

Avaliar classificações automáticas que tenham condições de obter melhor resposta à vegetação tropical no reconhecimento do solo para a derivação do MDT. O grande problema associado está em que a maioria dos algoritmos desenvolvidos internacionalmente se baseiam em problemas gerados por situações de clima temperado, aí pode-se citar a diferença da vegetação que assume diferentes valores para a densidade das copas nas diferentes épocas do ano, por exemplo.

Este fato faz com que muitas das pesquisas baseiem-se em dados de verão e inverno, diferentemente de problemas gerados por diversos tipos de flora no Brasil.

Empregar a mesma metodologia utilizando TIN no lugar de grades regulares, a fim de diminuir a iteração com os dados originais é também recomendado.

Por fim, buscar a possibilidade de se utilizar à comparação sem amostras, em diferentes áreas com vegetação semelhante.

CAPÍTULO 6

– REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS –

ALIXANDRINI, M. J. Jr.; LOCH, C. *Parâmetros físicos de barragens definidos através do ALS para o cadastro e licenciamento ambiental*. Anais do Congresso Brasileiro de Cartografia, Macaé/RJ:2005.

ANDRADE, J. B. *Fotogrametria*. Curitiba: 1998.

ALBUQUERQUE, M. P.; ALBUQUERQUE, M. P. *Processamento de Imagens: Método e Análises*, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro/RJ: 2000.

ASPRS, *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Manual of Photogrammetry Manual of Photogrammetry*, 5^o Edition, American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA: 2004.

AXELSSON, P. *Processing of laser scanner data – algorithms and applications*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54: (138-147). :1999.

AXELSSON P. *DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 33, Part B4.,: 2000 (pp 110-117).

AXELSSON, P.,. *Ground estimation of laser data using adaptive TIN models. Proceedings of OEEPE workshop on airborne laserscanning and interferometric SAR for detailed digital elevation models*, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. Publication No. 40. CD-ROM. (pp. 185-208). :2001(pp. 185-208).

BÄHR, P. *Cartografia Orientada para o Cadastro - Uma Visão Alemã*. Anais do 1^o Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: 1994.

BRANDALIZE, M. C. B. *A qualidade cartográfica dos resultados do laserscanner aerotransportado*. Tese. Pós Graduação Engenharia Civil UFSC, Florianópolis: 2004.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. Acessado em 2005. Site. <http://www.copel.com>

CENTENO, J. S. ; STEINLE, E. ; VÖGTLE, T. . *Análise de modelos numéricos de elevação derivados de laser scanner para o monitoramento urbano*. 4º COBRAC, Florianópolis: outubro, 2000.

CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Acessado em 2004. site: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. dos. *Sistema Laserscanner: Conceitos e princípios de funcionamento*. Editor UFPR, Curitiba: 2004.

FIGUEIREDO, L. F. G. *Sistema de apoio multicritérios para aperfeiçoamento de mapas de sensibilidade ambiental ao derrame de petróleo em região costeira do estado de Santa Catarina*. UFSC tese, Florianópolis: agosto,2000.

FIGUEIREDO, L. F. G. *Sistema de cadastro técnico ambiental*. UFSC dissertação, Florianópolis: 1995.

FIRJAN. *Manual de Licenciamento ambiental* : guia de procedimento passo a passo. Rio de Janeiro: GMA, (293p) 2004.

GEMAEL, C. *Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas*. Curitiba, Editora UFPR: 1994.

GoogleEarth – Programa para visualização de localidades. <http://earth.google.com/>

HENSSEN, J.; WILLIAMSON, I. Land registration, cadastre and its interaction – a world perspective. In: GRANT, D.; WILLIAMSON, I. *Administering our land*, Cessnock, Australia:

Cadastral and Land Management Commission of the Institution of Surveyors, Australia:1997.

HYYPPÄ, J. et al .*Algorithms and Methods of Airborne Laser Scanning for Forest Measurements* Proceedings of the ISPRS working group VIII/2 Laser Scanners for Forest and Landscape Assessment. Freiburg, Germany: 03-06 October 2004.

HENNING, E. O Licenciamento Ambiental como Instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente. UFSC, Florianópolis: agosto,1998.

INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais. Acessado em 2005. Site:

http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/pdi_con.htm

ISERNHAGEN, I. ; SILVA, S. M. ; GALVÃO, F. *A fitossociologia florestal no Paraná: listagem bibliográfica comentada* (dissertação) Universidade Federal do Paraná, 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 92p., Rio de Janeiro: 1992.

JENKINS, A., L. *Dynamic modelling at Integrated Monitoring sites - Model testing against observations and uncertainty*. The Finnish Environment 636. Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland. ISBN 952-11-1440-1.:2003 (37 pp)..

KRAUS, K., PFEIFER, N. *Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 53: 1998 (pp.193-203.).

LEI FEDERAL 9.433 de 08/01/1997 Política Nacional de Recursos Hídricos

LEI FEDERAL 6.938 de 31/08/1981 da Política Ambiental cria CONAMA e SISAMA

LOCH, C. Cadastro Técnico Rural Multifinalitário como base à organização espacial do uso da terra a nível de propriedade rural. Tese. UFSC, Florianópolis: 1993.

LOCH, C. Cadastro Técnico Multifinalitário: Instrumento de Política Fiscal e Urbana. In ERBA, D. A.; et al. *Cadastro Multifinalitário como Instrumento de Política Fiscal e Urbana*. p. 71-102. Editora Studdium. Rio de Janeiro: 2005.

LOHMANN, P. *Laserscanning introduction*. Hannover: Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, Remote Sensing II Lecture, 2003. (31p).

LANDIN, P. B *Introdução aos metodos de estimação espacial para a confecção de mapas* <http://epi.minsal.cl/SigEpi/doc/interpo.pdf> . Departamento de Geologia UNESP:2000.

LUGNANI, J. B. *Introdução a fototriangulação*. UFPR. Curitiba: 1987.

MÜLLER; M. *Extração de seções transversais a partir da tecnologia de mapeamento digital a laser para fins de estudos hidrodinâmicos*. IV Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas. Porto de Galinhas : 2004.

MIQUELES, M; CENTENO, J. *Detecção e caracterização de vegetação usando dados do laser scanner aerotransportado* Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas:2003.

MIQUELES, M ;CAVASSIM, I ;WEIHING, D ;CENTENO, J. *Classificação de imagens obtidas do laser scanner baseada em atributos espectrais e espaciais*. Anais XI SBSR, , INPE, p. 1883 – 1890. Belo Horizonte, Brasil: 05 - 10 abril 2003.

MEINEL, G.; Hecht, R. *Determination of Urban Vegetation Volume on the Basis of Laser Scan Data at non-leaf Aerial Flight Times*_Proceedings of the ISPRS working group VIII/2 Laser Scanners for Forest and Landscape Assessment. Freiburg, Germany: 03-06 October 2004.

MOLDAN, B. ; CERNY, J., ed. *Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research*. London: John Wiley, 1994 (418p).

ONU – Organização das Nações Unidas . *Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento*. ECO – 92. Rio de Janeiro/RJ : 1997, p.9.6

POGGIANI, F. *Estrutura, funcionamento e classificação das florestas implicações ecológicas das florestas plantadas*. Departamento de Ciências Florestais Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz” UNESP, Piracicaba/SP: 1989.

SEMA, Secretária Estadual do Meio Ambiente/Paraná - “Atlas da vegetação do Paraná”. Curitiba, PR.: 2003

SITHOLE, G. *Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 34-3/W4: 2001(pp. 203-210).

VOSSelman and MAAS,. *Adjustment and filtering of raw laser altimetry data. Proceedings of OEEPE workshop on airborne laserscanning and interferometric SAR for detailed digital elevation models*, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. paper 5, :2001. (11 p.).

TORGE, W.: *Geodesy*. 3. ed., de Gruyter, Berlin : 2001.

TOMMASELLI, A. T. Um Estudo sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamentos 3d a curta Distânci. Geosésia on line: 2003.

TERRA SOLID. *TerraScan User’s Guide* . ed. Soininen Arttu, Terra Solid : 2002.

SOUSA, Célia Marise Ferreira de. *A Integração do Sistema GPS/INS para a Monitorização da Linha de Costa do Litoral do Algarve*. Faculdade de Ciências, Dissertação, Lisboa/Portugal:2004.

SOUZA, E. C. B *Análises temporais de alta precisão utilizando GPS para avaliação das variações volumétricas ocorridas no ISTMO da Ilha do Mel*. Dissertação de estrado. Curso de pós-graduação em Ciências Geodésica, UFPR: 2002 149p.

VARLORG, C. *3D Restitution and Rendering through high resolution Imagery: State of the art an New Challengs*: 2003.

WEIDNER, U.; FÖRSTNER, W. *Towards automatic building reconstruction from high-resolution digital elevation models*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 50(4), 1995 (p.38-49).

WACK, R. W. Digital terrain models from airborne laser scanner data – a grid based approach. . International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 35, Part 3B,; 2002 (pp. 293-296).

WEINACKER, H. et al. *Development of Filtering, Segmentation and Modelling Modules for Lidar and Multispectral Data as a Fundament of an Automatic Forest Inventory System* Proceedings of the ISPRS working group VIII/2 Laser Scanners for Forest and Landscape Assessment. Freiburg, Germany: 03-06 October 2004.

WEHR, A., LOHR, U. *Airborne laser scanning – an introduction and overview*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54: 1999 (pp. 68-82).

WELCH, R. Remote Sensing and GIS techniques for aquatic resource evaluation, *In Fundamentals of geographic information systems: a compendium* (ed) W.J. Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland :1989 (pp. 185-193).

WATANABE, T.. *Revision of Inconsistent Orthographic Views*. Journal for Geometry and Graphics. V.2. :1998 (45-53).