

Tarcisio Petter Luiz Franco

Uso do Sistema LiDAR na geração  
de MDT e sua exatidão cartográfica.

IX Curso de Especialização em Geoprocessamento  
2006



UFMG  
Instituto de Geociências  
Departamento de Cartografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha  
Belo Horizonte  
cartografia@igc.ufmg.br

**TARCÍSIO PETTER LUIZ FRANCO**

**O USO DO SISTEMA LiDAR GERAÇÃO DE MDT E  
SUA EXATIDÃO CARTOGRÁFICA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de especialista em geoprocessamento, Curso de especialização em geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Timbó Elmiro

**BELO HORIZONTE  
2006**

FRANCO, Tarcisio Petter Luiz

Uso do sistema LiDAR na geração de MDT e avaliação segundo Padrões de exatidão cartográfica

ix, 48f.,vil

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais,  
Instituto de Geociências, Instituto de Geociências, 2006.  
Orientador Marcos Antônio Timbó Elmiro

1.LiDAR 2.GPS 3.MDT 4. Exatidão Cartográfica

Aos meus familiares, em especial aos meus pais que me ensinaram a lutar, aos grandes amigos e aos colegas de trabalho do Comlago.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro a Deus pela oportunidade

Aos meus pais, que por acreditarem se doam em prol de nossas ânsias

Aos meus irmãos, fundamentais em todos os momentos da minha vida

A Geoid por acreditar na seriedade desse trabalho

A Silvia Freedman pela compreensão

A todos os amigos que colaboraram diretamente e indiretamente, especialmente Juan, Elerson e Ângelo

Ao Paulo do laboratório de geoprocessamento pela disposição

Aos monitores do curso, em especial a Renata e Ana Maria por estarem sempre dispostas

Ao Prof. Marcos Timbó por ter me cedido parte do seu grande conhecimento e estar sempre disposto a me orientar

A todos o meu muito obrigado!

## SUMÁRIO

I - INTRODUÇÃO.....	10
1.1 – Justificativas.....	10
1.2 – Objetivos.....	11
II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 O SISTEMA DE POSIONAMENTO GLOBAL.....	12
2.1.1 Segmentos .....	12
2.1.1.1 – Segmento espacial.....	12
2.1.1.2 – Segmento de controle.....	13
2.1.1.3 – Segmento de usuários.....	13
2.1.2 SINAIS.....	14
2.1.3 METODOS DE POSICIONAMENTO.....	14
2.1.3.1 Posicionamento pela fase portadora.....	15
2.1.3.1 Posicionamento pelo código.....	15
2.1.4 ERROS.....	15
2.1.4.1 Erro de órbita.....	15
2.1.4.1 Erro de propagação.....	15
2.1.5 CLASSES DE RECEPTORES.....	16
2.1.5.1 Geodésicos.....	16
2.1.5.2 Topográficos.....	17
2.1.5.2 Navegação .....	17
2.1.5 MÉTODOS DE RECEPÇÃO DE DADOS.....	17
2.1.5.1 Método estático.....	17
2.1.5.2 Método estático rápido.....	17
2.1.5.3 Método Stop and Go.....	17
2.1.5.4 Método Cinemático.....	17
2.1.5.5 Método DGPS.....	18
2.2 LIDAR.....	18
2.2.1 funcionamento.....	19
2.2.1.1 Plataforma.....	19
2.2.1.2 Sistemas de posicionamento – Receptor GPS+IMU.....	19
2.2.1.5 Scanner.....	20
2.2.1.7 Computador e tela para visualizar rota de voo.....	20
2.2.2 Difusão do LIDAR no mundo e no Brasil.....	20
2.2.2.1 Fabricantes de sistemas LIDAR.....	21
2.2.2.2 Empresas comerciais no Brasil.....	25
2.2.3 Padrões de Classificação LiDAR.....	26
2.3 MDE.....	27
III – MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1 planejamento.....	30
3.1.1 Captura de pontos LIDAR – O sensor ALTM 3100.....	30
3.1.2 Captura de pontos de controle GPS – O receptor Promark2.....	31
3.1.2 Planejamento de Voo – O software ALTM NAV.....	33
3.2 Coleta de dados.....	34
3.2.1 Descrição da área de estudos .....	34
3.2.1 Aquisição de pontos de controle.....	36
3.3 Processamento.....	37
3.3.1 Processamento dos dados LIDAR – REALM Suite Survey.....	37
3.3.1 Processamento dos dados GPS – Ashtech Solutions.....	38
3.3.1 Geração do MDT - TERRAMODEL.....	40
IV – PADROES DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA.....	43
V – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	47
VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
VII – ANEXOS.....	49

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Constelação GPS .....	11
Figura 2 – Disposição das estações de controle.....	12
Figura 3 – Sinais GPS (Fase e código).....	13
Figura 4 – Estrutura e funcionamento LiDAR.....	18
Figura 5 – Espectro eletromagnético.....	25
Figura 6 – Fases de Geração de MDT.....	29
Figura 7 – Sistema LiDAR (ALTM3100).....	29
Figura 8 – Estrutura e funcionamento LiDAR.....	32
Figura 9 – Praça de Liberdade – vista aérea.....	33
Figura 10 – Praça da Liberdade e Localização dos pontos de controle GPS.....	34
Figura 11 – Tela do REALM Suíte Survey.....	36
Figura 12 – Tela de criação do projeto no Ashtech Solutions – sistema de coordenadas.....	37
Figura 13 – Tela de criação do projeto no Ashtech Solutions – diversos.....	37
Figura 14 – Tela de conversão de dados RINEX – Ashtech Solutions.....	38
Figura 15 – Correção Diferencial no Ashtech Solutions.....	38
Figura 16 – Terramodel com pontos importados da praça da Liberdade.....	39
Figura 17 – Modelos Digitais de terreno gerados no Terramodel.....	40

**LISTA DE QUADROS E TABELAS**

Quadro 1 – Fontes de erros nas medições GPS.....	15
Quadro 2 – Acúmulo de erros em medições GPS.....	15
Quadro 3 – Porcentagem do mercado pelas quatro maiores fabricantes.....	21
Quadro 4 – Empresas e sistemas LiDAR no Brasil.....	23
Quadro 5 – Especificações técnicas do ALTM 3100.....	30
Quadro 6 – Especificações técnicas do Promark2.....	31
Quadro 7 – Estatística dos dados fornecidos pela Geoid.....	41
Quadro 9 – Resultado estatístico de exatidão .....	44
Quadro 10 – Proposta de espaçamento para geração de MDT.....	45
Tabela 1 – Parâmetros variáveis do LiDAR.....	19
Tabela 2 – Comparativo de coordenadas GPS e LiDAR.....	44



## RESUMO

Com o avanço tecnológico, o geoprocessamento tem ferramentas que vem se tornando grandes potências na geração de informação cartográfica. Uma das mais novas desenvolvidas nos últimos anos é o LiDAR (laser scanning), que impulsionou o uso de sensoriamento remoto na geração de modelos digitais de elevação, pois possibilita a obtenção de informação altimétrica com grande agilidade. No entanto, o reconhecimento dessa ferramenta como realmente precisa é o que faz profissionais da área pesquisar a respeito do surgimento, funcionamento e precisão dessa técnica. A Universidade Federal de Minas Gerais com seu renomado título de excelência necessita tanto quanto as entidades produtoras de serviços cartográficos, pesquisar, publicar e difundir mais resultados sobre o LiDAR. Sendo assim, esse trabalho consiste primeiramente na descrição do processo de geração de modelos digitais de terrenos gerados por essa nova tecnologia, bem como descrever sobre esses modelos e por final fazer um estudo cartográfico desse produto, avaliando sua acurácia segundo pontos de controle obtidos através do sistema GPS de precisão. A análise concentra-se numa avaliação segundo normas do decreto que define Padrões de Exatidão Cartográfica. Os resultados obtidos permitem a classificação do produto segundo precisão cartográfica, classificação segundo exatidão e enquadramento quanto a utilização na geração de Modelos digitais de terreno. Os resultados são expressivos confirmando a boa qualidade do sistema e pode ser observado nesse trabalho.

Palavras chave: 1.LiDAR 2.GPS 3.MDT 4. Exatidão Cartográfica

# I. INTRODUÇÃO

---

O mundo tem percebido com grande velocidade que a informação geográfica é uma ferramenta de grande importância no estudo de diversos fenômenos no seu espaço físico. As ciências de modo geral fundamentam suas áreas de interesse em estudos no posicionamento.

As ciências de posição como cartografia, geodésia e sensoriamento remoto, através de seus estudiosos definem formas e métodos de embasamento para dados geográficos que minimizam cada vez mais a incidência de erros. Para tal, a evolução tecnológica foi e ainda é fundamental na geração de equipamentos que auxiliam a aquisição de dados precisos.

O Geoprocessamento como conjunto de ferramentas, métodos e técnicas de mapeamento se apresenta como ciência e arte para aplicações em todas as áreas que lidam com recursos geograficamente distribuídos. Para tal, dispõe-se de valiosas técnicas, definições e métodos Cartográficos, Geodésicos, de sensoriamento remoto, topografia convencional, aerofotogrametria entre outras. Dessa forma adquire dados necessários a representação da superfície terrestre de forma cada vez mais clara, interativa e aplicável.

A Cartografia, por exemplo, é uma das ferramentas mais importantes do geoprocessamento por se tratar da ciência e arte de representação da superfície terrestre em forma de mapas e cartas, além de definir acurácia, metadados e outros conceitos que dão exatidão aos seus produtos.

A aquisição de dados para cartografia é aqui apresentada como a fonte de estudo para este trabalho, em especial o mapeamento através do perfilamento a laser (LiDAR). Mas para se chegar a nível tecnológico tão elevado na aquisição de dados espaciais, o homem evoluiu criando equipamentos que o auxiliasse, desde técnicas rudimentares, passando pela topografia convencional até as ferramentas mais modernas, por exemplo, o radar e o laser.

Além desses, um dos maiores investimentos usados na aquisição de dados para cartografia é o sistema GPS (Global Positioning System), que se constitui de uma constelação de satélites que emitem dados posteriormente convertidos em coordenadas geográficas e planas mundiais. Esse sistema é também fonte de meu estudo e por estar mais dilatado e ter resultados de precisão comprovados, é uma ferramenta de avaliação do mapeamento através de perfilamento a laser.

A técnica de mapeamento LiDAR não está muito difundida entre as instituições que necessitam de produtos de geoprocessamento, o desconhecimento dessa nova ferramenta pode limitar o uso para determinados objetivos.

Logo, esse estudo consiste em descrever o uso do sistema de mapeamento LiDAR na geração de modelos digitais de terreno e auxilia-los em relação aos valores tridimensionais das coordenadas obtidas com receptor GPS, considerando-as precisas, por terem sido obtidos por se tratar de um equipamento de precisão milimétrica.

## *1.1 Justificativa*

Os profissionais que lidam com geoprocessamento atualizam-se sobre essas novas tecnologias a fim de capacitarem-se antes da total aceitação, seja com fins de ensino, assessoramento ou produção. Esse espírito crítico despertou a necessidade de pesquisar e apresentar neste trabalho, os conceitos e características de funcionamento do LiDAR, bem como testar a acurácia desse sistema relacionada ao sistema GPS de precisão.

O uso do LiDAR na construção de modelos digital de elevação, é considerado recente, embora já seja usado há mais de uma década. Por esse motivo justifica-se a apresentação de estudos sobre essa nova tecnologia em monografia do curso de especialização em geoprocessamento da UFMG.

### ***1.2 Objetivos***

O trabalho tem como objetivo apresentar um estudo detalhado da técnica de mapeamento através do método de mapeamento a laser, principalmente no que diz respeito à geração de modelos digitais de elevação, bem como o funcionamento, o processamento e a aquisição de outros produtos de geoprocessamento com o uso dessa tecnologia.

Logo, apresenta-se como passo inicial, um propósito de estudo sistema LiDAR através dos tópicos:

- Descrever a Tecnologia GPS;
- Descrever a Tecnologia LiDAR;
- Apresentar o emprego do LiDAR na geração de Modelo Digital de Elevação;
- Investigar acurácia do produto cartográfico (MDT) em comparação com pontos tridimensionais medidos por GPS.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

---

Para extrair informações adequadas e confiáveis de um conjunto de dados é preciso conhecer as características dos equipamentos, neste caso os sensores, os receptores, a plataforma e os programas de processamento e visualização.

### *2.1 O sistema de Posicionamento Global (GPS)*

Até recentemente, os processos de levantamento de dados de campo para aquisição de bases cartográficas baseavam-se na utilização de medidas de ângulos e distancias terrestres planas, e esse processo tinha como grande restrição à necessidade de haver intervisibilidade entre os pontos a serem medidos.

A partir da aparição, em 1973, do Sistema NAVSTAR/GPS – Navigation Sattelite Time and Ranging/ Global Positioning System, os geodestas rapidamente descobriram as vantagens de utilizá-los como pontos espaciais geodésicos de referência e eles passaram, imediatamente, a ser utilizados no estabelecimento de redes geodésicas para uso civil.

O sistema geodésico foi projetado e desenvolvido pelo Departamento de Defesa Norte Americano, consiste, atualmente, de 24 satélites, os quais estão distribuídos em seis planos orbitais. Cada Plano possui a inclinação de  $55^\circ$  em relação ao Equador com um período de revolução de 12 horas siderais. Todos os satélites estão orbitando a uma altitude aproximada de 20200 km acima da superfície terrestre. A figura 01 – ilustra a constelação GPS.



Figura 01 – Constelação GPS.

Fonte: google.com.br

#### **2.1.1 SEGMENTOS DO SISTEMA GPS**

O sistema GPS é composto pelos três segmentos a seguir:

##### **2.1.1.1 - Segmento Espacial**

Esse segmento é constituído pelos satélites, sendo que numa primeira etapa do projeto do sistema, foram construídos 11 protótipos de satélites formando o chamado “Bloco I”, mais tarde entrou em operação o “Bloco II”, para o qual foram construídos 28 satélites e lançados 24. Vinte e um deles estão em operação e os demais ficam como reservas que posteriormente foram substituídos pelo chamado “Bloco IIR” introduzindo melhorias.

Segundo Silva (1995), esse segmento deve assegurar as seguintes funções:

- Manter uma escala de tempo bastante precisa;
- Emitir sinais ultra-estáveis com frequências moduladas em fase através dos códigos denominados pseudo-aleatórios.
- Receber e estocar as informações provenientes do segmento de controle;
- Efetuar manobras orbitais para guardar a sua posição definitiva na constelação ou para substituir um outro satélite defeituoso;
- Efetuar a bordo alguns cálculos;
- Retransmitir informações (mensagens ou efemérides) ao solo.

A vida útil de cada satélite é de sete anos, são dotados de painéis solares retráteis (sua fonte de energia) e sua massa em órbita é de aproximadamente 1.000 kg.

### 2.1.1.2 - Segmento de Controle

O Segmento de controle é responsável pela operação do sistema GPS. Este segmento é constituído por diversas estações de monitoramento que rastreiam continuamente todos os satélites visíveis no campo da sua antena. Elas têm como função monitorar os satélites, efetuando eventuais correções em suas órbitas e seus relógios.

Esse segmento é composto por cinco estações de controle distribuídas pela superfície terrestre. A chamada estação mestra que abriga o centro de operações está em Colorado Springs (oeste dos Estados Unidos) e as demais no Hawaí (no oceano pacífico), em Kawajalein (nas ilhas norte americanas das Carolinas também no oceano pacífico), na Ilha de Acepção (possessão Britânica no Atlântico Sul) e na ilha de Diego Garcia (também possessão britânica no Oceano Índico).

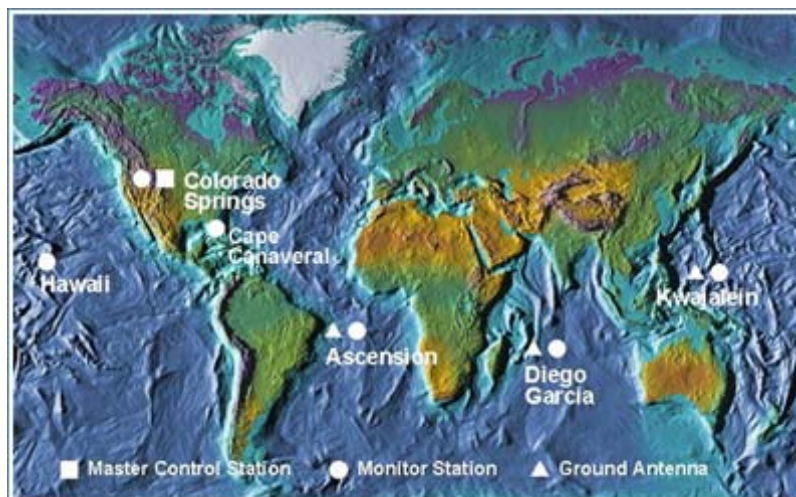


Figura 02 – Disposição das estações de controle.

Fonte [www.google.com.br](http://www.google.com.br)

### 2.1.1.3 - Segmento de Usuários

Refere-se a tudo que se relaciona com a comunidade usuária para a determinação de posição, velocidade ou tempo. São os receptores, algoritmos, programas, metodologias e técnicas de levantamento (TIMBÓ, 2006).

Os receptores, estimam-se da ordem de dois milhões de unidades espalhados pelo mundo, possuem a capacidade de registrar as medidas de pseudo-distâncias transmitidas pelos satélites e tem como função básica captar os sinais dos satélites calculando a sua posição tridimensional.

Nos últimos anos o desenvolvimento desse mercado tem tomado uma velocidade incrível, em especial o acelerado desenvolvimento dos receptores que trabalham com código para navegação de veículos.

### 2.1.2 SINAIS

Os sinais são fontes de comunicação entre os satélites do sistema GPS e os receptores. Eles são transmitidos de forma modulada sobre a onda portadora L em duas frequências distintas. A primeira é de 1575,42 MHz sobre a portadora L1 e a segunda é de 1227,60 MHz sobre a portadora L2, o que correspondem, respectivamente, aos comprimentos de onda 19 cm e 24 cm.

Sobre as portadoras são modulados dois códigos denominados pseudo-aleatórios. Sobre a portadora L1, modula-se o código C/A (Clean Access ou Course Aquisition) e sobre as portadoras L1 e L2, modula-se o código P (precise Code). O código P é uma serie de +1 e -1 com frequência de 10,23 megabits por segundo e o período de 267 dias. Esse código pode ser alterado pelo controle, sempre que o governo americano desejar, diz-se, nesse caso, o código esta criptado. A figura 03 ilustra os tipos de sinais disponíveis como código e fase.



Figura 03 – Sinais GPS (Código e Fase)

Fonte: [www.google.com.br](http://www.google.com.br)

As mensagens de navegação, como efemérides, saúde dos satélites e correções dos relógios, entre outras são transmitidas por esses sinais.

### 2.1.3 MÉTODOS DE POSICONAMENTO

São dois os tipos de medição no sistema GPS:

#### 2.1.3.1 - Posicionamento pela fase da portadora

As portadoras da banda L, L1 e L2, com comprimentos de onda de 19 cm e 24 cm respectivamente, são sobrepostos dois sinais, o código P sobre L1 e L2 e o código C/A, menos preciso sobre L1.

Nesse método a posição do receptor é obtida através das medidas de fase entre as ondas L1 e L2 emitidas pelos satélites até a sua reprodução no receptor. Esse método é preciso e os valores de precisão alcançados são de aproximadamente 1% do comprimento da onda com correspondente valor linear a cerca de 1 a 2 mm.

O fator de grande interferência nesse processo é a ambigüidade, que se trata da necessidade de conhecer, com precisão, o numero de comprimentos de onda do sinal. Considera-se ainda mais complexo a resolução dessa questão, quando se sabe que mudanças nas condições atmosféricas, obstruções nos sinais e outras interferências corrompem os dados e limita ainda a resolução da ambigüidade.

Segundo Rocha (2002), “a chave para alcançar precisões milimétricas nas medições geodésicas é resolver a ambigüidade de cada satélite”.

### **2.1.3.2 - Posicionamento pelo Código**

O posicionamento pelo código se dá conhecendo a duração da propagação do sinal, que pode ser obtida com a correlação das informações recebidas do satélite com as informações reproduzidas pelo receptor.

Porém essa relação, que é o mesmo que o retardamento do código reproduzido corresponde à propagação do sinal se os dois relógios (do satélite e do receptor) estiverem exatamente sincronizados, que segundo Rocha (2002) isso não é possível, e daí que se têm os erros sistemáticos dos receptores GPS de navegação.

Contudo, através dessa técnica o comprimento de onda fica pela metade e o ruído da média aumenta consideravelmente, por isso a imprecisão da medida pode variar de alguns centímetros a dezenas de metros.

## **2.1.4 ERROS**

Os erros são classificados da seguinte forma:

### **2.1.4.1 - Erros de órbita**

As informações das órbitas são transmitidas como parte das mensagens de navegação. A efeméride transmitida tem precisão aproximada de 1ppm, mas em posicionamentos simples, são significativas fontes de erros.

Porém, a maior fonte de erros desse sistema é provocada pela degradação internacional imposta aos sinais GPS à S/A (Selective Availability), que é realizado através de manipulação dos dados das efemérides transmitidas e dos relógios dos satélites. Essa manobra foi realizada pelo então presidente dos estados Unidos Bill Clinton em 2002.

Esses mesmos erros podem ser eliminados através de observações em no mínimo duas estações, uma vez que as S/A se anulam quando se trata de posicionamento relativo.

Por essa razão, devem ser utilizadas coordenadas precisas na base inicial do levantamento GPS (evitando propagação de erros). Logo, em nenhum caso se devem utilizar as coordenadas absolutas obtidas de uma medida GPS devido S/A imposta aos usuários do código C/A.

### **2.1.4.2 - Erros de propagação**

Esses erros são ocasionados na alta ionosfera que é um meio dispersivo para microondas, isto é, a propagação é dependente da frequência. Através da medida em duas frequências se pode calcular a influência da propagação da ionosfera e eliminá-la em grande parte. Por isso é que os sinais são transmitidos em duas portadoras e duas frequências.

A troposfera é outro causador de erros na propagação dos sinais, ela não é um meio dispersivo, porém a propagação precisa ser obtida através de modelos com base nos parâmetros de pressões do ar, do vapor d'água e da temperatura.

Uma troposfera modelada (dados medidos nas estações e inseridos nos cálculos) influencia especialmente na altura e na inserção dos dados não modulados é a principal causa dos erros sistemáticos.

A atenção na modelação da troposfera é importante para melhoria da precisão dos dados.

E um último erro ocasionado na propagação é o que chamamos de “multipath”. São causados pela refletância dos sinais por superfícies nos arredores da antena. A sua dimensão depende da disposição dos satélites empregados. Para sua minimização os fabricantes de receptores GPS recomendam que se considerem apenas os satélites localizados 15° acima do horizonte, essa angulação é denominada cut-off-angle ou máscara de elevação.

Além desses, outros erros que somados às medidas desde a transmissão dos sinais nos satélites até o armazenamento nos receptores, estão listados e sucintamente descritos no quadro 01 e seus correspondentes valores numéricos no quadro 02.

Quadro 01. Fontes de erros nas medições GPS

ERROS	DESCRIÇÃO
DATUM	É devido à configuração do Datum.
ORBITA	Erro nominal devido à imprecisão das efemérides transmitidas; Erro adicional devido à degradação internacional através da SA.
IONOSFERA	Atraso das medidas da pseudo-distância e o avanço equivalente da medida da fase portadora, devido aos elétrons livres da ionosfera.
TROPOSFERA	Atraso na transmissão do sinal, devido a componentes secos e úmidos da atmosfera, para regiões acima de 80 km da superfície terrestre.
ERRO DO RELOGIO DO SATELITE	Diferença entre o tempo de emissão e o tempo do sistema GPS.
ERRO DO RELOGIO DO RECEPTOR	Diferença entre o tempo de recepção e o tempo do sistema GPS.
RUIDO DO CODIGO NO RECEPTOR	Imprecisões na medida do código, devido ao ruído no receptor.
RUIDO DA PORTADORA NO RECEPTOR	Imprecisões na medida da portadora, devido ao ruído no receptor.
MULTICAMINHAMENTO	Erro devido ao fenômeno da recepção e sobreposição de sinais refletidos.

Adaptado de ROCHA (2002).

Quadro 02. Acúmulo de erros em medições GPS

ORIGEM	ERRO ESTIMADO	
RELOGIO DO SATELITE	3,5	
EFEMERIDES	2,6	
	Código - P	Código - C/A
ATRASSO DA IONOSFERA	0,4	6,4
ATRASSO DA TROPOSFERA	0,4	0,4
RUIDO DO RECEPTOR	0,25	0,6
OBLIQUIDADE ENTRE OS CANAIS	0,15	0,6
MULTICAMINHAMENTO	1,2	3,5

Adaptado de ROCHA (2002).

Os efeitos do multicaminhamento são, também, particulares a cada receptor, e não podem ser corrigidos. Já os efeitos da atmosfera podem ser bastante atenuados, quanto mais próximos os receptores itinerantes e de referência se mantiverem. Finalmente, os erros introduzidos nos relógios internos dos satélites podem ser totalmente eliminados pela técnica DGPS. Nesta categoria de erros, enquadram-se os produzidos pela disponibilidade seletiva (SA).

## 2.1.5 CLASSES DE RECEPTORES

Existem três principais grupos de equipamentos GPS, os quais foram agrupados segundo as precisões alcançadas, fornecidas pelos fabricantes, que são:

### 2.1.5.1 - Geodésicos



Essa classe de aparelhos é do tipo que recebe sinais nas frequências L1 e L2, portanto chamados de dupla frequência e como consequência disso, sofrem menos interferência da ionosfera. Com seus sofisticados recursos eletrônicos é possível resolver com mais agilidade os problemas da ambigüidade e isto permite atingir precisões de até 5 mm + 1 ppm.

### **2.1.5.2 - Topográficos**

Trabalham com a fase portadora L1 e código C/A, com pós-processamento dos dados, vem acompanhado de acessórios de fabrica como tripés e bastão com nível de calagem que auxiliam na melhora das precisões que alcançam valores próximos de 1 cm.

### **2.1.5.3 - Navegação**

São considerados da classe navegação os receptores que fornecem posicionamento em tempo real, baseado no código C/A (no caso Civil) e o código P (no caso Militar) modulados sobre as portadoras L1 e L2 respectivamente. Com o código C/A a precisão é de 5 a 15 metros e com o código P é de 1 a 5 metros.

## **2.1.6 MÉTODOS DE RECEPÇÃO DE DADOS**

As técnicas de mapeamento com GPS basicamente se resumem a cinco:

### **2.1.6.1 - Método estático**

Consiste na ocupação de uma estação até que uma quantidade de dados tenha sido suficientemente coletada para objetivos específicos de mapeamento, levando em consideração a finalidade e usando como critério determinante principalmente a precisão.

Os receptores de uma banda (L1) não devem se distanciar da base mais do que 40 km, considerando as especificações do receptor e do projeto. Os receptores de dupla frequência (L1, L2), podem separar-se da base até 350 km, considerando também as características técnicas dos equipamentos (GALERA, 2000).

### **2.1.6.2 - Método Rápido estático**

É aplicado em mapeamentos pequenos, ou com uso de mais de uma base, pois se aconselha que o distanciamento máximo seja de 15 km. O equipamento deve ser um receptor Geodésico com coleta de dados da ordem de 10 a 15 min.

### **2.1.6.3 - Método Stop and Go**

Nesse método primeiro resolvem-se as ambigüidades com os receptores estacionados em um tempo de 10 a 20 minutos, depois movimenta-se um dos receptores, mantendo o outro como estação fixa. Porém é necessário que não se perca a comunicação em modo contínuo com os satélites, pois ocorrendo isso, será necessário o estacionamento inicial para nova correção da ambigüidade.

### **2.1.6.4 - Método Cinemático**

Esse método é semelhante ao Stop and Go, mede-se a posição relativa dos pontos levantados em um intervalo de tempo pré-definido pelo usuário, porém a diferença está no deslocamento contínuo.

Esse método é definido também como cinemático RTK (Real Time Kinematic) quando o receptor GPS seria equipado com um link Padrão VHF ou UHF de modo a resolver as ambigüidades em tempo real.

### **2.1.6.5 - Differential Global Positioning System – DGPS**

Devido às limitações da precisão na determinação das posições absolutas decorrentes das medidas de segurança tomadas, o GPS é empregado na Geodésia quase que exclusivamente através de métodos relativos, ou seja, são determinadas diferenças de coordenadas entre duas ou mais estações. Através da diferença uma grande parte das influências dos erros é eliminada; trata-se aqui do conceito geométrico da geodésia por satélite.

## **2.2 LiDAR**

Este capítulo tem a finalidade de apresentar os fundamentos técnicos que estão envolvidos nos processos de obtenção de dados por meio do LiDAR, permitindo conhecer mais dessa nova técnica.

A palavra LiDAR é uma abreviatura da do inglês "*Light Detection And Ranging*" e representa os sensores remotos usados para a produção cartográfica que empregam como fonte de energia um raio laser que opera na região do Espectro Eletromagnético desde o ultravioleta ao infravermelho distante.

Esse é um sistema ativo de sensoriamento remoto utilizado para medir a distância entre o sensor e a superfície de estudo. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser emitido em direção aos objetos.

A palavra Laser é uma abreviatura, representando as iniciais da frase "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*" (amplificação de luz por emissão estimulada de radiação), é simplesmente um conversor de energia em que aproveita o processo de estimulação da emissão para concentrar certa parte desta energia em radiação de uma só frequência, movendo-se em uma só direção.

Esta capacidade de propagação em uma só direção permite gerar linhas retas perfeitas para alinhar objetos, determinar paralelismo, nivelar superfícies e controlar deslocamentos, entre outras aplicações.

A distância (R) do sensor à superfície é baseada no tempo de viagem do sinal (t) para cobrir o percurso com base na velocidade da luz (c) desde sua emissão até seu retorno depois de refletido em superfície,  $R = 1/2ct$ .

A figura 04 ilustra os componentes e o funcionamento do sistema de mapeamento LiDAR, como o espaçamento entre os pontos e a largura da faixa de varredura, e também a correção diferencial através da base GPS e o sistema IMU que avalia os movimentos da aeronave.

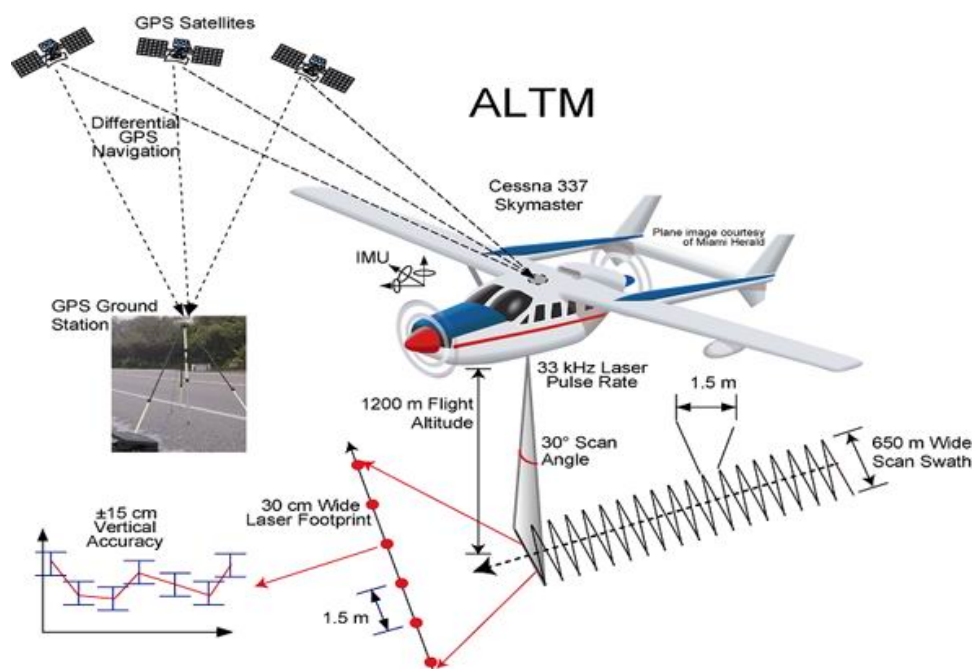


Figura 04 – Estrutura e funcionamento LiDAR

[www.google.com.br](http://www.google.com.br)

A partir da intensidade do sinal de retorno é possível derivar informações a respeito da natureza da superfície.

Segundo informações da internet ([www.esteio.com.br](http://www.esteio.com.br)), os Sistemas LiDAR, também chamados de sistemas de perfilamento a laser, dependem basicamente da detecção de luz refletida em uma superfície natural ou artificial. Assim, esta reflexão depende basicamente das características desta superfície. O desvio de feixes de laser emitidos é de 10 a 20% em terrenos arenosos, entre 30 a 50% em vegetação e 50% a 80% em coberturas metálicas de edifícios. Em resumo, quanto mais reflexiva for a superfície, maior será o desvio de feixes emitidos e menor será o retorno de pulsos ao sistema.

A densidade espacial nominal destes pulsos de laser projetados na terra varia dependendo da taxa de pulsos, da altitude de vôo e da velocidade da plataforma, em geral grandes volumes de dados são coletados. Esses sensores hoje geram e discriminam de 10.000 a 167.000 pulsos por segundo.

Chuva ou nuvens muito densas entre o local perfilado e a aeronave, são consideradas interrupções físicas. Os fabricantes argumentam que os mesmos impedimentos para luz visível são os impedimentos para o perfilamento a laser, uma vez que se trata de luz dentro do espectro visível.

O recurso de medição de mais de uma resposta (ecos) do feixe de laser permite num processamento posterior que se faça a distinção de objetos acima do solo (árvores, edificações, linhas de transmissão, etc.). A intensidade do sinal de retorno é uma importante informação suplementar que pode ser vista como uma imagem em uma faixa muito estreita do comprimento de onda (infravermelho próximo), podendo contribuir bastante com os algoritmos da classificação, permitindo a separação da vegetação e de outros objetos e identificando o tipo de superfície que refletiu o sinal. (AMGAA, 2003)

O ângulo e a frequência de emissão do feixe laser combinados com a altura de vôo e a velocidade da aeronave (avião ou helicóptero) determinam a densidade e a distribuição dos pontos na superfície. A largura da faixa perfilada é proporcional ao ângulo de abertura do sensor e da altura de vôo.

O sistema ainda dispõe de um receptor de **GPS** na aeronave que registra sua posição a intervalos fixos. Outro receptor baseado no solo provê a correção diferencial para a determinação de posição mais precisa.

A seguir, uma Tabela 01 ilustrativa que faz uma composição de todos os parâmetros variáveis e os resultados de largura de faixa de Perfilamento e densidade de pontos (supondo uma velocidade da aeronave de 230 km/h):

Tabela 01 - Parâmetros variáveis do LiDAR

Altura	500 m	1.000 m	2.000 m
FREQÜÊNCIA PERFILAMENTO	29 Hz	27 Hz	19 Hz
LARGURA DE FAIXA DE PERFILAMENTO	360 m	720 m	1440 m
ESPAÇAMENTO DOS PONTOS - EIXO X	1,11 m	1,19 m	1,69 m
ESPAÇAMENTO DOS PONTOS - EIXO Y	0,63 m	1,18 m	1,66 m
PONTOS / M <sup>2</sup>	1,4 pts	0,7 pts	0,4 pts

Tamanho de Registro para Pontos LASER			Tamanho Arquivo de Pontos LASER	
Dados	Parâmetro	Bytes		
Brutos	<i>Primeiro Retorno do Pulso</i>	4	<i>Por Hora de voo</i>	<i>first &amp; las:</i>
	<i>Intensidade</i>	2	Dados Brutos	1,98 Gbytes
	<i>Segundo Retorno do Pulso</i>	4	Dados Processados	4,66 Gbytes
	<i>Intensidade</i>	2	<i>Por Área Coberta</i>	<i>first &amp; las:</i>
	<i>Ângulo do Pulso</i>	2	Processado - 1 km <sup>2</sup>	52,00 MBytes
	<i>Tempo (data.hora)</i>	8	Processado - 1 hectare	0,52 MBytes
		<b>22</b>		
Processados	<i>X,Y,Z do primeiro retorno</i>	24	Frequência de Operação	25000 Hz
	<i>Intensidade</i>	2	Densidade	1 pt/m <sup>2</sup>
	<i>X,Y,Z do segundo retorno</i>	24		
	<i>Intensidade</i>	2		
		<b>52</b>		

Fonte: www.esteio.com.br

Os sensores ativos (sensores de varredura a laser ou radar interferométrico) apresentaram-se como excelentes alternativas na produção de informação cartográfica, permitindo capturar dados em áreas onde outros sensores como os da aerofotogrametria apresentam dificuldades de visibilidade.

A princípio o LIDAR foi usado somente na obtenção de Modelos Digitais de Elevação (terreno e superfície), porém sua grande vantagem frente a fotogrametria convencional é o mapeamento aéreo em áreas onde a imagem fotográfica não oferece o contraste e textura necessárias, como por exemplo, regiões costeiras contendo largas faixas de areia.

De acordo com Green et al., (1996) as áreas de aplicação onde o LIDAR supera a fotogrametria tradicional: 1) obtenção de perfis de superfície da linha costeira e dunas com pouco relevo. 2) áreas úmidas e alagadas onde nenhum ponto em terra pode ser instalado devido a acesso restrito. 3) áreas da floresta onde a cobertura da vegetação impede a visibilidade do solo nas fotografias 4) no planejamento de estradas e linhas de energia onde o mapeamento é feito em corredores estreitos. 5) operações de abertura de áreas de mineração onde os dados finais devem ser coletados dentro de poucas horas.

E mais, o potencial dessa ferramenta vai além disso, tendo comprovação em áreas como:

**Telecomunicações** - Para obtenção de modelos de elevação que permitem estudos de propagação de ondas e posicionamento de antenas receptoras e transmissoras;

### Engenharia Florestal

Para determinação de volume e altura de vegetação, estimativa de biomassa, além de remoção virtual de cobertura vegetal:

### Modelos 3D Urbanos

Para cálculos de volume de feições artificiais, corredores urbanos formado por edifícios em vias preferenciais, estudos de micro-clima, propagação de ruídos e poluentes;

## 2.2.1 Funcionamento

A seguir são apresentados os componentes que integram o sistema de varredura a laser:

### 2.2.1.1 Plataforma.

Originalmente esses sensores foram empregados em plataformas orbitais, onde se dificultava a captura do sinal refletido devido à alta dispersão do mesmo considerando a grande distância do sensor. Por este motivo, o sensor a Laser foi empregado para estudar outros fenômenos. Nos últimos anos se empregou esta tecnologia a bordo de aeronaves, apresentando resultados interessantes do ponto de vista cartográfico, ao poder captar centenas de pontos por segundo sobre a superfície em estudo, gerando uma estrutura de dados que descrevem o relevo da superfície estudada.

Essa aeronave tem uma abertura, mesma das aeronaves preparadas para coberturas aéreas, no fundo onde o laser é direcionado diretamente para o solo ou embarcado num helicóptero.

A velocidade, altura de vôo e ângulo de abertura são preestabelecidos em programas de planejamento inicial do mapeamento, porém, os seus movimentos são descritos e posteriormente utilizados no tratamento dos dados.

O perfilamento é feito no sentido transversal à direção de vôo com um ângulo de abertura especificado pelo operador.

### 2.2.1.2 Sistema de posicionamento - Receptores GPS+IMU

O IMU é uma abreviação da expressão inglesa “Inertial Measurement Unit”, ou seja, Unidade de Medição Inercial.

Estes são componentes fundamentais na exatidão do produto, pois permitem que o sistema execute com precisão o cálculo da posição da plataforma do sensor.

Esta integração permite manter a autonomia dos sistemas inerciais para navegação com as modernas capacidades oferecidas pelo Sistema Global de Posicionamento.

Os sistemas inerciais apóiam-se no princípio da inércia e na relação existente entre as acelerações e a posição. Usam-se acelerômetros e giroscópios para a determinação da velocidade e altitude do conjunto de sensores montados a bordo do avião, fornecendo os parâmetros de navegação da plataforma do sensor com um alto grau de precisão.

No caso, no sistema GPS+IMU, a posição calculada dos receptores GPS (a bordo da aeronave e a estação Base) é ajustada com os parâmetros de variação detectados pelo sistema inercial, melhorando a precisão do posicionamento. O resultado final é um posicionamento obtido com uma sólida tecnologia inercial e com a elevada precisão do sistema GPS

Porém, no monitoramento da posição aeronave/sensor a orientação do IMU pode ser uma fonte de erro para o sistema, se não instalado corretamente. A indústria sugere rotineiramente entre 15 e 25 cm RMSE de exatidões resultantes da elevação sobre áreas sem florestas (por exemplo, concreto nivelado).

Todo sensor LiDAR operacional é submetido a testes de desempenho sobre uma superfície ideal, tal como um telhado plano de edifício. Este teste ajuda a calibrar o sensor e também avaliar a exatidão horizontal e vertical sobre a superfície ideal e fornece uma visão de tendência dos dados reais coletados em aplicações rotineiras.

No caso do **GPS**, um equipamento bem instalado na aeronave e uma estação no solo podem proporcionar uma qualidade na ordem do decímetro.

### 2.2.1.3 Scanner

O scanner é responsável por receber a resposta de cada pulso, ou seja, os ecos ao serem refletidos pelos objetos presentes na superfície mapeada.

Ele é composto por um dispositivo óptico de espelhos oscilantes e tem como função medir distâncias entre o sensor e os objetos presentes na superfície de estudo ao registrar e processar a diferença de tempo entre o sinal (pulso laser) emitido pelo sensor e a sua resposta depois de interagir com o alvo.

### 2.2.1.4 Computador e tela para Visualizar a rota do vôo.

O sistema dispõe de um computador a bordo da aeronave que lhe permite controlar os parâmetros obtidos no planejamento. No caso do sistema ALTM 3100 da empresa Optech Inc., o mesmo software de planejamento dispõe de uma variante para empregá-lo em tempo real, durante o vôo, observando as mesmas informações efetuadas ao momento do planejamento, mas integrando-o aos movimentos e direção da nave.

Tanto o operador do sistema LiDAR quanto o piloto da aeronave tem disposto em suas telas, dados do vôo segundo o planejamento efetuado, podendo ser alterado em função de fatores ambientais. Dentre esses dados, a existência de área sem cobertura de laser, os movimento da aeronave de forma que não exceda os valores previamente determinados, situação de comunicação dos satélites com o receptor GPS de bordo.

O computador ainda armazena os dados do receptor DGPS, os relatórios de vôo (flightlog) que contém informações como velocidade da aeronave, altura de vôo, tempo de perfilamento, observações de tempo, entre outras informações descritas linha por linha de vôo.

## 2.2.2 Difusão do LiDAR no mundo e no Brasil

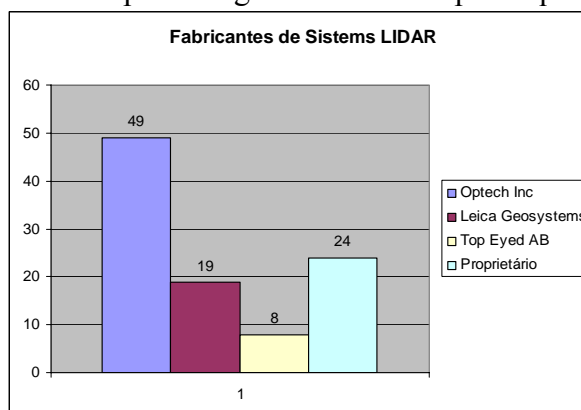
Segundo Braudalise (2001), em 2001 foi introduzida a técnica LIDAR em território brasileiro sendo ainda o primeiro sistema a ser adquirido na América do sul.

De acordo com os dados compilados por Flood (2003) encontram-se em operação no mundo, 86 sistemas LIDAR, entre comerciais, de teste e de proprietários, e 83 destes estão associados a organizações privadas, governamentais ou de pesquisa.

Ainda segundo Flood:

- Os três maiores fabricantes são: Optech Inc (canadá), Leica Geosystems (Suíça) e a Top Eyed AB (Suécia);
- Uma boa parte dos sistemas LiDAR que são denominados sistemas proprietários, ou seja, são projetados, construídos e operados pelas próprias organizações comerciais usuárias;

Quadro 03 - porcentagem do mercado pelos quatro maiores fabricantes



- Dos sistemas em operação, 46 encontram-se na América do Norte (EUA e Canadá), 21 na Europa, 12 na Ásia e apenas 4 na América do sul, sendo 3 no Brasil.

### 2.2.2.1 Fabricantes de sistemas LiDAR

#### Optech Inc.

Empresa Canadense fundada em 1984 e tem dedicação ao desenvolvimento e investigação tecnológica. Concentra seus esforços em cinco áreas de atuação: Topografia Terrestre, Topografia Marítima, Espaço Atmosférico, Imageamento com Laser e Produtos Industriais de medição. Todas estas áreas trabalham com a tecnologia LiDAR como meio de interação entre o sensor e a superfície ou substância em estudo.

Entre suas mais destacadas contribuições é possível mencionar a instalação de vários sistemas LiDAR de absorção diferencial no Ártico para avaliar a concentração de ozônio na atmosfera, recebendo por isso um renomado prêmio canadense pela excelência e inovações no campo da hidrografia empregando sistemas LiDAR aerotransportado. Os esforços de desenvolvimentos atuais permitiram-lhe trabalhar com a agência espacial canadense (CSA), a agência espacial americana (NASA) e a agência espacial europeia (ESA).

A Empresa fabricou um total de dez (10) modelos de sistemas Laser para mapeamento do terreno (ALTM – Airborne Laser Terrain Mapping), desde o modelo ALTM 1020 construído em 1993 até o mais recente modelo ALTM Gemini comercializado atualmente. Outras informações podem ser obtidas em [www.optech.on.ca](http://www.optech.on.ca).

#### TOPSYS GmbH

É uma companhia Alemã fundada em março de 1995. Produz e vende os sistemas *LiDARs* a clientes que desejam proporcionar os mesmos serviços que a Toposys oferece na Alemanha.

Esta companhia dispõe de dois modelos de sistemas de varredura laser, conhecidos como Toposys I e Toposys II. Ambos os modelos são capazes de gerar uma faixa de 83.000 medidas por segundo; outra característica muito destacada em suas equipes é o emprego de um sistema de varredura linear obtido por meio de um *scanner* com um dispositivo de fibra óptica, apoiado em um desenvolvimento tecnológico do EADS com fins militares construído há 15 anos, proporcionando ótimos resultados de acordo a informações obtidas do fabricante. Atualmente é o único sistema fabricado, tanto comercialmente como para uso particular, que emprega o mencionado sistema linear de varredura laser.

Entre os principais serviços oferecidos pela empresa destacam-se as construções de modelos digitais do terreno e modelos de superfícies obtidos como produto primário do processamento dos dados coletados por seu sensor. Incluem-se produtos adicionais como vetorização, simulação tridimensional de cidades, ortofotomapas, curvas de nível, consultoria, entre outros serviços associados à área de atuação da empresa. Os dados obtidos dos sensores de varredura laser apresentaram excelentes resultados nas áreas de telecomunicações, simulação de inundações, silvicultura, cartografia, representações 3D, etc. mais informações: [www.toposys.com](http://www.toposys.com).

#### LH-Systems

A criação desta companhia deu-se em 01 de junho de 1997 fruto do acordo comercial de duas grandes empresas, a Leica Geosystems AG, proveniente da Suíça e a empresa Americana BAE Systems.

Em 2001, a companhia Leica Geosystems AG, reestruturou sua organização e disponibilizou seis grandes divisões para atender melhor sua atividade comercial dentre elas a *GIS & Mapping*,

*Survey & Engineering* que agrupou suas atividades em quatro áreas principais: *GPS/GIS*, *Geographic Imaging*, *Land Information Systems* e finalmente *Airborne Data Acquisition*, esta última sub-divisão foi constituída pela companhia LH-systems.

A LH-Systems construiu o novo produto LH-systems ALS40, scanner a laser aerotransportado, que pode ser integrado a seu moderno sensor fotogramétrico digital ADS40. Atualmente a LH-systems encontra-se desenvolvendo ferramentas que permitam integrar por meio de um mesmo software o controle de ambos os sensores (ADS40 e ALS40) durante sua operação.

As características técnicas específicas do sensor ALS40 poderão ser vistas em [www.lh-systems.com](http://www.lh-systems.com).

## **TOPEYE AB**

A Companhia Topeye AB tem suas origens em fevereiro de 1996, como resultado da fusão corporativa de três importantes companhias suecas, a Saab Combitech, a Saab Dynamics e a Osterman Helicopter, criando a Saab Survey Systems AB, companhia que produzia o sensor de varredura laser Saab TopEye, e posteriormente renomeando a mesma como Topeye AB.

A TopEye AB dispõe de dois modelos de sistemas de varredura laser, com características similares. Entretanto cada um deles está orientado a objetivos específicos, reforçando certas vantagens, dependendo da necessidade do estudo a ser realizado.

O primeiro deles é o *Rotary Wing* construído para ser empregado a bordo de um helicóptero. O equipamento apresenta vantagens se a área a ser estudada corresponde a grandes faixas lineares, como linhas de alta tensão, oleodutos, estradas etc; dada flexibilidade à plataforma que leva este sensor.

O segundo, *Fixed Wind* é construído especificamente para aeronaves, sendo recomendado principalmente para grandes extensões de superfície, cidades, estudos de silvicultura, mapeamento etc. e pode ser a ele acoplado uma câmera digital de alta resolução que pode ser instalada em ambos os modelos de sistema de varredura laser.

Informações de contato da empresa encontram-se em [www.topeye.com](http://www.topeye.com).

## **FABRICANTE NÃO COMERCIAL**

Os grandes benefícios oferecidos pelos sensores de varredura laser despertaram o interesse não só de fabricantes comerciais. Atualmente existem diversas organizações que desenvolveram sistemas laser aerotransportados para atender à suas próprias necessidades. Dentre essas empresas, destacam-se as seguintes: a *Advanced Lidar Technology Inc*; *Fugro-Inpark b.v*, *EagleScan Inc*, *Mosaic Mapping Systems Inc*, *Terra Point Llc*, *Ins.for the Nav. Of Stuttgart*, e a *NOAA/NASA*.

No Brasil a disponibilização é de acordo o quadro 04apresentado abaixo:

Quadro 04 – Empresas e sistemas LiDAR no Brasil.

<b>Sistema LIDAR Modelo</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Empresa</b>	<b>Sede/Local</b>
<b>ALS 50</b>	<b>LH Systems</b>	<b>Esteio SA</b>	<b>Curitiba - PB</b>
<b>ALTM3100</b>	<b>Optech Inc.</b>	<b>Geoid Ltda.</b>	<b>Belo Horizonte IG</b>
<b>ALTM 2050</b>	<b>Optech Inc.</b>	<b>UFPR</b>	<b>Curitiba - PR</b>

Adaptada de Braudálise (2001)



### **Os modelos mais recentes no mercado são:**

- ALTM Gemini (Optech Inc.), mais recente lançamento com uma frequência de 167 kHz,
- Falcon III (TopoSys GmbH), atinge acurácias de 0,10 e 0,20 metros horizontal e vertical.
- ADS40 (LH Systems) lançado em 2006 no XIX congresso ISPRS em Amsterdam, Holanda

#### **2.2.2.2 Empresas comerciais sediadas no Brasil**

Nesse país de grandes extensão territorial dispor dessa moderna tecnologia apresenta vantagens comerciais, motivo pelo qual, freqüentemente, estas companhias investem recursos para modernizar suas ferramentas de trabalho para conseguir manter-se competitivas e oferecer melhores serviços a seus potenciais usuários. Porém dispor da mais moderna tecnologia representa custos muito elevados e isso se apresenta como empecilho da expansão em país em desenvolvimento, considerando que a mesma já é realidade nos países desenvolvidos.

A seguir será apresentado um resumo descritivo dos fornecedores locais no Brasil.

#### **GEOID Ltda**

A empresa mineira Geoid Ltda sediada na cidade de Belo Horizonte é especializada em mapeamento de alta precisão que utiliza recursos de rastreadores de satélites GPS geodésicos, videografia e *scanner* a laser. Representa no Brasil a Optech, com o sensor ALTM3100.

Foi a primeira empresa brasileira a adquirir e realizar mapeamento com o sistema LiDAR em território nacional, trazendo soluções cartográficas modernas obtidas com apoio da mais recente tecnologia de sensoriamento remoto. A empresa concentra seus objetivos em fornecer soluções de mapeamento as empresas de projetos, mineradoras, reflorestamento, construção civil e pesada, petróleo, concessionárias de saneamento, telecomunicações, energia elétrica entre outros e dispõe de um dos mais recentes sensores dispostos no Brasil. Maiores informações podem ser encontradas em : [www.geoid.com.br](http://www.geoid.com.br).

#### **ESTEIO ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S.A**

Companhia Brasileira com sede na cidade de Curitiba, no Paraná, atua como empresa de consultoria, concentrando suas tarefas na execução de projetos e supervisão de diversas obras de engenharia civil (estradas, aeroportos, linhas férreas, linhas de energia elétrica, etc.). Em maio de 2001, a Esteio adquiriu o sistema de varredura laser **ALTM 2025**, fabricado pela empresa canadense Optech, mas atualmente faz mapeamentos usando uma tecnologia bem mais recente porém de fabricação da LH Systems, o ALS50.

A Esteio oferece uma grande variada gama de serviços técnicos entre os que se destacam: Cobertura Aerofotogramétrica, Processamento Fotogramétrico, Aerotriangulação, Apoio Terrestre, Geoprocessamento, Cadastro Técnico, Conversão de Dados, Tratamento Digital de Imagens, Engenharia viária, Gerenciamento de Obras, Ortofotomapas, Cartografia Temática e Serviços Especiais. E maiores informações podem ser encontradas em : [www.esteio.com.br](http://www.esteio.com.br).

#### **TOPOSYS DO BRASIL Ltda**

A projeção da Toposys, fora da Alemanha, abrange escritórios comerciais na Áustria e no Brasil. Neste último país, a Toposys encontra-se em uma fase inicial, tramitando as permissões necessárias de acordo com as exigências e normativas vigentes para operar seu sistema laser **Toposys II**, o qual pode ser integrado a sua câmera digital multi-spectral de acordo com as necessidades do cliente. Tem como produto a solução completa e sistemática no monitoramento e planejamento de linhas de transmissão, modelagem e representação tridimensional, monitoramento de erosões em

áreas litorâneas, extração de modelos digitais de elevações, integração de dados a sistemas GIS, e outras aplicações associadas ao mapeamento e soluções cartográficas. Maiores informações podem ser encontradas em [www.toposys.com](http://www.toposys.com).

### 2.2.3 Padrões de classificação LiDAR

A ASPRS (*American Society of Photogrammetry & Remote Sensing*) tem sub-comitês que constantemente estão relatando estudo sobre os sistemas LIDAR, definindo normas específicas para calibração e tolerâncias de resultados encontrados, visando assim, contribuir para a definição de interpretações únicas para padrões de classificação desse sistema.

Porém, por serem proveniente de outros países, seguem normas e padrões de classificação e utilização às vezes desconhecidas dos usuários no Brasil.

Conforme anteriormente descrito, o funcionamento do LiDAR constitui-se da emissão estimulada de ondas eletromagnéticas no intervalo do espectro eletromagnético conforme ilustração da figura 08 desde o ultravioleta, passando pelo visível até o infra-vermelho distante.



Figura 05 – espectro eletromagnético

Pesquisas confirmam que os olhos e pele são vulneráveis à radiação laser, sendo que a incidência nos olhos é mais grave que na pele e principalmente quando esses focalizam o feixe de laser a uma certa distancia, ou quando o feixe focalizado e refletido por uma superfície espelhada

As características que permitem avaliar qual risco estão sujeitos os seres humanos e animais expostos à radiação laser são: comprimento de onda, potência, duração e taxa de repetição.

Porém, um sistema biológico qualquer só sofrerá danos se for capaz de absorver tal radiação.

É possível efetuar uma classificação para os sensores laser de acordo com os limites admissíveis de operação para evitar que este tipo de radiação seja prejudicial para o homem (PFLUG, 2002). Tendo como referência as Normas Européias (EN 60825), os sensores laser para mapeamento topográfico estão inseridos na classe abaixo citada:

- **Classe IV:** Sensores Laser que produzem danos graves, por incidências diretas, indiretas ou reflexão difusa, nos olhos e na pele. Pode produzir dano ocular e cutâneo; há perigo agudo ao contato com o feixe ou com sua radiação difusa. Emprega-se como medidas de controle: lentes de amparo, sinais de perigo, controle administrativo e engenharia.

Outra referência importante no momento de classificar os sensores laser de acordo com as normas de segurança de uso é o emprego dos padrões americanos, elaborados pelo ANSI (American National Standards Institute) Z136.1-2000. A partir do ano 1976 é obrigatório classificar os sensores laser construídos, ou que operem, no território dos Estados Unidos e cumprir com as normas de segurança adequadas para cada tipo de laser, como é o caso de emprego de protetores de segurança e etiquetas de aviso, dentre outras medidas.

Este padrão de segurança, refletido nas normativas ANSI Z136.1-2000, foi adotado pela Organização Internacional de Padrões (ISO), o qual, por sua vez, criou uma comissão específica para a atualização de normas de uso de equipamentos Laser, classificando esse tipo de equipamento nas classes abaixo listadas:

- **Classe 3:** São sensores laser de poder intermediário (5 a 500 nw); podem originar danos oculares observando-se diretamente o feixe de luz laser. Esta classificação subdivide-se em 3A quando se refere à luz visível, e em classe 3B para referir-se a luz invisível.
- **Classe 4:** Nesta classe são agrupados os lasers de potência muito alta (>500nw), podem ocasionar lesões oculares, embora sejam de um raio indireto refletido em forma especular ou difusa. Esta classe de laser pode lesar a pele e ocasionar incêndios. Esta é a classe onde está inserido o sistema LiDAR usado como fonte de estudos.

No Brasil a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, conta atualmente com quarenta e nove Comitês e dois Organismos de normalização Setorial orientados para atender ao desenvolvimento de tecnologia e participar efetivamente na normalização internacional e regional.

Nas normas já publicadas sobre laser não foi encontrada nenhuma que refere-se a classificação de sistemas LiDAR usados para mapeamento topográfico.

### 2.3 MDE

Na Cartografia Digital, o conjunto de dados, que descreve a distribuição espacial de uma característica do terreno, é conhecido genericamente como Modelo Digital de Elevação (MDE).

O uso de laser scanners aerotransportados é uma das mais recentes tecnologias para a obtenção de modelos digitais de Elevação (MDE), em alta resolução, em curto espaço de tempo e que competem também em custos. Os MDEs são representações em meio digital da configuração espacial de altitude numa área. Porém quando se trata de temas como planejamento de sistema viário, projetos de hidrologia, simulação de escoamento de fluidos é necessário existir somente um modelo digital de *terreno* (MDT). O uso dessa tecnologia integrada na geração de MDT constitui uma área de pesquisa bastante ativa e tem sido objeto de muitos estudos científicos recentes.

Os MDTs são obtidos pela eliminação da vegetação e das edificações dos dados de MDEs num processo chamado de filtragem, o que pode ser feito com o auxílio de modelos matemáticos ou algoritmos.

Na construção de modelos digitais de Terreno, onde a quantidade de massa vegetal numa determinada superfície é grande, deve-se construir de maneira precisa a verdadeira superfície do solo. Porém, nem sempre o último pulso refletido pela superfície corresponde, na informação do solo, requerendo efetuar um processamento adicional, a filtragem

Nessa fase o objetivo específico é extrair do conjunto de dados brutos coletados pelo sistema, a informação sobre a topografia da região de interesse, para facilitar a futura construção do MDT.

Cita-se aqui, dois processos de filtragem: O primeiro constrói uma superfície de referência empregando todos os pontos coletados pelo sensor LiDAR. Logo, são determinados os resíduos obtidos entre cada ponto originalmente coletado pelo sensor laser com a superfície de referência, atribuindo um peso específico a cada um dos deles. Em seguida, de acordo com um conjunto de restrições aplicadas pelo operador, serão afastados os pontos de menor peso, dispondo de uma massa de dados que representam o relevo. Estas restrições foram estabelecidas de acordo com as características do terreno (plano, escarpado) e diversos outros critérios como tipo de adensamento vegetal.

No segundo processo se constrói uma superfície de referência por meio dos dados coletados como último eco de pulso recebido pelo sensor LiDAR. Logo, faz-se um estudo comparativo de

vizinhança, calculando-se para cada posição o coeficiente de correlação. De acordo com os parâmetros fixados pelo fabricante do processo são retirados os pontos que não atendam aos critérios adotados. Finalmente, é construída a verdadeira superfície de referência, a qual será comparada com os pontos restantes coletados pelo sensor aplicando a mesma metodologia, deixando duas massas de dados: uma com informação do solo e outra com as demais informações coletadas.

O uso do laser scanner já é operacional na geração de MDT, porém métodos e parâmetros são ainda exaustivamente investigados por autores em vários países, de forma que os MDTs possam ser otimizada extraídos, isto é, que possam ser eliminados os objetos indesejados e simultaneamente preservada a configuração natural do terreno. A falta de automatização é um problema comum nos métodos que existem atualmente e é proveniente do fato de ser muito difícil determinar valores para parâmetros que possam ser utilizados para todos os tipos de terrenos, tamanhos e formas de edificações e vegetações (RIVAS, 2002).

Ainda segundo Rivas (2002), o uso do LIDAR como alternativa à restituição fotogramétrica traz rapidez, boa precisão e praticidade na geração de MDTs, porém em alguns casos apresenta desvantagens. Explica que a qualidade geomorfológica dos contornos de terrenos gerados por dados de laser scanner é baixa quando comparada com contornos gerados por restituição fotogramétrica, mesmo quando são aplicados filtros e interpolações qualificados. Isso porque não existem ainda métodos capazes de extrair automaticamente linhas de talvegue dos dados do laser scanner. Como solução para este problema os autores apontam a combinação dos dados deste sensor com outras informações. Traz também um paralelo entre a utilização do laser scanner e da fotogrametria onde especifica três situações onde este primeiro sensor apresenta grande vantagem: em terrenos com vegetação muito densa, em áreas cuja textura dificulta a restituição fotogramétrica e em áreas onde a aerotriangulação é dificultada ou impossibilitada por problemas com a geometria de blocos, o que ocorre tipicamente em áreas costeiras.

Para geração desses MDTs, os dados do laser scanner em formato ASCII, são disponibilizados como coordenadas tridimensionais de pontos medidos na superfície, que pode atingir uma densidade de 10 a 15 pontos por metro quadrado (empresa Geoid Laser Mapping) e posteriormente também podem ser usados na geração de imagens raster onde as cores dos pixels são calculados a partir dos índices de refletância na área coberta por cada um.

Muitos fatores podem afetar a precisão do sistema do laser utilizado e conseqüentemente, a precisão do DTM produzido. Os fatores principais são: 1) A exatidão da distancia que é afetada principalmente a) pelo não paralelismo no alinhamento da emissão e recepção das partes do sensor, que geralmente são corrigidas com a calibração. b) por imprecisões na medida do tempo de viagem do pulso. c) pela variação na velocidade da oscilação do espelho. 2) Exatidão da posição, que depende de muitos fatores tal como a configuração dos satélites GPS, multicaminhamento e a distância entre os receptores GPS referência e móvel. 3) A exatidão da atitude, que depende da qualidade do INS (sistema de navegação inercial). 4) Sincronismo do tempo, para obter posicionamento tridimensional bom e exato. É necessário que a orientação, a posição e a distancia sejam feitas ao mesmo tempo e no mesmo sistema de tempo coordenado (todas as medidas devem ser sincronizadas). 5) O sistema de coordenadas, este depende da transformação das coordenadas do WGS84 para o sistema nacional ou local e depende também das medidas do Geóide. Naturalmente, há uma relação entre estes fatores e a altura do vôo, ângulo da varredura, topografia do terreno, cobertura do solo, e os pontos de controle usados na transformação do sistema WGS84 para o sistema nacional ou local. Devido a todos os fatores acima mencionados, e a problemas de campo, é importante que sejam realizados testes de avaliação do sistema incluindo pontos de controle para verificação e validação dos dados. (RIVAS, 2002)

A perda da informação pode ser significativa, especialmente se múltiplas reflexões foram registradas, tendo em vista que os pontos com coordenadas N, E similares, mas com a elevação diferente são mal representados na grade regular. Embora a maioria das aplicações requeiram algoritmos e estratégias especiais para a classificação e a interpretação de dados do laser, uma tarefa

comum a todos é a separação dos objetos da superfície e do terreno. A cobertura do solo presente no terreno pode ter um grande impacto na densidade dos retornos do solo dentro de áreas vegetadas. Uma cobertura de 80 a 90% pode resultar em somente 10% dos pulsos de LIDAR que atingem o chão (RIVAS, 2002)

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

A necessidade de conhecer a qualidade dos MDTs gerados a partir dos sistemas LiDAR é de especial interesse em virtude do método ser proveniente de uma moderna tecnologia, e para isso é preciso participar do processo aquisitivo e processamento dos dados para geração do mencionado produto. Tudo isso pode ser acompanhado na descrição das especificações técnicas dos materiais e métodos usados para esse trabalho, em três importantes fases:

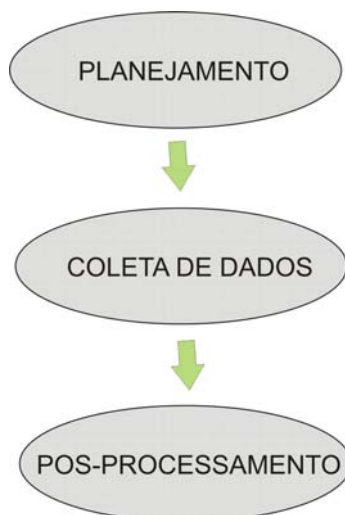


Figura 06 – fases de geração de MDT

Abaixo são descritas as fases de execução das atividades para a aquisição dos pontos laser até a geração do MDT e ainda a obtenção das coordenadas tridimensionais pelos receptores GPS. Em fases hierarquicamente corretas.

#### 3.1 Planejamento

##### 3.1.1 Captura de pontos LIDAR – O Sensor ALTM 3100

ALTM 3100 (Airborne Laser Terrain Mapper – 3100) é um sistema LiDAR aerotransportado de fabricação canadense, produzido pela empresa Optech e tem abaixo listado, suas especificações técnicas segundo fabricante.

Componentes desse sistema como o rack, o sensor, o computador de bordo e a tela de visualização para o piloto estão ilustradas na figura 10.



Figura 7 - Sistema LIDAR (ALTM3100)

fonte [www.optech.ca](http://www.optech.ca)

Como adicionais a esse equipamento tem-se o software de planejamento ALTM-NAV, software que faz planejamento de vôo e o REALM Suíte Survey que faz o pos processamento. Esses softwares permitem o controle total as operações de mapeamento, assim otimizando o trabalho.

O ALTM permite o ajuste da frequência e ângulo de perfilamento, da frequência de repetição de pulso, divergir a variação do feixe, compensação automática, gerar imagens com resolução próxima da média em fotogrametria em locais de pouca luz ou a noite, melhor deslocamento e vôo por ser mais compacto que os modelos anteriores, a possibilidade de ser acoplada um câmera digital de alta resolução. Essas e demais especificações são apresentadas no Quadro 05, observa abaixo:

Quadro 05 – especificações técnicas do ALTM 3100

<b>Especificações técnicas do ALTM3100</b>	
Altitude Operacional → 80 a 3.500 metros	Rack Controle: Dimensão → 65 cm x 59 cm x 49 cm e pesa 53,2 kg. Possui cobertura removível com disco rígido também removível. Cabos → 7,6 kg Laptop → 3 kg
Acurácia horizontal → 1/2000 x altitude; 1δ	
Acurácia Vertical → <15 cm a 1.200 m de altitude; 1δ	
Acurácia Vertical → <25 cm a 2.000 m de altitude; 1δ	
Acurácia Vertical → <35 cm a 3.000 m de altitude; 1δ	Cabeça (sensor) Dimensões 26 cm x 19 cm x 57 cm Peso → 23,4 kg Abertura máxima na plataforma → 19,2 cm x 25,5 cm (direção do vôo)
Resolução de alcance → 1 cm	
Alcance de captura → 4 respostas de medida por pulso incluindo o último.	Software de processamento REALM Suíte Survey → GPS Diferencial cinemático, otimização da trajetória através de múltiplas estações base, modulo de cálculo de pontos XYZ, classificação do tipo de vegetação e extração de características, compatível com Windows NT/2000/XP.
Intensidade de captura → 12 bits de alcance dinâmico para cada medida.	
Frequência de perfilamento → variável, máximo 70 Hz	
Ângulo de perfilamento → variável de 0 a 25° em incremento de 1°	
Produto de perfilamento → freq. Perfilamento x ângulo de perfilamento ≤ 1,000	
Rolo de compensação → 5 Hz	
Largura da faixa → 0 a 0,93 x altitude	
Sistema de orientação → POS AV interno - 12 canais, dupla frequência e 2 Hz receptor GPS	
Distribuição do ponto → 96% uniforme	
Repetição laser → 33 kHz (Alt. Máxima 3.500m ) → 50 kHz (Alt. Máxima 2.500m ) → 70 kHz (Alt. Máxima 1.700m ) → 100 kHz (Alt. Máxima 1.100m )	
Limite de armazenamento → disco rígido removível para 7 horas contínuas a 100 kHz.	Opções válidas Câmera digital 4k x 4k – câmera com moldura métrica integrada para disponibilizar cores georeferenciadas (X,Y,Z) ou cores infra-vermelhas com acurácia de sub-píxel.
Classificação do Lidar → Classe IV (FDA CFR 21)	
Temperatura do ar na operação → Rack 10 a 35°C e feixe laser -10 a 35°C e máxima -10 a 50°C.	
Umidade → 0 a 95% não condensando	

Adaptada do folder da Optech Inc.

### 3.1.2 Captura de pontos de Controle GPS – O receptor Promark2

A fase de coleta de dados desenvolveu-se com o uso desse receptor e tem as especificações técnicas abaixo e no quadro 06 que detalha mais essas especificações.

Esse receptor possibilita executar o levantamento e transporte de coordenadas utilizando o processamento da fase da portadora L1, alcançando precisões milimétricas (5mm + 1ppm) no modo estático e centimétricas (10mm + 1,5 ppm) no modo cinemático e stop and go. possui display LCD, sintonia para 12 canais independentes para GPS e WASS/EGNOS e possui coletor integrado com 8MB de memória. A alimentação é feita por 2 pilhas AA com autonomia de até 8 horas de trabalho.

Possui uma combinação de métodos de levantamentos estático, cinemático e de navegação sendo este último com precisão métrica.

Quadro 06 – especificações técnicas do Receptor GPS Promark 2

**Sintonia de Satélites**

- 12 canais independentes
- L1 código C/A e fase da portadora GPS
- Sinais de correção WAAS/EGNOS

**Especificações de Precisão****Levantamento Estático (1) (rms)**

- Horizontal: 0.005 m + 1 ppm
- Vertical: 0.01 m + 2 ppm
- Azimute: <1 arc segundo
- Tempo de Observação: dependendo da distância entre os receptores Promark 2 e outros fatores ambientais

**Levantamento Cinemático (1)****Contínuo**

- Horizontal: 0.012 m + 2.5 ppm
  - Vertical: 0.015 m + 2.5 ppm
- Taxa de gravação recomendada de 1 a 2 segundos

**Stop and Go**

- Horizontal: 0.01m + 1.5ppm / 0,012m + 2.5ppm
  - Vertical: 0.012m + 1.5ppm / 0.015m + 2.5ppm
- Precisões dependentes do comprimento da linha de base, taxa de gravação e tempo de ocupação de 15 a 60 segundos.

**Tempo Real com WAAS (rms)****Stop and Go:**

- Horizontal: 0.01m + 1.5ppm / 0,012m + 2.5ppm
  - Vertical: 0.012m + 1.5ppm / 0.015m + 2.5ppm
- Precisões dependentes do comprimento da linha de base, taxa de gravação e tempo de ocupação de 15 a 60 segundos.

**Características Físicas****Peso**

- Receptor 0.14 kg
- Antena externa: 0.45 kg
- Baterias: 0.05 kg

**Tamanho**

- Receptor: 15.8 cm x 5.1 cm x 3.3 cm
- Antena externa: 19 cm de diâmetro x 9.6 cm de altura

**Interface do usuário**

- Tela: 5.6 cm x 3.4 cm
- Teclado: 12 botões
- Comunicação: 1 porta RS232 para interface com PC - Baud rate de 2400 – 115200

**Características Elétricas****Alimentação**

- Bateria Interna : (2 AA):  
Até 8 horas com pilhas alcalinas  
Até 13 horas com bateria de lítium
- Bateria Externa + Interna (6AA):  
Até 24 horas com pilhas alcalinas  
Até 39 horas com pilhas de lítium

**Características do Ambiente****Receptor**

- Temperatura de Operação: -10°C to 60°C
- Temperatura de armazenamento: -20°C to 70°C
- Resistência: padrão MIL-STD 810E para chuva.
- Impacto: queda de até 1.5 metros em concreto.

**Antena Geodésica**

- Temperatura de Operação: -55°C a 85°C
- Resistência: à prova d'água e impacto

**Características de Coleta de Dados****Intervalo de gravação**

- Configurável de 1 a 120 segundos

**Capacidade de Memória Interna**

- 8 MB
- Armazenagem de até 72 horas de dados e 100 arquivos.

**Configuração do Sistema****Configuração Padrão**

- Dois Receptores ProMark2
- Um pacote de Software de Pós-processamento Ashtech Solutions

**Configuração profissional**

- Três receptores Promark 2
- Um Software de Pós-processamento Ashtech Solutions

**Acessórios do Sistema**

- Antena geodésica com cabo
- Bolsa de transporte
- Trena de medição da altura do instrumento
- Suporte de bastão
- Suporte para descarga de dados
- Guia rápido do usuário e manual de operação

**Acessórios Opcionais do Sistema**

- Kit de bateria externa completo
- Baterias recarregáveis e carregador
- Suporte para veículos
- Base nivelante
- Adaptador de base nivelante
- Bastão nivelante e tripé



### 3.1.3 Planejamento do Vôo – O Software ALTM NAV

É um software que facilita as operações de planejamento e de controle do vôo e acompanha o sistema LiDAR ALTM 3100. Estabelece uma relação entre as capacidades do sensor com as necessidades do projeto. Os parâmetros necessários a avaliar e determinar nesta fase são:

- Altura de vôo.
- Velocidade de vôo.
- Frequência de oscilação do dispositivo óptico do sensor (Frequência do Perfilamento).
- Ângulo de Abertura do sensor.
- Densidade de pontos.
- Diâmetro dos pontos.
- Largura da faixa de vôo.
- Potência do Pulso Laser (Frequência de operação).
- Normas de segurança no emprego de dispositivos lasers.
- Cálculo do consumo de combustível, entre outros.

Abaixo, na figura 8 a tela do ALTM NAV ilustrando a direção da aeronave, a disposição e espaçamento das linhas de vôo, bem como outras informações à esquerda da janela.

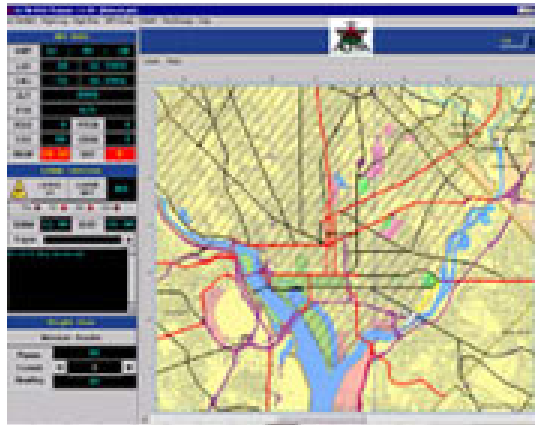


Figura 8 – tela do ALTM NAV

Fonte: [www.Optech.ca](http://www.Optech.ca)

Uma vez definida a área de interesse por intermédio de suas coordenadas geográficas, efetua-se a simulação de uma missão e vai-se variando alguns parâmetros até atingir-se uma determinada condição de rastreamento da área.

Em função do relevo e das características da plataforma do sensor, é possível estimar uma altura de vôo que servirá como dado inicial a ser conferido com os outros parâmetros envolvidos no processo assim obtendo dados como largura da faixa do vôo.

Outro aspecto a considerar no momento de calcular as faixas de vôo é a determinação da direção de vôo mais apropriada para cobrir a área de estudo, levando em consideração as características da plataforma aérea e o relevo da região a ser trabalhada.

A Frequência de Perfilamento tem a finalidade de combinar os movimentos do conjunto óptico do sistema com a velocidade da plataforma, permitindo executar uma varredura uniforme e contínua do alvo.

Através desse software ainda é possível estimar e determinar a separação ou espaçamento existente entre os pontos, a densidade e o diâmetro dos mesmos que permitirão determinar o nível de detalhamento.

Finalmente, após determinar todos os parâmetros anteriormente mencionados, é também necessário assegurar que a calibração do sensor tenha sido efetuada, já que isto claramente poderia

alterar todos os dados adquiridos no momento da operação e comprometer todo o trabalho realizado. O software de planejamento evita que o usuário esqueça este fator muito relevante para a operação do sistema, solicitando que sejam incorporados os dados provenientes da última calibração do sensor (BURMAN, 2000).

## 3.2 Coleta de dados

### 3.2.1 Descrição da área de estudos

Primeiramente a procura dos dados coletados pelo sensor de varredura laser sobre uma área dentro da cidade de Belo Horizonte foi uma tarefa que não demandou muito esforço e tempo, pois essa cidade tem sediada uma empresa de mapeamento a laser, a Geoid laser mapping que gentilmente cedeu a base de dados laser para esse estudo.

Os pontos laser fornecidos para esta dissertação foram devidamente processados pela empresa, mas foi acompanhado o processamento de outros trabalhos como o planejamento no ALTM NAV, a implantação da base de referência GPS, a coleta de dados com o ALTM 3100 e o processamento no REALM. Com a promessa de que os mesmos fossem empregados exclusivamente para fins didáticos e de pesquisa. O apoio da empresa Geoid não se limitou ao fornecimento de dados laser também apresentou valiosas experiências e conhecimentos acerca da tecnologia LiDAR, facilitando o contato com os equipamentos, programas e corpo técnico através de visitas à sua sede.

Os dados cedidos pela Geoid correspondem a uma área da cidade de Belo Horizonte são de propriedade da própria empresa, mapeamento esse feito para testes, estudos apresentação a possíveis clientes.

Abrange uma extensão de 28.470,02 m<sup>2</sup>, na praça da liberdade, zona sul da cidade, conforme ilustra a figura 09 a vista aérea da área de estudos sendo que a cor amarela apresenta o solo e a cor verde a vegetação e os edificações.

O CD contendo os pontos laser entregados pela Geoid contem os seguintes arquivos:

- BH Praça da liberdade vertical.bmp;
- BH Praça da liberdade vertical.jpg;



Figura 09- Praça da Liberdade vista aérea  
Fonte geoid Ltda

- BH Praça da liberdade perspectiva frontal-veículos.bmp;
- BH Praça da liberdade perspectiva frontal-veículos.jpg;
- BH Praça da liberdade perspectiva lateral-veículos.bmp;
- BH Praça da liberdade perspectiva lateral-veículos.jpg;
- BH Praça da liberdade vista frontal - pontos.bmp;
- BH Praça da liberdade vista frontal - pontos.jpg;
- BH Praça da liberdade vista lateral - pontos.bmp

- BH Praça da liberdade vista lateral - pontos.jpg
- BH Praça Liberdade Palácio edifício soloveg 1500.pro  
Tamanho: 108 MB → 741.392 pontos de solo e 573.817 pontos de vegetação → espaçamento aproximado entre os pontos 30 cm → Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), MC 45° → Datum SAD 69 → Altura Elipsoidal.
- BH Praça Liberdade solo1500  
Tamanho: 57,4 MB → 740.677 pontos de solo → espaçamento aproximado entre os pontos 50 centímetros → Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), MC 45° → Datum SAD 69 → Altura Elipsoidal.
- BH so Praça Liberdade soloveg 1500  
Tamanho: 49,5 MB → 255.305 pontos de solo e 155.001 pontos de vegetação → espaçamento aproximado entre os pontos 30 cm → Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), MC 45° → Datum SAD 69 → Altura Elipsoidal.
- SUAPE CORTE VIADUTO E LUMINÁRIA.bmp;
- SUAPE CORTE VIADUTO E LUMINÁRIA.jpg;
- SUAPE CORTE VIADUTO E LUMINÁRIA 2.bmp;
- SUAPE CORTE VIADUTO E LUMINÁRIA 2.jpg;
- SUAPE CORTE VIADUTOS.bmp;
- SUAPE CORTE VIADUTOS.jpg;
- suape geral solo veg.bmp

A figura 10 ilustra o local aproximado onde foram medidos os pontos de controle com receptor GPS, sendo que cada um tem sua peculiaridade que o levou a ser escolhido como de interesse na avaliação do MDT.



Figura 10 - Praça da Liberdade, Belo Horizonte e localização dos pontos de controle GPS  
Adaptada de google earth

Foram obtidos 17 pontos de controle, porém somente os abaixo listados e descritos é que foram usados como referência por terem obtidos melhores resultados de correção diferencial.

**PI01** – Local onde se encontra uma cerca viva de aproximadamente 0,50 m.

**PI02** – Local aberto, sem forte interferência de árvores e edificações para o LiDAR e também para o rastreamento com receptor GPS.

**PI07** – Local aberto e ao mesmo nível de locais embaixo de árvores próximas.

**PI10 e PI11** – são quinas de um canteiro com intuito de avaliação de medidas lineares;

**PI12** - Local onde se encontra uma cerca viva de aproximadamente 0,50 m.

**PI13** – ponto medido dentro da piscina da fonte luminosa, dessa forma avaliando local onde não existe resposta do pulso laser.

**PI15** - Local onde se encontra uma cerca viva de aproximadamente 0,50 m.

### 3.2.2 Aquisição de pontos de Controle

A forma mais idônea encontrada para avaliação do MDT, foi a coleta de pontos de controle por meio de equipamentos GPS, um conjunto representativo de pontos, com uma alta qualidade de precisão sobre a mesma área onde se encontram os dados laser que serão avaliados, e assim para dispor de uma excelente base referencial que permita uma comparação ajustada à realidade da área de estudo.

A finalidade é empregá-los como uma referência por possuir um alto grau de confiabilidade e qualidade seguindo os critérios nacionais adotados por um órgão oficial responsável pelas normas cartográficas vigentes no País.

O receptor usado nessa etapa foi o Promark2, de características anteriormente descritas, que possibilita alcançar precisões milimétricas no modo estático. Sendo justamente esse o método usado nas medições, ficando estacionado por no mínimo 10 minutos por ponto.

O tempo com receptor ligado foi variável de acordo a necessidade e disponibilização dos satélites. Em locais de maior interferência de sinais por parte de árvores e/ou prédios ficou-se maior tempo fazendo leitura possibilitando assim a obtenção de melhores resultados no processamento diferencial.

A ocupação dos pontos no método estático se dá quando objetivo do mapeamento é a maior precisão. E para garantir valores coordenados mais próximos dos verdadeiros observou-se os horários em que havia uma melhor distribuição dos satélites, a distância da base de referência não ultrapassou os 2.000 metros e foi feita com bastante atenção a configuração dos receptores.

Esses receptores foram configurados para o armazenamento de dados a cada 5 segundos, foram criados atributos que identificassem os pontos e atenção nas medidas de altura da antena e o nivelamento.

Os locais escolhidos para a ocupação da estação GPS tem características inerentes a avaliação do modelo. Esses locais são os mesmos enfatizados como de grande interesse de estudos no tópico anterior.

Depois de ocupados todos os possíveis locais característicos, obtendo um total de 15 pontos medidos. Esses receptores tiveram seus arquivos descarregados em computador do laboratório de geoprocessamento da UFMG e posteriormente processados.

O processamento será posteriormente descrito com detalhes no tópico “Correção diferencial em Ashtech Solutions”.

### 3.3 Processamento

#### 3.3.1 Processamento de dados LIDAR - REALM Suíte Survey

É o software de fabricação da Optech Inc. que o sistema LIDAR tem abaixo ilustrado a sua tela:



Figura 11 – tela do REALM Suíte Survey  
fonte [www.optech.on.ca](http://www.optech.on.ca)

Sabe-se que cada componente do sistema de varredura a laser gera um grupo de dados. Por exemplo, do receptor GPS, provêm um conjunto de informação de acordo com as mensagens de correção diferencial. O sistema inercial gera também diferentes grupos de dados que registram as variações da plataforma do sensor em cada eixo de referência durante o tempo de operação do sistema. O dispositivo laser tem um conjunto de dados de acordo com tipo de eco registrado do laser com o grau de reflexão de cada eco de pulso. O sistema de controle do vôo registra os valores definitivos dos parâmetros descritos na fase de planejamento. O REALM faz o processamento de forma integral, agrupando todos esses parâmetros e informações compiladas.

O procedimento tradicional é descarregar as informações registradas a bordo da aeronave e a proveniente do receptor GPS na estação base, de um computador potente que tenha as configurações mínimas recomendadas pelo fabricante do sistema LiDAR.

O armazenamento é feito em pastas de projetos subdivididas em categorias e são transportados pelo laptop da aeronave são flightlog e dados do DGPS, já os dados de ecos laser e registros do IMU normalmente são transportados em Fita DAT com exceção do sensor ALTM 3100 que é feito em um disco removível. E por final os dados do receptor GPS de base que podem ser transportados via memória interna do receptor em casos onde os mapeamentos são de curta duração ou através de outro laptop associado ao receptor GPS.

Em seguida é selecionada a direção onde encontram armazenados os dados obtidos do receptor a bordo da aeronave, como também o endereço dos dados da estação de referência. Outras informações solicitadas pelo software são: o diretório dos dados obtidos do sistema inercial, os parâmetros de calibração do sensor e os dados provenientes do dispositivo laser onde os ecos recebidos foram armazenados.

Durante o processamento determina-se a temperatura média e a pressão atmosférica durante o vôo, observa-se os resultados da correção diferencial do GPS, compara-se valores aos do flightlog e ainda ordena o local de armazenamento dos dados separando os resultados referentes ao primeiro e ao ultimo ecos.

Ainda no decorrer dessa fase definem-se alguns modelos já fornecidos pelo software escolhido pelo operador da estação de processamento. Escolhe o tipo de solo (ex. escarpado), o tipo de vegetação (ex. pastagem), desta forma auxiliando no processo de filtragem dos pontos, ou seja de definição da superfície de referência.

Também determina para os arquivos de saída, o espaçamento mínimo entre os pontos, normalmente os que recebem o complemento “full” estão espaçados de no mínimo 10 cm.

Tradicionalmente os dados processados são apresentados em um conjunto de coordenadas UTM no sistema WGS-84 (leste, norte e elevação), no formato ASCII, separadas em “patches”, ou sejam, quadrantes de normalmente 2 km x2 km, com extensões \*.grd para dados de solo e \*.Veg dados acima do solo (vegetação e edificações) fornecendo uma vantagem no processamento de futuras conversões, tanto de coordenadas como de formato de arquivo, de acordo com a necessidade do usuário final.

### 3.3.2 Processamento dos dados GPS – ASHTECH Solutions

Esse é do software usado no processo de correção diferencial dos pontos de controle GPS que o acompanha. O processamento e consiste nas etapas:

- Descarregar os dados dos receptores GPS que pode ser via cabo serial ou infra-vermelho, onde é conectado ao computador e posteriormente descarregado direcionando a pasta onde serão armazenados os dados de rover e de base. A transferência é simples com um click do mouse nos arquivos de interesse e arraste até o local desejado, aguardando sua finalização. O processo se repetiu para os dois receptores.

- Baixar os arquivos de correção rede RIBaC pela internet ([www.incra.gov.br](http://www.incra.gov.br)), nesse caso escolher os dias e horários correspondentes ao mapeamento e escolhe a extensão do arquivo a que se pretende baixar, no caso da RIBaC são disponibilizados na extensão \*.SSF ou o arquivo de formato universal RINEX. Para esse processamento foram baixados em extensão RINEX por se tratar de um processamento de dados proveniente de um receptor que não é do mesmo fabricante da base RIBaC. O projeto então será criado onde é também descritas informações gerais, o sistema de coordenadas e elipsóide de projeção bem como outras informações como ilustradas na figura 12 que ilustra o preenchimento das lacunas referentes a tipo de coordenadas, sistema e zona e a figura 13 ilustra o preenchimento de informações de acurácia, unidades de medida e mascara de elevação.

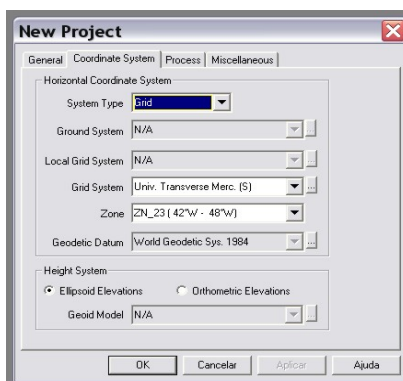


Figura 12 – Tela de criação do projeto no Ashtech Solutions – sistema de coordenadas

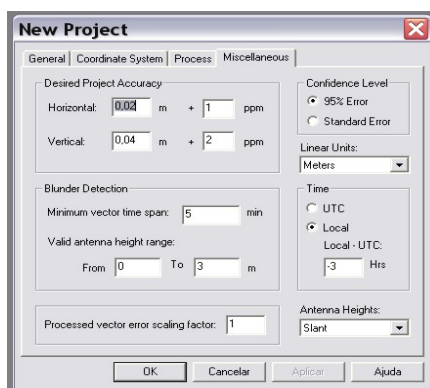


Figura 13 – Tela de criação do projeto no Ashtech Solutions – diversos

- Tendo as duas pastas de arquivos Rover e base prontos para serem processados o próximo passo consiste na importação dos arquivos para o software Ashtech Solutions e posteriormente a conversão dos arquivos de base ora em formato RINEX pra o formato do arquivo Rover (Ashtech). Essa etapa é ilustrada na figura 14 onde pode se observar os arquivos que estão sendo convertidos e locais de entrada e saída de dados.

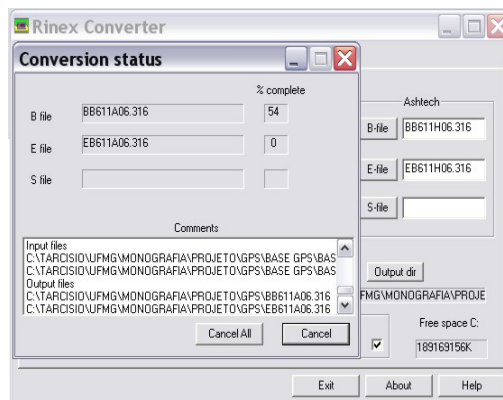


Figura 14 – Tela de conversão de dados RINEX no Ashtech Solutions

- Estando o processo de conversão 100% completado o próximo passo é a inserção dos valores verdadeiros de coordenadas da base que estão disponibilizados pelo [www.incra.gov.br](http://www.incra.gov.br), trata-se de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e a altitude disponível está projetada sobre o elipsóide, ou seja, trata-se de Altura elipsoidal. O conhecimento do significado dessas informações é de extrema importância e precisa ser muito bem empregado na configuração inicial do sistema de projeção ao criar um novo projeto no Ashtech Solutions.

- Após atribuição dos valores de coordenadas da base pode da-se atributos aos arquivos de rover como altura da antena, tipo de antena e diversos outros e após isso faz-se o processamento, ou seja, a correção diferencial dos pontos de controle, esse passo é ilustrado na figura 15 que apresenta a janela do Ashtech no processo de correção diferencial das linhas base.

- Os resultados da correção devem ser avaliados e posteriormente ajustados.

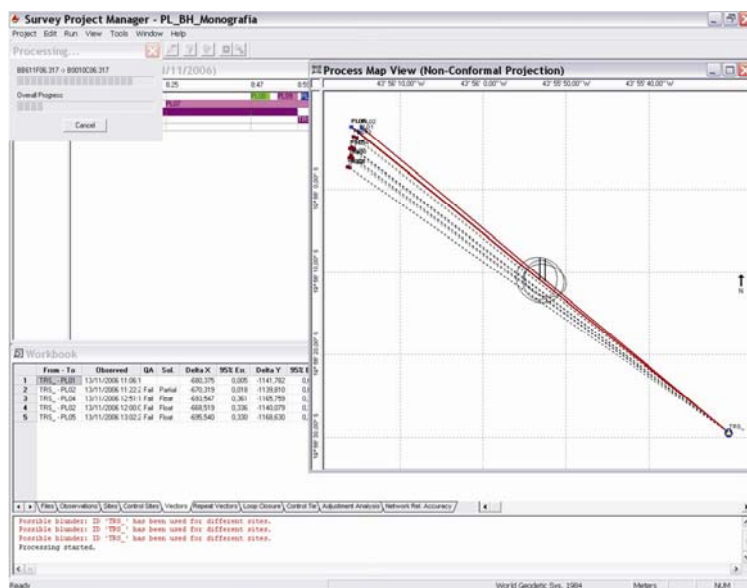


Figura 15 – Correção diferencial no Ashtech solutions

- Os relatórios estatísticos, de correção diferencial, de atribuições iniciais e de ajuste são disponíveis e encontram-se como anexo nesse trabalho.
- Após avaliação dos resultados, dos 17 pontos de controle processados alguns não alcançaram precisões aqui julgadas como suficientes para avaliação dos pontos LIDAR, sendo então desconsiderados, restando apenas o PL01, PL02, PL07, PL10, PL11, PL13 e PL15.

### 3.3.3 Geração de MDT - TERRAMODEL

Com a finalidade de ter uma melhor visualização da área de trabalho e poder extrair a maior quantidade de informações relevantes, é recomendável empregar uma ferramenta de visualização apropriada aos fins do trabalho, logo, escolheu-se o software Terramodel, por se tratar do mesmo usado pela empresa que cedeu os dados laser.

Esse software foi usado no processamento da correção diferencial dos pontos de controle GPS, ele tem ferramentas de importação dos dados laser em formato ASCII, porém peca ao não possuir um modelo geoidal de referência.

Tem diversas ferramentas de CAD e exporta em diversas extensões, dentre elas DXF e DWG.

Como o que se pretende é a visualização do MDT junto com os pontos de controle GPS, o terramodel permite gerar essa superfície de acordo com o requerimento do usuário, permitindo alteração de parâmetros envolvidos no processo.

Inicialmente faz-se a importação dos pontos que serão empregados na geração do MDT, não foi possível participar desse processo, considerando que os dados fornecidos já vieram importados, ou seja, foi fornecido um projeto montado no terramodel, porém, essa etapa foi executada na importação dos pontos de controle GPS, também em formato ASCII, ora exportados do software Ashtech Solutions. Onde foi necessário ajustar os parâmetros cartográficos e correspondentes colunas de importação (ENZ). A figura 16 ilustra a tela do terramodel com os pontos em formato ASCII e extensão grd, ou seja os pontos de solo.

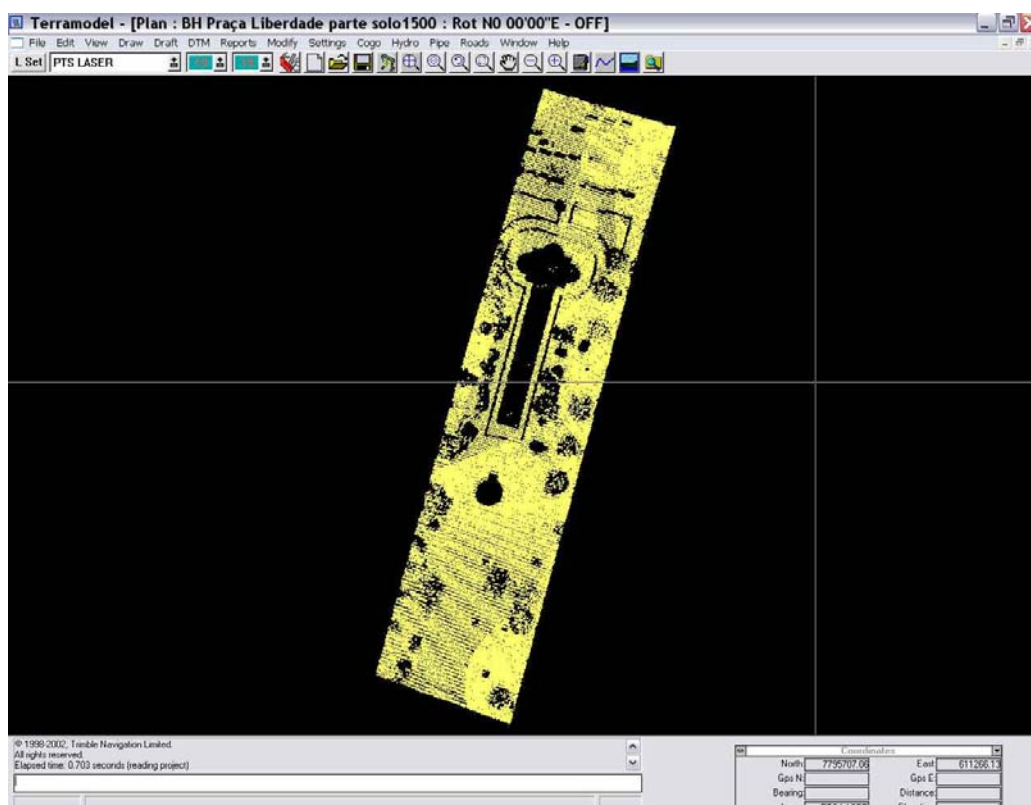


Figura 16 – Terramodel com os pontos importados da Placa da Liberdade, Belo Horizonte



Observa-se que os pontos Laser tem um deslocamento horizontal de 14,5 metros constante em todos eles e considerando verdadeiras as informações fornecidas pela empresa concedente dos dados laser a projeção dos dois arquivos, tanto o de laser quanto o de controle GPS estão embasados no mesmo sistema de projeção, as coordenadas altimétricas são sobre o elipsóide, ou seja alturas elipsoidais.

Ainda, projetando os pontos GPS nos mesmos parâmetros cartográficos dos dados laser, não foi possível descobrir qual a origem de tal deslocamento, para tal, foi feito uma subtração na coordenada altimétrica de todos os dados laser no valor dessa constante, obtendo assim valores bastante próximos dos valores altimétricos dos pontos de controle. Usando esses como valores de referência para avaliação da precisão cartográfica e deixando como sugestão para outros pesquisadores estudarem mais o caso.

A visualização tridimensional conjunta dos pontos laser com os pontos de controle GPS só é possível se os dois arquivos estiverem em uma mesma camada ativa, portanto havendo a necessidade de importação em cores distintas dos dados laser para identificação posterior.

A seguir, ilustração do modelo digital de elevação na figura 17 com ampliações em locais de interesse como a visualização em três dimensões do ponto GPS e os pontos de laser embaixo da árvore e embaixo da cerca viva:

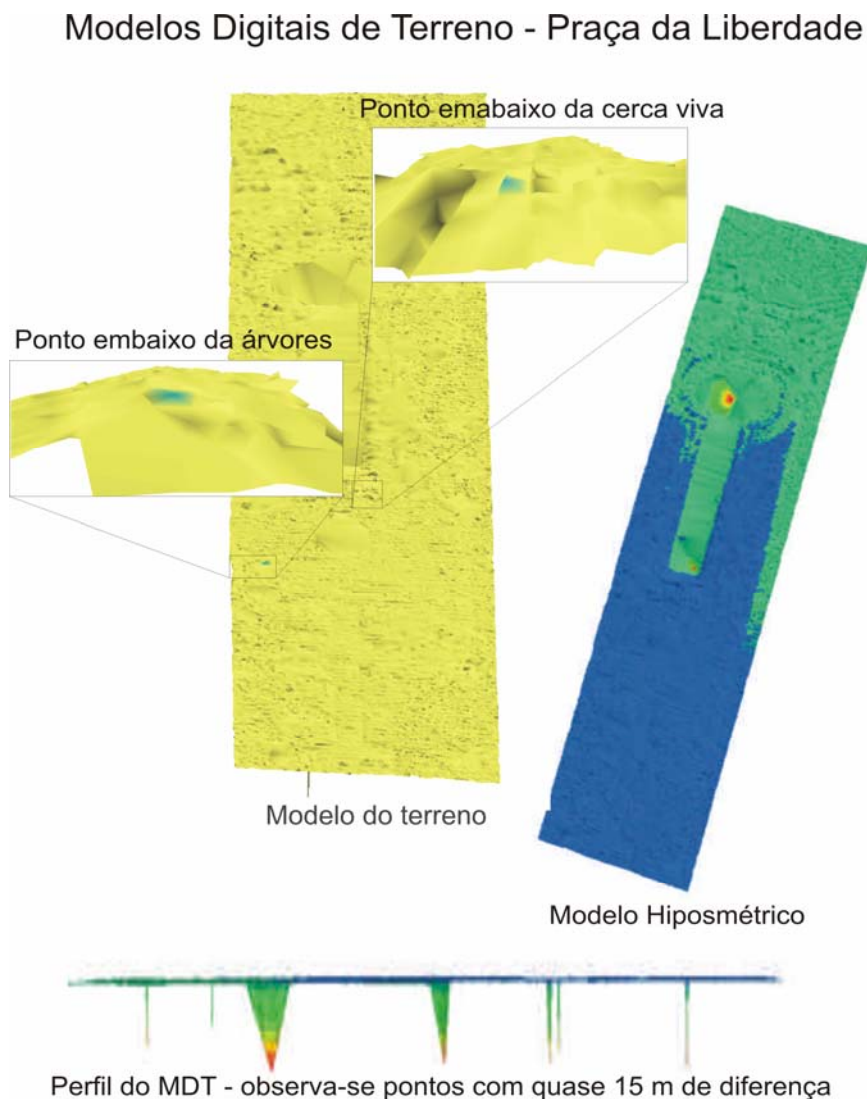


Figura 17 - Modelos digitais de terreno gerados no Terramodel

O arquivo de pontos laser entregue pela Geoid “BH Praça Liberdade solo1500.pro” diminuído, por alguns motivos, o grande número de pontos demanda uma bom computador para fazer o processo de manuseio da nuvem de pontos na geração de Modelos digitais de terreno. Os pontos de controle foram obtidos somente de um lado da praça, fazendo com que o lado esquerdo do corredor central ficasse inútil para avaliação e ainda porque o excel consegue importar, no máximo 65.500 linhas por 256 colunas, logo ficando inviável a importação de todos os pontos para cálculos estatísticos. Logo, o arquivo “BH Praça da Liberdade parte solo1500. pro ficou assim caracterizado.

- 14 MB tamanho de arquivo.
- 64.048 pontos que descrevem o relevo da área de trabalho.
- Espaçamento aproximado entre os pontos é de 0,50 m.
- Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), MC 45.
- Datum Horizontal: SAD – 69

Com as informações descrita nos itens anteriores é aplicando a metodologia proposta no capítulo 3 foram construídos MDT's partir dos dados laser, empregando para isso o 10% da totalidade dos pontos laser disponíveis e 100% do arquivo reduzido. Em quanto às estatísticas dos dados do relevo da área de trabalho:

Quadro 07 - Estatísticas dos dados fornecidos pela Geoid

	<b>Dados Laser</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Mínimo</b>	7.795.791,2000	611.225,9400	890,6070
<b>Máximo</b>	7.795.609,2900	611.140,6700	889,1307
<b>Media</b>	7.795.697,8168	611.184,7461	887,6870
<b>Interpolador</b>	kripping		
<b>Pontos Totais</b>	64.048		

Conforme apresentado no tópico anterior, foram extraídas as informações altimétricas da região de estudo com o uso do receptor GPS de precisão, os valores obtidos foram inseridos no terramodel no mesmo local onde foram coletados no campo.

Após a inserção desses dados foram exportados em formato ASCII, as médias das cotas dos pontos mais próximos dos pontos de controle foi posteriormente digitada em planilha do excel para cálculos estatísticos e posterior comparação segundo padrões e normas cartográficas.

## IV. PADRÕES DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA

---

A avaliação do sistema LiDAR, na geração de Modelos Digitais de Terreno foi feita segundo a nova redação das instruções normativas reguladoras das técnicas da cartografia nacional.

Estas normas estabelecidas pela presidência da república através da casa civil, no DECRETO Nº 89.817, de 20 de julho de 1984, devem ser observados por entidades produtoras e usuários de serviços cartográficos e destinam-se a estabelecer procedimentos e padrões mínimos a serem adotados no desenvolvimento dessas atividades.

Esse decreto ainda institui sobre a necessidade dessas normas serem homologadas pela Comissão de Cartografia – COCAR e define a atividade cartográfica em caráter geral, quanto a sua finalidade e quanto a sua natureza.

Em especial atenção à seção I (Especificações Gerais) do capítulo II que apresenta itens de classificação de uma carta quanto a exatidão e diz o seguinte:

Art 8º - As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, seguindo o critério abaixo indicado:

1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico - estabelecido.

2. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico - estabelecido.

§ 1º - Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

§ 2º - A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão - PEC = 1,6449 EP.

§ 3º - O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

§ 4º - Para efeito das presentes Instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático.

A seção II determina sobre a classificação de cartas:

Art 9º - As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, segundo os critérios seguintes:

a - Classe A

1 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.

2 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

b - Classe B

1 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,8 mm na escala, da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente

2 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: três quintos da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de dois quintos o Erro-Padrão correspondente.

c - Classe C

1 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 1,0 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.

2 - Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de metade desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

Dentre os acima descritos essa seção ainda apresenta elementos e medidas definidoras da classe das cartas cartográficas como do Erro-Padrão no rodapé a folha ou a classe ao qual ela

pertence, não produção da cartas pela ampliação de originais, dessa forma se feito, d e vendo conter informações que afirmem que se tal documento é originário de ampliação.

Ainda nesse decreto o capítulo III descreve sobre os elementos obrigatórios de uma carta.

O capítulo IV, afirma que os referencias planimétrico e altimétrico uso de referencial cartográfico são aqueles que definem o Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, conforme estabelecido pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em suas especificações e normas.

Nas especificações gerais sobre as normas cartográfica brasileiras encontram obrigações às entidades normativas cartográficas, de elementos de identificação que devem ser contidos nas cartas brasileiras, afirma que a instituição reguladora das normas cartográficas brasileiras é a COCAR e ainda estabelece modelos de grafia, simbologia e segundo legislação Metrológica Brasileira.

O documento finaliza no capítulo VI com as disposições gerais sobre o decreto normativo de técnicas da cartografia nacional, afirmando que o prazo de adaptação ao decreto é de um ano contados a partir de 02/03/2005, ou seja data de publicação desse decreto.

## V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos pelos sistemas LiDAR são avaliados desde os primeiros testes de operação, pois o conhecimento das limitações deste processo é de importância para a qualidade dos serviços derivados.

A metodologia de avaliação consiste na comparação do modelo de elevação derivado dos pontos medidos pelo sistema LiDAR com pontos de controle obtidos com equipamento **GPS**.

As diferenças encontradas em um processo comparativo com origens sujeitas a erros devem ser interpretadas de maneira especial. Portanto, admitir que um processo seja correto ou mais correto que outro é questionável. Com este método comparativo pode concluir que um processo é tão adequado quanto outro em termos de qualidade geométrica.

Uma vez calculados os valores das coordenadas UTM dos pontos de controle GPS, obtidas as coordenadas também em sistema UTM dos correspondentes pontos obtidos a partir do sistema LIDAR, foram selecionados esse conjunto de medidas e inseridos em planilha do excel, obtendo valores estatísticos de posição, dispersão e variabilidade com o fim de facilitar a interpretação e análise dos resultados obtidos, através de ferramentas adequadas que permitam ressaltar as tendências e características dos dados analisados

Para avaliar a qualidade dos dados, obtidos a partir do sensor laser com os dados da carta topográfica, é necessário criar uma metodologia para fazer coincidir ambas as massas de dados fixando alguma variável, neste caso as coordenadas X e Y de cada ponto; e comparar as elevações de ambos os pontos a ponto, conforme apresentado no quadro XX:

Tabela 02 – comparativo de coordenadas GPS E LiDAR

PONTOS	COORDENADAS GPS			COORDENADAS LASER			DIFERENÇAS		
	E	N	Altura Elipsoidal	E	N	Altura Elipsoidal	difE	difN	difALT
PL01	7795755,939	611199,141	888,467	7795754,612	611199,265	888,563	1,327	-0,124	-0,096
PL02	7795773,726	611207,652	888,696	7795772,952	611207,875	888,217	0,774	-0,223	0,479
PL07	7795666,515	611169,118	889,703	7795667,032	611169,535	889,632	-0,517	-0,417	0,071
PL10	7795629,145	611154,145	889,560	7795627,872	611154,235	890,021	1,273	-0,090	-0,461
PL11	7795663,741	611164,700	890,033	7795663,232	611165,535	889,556	0,509	-0,835	0,477
PL12	7795694,808	611180,433	889,350	7795694,780	611180,325	889,198	0,028	0,108	0,152
PL13	7795739,686	611190,040	888,057	7795739,162	611190,785	888,769	0,524	-0,745	-0,712
PL15	7795697,809	611169,510	889,400	7795697,363	611170,945	889,493	0,446	-1,435	-0,093

Os valores estatísticos originário do quadro XX são apresentados no quadro XX com variáveis como diferença, média, desvio padrão e por final os correspondente valores de exatidão cartográfica, observe:

Quadro 08 – resultado estatísticos de exatidão

Variável estatística	Dif E	Dif N	Dif Z
MEDIA	0,545	-0,471	-0,023
DESVIO PADRÃO	0,610	0,507	0,417
MÁXIMO	1,327	0,108	0,479
MÍNIMO	-0,517	-1,435	-0,712
PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA - PLANIMÉTRICO	0,793		
PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA - ALTIMÉTRICO	0,834		

O Padrões de exatidão cartográfica são obtidos através do uso das seguintes equações:

$$PEC \text{ Plan.} = \sqrt{[(\text{dif E})^2 + (\text{dif N})^2]}$$

$$PEC \text{ Alt.} = 2 * \text{Desvio Padrão Altimétrico}$$

Em resumo, os resultados encontrados levam a uma precisão horizontal de 0,793 m e uma precisão vertical melhor que 0,834 m para pontos bastante próximos dos de controle. Estes valores são obtidos para uma altura de vôo de 1.500 m. A fabricante, na especificação técnica do sistema ALTM3100, afirma que a Acurácia horizontal é de  $1/2000 \times$  altitude, ou seja, de aproximadamente 0,75 m e a vertical entre 0,15 e 0,25 m para essa altura de vôo. Uma das maiores usuárias de sistemas de **Perfilamento a LASER** nos Estados Unidos, a empresa Airborne 1 (Los Angeles, CA) vem obtendo em serviços realizados, a precisão vertical em torno de 10 cm para 68% dos pontos testados.

Observando os valores acima obtidos Os resultados obtidos e avaliando segundo a precisão cartográfica, através desse mapeamento podem se gerados mapas cartográficos em escala 0,0002mm x Escala = PEC Plan = PEC Altimétrica, ou seja, mapas tanto planimétricos quanto altimétricos podem ser representados em escala 1:5.000.

A experiência demonstrou que o menor comprimento gráfico que se pode representar em um desenho é de 1/5 de milímetro ou 0,2 mm, sendo este o erro admissível, ou seja, 0,0002 m é a menor grandeza medida no terreno, capaz de ser representada em desenho na mencionada Escala. Sendo o erro tolerável, portanto, varia na razão direta do denominador da escala e inversa da escala, ou seja, quanto menor for a escala, maior será o erro admissível.

Em escala 1:5.000 os produtos cartográficos obtidos a partir da tecnologia LiDAR teriam classificação A segundo Padrões de Exatidão Cartográfica, ou seja, o PEC Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente e o Altimétrico deve ser igual a metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

A tabela XX ainda afirma que os pontos de laser na construção de modelos digitais de são muito precisos além de satisfazerem as normativas de qualificação quanto a exatidão o decreto 89.817 acima descrito, a gerarem cartas em grande escala, nesse caso 1;5.000 ainda tem todas as condições necessárias quando se trata de espaçamento horizontal mínimo necessário:

Quadro 09 – proposta de espaçamento para geração de MDT

**Estudo comparativo das estratégias de espaçamento propostas em MARCIS (2003)**

Estratégia	Espaçamento Horizontal	Observação
1ª DL	50 m	Escala de restituição de 1/25.000
	75 m	Escala de restituição de 1/50.000
Intergraph	21 m	Resolução geométrica de 14 $\mu$ m
	31,5 m	Resolução geométrica de 21 $\mu$ m
	42 m	Resolução geométrica de 28 $\mu$ m
Ackermann	100 m	Terreno plano Escala de restituição de 1/25.000
	50 m	Terreno ondulado Escala de restituição de 1/25.000
	200 m	Terreno plano Escala de restituição de 1/50.000
	100 m	Terreno ondulado Escala de restituição de 1/50.000

Fonte: RIVAS 2003

## VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

Os sistemas de mapeamento LIDAR tem um alto potencial a ser explorado. É uma nova tecnologia com uma grande margem para futuros desenvolvimentos especialmente nos algoritmos de geração dos modelos digitais e nos componentes do sistema com maior capacidade de varredura permitindo avanços na capacidade de identificação e classificação de objetos.

O método é capaz de alcançar, sem comprometer a precisão do sistema, pontos embaixo de árvores, desta forma permitindo a geração de Modelos digitais de terreno com bons resultados de precisão e acurácia.

A técnica de mapeamento LIDAR se apresenta como grande ferramenta de geoprocessamento na geração de cartas topográficas altimétricas em grande escala (1:5.000), possibilitando representação do relevo por curvas de nível ou Modelos Digitais de Terreno.

O espaçamento dos pontos obtidos pela resposta do eco de feixe laser é suficientemente bom para a geração de Modelos Digitais de Terreno em escalas 1:25.000 ou maiores.

Os valores de Exatidão cartográfica obtidos nesse experimento possibilitam a geração de cartas de Classificação A segundo normas reguladoras do DECRETO N° 89.817, de 20 de julho de 1984.

É muito comum às novas tecnologias que seu potencial técnico abra de imediato uma área nova de aplicação. A exploração da altimetria laser está expandindo sua área de aplicação para além da geração de MDT, mas também para a geração Modelos Digitais de Superfície de áreas rurais (ex. calculo de biomassa) e urbanos.

Os dados LIDAR, após os tratamentos básicos, podem ser incorporados aos sistemas GIS comerciais existentes e podem então participar das análises típicas e da geração de produtos permitidos pelas funcionalidades dos GIS.

Recomenda-se a leitores deste trabalho e interessado no sistema de mapeamento LIDAR, fazer novos experimentos de forma a detectar a fonte do deslocamento dos dados, bem como examinar resultados ora obtidos.

---

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- BARRA, C.H.R., **Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar**, Juiz de Fora, Brasil, 2000, p.220.
- BEHAM, A., MAAS, H.G., VOSELMAN, G., **Steps Towards Quality Improvement of Airborne Laser Scanner Data**, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000.
- BURMAN, H., **Calibration and Orientation of Airborne Image and Laser Scanner Data Using GPS and INS**, Department of Geodesy and Photogrammetry, Stockholm, Sweden, 2000.
- BRANDALIZE, A.A., **Perfilamento a Laser: Comparação com Métodos Fotogramétricos**, XX congresso Brasileiro de Cartografia, Rio Grande do Sul, Brasil, 2001.
- CRESPO, A.A., **Estatística Fácil**. 4ta. Edição, Editora Saraiva, São Paulo, Brasil, 1987, p.207.
- FLOOD, M., **Commercial Develop of Airborne Laser Altimetry**, ISPRS, USA, 2000.
- GALERA, J.F.M., **Posicionamento Pelo Navstar-GPS**. Editora UNESP, São Paulo, Brasil, 2000. p. 287.
- HOSKEN, L.E., **Análise do Comportamento Dinâmico de Plataformas Inerciais**, Rio de Janeiro, Brasil, 1990.
- PFLUG, M., **Technical Note on Laser System Safety**, Toposys, Germany, 2002.
- RENSLOW, M., **Lidar Industry Status**, Lidar Mapping Forum, 2000.
- ROCHA, J.A.M., **GPS Uma Abordagem Prática**. 2da edição, Editora Catau Ltda, Rio de Janeiro, Brasil, 1998, p.149.
- THOMAS, L., **Corridor Mapping Using Lidar**, ASPRS, Annual Conference, 2001.
- WILLEM and J. HOFFMAN A., **Airborne Laser Scann (Lidar Hits)**, IAPRS, Amsterdam, 2000.
- COELHO A. at. AI **Utilização do método de pirâmide de imagens para a extração de modelos digitais de terreno de imagens geradas por dados de laser scanner**, COBRAC 2002, Florianópolis, Brasil
- RIVAS R. A. N., **A Tecnologia Laser Scanning e seu potencial de aplicação no mapeamento topográfico**, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.
-



## VIII. ANÉXOS

---

### **Em anexo**

O DECRETO N° 89.817, de 20 de julho de 1984

O relatório da Correção diferencial dos pontos de Controle

O relatório da Base RIBaC