

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Felipe Kunz Corrêa

O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamentos
Topográficos de Obras de Infraestrutura Aeroportuária

Trabalho de Graduação
2013

Civil

Felipe Kunz Corrêa

O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamentos Topográficos de Obras de
Infraestrutura Aeroportuária

Orientadores

Prof. Dr. Eugênio Vertamatti (ITA)

Tenente-Coronel Marco Antônio Carnevale Coelho (ITA)

Engenharia Civil-Aeronáutica

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Corrêa, Felipe K.
O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamento Topográfico de Obras de Infraestrutura
Aeroportuária / Felipe Kunz Corrêa.
São José dos Campos, 2013.
76f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2013.
Orientadores: Prof. Dr. Eugênio Vertamatti, Tenente-Coronel Aviador Marco Antônio Carnevale Coelho.

1. Topografia 2. Estação Total 3. Sistema GPS 4. Sensoriamento Remoto 5. Escaneamento Terrestre
I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamentos
Topográficos de Obras de Infraestrutura Aeroportuária.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CORRÊA, Felipe K. O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamentos Topográficos de Obras de Infraestrutura Aeroportuária. 2013. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe Kunz Corrêa

TÍTULO DO TRABALHO: O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamentos Topográficos de Obras de Infraestrutura Aeroportuária

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2013

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Felipe Kunz Corrêa

Rua da Gávea 180 – Bairro Ipanema

CEP 91760-040 – Porto Alegre – RS

O Uso de Tecnologias Modernas em Levantamentos Topográficos de Obras de Infraestrutura Aeroportuária

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Felipe Kunz Corrêa
Autor



Prof. Dr. Eugênio Vertamatti (ITA)
Orientador



✓ Tenente-Coronel Marco Antônio Carnevale Coelho (CPORAER-SJ)
Co-Orientador



Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 27 de novembro de 2013

Dedico este trabalho à Força Aérea Brasileira e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, por ter iluminado meu caminho nesses cinco anos de curso.

À Força Aérea Brasileira, por me proporcionar inspiração e a promessa de uma carreira promissora, cheia de conquistas e desafios que pretendo trilhar.

Ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica, pela oportunidade de um excelente curso de graduação.

Ao Prof. Eugênio Vertamatti, o qual tive o prazer de tê-lo como professor por dois semestres durante o curso de formação e como orientador neste trabalho. Sempre foi um exemplo de profissional e motivo de admiração pelos seus alunos.

Ao Tenente-Coronel Carnevale, pela oportunidade do estágio, pelas conversas durante o ano e por ensinar-me a "fazer a diferença" dentro da FAB.

Às empresas Alezi Teodolini e Litholdo Engenharia, pelo material fornecido e pela boa vontade em ajudar.

Aos engenheiros e companheiros de longa data, Thales Cunha e Igor Pasa, são os melhores amigos que alguém poderia ter.

“Não tenho tudo que amo
Mas amo tudo que tenho”

RESUMO

É indispensável para todo profissional da área de engenharia civil, e principalmente aqueles que lidam diretamente com a área de topografia, manter-se atualizados com as mais recentes e modernas tecnologias existentes no mercado. O Brasil, de uma maneira geral, carece de investimentos em equipamentos e know-how de utilização de técnicas de automação topográfica, tais como o uso de imagens via satélite, sistema GPS e sensoriamentos a laser, terrestre e aerotransportado. Tais avanços permitem uma significativa economia de tempo e pessoal nos serviços de campo, além de uma qualidade avançada na geração de cartas topográficas. Este trabalho apresenta um histórico das técnicas e equipamentos utilizados na topografia, e apresenta as informações essenciais para o entendimento e futuro uso das novas tendências nessa área, de modo a atualizar os profissionais nas técnicas modernas da topografia.

Palavras-chave: Topografia, Estação Total, Sistema GPS, Sensoriamento Remoto e Escaneamento Terrestre.

ABSTRACT

It is essential for every professional in the field of civil engineering, and especially those who deal directly with the field of topography, keep updated with the latest and most modern technologies in the market. Brazil, in general, lacks investment in equipment and know-how to use automation techniques topographical, such as the use of satellite imagery, GPS and laser sensors, both terrestrial and airborne. These advances allow significant savings in time and staff in the field, plus a high quality in the generation of topographic maps. This work presents a history of the techniques and equipment that have been used in topography, and presents essential information for understanding and future use of the new trends in this area, so as to update professionals in the techniques of modern topography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primeiro medidor eletrônico de distância (MED): Geodimeter NASM-2	17
Figura 2 – Rede externa de monitoramento geodésico da UHE Salto Caxias	22
Figura 3 – Estação total robotizada TCRA1205	23
Figura 4 – Padrão de nivelamento transversal para construção de novo aeródromo	25
Figura 5 – Receptor GPS com mapas, instalado em um carro	30
Figura 6 – GPS com bússola e altímetro integrado	31
Figura 7 – Componentes da tecnologia RTK	32
Figura 8 – Área de cobertura para uso da tecnologia RTK	34
Figura 9 – Gráfico comparativo entre a Estação Total e Tecnologias RTK	36
Figura 10 – Medidor eletrônico de distância sem refletor	41
Figura 11 – Divisão por princípios de medição	41
Figura 12 – Ilustração esquemática genérico de coleta de coordenadas esféricas	43
Figura 13 – Princípio de medição por tempo de percurso (Time of Flight – TOF)	43
Figura 14 – Exemplo de medições através de comparação de fase	44
Figura 15 – Método de triangulação – Câmera Simples	45
Figura 16 – Método de triangulação – câmera dupla	46
Figura 17 – Espelho oscilador	47
Figura 18 – Polígono de rotação	48
Figura 19 – Equipamentos Laser Scanner 3D da empresa visitada	53
Figura 20 – Equipamento completo montado num helicoptero base	59
Figura 21 – Modelo do terreno a: Primeiro e último retorno; b: diferença entre MDT e MDS	60
Figura 22 – Exemplo de eliminação de vegetação e construções	61
Figura 23 – Grade altimétrica(a:bruta; b: após preenchimento de lacunas)	62
Figura 24 – Modelo normalizado em perspectiva (a: modelo digital de elevação; b: modelo digital de superfície; c) modelo digital de superfície normalizado)	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de estações totais segundo a NBR 13133	20
Tabela 2 – Levantamento através de topografia clássica	35
Tabela 3 – Levantamento através do sistema RTK convencional	35
Tabela 4 – Levantamento através do sistema RTK-REDE	36
Tabela 5 – Aplicações da tecnologia Laser Scanner 3D	54
Tabela 6 – Equipamentos disponíveis para escaneamento terrestre	55
Tabela 7 – Comparativo entre o método convencional e equipamentos Laser Scanner 3D	65

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ALTM	Airbone Laser Terrain Mapper
CAD	Computer-Aided Design
CCD	Charge Coupled Device
COMAER	Comando da Aeronáutica
DAESP	Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo
DIRENG	Diretoria de Engenharia da Aeronáutica
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETR	Estação Total Robotizada
FAB	Força Aérea Brasileira
GLONASS	Sistema de Navegação Global por Satélite Russo
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSM	Groupe Special Mobile
IEC	International Electrothechnical Commission
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeronáutica' e
IMU	Inertial Measurement Unit
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEA	Limite de Emissão Aceitável
LED	Light Emitting Diode
LIDAR	Light Detection And Ranging
MDS	Modelo Digital da Superfície
MDSn	Modelo Digital da Superfície normalizado
MDT	Modelo Digital do Terreno
MED	Medidor Eletrônico de Distância
MPE	Maximum Permissible Exposure
NBR	Norma Brasileira
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RN	Referência de Nível
RTCM	Radio Technical Comittee for Maritime Service
RTK	Real Time Knematic
TOF	Time of Flight

UHE	Usina Hidrelétrica
UHF	Ultra High Frequency
UTM	Universal Transversa de Mercator
VRS	Virtual Reference Station

SUMÁRIO

1	Introdução	13
2	A evolução da tecnologia do instrumental.....	14
2.1	Período ótico-mecânico.....	14
2.2	Período da microeletrônica e da informação automatizada	15
2.3	A estação total	18
2.3.1	A estação total convencional.....	19
2.3.2	A estação total robótica	20
2.3.3	Aplicação em aeródromos	23
3	Novas tendências de automação topográfica	26
3.1	O sistema GPS	26
3.1.1	Segmentos do GPS	27
3.1.1.1	Segmento espacial.....	27
3.1.1.2	Segmento de controle.....	27
3.1.1.3	Segmento do utilizador.....	27
3.1.2	Como funciona	28
3.1.3	Os tipos de receptores.....	28
3.1.4	A importância atual do GPS	30
3.1.5	A técnica RTK.....	31
3.1.5.1	A tecnologia RTK em rede.....	33
3.1.6	Comparação entre o método convencional e a técnica RTK	35
3.1.7	Aplicação em aeródromos	37
3.2	Varredura laser terrestre	38
3.2.1	O aparelho Laser Scanner 3D terrestre.....	40
3.2.2	Métodos de coleta de informações	40
3.2.2.1	Tempo de percurso.....	42
3.2.2.2	Comparação de fase.....	43
3.2.2.3	Triangulação.....	45
3.2.3	Emissão do laser – O método da varredura	47
3.2.4	Níveis de Segurança	48
3.2.4.1	Padrão Internacional IEC 60825-1.....	50
3.2.4.2	Normas ANSI Z 136.1 e CDRH 21 CRF.....	52
3.2.5	Segmentos de mercado	53
3.2.6	Equipamentos disponíveis no mercado	54
3.2.7	Comentários sobre o uso do escaneamento terrestre	56
3.3	Varredura laser aerotransportada.....	57
3.3.1	Métodos de geração de modelos do terreno.....	59
3.3.2	Equipamentos disponíveis no mercado	63
3.3.3	Comparação entre o método tradicional e o escaneamento terrestre	64
3.3.4	Comentários sobre a varredura laser aerotransportada.....	66
3.4	Imagens de Satélite	67
3.4.1	Resoluções de imagens	67
3.4.2	Satélites em operação	68
3.4.3	Softwares de geoprocessamento.....	69
3.4.4	O Google Earth	71
3.4.5	Aplicação em aeródromos	72

4	Conclusões	73
5	Recomendações para trabalhos futuros	74
6	Referências bibliográficas.....	75

1 Introdução

A Topografia, cuja etimologia da palavra vem do grego e significa "descrição do lugar", é definida como a ciência que estuda uma área limitada da superfície terrestre, com a finalidade de conhecer sua forma (quanto ao contorno e ao relevo), a altitude em cada latitude e longitude e a posição que a mesma ocupa no espaço geográfico georeferenciado, sem levar em consideração no tratamento dos dados medidos no campo a curvatura da Terra. Para alcançar esse objetivo, a Topografia fundamenta-se no conhecimento dos instrumentos e dos métodos que se destinam a efetuar a representação do terreno sobre uma superfície plana de projeção denominada de plano topográfico.

A Geodésia e a Geografia estão intimamente ligadas à Topografia, as quais utilizavam originalmente de observações astronômicas e técnicas rudimentares para a localização dos pontos situados na superfície terrestre, representando-os em mapas cartográficos. Posteriormente, os levantamentos geodésicos passaram a aplicar técnicas cada vez mais avançadas nas medidas, só possíveis com o desenvolvimento contínuo de instrumentais detentores de grande precisão.

Desde que o homem teve a necessidade de caracterizar as dimensões do espaço à sua volta, desenvolveram-se técnicas matemáticas para cálculos de áreas, teoremas de triângulos, ângulos, medidas e etc, as quais são preservadas até hoje e fundamentam a base teórica da Topografia e os procedimentos matemáticos da Geometria e da Trigonometria Plana. Pode-se dizer que a evolução nessa área se deu através do modo de realizar essas medidas e, conseqüentemente, na precisão obtida através do desenvolvimento de equipamentos cada vez mais sofisticados.

Tomando como experiência o estágio e contato que este autor teve na área de Topografia, principalmente no âmbito do serviço realizado na Força Aérea Brasileira, denotou-se um atraso tecnológico das técnicas utilizadas no país em comparação com o que há de mais moderno utilizado em países desenvolvidos.

Enquanto aqui o equipamento largamente utilizado é a Estação Total, lançada na década de 70, nos países mais desenvolvidos já se utilizam tecnologias bem mais modernas, precisas e econômicas, tais como modernos GPS e sua tecnologia RTK (Real Time Kinematic), estações de escaneamento terrestre a laser e estações de varredura laser aerotransportadas.

A norma em exercício que rege a execução de levantamentos topográficos no Brasil é a NBR 13133[1], atualizada em 1994. Por ter sido elaborada a quase duas décadas, essa não aborda nenhuma citação a tecnologias modernas, limitando-se a levantamentos utilizando o teodolito e a estação total.

No caso específico de levantamentos aeroportuário, a norma em vigor utilizada pela INFRAERO é a GE.01/101.75/00950/03[2], aprovada em 2003, e que apresenta a mesma defasagem tecnológica da NBR 13133[1], contemplando apenas o uso do teodolito ou da estação total.

A fim de visualizar melhor esta defasagem tecnológica e seus impactos no contexto da Força Aérea Brasileira, bem como nortear futuros investimentos por parte do COMAER e de empresas que prestam ou necessitam de trabalhos de topografia, julgou-se pertinente elaborar o presente trabalho, o qual se propôs a indicar um histórico do desenvolvimento da topografia até os dias atuais e apresentar, de modo detalhado, uma abordagem sobre as mais recentes tecnologias sendo utilizadas, sendo elas: Imagens de sensoriamento remoto, Sistema GPS, equipamentos de varredura laser terrestre e aerotransportado. O trabalho propôs-se também a listar os equipamentos das principais marcas disponíveis no mercado, a fim de fornecer subsídios iniciais para a aquisição desses equipamentos.

2 A evolução da tecnologia do instrumental

2.1 Período ótico-mecânico

As antigas civilizações egípcias, gregas, árabes e romanas desenvolveram instrumentos e processos que, embora rudimentares, serviam primordialmente para avaliar, descrever e delimitar propriedades de campo, com finalidades cadastrais. No livro História da

Topografia, de autoria de Aimé Laussedat, engenheiro cartográfico e militar do exército francês, são mostradas plantas e cartas militares e geográficas, organizadas nos primórdios da topografia, ou melhor, na fase denominada Geometria Aplicada. Porém, somente nos últimos séculos, a Geodésia e a Topografia, que passaram a ter uma orientação mais técnica, saíram do empirismo para uma autêntica ciência, graças ao desenvolvimento notável que tiveram as ciências exatas e os avanços tecnológicos de uma maneira geral, mais especialmente a matemática, a física, a robótica, a microeletrônica, o laser e a informática.

“A Carta da França”, documento publicado no início do século XIX pela Academia Francesa e elaborada pelo astrônomo francês João Domingos Cassini, é considerado como sendo o primeiro trabalho executado com técnica e conceitos próprios da Topografia. Os melhoramentos da mecânica de precisão desenvolvidos nos instrumentos topográficos, devidos principalmente às pesquisas do engenheiro suíço Henrique Wild, do geodesta italiano Ignasio Porro, das importantes contribuições da Casa Zeiss, e de tantos outros, contribuíram para o progresso crescente das aplicações dos métodos utilizados pela Topografia, principalmente no extraordinário aperfeiçoamento da fotogrametria terrestre e aérea, assim como, na atualidade, do uso de satélites artificiais. Outra tecnologia recente e que vem se destacando, a utilização da tecnologia laser para posicionamento e orientação vem apresentando crescente utilização na maioria dos grandes levantamentos topográficos, pela exatidão, presteza, confiabilidade e custo mais reduzidos na realização de trabalhos de mapeamento.

Os avanços nos sistemas ópticos dos instrumentos na medida de distâncias e na leitura de ângulos azimutais e zenitais nos aparelhos de levantamentos topográficos, e a avaliação analítica das áreas, deram à Topografia a importância que realmente possui como ciência, como técnica no levantamento exato do terreno e na representação gráfica correspondente, servindo como base para o desenvolvimento de projetos de engenharia, agrimensura e arquitetura.

2.2 Período da microeletrônica e da informação automatizada

Com o passar dos séculos, o ser humano aventurou-se em grandes deslocamentos e projetos de construções cada vez mais complexas e detalhadas, exigindo o desenvolvimento de métodos e instrumentos de medidas que foram adquirindo, com o passar dos anos, alto

grau de sofisticação como, por exemplo, os receptores GPS, os quais utilizam sinais emitidos por satélites artificiais que orbitam ao redor do planeta. Estes receptores permitem, de modo rápido e preciso, a localização de pontos em qualquer lugar da superfície terrestre, assim como uma navegação segura (posicionamento e orientação), tanto ambiente marítimo, quanto em ambiente terrestre, ou em ambiente do espaço aéreo. Podendo se estender além dos limites da atmosfera, no espaço sideral.

A modernização dos aparelhos topográficos deve-se, principalmente, ao desenvolvimento e evolução da informática e da microeletrônica. O processo eletrônico substituiu o mecânico. Os instrumentais óticos-mecânico – teodolitos, níveis, taqueômetros, etc. – reinaram por centenas de anos. Ao longo desse tempo, os levantamentos tiveram por base a utilização do goniômetro e do diastímetro para a definição de pontos da superfície terrestre. As inovações que surgiram neste período resultaram em melhoria nos aspectos de confiabilidade, manejo, sensibilidade e precisão, relacionando-se à mecânica dos instrumentos.

Cabe registrar, segundo VEIGA[3], que a primeira grande inovação ocorreu no ano de 1943, com o lançamento do Medidor Eletrônico de Distância (MED) ou, simplesmente chamado de distanciômetro eletrônico. O desenvolvimento desse instrumental deve-se ao cientista sueco E. Bergstrand, que projetou o primeiro MED, o qual possuía a marca comercial de Geodimeter NASM-2, disponibilizado no mercado em 1950, e mostrado na Figura 1.



Figura 1 – Primeiro medidor eletrônico de distância (MED): Geodimeter NASM-2
Fonte: VEIGA[3]

Com o lançamento dos MED's, não havia mais a necessidade de medir manualmente as distâncias entre pontos topográficos utilizando trenas, nem a medida indireta das distâncias por taqueometria nos levantamentos topográficos. O novo processo era simples e com alta precisão, comparado com os processos anteriores. Um MED, a princípio, devido às suas grandes dimensões e peso, foi utilizado isoladamente. Entretanto, com o avanço tecnológico, o MED passou a ser utilizado sobre um teodolito ótico-mecânico. Assim, o novo equipamento era formado por um instrumento eletrônico acoplado ao teodolito e alimentado por uma bateria externa. O operador apontava o aparelho para um prisma refratário no ponto topográfico onde este foi posicionado, com o apoio de um auxiliar, e disparava o raio laser infravermelho do MED, localizado sobre um ponto topograficamente conhecido. O raio emitido retornava ao aparelho emissor, com a velocidade da luz (aproximadamente 300.000 km/s), possibilitando assim, determinar a distância percorrida pelo laser com uma elevada precisão de até três casas decimais de forma bastante rápida e confiável.

Por outro lado, a sua utilização também tinha suas inconveniências. Apesar de os equipamentos agora serem leves e versáteis, o operador, antes habituado a realizar os levantamentos topográficos medindo ângulos horizontais por deflexão, ou seja, caminhamento da esquerda para a direita, agora teria que fazer a rotação sobre o eixo ou então no sentido anti-horário, ou seja, da direita para a esquerda, pois o instrumento ficava acoplado sobre a luneta.

Outro grande problema era as baterias que alimentava os aparelhos, as quais pesavam mais de quarenta quilos e precisavam de um veículo para ser transportadas. Como em áreas de difícil acesso (como picadas abertas em áreas florestais ou em terrenos acidentados) era impraticável ingressar com veículos automotores, todo o instrumental e baterias eram transportados sobre o lombo de animais ou nas costas de um auxiliar, e sua autonomia de carga era apenas de um dia de trabalho, sendo necessário um conjunto gerador para recarregá-la periodicamente.

Esses primeiros instrumentos eletrônicos lançados no mercado perduraram por pouco tempo, sendo logo substituídos por outros mais avançados, tendo eles ótima aceitação, por serem mais precisos e possuidores de baterias mais leves e com maior autonomia de trabalho. A combinação do teodolito com um medidor eletrônico de distância revolucionou a maneira de se fazer levantamentos e teve grande impacto na eficiência da coleta de dados nos trabalhos topográficos.

Os novos modelos de distanciômetros eletrônicos tornaram-se a base para o desenvolvimento dos atuais teodolitos, níveis e estações totais eletrônicas, que vieram revolucionar ainda mais a topografia. Na década de 80, os MED's, que eram acoplados aos teodolitos, foram substituídos por estações totais, e atualmente estes já estão sendo substituídas pela tecnologia GPS de alta precisão, imagens de satélite e aparelhos de varredura laser.

2.3 A estação total

A Estação Total é um instrumento eletrônico utilizado na medida de ângulos e distâncias que surgiu em 1971, na Alemanha, e que foi o instrumento primordial de trabalho de todo topógrafo durante duas décadas.

A evolução dos instrumentos de medida de ângulos e distâncias levou ao surgimento desse novo instrumento, que pode ser definido como a junção de um teodolito eletrônico digital com um distanciômetro eletrônico, montados em um só bloco.

2.3.1 A estação total convencional

A estação total convencional, equipamento largamente utilizado em serviços gerais de topografia, é capaz de coletar e armazenar os dados recolhidos e executar alguns cálculos, mesmo em campo. Com uma estação total é possível determinar ângulos e distâncias do instrumento até pontos a serem examinados, medidos através da reflexão de feixe laser emitido pelo aparelho e refletido em um prisma refletor, necessitando assim, além do topógrafo, a presença de auxiliares para realização do serviço.

Com o auxílio da trigonometria, os ângulos e distâncias medidos são usados para calcular as coordenadas das posições (X, Y e Z) dos pontos coletados, ou a posição do instrumento com relação a pontos conhecidos, em termos absolutos.

A informação pode ser enviada da estação para um computador e um software aplicativo irá gerar um modelo 3D da área levantada, de onde poderão ser extraídas informações essenciais para os serviços de engenharia a serem executados (locação dos furos de sondagem, definição de cotas de projeto, cálculo de corte e aterro, etc.).

A maioria dos instrumentos das Estações Totais medem ângulos através de scanner eletro-óptico de extrema precisão, utilizando códigos de barra digitais atados em cilindros ou discos de vidro rotativos dentro do instrumento. As Estações Totais de melhor qualidade são capazes de medir ângulos de até 0,2 graus e podem medir distâncias com erro de aproximadamente 0,1 milímetros. Elas utilizam de um prisma de vidro como refletor do sinal MED, e podem medir distâncias de até quilômetros (dependente do modelo do aparelho e das condições climáticas), mas alguns instrumentos não possuem refletores e podem medir distâncias de objetos que estão distintos por cor, limitando-se a poucas centenas de metros.

Segundo a NBR 13133[1], as estações totais são classificadas de acordo com os desvios-padrão que as caracterizam, conforme mostra a Tabela 1. Obviamente, quanto maior a precisão maior o custo do equipamento.

Tabela 1 – Classificação de estações totais segundo a NBR 13133

Classes de estações totais	Desvio padrão Precisão angular	Desvio padrão Precisão linear
1 - precisão baixa	$\leq \pm 30''$	$\pm (5 \text{ mm} + 10 \text{ ppm X D})$
2 - precisão média	$\leq \pm 07''$	$\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm X D})$
3 - precisão alta	$\leq \pm 02''$	$\pm (5 \text{ mm} + 3 \text{ ppm X D})$

Mesmo apresentando uma ótima precisão e confiabilidade nos pontos coletados, a grande desvantagem dessa tecnologia é o processo quase que manual na coleta de pontos, os quais são obtidos um a um, com a necessidade de o topógrafo mirar o centro do prisma refletor para realizar cada medida, e um auxiliar para posicionar esse prisma no lugar correto. Ou seja, precisa-se de no mínimo três pessoas na equipe, podendo levar semanas para realizar o levantamento de uma pequena área, aumentando em muito esse tempo se o serviço for em uma mata fechada ou em um local com condições meteorológicas adversas (por exemplo, não é possível realizar levantamentos em dia de chuva).

Mesmo sendo considerada uma tecnologia já sendo ultrapassada, alguns implementos interessantes tem feito tais aparelhos ainda serem muito utilizados em situações específicas e se mantendo forte ainda no mercado.

Algumas estações mais modernas possuem uma interface GPS, combinando essas duas tecnologias para fazer uso das vantagens que ambas oferecem, sendo elas: GPS - não há necessidade que os pontos a serem levantados estejam no alcance da visão; Estação Total tradicional - medidas com elevada precisão, especialmente no eixo vertical, comparado ao GPS. Ao mesmo tempo, esse uso conjunto reduz as consequências das desvantagens de cada tecnologia, sendo elas: GPS - baixa precisão no eixo vertical e menor precisão sem longos períodos de ocupação; Estação Total - requer observações no campo de visada e deve ser feita a partir de um ponto conhecido ou dentro do campo de visão de dois ou mais pontos conhecidos.

2.3.2 A estação total robótica

Embora a estação total tradicional esteja se tornando uma tecnologia superada, uma ressalva é feita com a recente disponibilidade de estações totais robotizadas (ETRs) providas de recursos como a medição eletrônica de distâncias sem a necessidade de prismas de reflexão total e o reconhecimento automático de alvos. Essas duas principais características agregam,

no primeiro caso, maior produtividade nos levantamentos e, no segundo, maiores exatidões, devido a, principalmente, tornar a visada para os alvos praticamente independentes do operador (bastando apenas uma pontaria inicial aproximada para que a estação total robótica efetue a visada para o prisma refletor). Como exemplo de aplicações mais especializadas pode-se mencionar o monitoramento de grandes estruturas, tais como pontes, prédios e barragens.

Segundo GRANEMANN[4], “Esses novos modelos de estação total, frutos de uma notável inspiração tecnológica e consequência de enormes investimentos científicos, estão disponíveis no mercado com custos onerosos, sendo exclusivamente utilizados na indústria de alta precisão e em missões de auscultação e vigilância de estruturas envolvendo risco, onde se estudam movimentos de ordem milimétrica.”

Algumas estações totais robóticas são também equipadas com o recurso de efetuar uma série de medidas com incrementos angulares pré-definidos, em uma região formada por dois ângulos verticais e horizontais. Tais aplicações, assim como os levantamentos tradicionais empregando técnicas de triangulação, irradiação e poligonação, são considerados levantamentos topográficos estáticos, onde o prisma refletor deve permanecer parado durante a realização das medições. Com a introdução das ETRs ocorreu uma mudança de paradigma no modo de se realizar levantamentos de campo empregando-se estações totais, pois, assim como em algumas técnicas de posicionamento com GNSS – por exemplo, o RTK (Real Time Kinematics), que será abordado mais adiante nesse trabalho – é possível que o objeto do levantamento esteja em movimento ou que o prisma refletor possa se movimentar durante a coleta de dados.

O exemplo mais citado na literatura a respeito do uso da tecnologia ETR no Brasil é no monitoramento geodésico empregado na Usina Hidrelétrica Governador José Richa, conhecida como UHE Salto Caxias. Este está apoiado na utilização de uma rede de monitoramento a jusante da barragem do reservatório da usina, formada por seis pilares de concreto engastados na rocha, e munida de um sistema de centragem forçada dos alvos. Para a determinação de coordenadas de pontos da rede são empregadas técnicas de trilateração e triangulação. Este sistema serve para realizar o monitoramento externo da parede que constitui a barragem, e também para servir de apoio a uma poligonal geodésica de alta

precisão conduzida no interior das galerias de inspeção. Esta rede pode ser observada na figura 2.

Destacam-se nessa figura os pilares P1 e P3 onde é instalada uma estação total robotizada, com a finalidade de mensurar os deslocamentos relativos, ao longo do tempo, dos pontos determinados na face a jusante da barragem.

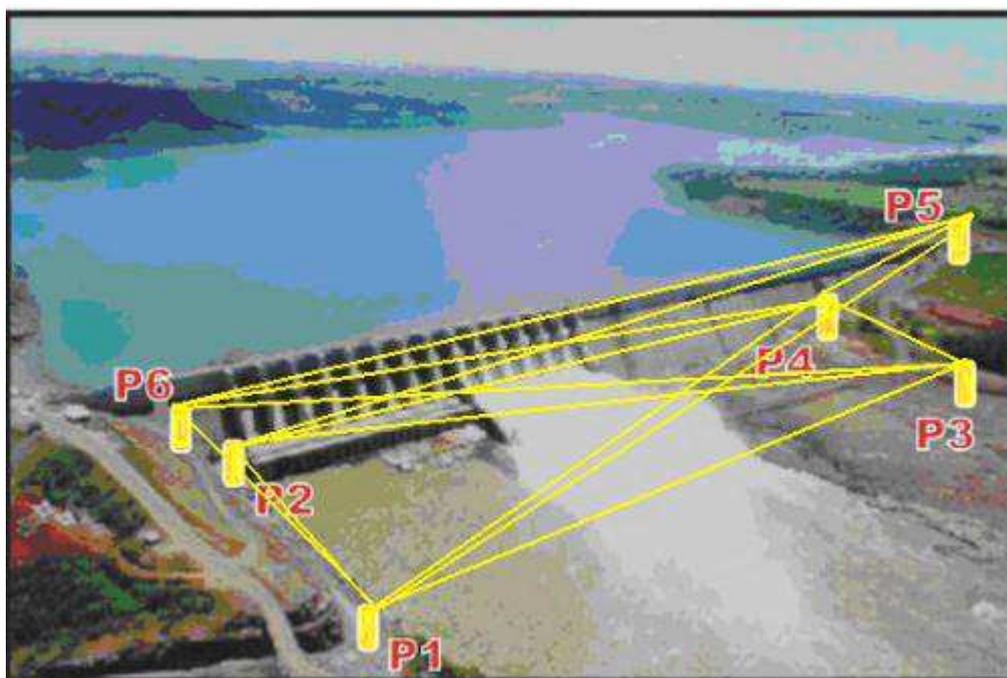


Figura 2 – Rede externa de monitoramento geodésico da UHE Salto Caxias
Fonte: GRANEMANN[4]

No processo tradicional de monitoramento utilizando-se a estação total tradicional, o operador precisava ficar junto ao instrumento fazendo a pontaria dos prismas nos pontos de interesse. Com a utilização da ETR, as quais permitem, entre outras coisas, a realização da busca e pontaria automática dos pontos monitorados, o conceito de realização das observações mudou. Não é mais necessária a presença do topógrafo junto ao equipamento durante a realização das medições. O novo procedimento, atualmente utilizado, consiste no operador fazer a pontaria em todos os pontos de interesse, armazenar a posição desses pontos na memória do instrumento e depois as demais séries são executadas automaticamente pelo equipamento.

Além de a estação total robotizada poder ser configurada para realizar as medições e gravar na memória, ela também pode enviar os dados para uma interface de saída serial ou via rádio, para que as medições feitas sejam gravadas e avaliadas em um terminal remoto. Adicionalmente, existe ampla possibilidade de operação remota do instrumento via rádio. Neste caso, todo o manuseio da estação pode ser realizado por uma unidade remota que apresenta as mesmas funcionalidades que seriam encontradas no local onde está instalado o equipamento local.

No caso citado do monitoramento dessa barragem, é utilizada uma estação total robotizada, da marca Leica Geosystems®, modelo TCRA1205, que dentro de uma ampla gama de potencialidades, permite realizar as operações citadas anteriormente. Esta estação é mostrada em operação na Figura 3.



Figura 3 – Estação total robotizada TCRA1205
Fonte: GRANEMANN[4]

2.3.3 Aplicação em aeródromos

A norma GE.01/101.75/00950/03[2], da INFRAERO, é o memorial que define os critérios e condicionantes mínimos necessários à execução de serviços de levantamento topográfico e cadastral com o objetivo é o de fornecer elementos técnicos e informações

complementares para elaboração de projetos de infraestrutura (terraplenagem, drenagem, edificações e pavimentação) das obras de engenharia para aeródromos no território nacional.

A norma abrange todas as modalidades de levantamento que podem ser realizados em um aeródromo: levantamento preliminar (ou expedito) para construção de uma nova pista, levantamento de uma pista já existente e levantamento para ampliação de uma pista. Além desses três itens, a norma também detalha os procedimentos gerais para execução de um levantamento aeroportuário, os equipamentos a serem utilizados e as orientações gerais.

Quanto às peculiaridades para um levantamento objetivando a construção de um novo aeródromo, a norma rege os seguintes pontos e procedimentos a serem seguidos:

“Uma vez escolhido o local mais adequado para a implantação da pista de pouso, o que normalmente é definido em função dos levantamentos preliminares e do levantamento expedito, é verificada a existência de marcos (coordenadas UTM e altitude) próximo à área escolhida, tendo em vista transporte da RN para os pontos onde deverão situar-se as cabeceiras da pista. Na inexistência ou dificuldade de transporte, arbitrar um RN.

A seguir é feito o nivelamento geométrico da pista de pouso, dividindo-se o eixo em segmentos de 20m (estacas).

Este eixo terá uma extensão que será o somatório do comprimento da pista, das zonas de paradas, bem como de dois trechos localizados após cada uma das zonas de parada que permitam analisar como se comporta a topografia do terreno próximo a cada cabeceira, no que diz respeito à drenagem, zona de proteção de aeródromo, etc.

A figura seguinte mostra os pontos de deverão ser nivelados nas seções transversais de cada estaca do eixo.

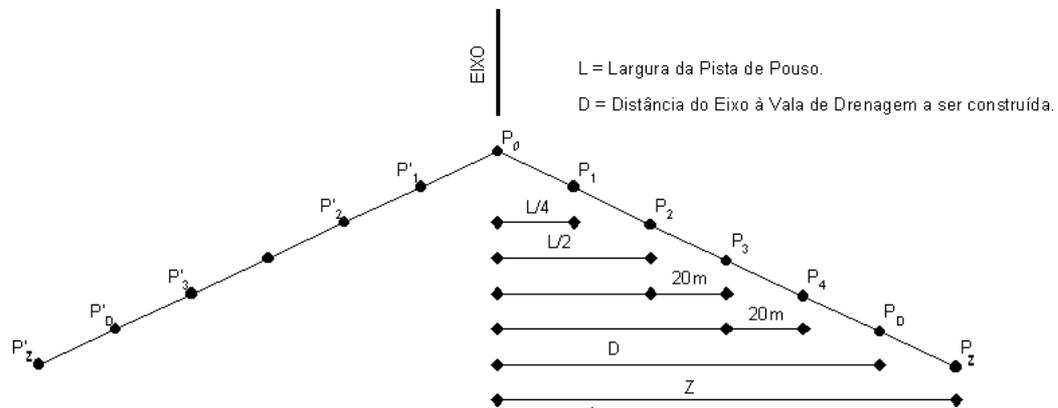


Figura 4 – Padrão de nivelamento transversal para construção de novo aeródromo

Fonte: GE.01/101.75/00950/03[2]

Sendo distância “Z” será definida pelo engenheiro responsável pelo serviço, em função do código da pista a ser projetada.

No caso em que esteja previsto, além da pista de pouso, a construção do pátio e/ou pista de rolamento, o levantamento deverá abranger toda a área que possivelmente será aproveitada para essa finalidade segundo a mesma metodologia.

Feito isto, deverão ser levantados todos os detalhes planimétricos e altimétricos existentes na área de estudo, a fim de se conseguir a melhor representação do terreno e servir de subsídio para os projetos de terraplenagem, determinação dos volumes de corte e aterro, verificações de irregularidades no terreno e etc.

Nota-se que nesse processo são coletados pontos singulares no terreno, ou seja, há a necessidade de se fazer uma interpolação entre os pontos coletados para gerar um modelo 3D da área levantada.”

Elaborada no ano de 2003, a citada norma baseia-se exclusivamente no uso da estação total convencional como equipamento base para todo o levantamento, podendo no máximo ser utilizada, com poucas adaptações, ao uso do GPS. Nota-se que, nessa norma, são coletados pontos discretos e selecionados no terreno, a fim de que se faça uma interpolação entre eles e

seja gerado o modelamento 3D. Nas técnicas mais avançadas, como no escaneamento laser, uma nuvem de pontos é coletada, gerando modelos mais precisos e próximos à realidade local.

O que se observa é que há necessidade de que seja atualizada a norma existente, a fim de que essas novas técnicas encontrem embasamento para serem utilizadas nos serviços de engenharia no país.

3 Novas tendências de automação topográfica

3.1 O sistema GPS

O sistema de posicionamento global, lançado em 1973 e conhecido por GPS (Global Positioning System, ou do português "geo-posicionamento por satélite") é um sistema de navegação via sinal de satélite que fornece a um aparelho móvel receptor a sua posição, assim como informação horária, sob toda e qualquer condição climática, a qualquer momento e em qualquer ponto do planeta, desde que o aparelho receptor se encontre no campo de visada de pelo menos quatro satélites.

O GPS é a evolução do sextante, da bússola, do relógio e do cronômetro, possuindo todas as utilidades desses. Assim, este sistema tem a capacidade de localizar geograficamente qualquer objeto, pessoa ou lugar com exatidão, independentemente das condições atmosféricas, o que auxilia na criação de mapas e no fornecimento de informações acerca de rotas a qualquer modal de transporte.

Atualmente encontram-se em funcionamento dois sistemas de navegação por satélite: o sistema GPS americano e o sistema GLONASS russo. Existem também outros dois sistemas em fase de implementação: o sistema GALILEO da União Européia e o sistema COMPASS chinês. O sistema americano é de propriedade do governo dos EUA e operado pelo seu Departamento de Defesa. Inicialmente, o GPS possuía uso de exclusivamente militar, sendo posteriormente disponível para uso civil gratuito. No entanto, poucas garantias apontam que, em tempo de guerra, o uso civil seja mantido, o que resultaria num sério risco para todos aqueles que usam a tecnologia atualmente.

3.1.1 Segmentos do GPS

O sistema GPS divide-se em três segmentos: o segmento espacial, o segmento de controle e o segmento do utilizador.

3.1.1.1 Segmento espacial

O segmento espacial, também designado segmento aéreo ou subsistema de satélites, é constituído por vinte e quatro satélites que estão uniformemente distribuídos por seis órbitas. Essas órbitas estão contidas em planos que fazem entre elas um ângulo de 60 graus. Os satélites percorrem órbitas circulares, dando duas voltas ao redor da Terra por dia, e obtendo energia a partir de placas solares que são orientadas conforme seu posicionamento em relação ao Sol. Esses satélites transmitem e captam as ondas eletromagnéticas que atravessam a atmosfera terrestre e fornecendo dados referentes à posição e ao tempo. Para calcular a posição exata de um ponto qualquer é necessária apenas as informações de três satélites mas, por uma questão de precisão e sincronismo, adiciona-se a informação de um quarto satélite.

3.1.1.2 Segmento de controle

O segmento de controle é formado por estações terrestres que mandam dados aos satélites para estes controlarem a sua posição e velocidade de orbitas, bem como para acertarem os seus relógios de forma que o tempo marcado em ambos seja equivalente. As composições da atmosfera, da ionosfera e da troposfera alteram a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas, o que produz erros no sistema de medidas, cabendo a estas estações terrestres controlarem ao máximo esse erro.

3.1.1.3 Segmento do utilizador

O segmento do utilizador diz respeito aos receptores de GPS e aos seus usuários. Estes são munidos com uma unidade de processamento capaz de decodificar, em tempo real, a informação enviada por cada satélite e calcular a sua posição. Como cada satélite envia sinais diferentes em intervalos de tempo distintos, os aparelhos também permitem a também troca de dados com outros receptores ou com computadores. Também disponibilizam mapas detalhados, os quais permitem obter a melhor rota, obter a localização ou definir as coordenadas locais de onde o aparelho se encontra.

3.1.2 Como funciona

Para compreender a metodologia de funcionamento do sistema GPS é preciso recorrer a conceitos básicos da geometria. Se, por exemplo, um usuário for informado de que está a certa distância de um ponto A, só essa informação não dá a sua localização precisa, pois você poderá estar em qualquer ponto que forma uma esfera com o raio igual a essa distância dada. É necessário ter a distância em relação a mais dois pontos para definir sua posição exata, daí então as três esferas obtidas se encontraram em apenas um lugar.

Com o GPS o conceito é praticamente o mesmo, trabalhando em um plano tridimensional. O aparelho receptor, que está com o operador na Terra, calcula sua distância para algum satélite que integra o sistema GPS. Mas, como foi visto, só com essa informação o receptor entenderia que o usuário pode estar em qualquer ponto que demarca a esfera tridimensional, cujo raio é a distância calculada.

O receptor precisa calcular a sua distância a, pelo menos, mais dois satélites. Com as três distâncias calculadas, o aparelho projeta três esferas e elas se encontram em apenas dois pontos. Como um desses dois pontos se encontra sempre no espaço, e não na Terra, esse é descartado. Sobra, então, apenas um ponto, o qual determina a sua localização exata na Terra.

O cálculo da distância entre o aparelho receptor e cada satélite é medida do seguinte modo: em horários específicos, cada satélite do sistema manda um sinal codificado para o receptor na Terra, o qual está programado para fazer o mesmo sinal sozinho, na exata mesma hora do satélite. Então, o receptor calcula a distância para cada um dos quatro satélites pelo intervalo de tempo entre o instante local e o instante em que os sinais foram enviados (esta distância é chamada de pseudodistância). Decodificando as localizações dos satélites a partir dos sinais de microondas e de uma base de dados interna, e sabendo a velocidade de propagação do sinal, o receptor pode situar-se na interseção das quatro esferas, uma para cada satélite escolhido.

3.1.3 Os tipos de receptores

Cada satélite do sistema GPS transmite dois tipos de sinais de rádio, sendo um para uso civil, dividido em código C/A, utilizado nos GPS de navegação e para posicionamento

global, de frotas (sendo este menos preciso), e fase da portadora, que se subdivide em L1 e L2, sendo possível alcançar e obter valores de coordenadas mais precisos. Porém, é através de pós-processamento que se pode chegar a elevadas precisões, sendo utilizados em trabalhos de cartografia e levantamentos topográficos. Outro mais preciso que o C/A para a obtenção de coordenadas instantâneas (chamado de código P) possuindo este um código secreto usado somente por militares americanos, o qual possui a precisão de centímetros.

Existem diferentes tipos de receptores GPS, desde diversas marcas que comercializam equipamentos "tudo-em-um", até os externos que são transmitem dados ligando-os por cabo ou ainda por bluetooth. Eles geralmente são categorizados em relação a demandas de uso a geodésicos, topográficos e de navegação. A diferenciação entre essas diferentes categorias, que a princípio pode parecer simplesmente no preço de aquisição, é devido à precisão alcançada, ou seja, a razão da igualdade entre o dado real do posicionamento, e o fornecido pelo equipamento.

Sendo os mais precisos, com valores na casa dos milímetros, os receptores do tipo Geodésicos são capazes de usar as duas frequências emitidas pelos satélites (L1 e L2), possibilitando assim a diminuição dos efeitos de refração e outras interferências atmosféricas.

Os do tipo Topográficos, que possuem características de trabalho semelhantes à da categoria anterior, captam somente a portadora L1, mas também possuem elevada precisão, geralmente na casa dos centímetros. Ambas as categorias tem aplicações técnicas, e características próprias como o pós-processamento, o que significa que geralmente não informam o posicionamento instantaneamente (exceto os modelos RTK).

No caso da categoria de maior uso, a de navegação, embora possua menor precisão de posicionamento, possui inúmeras vantagens como o baixo preço de aquisição e grande quantidade de aplicações. Há uma infinidade de modelos, tanto aqueles que integram diversos equipamentos como computadores de mão, celulares, relógios, etc., como aqueles usados exclusivamente ao posicionamento GPS, onde também encontramos aplicações para uso do dado de posicionamento em outros equipamentos como notebooks, rastreadores de veículos, etc.

3.1.4 A importância atual do GPS

Além de sua aplicação na topografia, geodésica e na navegação, qualquer pessoa que queira saber a sua posição ou encontrar o melhor percurso para um determinado local ou conhecer a velocidade e direção do seu deslocamento pode se beneficiar com o GPS. Atualmente, ele possui seu uso muito difundido em automóveis com sistema de navegação de mapas, conforme visto nas Figuras 5 e 6.

A comunidade científica utiliza-o pelo seu relógio altamente preciso. Durante experiências científicas de coleta de dados, pode-se registrar com precisão de micro-segundos (0,000001 segundo) quando a amostra foi obtida. Naturalmente, a localização do ponto onde a amostra foi recolhida também pode ser importante. Agrimensores diminuem custos e obtêm levantamentos precisos mais rapidamente com o GPS.

A aviação geral e a comercial, navegação marítima, guardas florestais, trabalhos de prospecção e exploração de recursos naturais, geólogos, arqueólogos, bombeiros, etc. São enormemente beneficiados pela tecnologia do sistema. O GPS tem-se tornado cada vez mais popular entre ciclistas, balonistas, pescadores, ecoturistas, praticantes de voo livre ou aventureiros que queiram apenas orientação durante as suas viagens.



Figura 5 – Receptor GPS com mapas, instalado em um carro

Fonte: website da empresa Garmin



Figura 6 – GPS com bússola e altímetro integrado

Fonte: website da empresa Garmin

3.1.5 A técnica RTK

Algumas aplicações de engenharia exigem que o processamento e fornecimento das coordenadas de pontos levantados sejam obtidos instantaneamente, sem a necessidade de pós-processamento. Assim, a tecnologia RTK (sigla do inglês Real Time Kinematic), ou posicionamento cinemático em tempo real, alia a tecnologia de navegação por satélites a um rádio-modem ou a um telefone GSM para obter correções instantâneas de localização.

A técnica de posicionamento RTK se baseia no conjunto de portadoras dos sinais transmitidos pelos sistemas globais de navegação GPS, GLONASS e Galileo. Uma estação de referência fornece correções instantâneas para as estações móveis, fazendo com que a precisão obtida chegue ao nível milimétrico.

As estações base retransmitem a fase da portadora que elas mediram, e as unidades móveis comparam suas próprias medidas da fase com as recebidas das estações de referência. Isto permite com que as estações móveis calculem suas posições relativas com precisão milimétrica, ao mesmo tempo em que suas posições absolutas são comparadas com as coordenadas fornecidas pela estação base. Os elementos componentes da tecnologia RTK são mostrados na Figura 7.

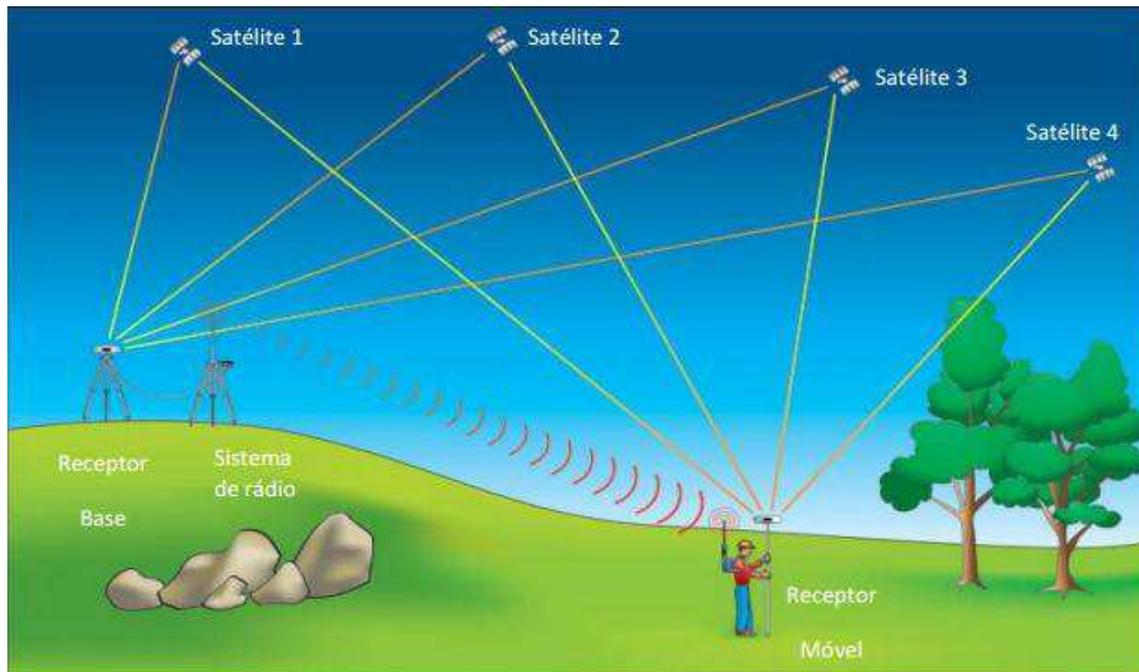


Figura 7 – Componentes da tecnologia RTK
Fonte: Alezi Teodolini

Esta técnica exige a disponibilidade de pelo menos uma estação base de referência dentro de seu raio de atuação, com as coordenadas conhecidas e dotadas de um receptor GNSS ou um rádio-modem transmissor. A estação gera e transmite as correções diferenciais para as estações móveis, que usam os dados para determinar precisamente sua localização.

O formato das correções diferenciais é definido pela RTCM (sigla do inglês Radio Technical Committee for Maritime Service). Os rádios transmissores operam nas faixas de frequência VHF/UHF, e a observação fundamental usada no RTK é a medida da fase da portadora.

O emprego das correções diferenciais faz com que a influência dos erros devidos à distância entre a estação base e a estação móvel seja minimizada. Esses erros devem-se principalmente:

- ao relógio do satélite, o qual é ajustado pelo segmento de controle;
- às efemérides, principalmente condições climáticas e
- à propagação do sinal na atmosfera.

No caso de uso de rádio-modem, a técnica RTK se limita a linhas de base curtas (até 10 km), devido ao alcance limitado do UHF, e também porque a determinação da posição por esta técnica emprega apenas a solução da portadora L1, ainda que a portadora L2 esteja presente para a resolução das ambiguidades.

A metodologia Virtual Reference Station (VRS) expande o uso do RTK para toda a área limitada dentro de uma rede de estações base estrategicamente instaladas. A capacidade de realização dos levantamentos e as precisões obtidas dependem da densidade e capacidade da rede de estações de referência. As novas tendências dos levantamentos precisos deverão ser a implantação de redes de referência RTK e estações de referência virtuais (VRS), também chamada de RTK em rede.

3.1.5.1 A tecnologia RTK em rede

O RTK em rede é compatível com o conceito de VRS, o qual se baseia numa rede de estações GNSS permanentes e conectadas através de outra de infraestrutura de comunicações com um centro de controle, este equipado com softwares apropriados para receber e analisar dados de todas as estações de referência da rede. Os dados são memorizados e as ondas portadoras L1 e L2 são analisadas em relação aos erros da ionosfera, da troposfera, das efemérides e sobre as demais ambiguidades. O software utiliza essas informações para reduzir a influência dos erros sistemáticos que limitam a precisão do posicionamento GPS e para gerar as correções necessárias.

As características básicas da tecnologia RTK em rede são: maior número de estações utilizadas como referência (podendo variar de três a dezenas de estações); possibilidade de realização do controle de qualidade dos pontos; aumento das distâncias entre as estações de referência e o aumento da área de atuação.

3.1.6 Comparação entre o método convencional e a técnica RTK

A fim de se realizar um estudo comparativo entre o método convencional para levantamento topográfico, usando uma estação total, a tecnologia RTK/UHF e a tecnologia RTK-Rede, definiu-se valores como salário de topógrafo, auxiliares de topografia, locação de automóvel e encargos sociais. O custo de locação de cada um dos três tipos de equipamentos foi obtido através de consulta de mercado à empresa especializada Alezi Teodolini. Pode-se, então, chegar como resultado nas seguintes tabelas, com as estimativas de gasto em 1 mês de trabalho:

Tabela 2 – Levantamento através de topografia clássica

Equipe mínima	1 Operador de estação total	-	R\$ 1.800,00 (salário)
	2 Auxiliares de campo	-	R\$ 800,00 (salário/cada)
	Custo Alim. /Hosp./Medico	-	R\$ 100,00 (prof./dia cada)
	Encargos Trabalhistas	-	R\$ 3.400,00
Total equipe	3 Pessoas em campo	-	R\$ 15.800,00
	Locação de estação total	-	R\$ 1.100,00
	Locação automóvel	-	R\$ 2.000,00
	Total	-	R\$ 18.900,00

Tabela 3 – Levantamento através do sistema RTK convencional

Equipe mínima	1 Operador de estação total	-	R\$ 1.800,00 (salário)
	1 Auxiliares de campo	-	R\$ 800,00 (salário/cada)
	Custo Alim. /Hosp./Medico	-	R\$ 100,00 (prof./dia cada)
	Encargos Trabalhistas	-	R\$ 2.600,00
Total equipe	2 Pessoas em campo	-	R\$ 11.200,00
	Locação de estação total	-	R\$ 7.000,00
	Locação automóvel	-	R\$ 2.000,00
	Total	-	R\$ 21.200,00

Tabela 4 – Levantamento através do sistema RTK-REDE

Equipe mínima	1 Operador de estação total	-	R\$ 1.800,00 (salário)
	Custo Alim. /Hosp./Medico	-	R\$ 100,00 (prof./dia cada)
	Encargos Trabalhistas	-	R\$ 1.800,00
Total equipe	1 Pessoas em campo	-	R\$ 6.600,00
	Locação de estação total	-	R\$ 4.500,00
	Locação automóvel	-	R\$ 2.000,00
	Total	-	R\$ 13.100,00

Antes de qualquer conclusão comparativa em relação a essas tecnologias, devem ser analisadas também a produtividade de cada uma nesse mesmo período de 1 mês, conforme mostra a Figura 9.

A partir de informações recebidas pela mesma empresa de topografia Alezi Teodolini, pode-se estimar o número aproximado da quantidade de pontos que podem ser levantados e locados por dia.

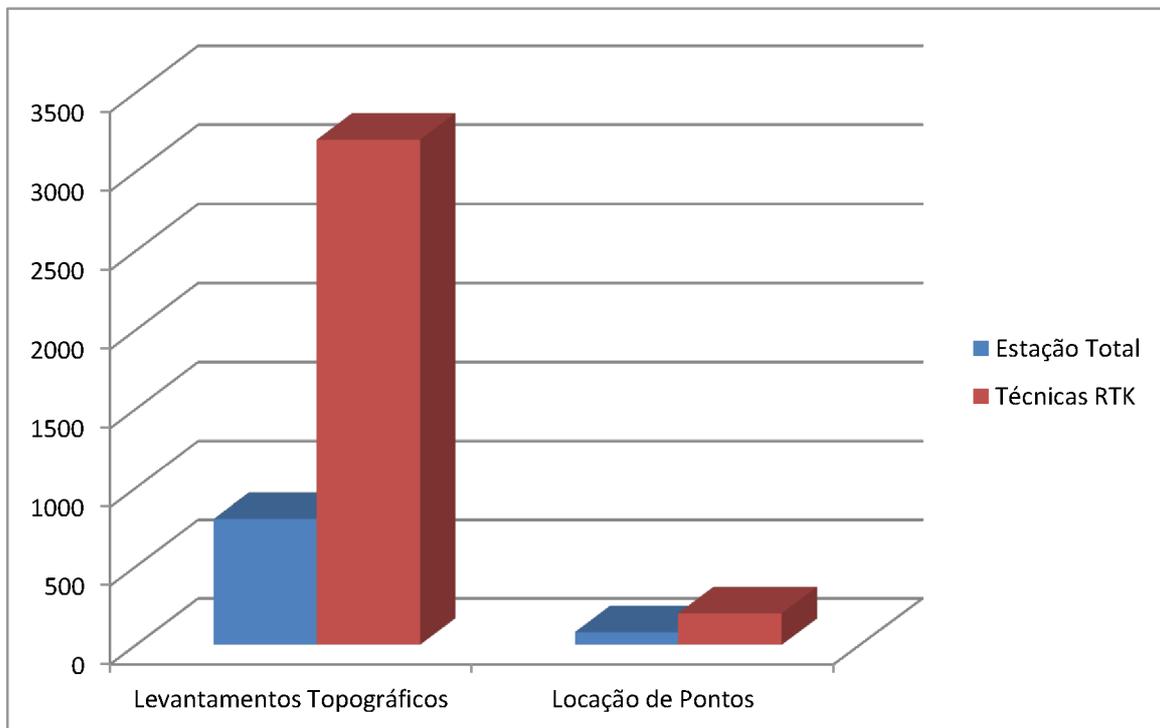


Figura 9 – Gráfico comparativo de produtividade entre a Estação Total e Tecnologias RTK
Fonte: o autor

Enquanto que na topografia clássica (estação total) é possível fazer o levantamento de até 800 pontos por dia, e alocar até 80, a produtividade das técnicas RTK, tanto GSM como em REDE, chegam a levantar 3200 pontos por dia e alocar até 200.

Tendo em visto esses dois parâmetros de comparação (economia e produtividade), chega-se a uma vantagem absoluta nos dois casos para a implementação da tecnologia RTK em REDE. As principais vantagens destacadas pelo fornecedor foram:

- Agilidade para iniciar os trabalhos em campo;
- Um par de receptores se transforma em dois Rovers, conseqüentemente maior produtividade e atendimento a mais frentes de trabalho ao mesmo tempo;
- Diminuição de custos com auxiliares;
- Maior qualidade e produtividade nos trabalhos realizados;
- Maior precisão em longas distâncias.

3.1.7 Aplicação em aeródromos

O uso da tecnologia GPS para a construção ou levantamento de aeródromos teria seu uso regulado pela mesma norma utilizada para a estação total, GE.01/101.75/00950/03[2], e mostrada no item 2.3.3 deste relatório. Ou seja, deve-se proceder o mesmo levantamento de pontos de pontos previamente estabelecidos em norma, tomando especial atenção para elementos auxiliares à pista, como o sistema de drenagem, valas, bueiros, etc.

A grande diferença, nesse caso, será na enorme economia de custos e eficiência, como mostrado no item 3.2.6 deste estudo.

Quanto à implementação da tecnologia RTK convencional e RTK – REDE, a dificuldade consiste na instalação das estações base necessárias, o que, para um país do tamanho continental como o Brasil, necessitaria de um grande investimento inicial.

DINATO[5] em sua dissertação de mestrado intitulada: “Análise do perfil longitudinal e transversal de pistas de pouso e decolagem com a utilização do GPS em aeroportos do DAESP”, único material encontrado que aborda o uso de GPS em

levantamentos aeroportuários, o autor obtêm bons resultados através do uso de um equipamento GPS modelo SR9400 da Leica na verificação do perfil de três aeroportos no estado de São Paulo.

Esse autor ressalta, na conclusão do seu trabalho, a elevada rapidez na coleta de dados, a confiabilidade dos dados coletados e a negligência por parte dos operadores do aeroporto com questões topográficas: em algumas seções as declividades mínimas exigidas pela norma não estavam sendo cumpridas. Quando entrevistados, os responsáveis alegaram que inspeções regulares não eram feitas devido ao grande gasto de tempo e dinheiro para se contratar uma empresa de topografia que realizasse o levantamento da pista, o que exigiria também uma paralisação das operações. Tais adversidades seriam eliminadas caso técnicas mais modernas de levantamento (como a aplicada na referida tese de mestrado) fossem aplicadas.

Uma sugestão deixada pelo autor, é que a facilidade oferecida pela tecnologia GPS permite que sejam verificadas cada camada do pavimento durante a construção ou reforma da pista, determinando com exatidão as declividades que então sendo construídas, tendo como resultado uma aeródromo melhor construído e, conseqüentemente, mais seguro para seus usuários.

3.2 Varredura laser terrestre

Constantemente desenvolvem-se novas tecnologias para coletar informações de superfícies ou de sólidos, para diversas finalidades. Alguns desses processos estão bem difundidos e são bastante utilizados na engenharia. Já outros, apesar de proporcionarem ótimos resultados, ainda não são muito utilizados. Novas tecnologias, como o escaneamento terrestre, com o passar dos anos, tiveram uma grande evolução. Todo o processo nessa técnica, desde a captura de imagens (CCD) até o produto final, está sendo feito em meio digital.

Na topografia, as estações totais automatizaram a medição de direções e distâncias. Além disso, a evolução dos equipamentos possibilitou realizar medições sem que haja a necessidade de refletores, não sendo necessário colocar o prisma no ponto a ser medido, sendo esse o principal avanço que caracteriza o escaneamento terrestre.

Essa evolução tecnológica faz com que os levantamentos venham se tornando cada vez mais rápidos e precisos, diminuindo custos e aumentando a produtividade. Os sistemas de varredura a laser (Laser Scanner 3D) vêm se difundindo com muita rapidez nos últimos anos.

As principais vantagens dessa tecnologia sobre as demais técnicas são a não necessidade de refletores para a coleta das distâncias aos objetos, a capacidade de gerar uma densa nuvem de pontos 3D de todo o objeto e a rapidez na coleta dos dados, podendo chegar até a mais de 525.000 pontos por segundo. Tem-se que o terreno passa a ser modelado não a partir de uma interpolação entre poucos pontos coletados, mas sim por uma varredura laser minuciosa do terreno através da coleta de milhares de pontos.

Seu uso não pode ser estendido a todas as áreas da engenharia, porém já são muitas as aplicações dessa tecnologia, dentre as quais podem ser citadas: levantamento do como construído (as-built), levantamento de monumentos para restauração, túneis, refinarias, instalações industriais e outras, caracterizadas pela grande complexidade dos elementos envolvidos.

Para coletar as coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma determinada superfície, os aparelhos laser scanners 3D emitem pulsos de laser com o auxílio de um espelho de varredura, o qual será explicado com detalhes mais adiante. Esse pulso laser atinge o objeto e parte dessa energia volta para o sistema. Desse modo, e conhecendo as características do laser, é possível medir a distância entre o sensor e o objeto.

Basicamente são três os princípios básicos de medição a laser: Triangulação, Tempo de percurso (Time of flight) e Comparação da fase. Julga-se importante a explicação a respeito do funcionamento desses três princípios, pois são esses que definem as variações entre diferentes tipos de aparelhos Laser Scanner, sendo como um mais apropriado em determinada aplicação em engenharia.

Os aparelhos baseados no princípio da Triangulação possuem, no mínimo, um sensor CCD e uma fonte geradora de energia laser. O pulso laser é emitido e seu retorno é registrado por um ou mais sensores CCDs. A angulação de varredura dos pulsos é registrada no sistema

a cada pulso emitido e, conhecendo-se a base entre o sensor laser e a câmara, por meio de um processo de calibração, determina-se a posição dos pontos refletidos pelo objeto.

O outro princípio, Tempo de percurso (Time of flight), possui um sensor que envia um pulso laser para o objeto. Esse pulso retorna ao equipamento e, a partir disso, utilizando a velocidade da luz (velocidade do laser), é possível calcular a distância e através de codificadores se obtém a inclinação dessa observação. Partindo-se dessas coordenadas esféricas é possível calcular a posição tridimensional do objeto.

Equipamentos que coletam informação utilizando a Comparação da fase de onda emitida quebram o feixe laser gerado em, normalmente, três faixas diferente. O cálculo das coordenadas dos pontos refletidos pelos objetos escaneados é obtido através da comparação desses três comprimentos de onda.

3.2.1 O aparelho Laser Scanner 3D terrestre

Os aparelhos laser scanner 3D, com aparência externa semelhante à de uma estação total, permitem a construção de modelos (em três dimensões), visualização e análise de estruturas com alta complexidade, com extraordinária precisão, velocidade e segurança. O objeto escaneado pode ser visualizado através de um software de manipulação de nuvens de pontos, sendo que a partir desses pontos esse objeto pode ser modelado e exportado para um sistema CAD, por exemplo, o MicroStation ou o AutoCad. A maioria dos sistemas atuais utiliza laser pulsado para realizar as medições de distâncias determinando a posição dos pontos através de coordenadas esféricas.

3.2.2 Métodos de coleta de informações

Geralmente, um medidor eletrônico de distância (MED) emite um pulso através de um transmissor e recebe o mesmo pulso que foi refletido por um objeto. Esse pulso retorna para o receptor, fazendo com que seja possível calcular a distância entre o medidor eletrônico e o objeto, como mostra a Figura 10.

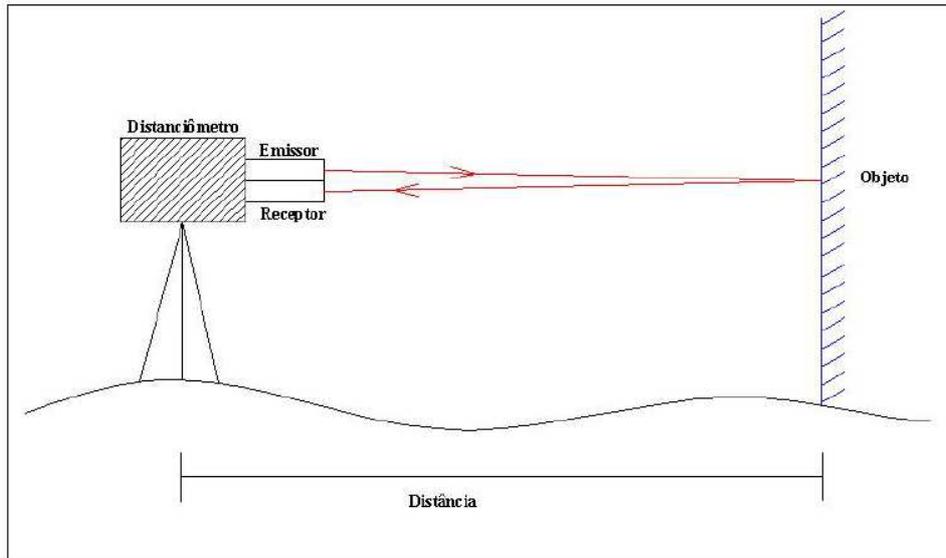


Figura 10 – Medidor eletrônico de distância sem refletor
Fonte: NASCIMENTO[6]

O sistema laser scanner trabalha basicamente da mesma forma, mas além da distância entre o aparelho e o objeto, é necessário coletar outras informações (direções através de ângulos), pois o que se precisa é das coordenadas tridimensionais de cada ponto coletado. Os equipamentos Laser Scanner 3D podem ser divididos por princípios de medições, como mostra a Figura 11.

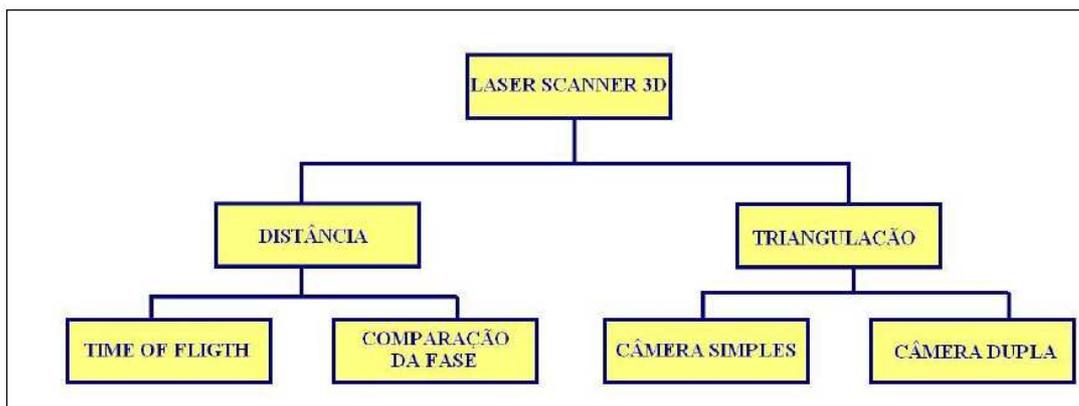


Figura 11 – Divisão por princípios de medição
Fonte: NASCIMENTO[6]

3.2.2.1 Tempo de percurso

O equipamento que utiliza esse método mede as distâncias, a intensidade da energia refletida pelo objeto e os parâmetros de altitude do feixe (azimute e elevação) em relação ao equipamento, que são coordenadas esféricas do ponto em relação ao referencial do laser. As medições realizadas pelo princípio TOF fazem com que o pulso eletromagnético seja emitido pelo transmissor ao mesmo tempo em que um contador eletrônico é disparado. O pulso é refletido pelo objeto escaneado e retorna ao equipamento, momento em que o contador interrompe a contagem e registra o tempo equivalente.

Desse modo, conhecendo a velocidade de propagação do sinal, é possível determinar a distância percorrida pelo pulso laser, que corresponde ao dobro da distância ao objeto. Do mesmo modo que é feito para o cálculo genérico da distância entre pontos usando coordenadas esféricas (Figura 12), há uma adaptação para a topografia utilizando como parâmetros de cálculo o azimute, distância e elevação fornecidas pelo aparelho (Figura 13).

O método de tempo de percurso é o mais indicado para aplicações onde se necessita coletar pontos que estão a maiores distâncias (acima de 50 metros). Esse método apresenta uma taxa de coleta de até 8000 pontos por segundo e um alcance máximo que pode variar de 100 a 1500 metros, e a exatidão está na faixa que vai do milímetro a alguns centímetros, variando quanto maior for a distância.

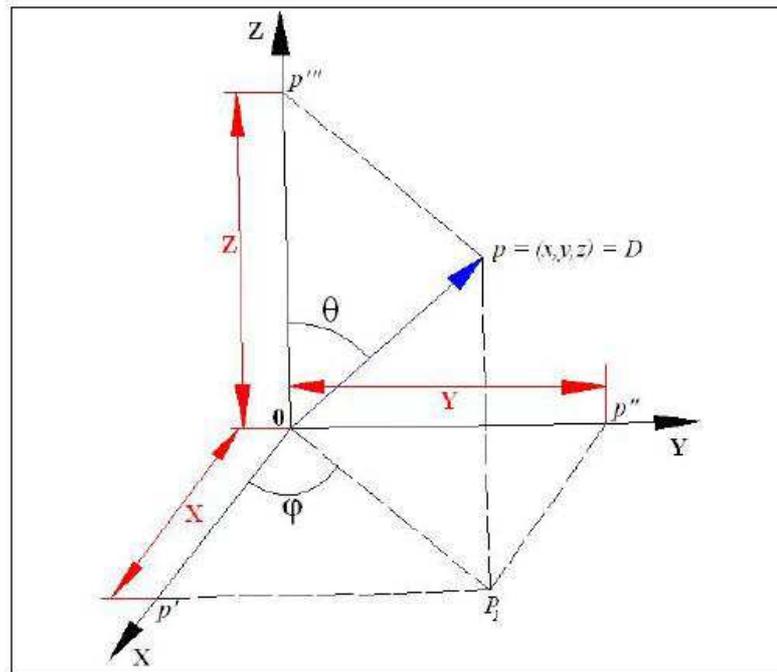


Figura 12 – Ilustração esquemática genérico de coleta de coordenadas polares
Fonte: VEIGA[3]

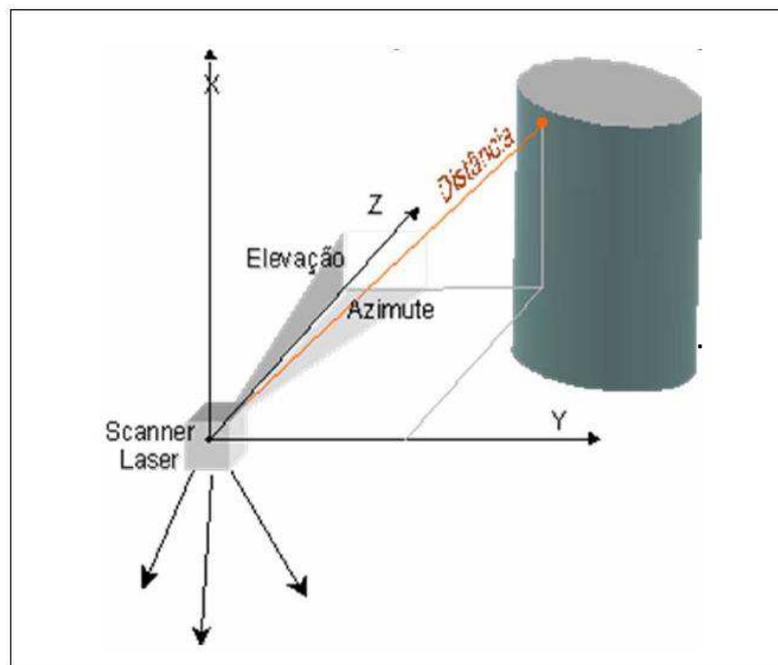


Figura 13 – Princípio de medição por tempo de percurso (Time of Flight – TOF)
Fonte: VEIGA[3]

3.2.2.2 Comparação de fase

Este método utiliza da comparação da fase da onda laser emitida para coletar as coordenadas cartesianas (X,Y,Z) dos pontos de interesse, o que significa que, enquanto os outros métodos fazem com que um único pulso seja refletido, este utiliza as variações da onda

para realizar as medições. A distância do equipamento ao objeto é medida através da comparação de fase da onda, ou seja, entre a fase na saída e na chegada do pulso.

Equipamentos Laser Scanner 3D que coletam pontos utilizando essa metodologia costumam quebrar o feixe laser emitido em três faixas diferentes. A determinação da distância é feita comparando-se as três ondas emitidas e as mesmas três ondas recebidas no equipamento.

A figura 14 mostra os diferentes comprimentos de onda utilizados pelo equipamentos do fabricante Faro: 76 m (em azul), 9,6 m (em vermelho) e 1,2 m (em amarelo). A distância do objeto ao equipamento é determinada, com precisão, através da comparação da onda emitida e recebida do ciclo de 1,2 metro. A distância de 13 metros, marcada na figura, corresponde a aproximadamente 11 desses ciclos.

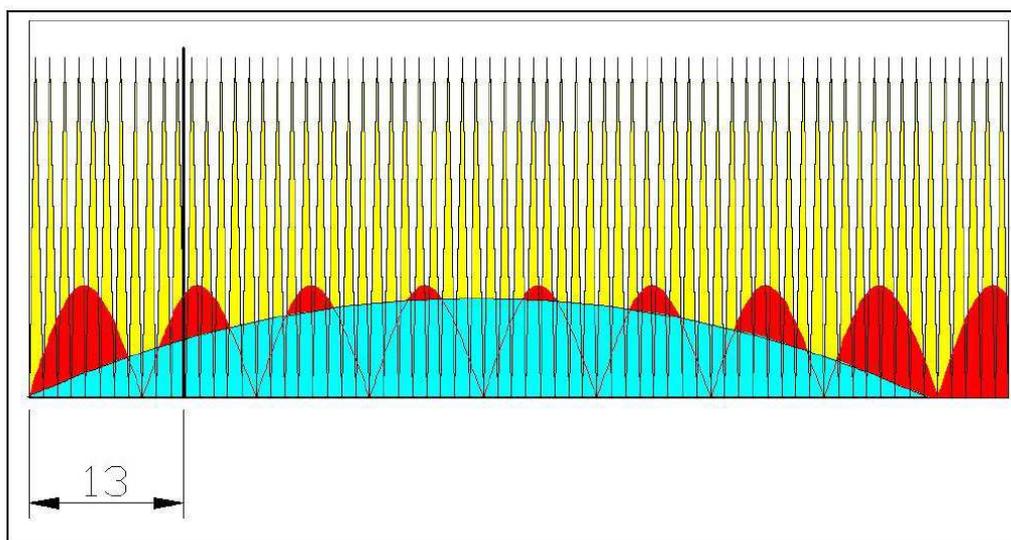


Figura 14 – Exemplo de medições através de comparação de fase
Fonte: GONÇALVES[7]

A grande diferença de utilizar esse método de varredura é referente a velocidade de coleta de pontos. Através da comparação da fase, alguns equipamentos chegam a coletar até 525000 pontos por segundo, enquanto que no método do tempo de percurso são coletados em torno de 5.000. Outras importantes diferenças são o alcance e a precisão. Enquanto um equipamento que utiliza o tempo de percurso como sistema de medição pode trabalhar com precisão na casa do milímetro (3 a 6 mm) a grandes distâncias (até 200 metros), um equipamento que utiliza a comparação da fase, por enquanto, só consegue boas precisões (3 a

6 mm) a curtas distâncias (até 25 metros). Obviamente, a vantagem de coletar maior ou menor taxa de coleta de pontos e dispor de maior ou menor precisão vai depender de acordo com a aplicação desejada.

3.2.2.3 Triangulação

Outro princípio de levantamento de pontos é a triangulação. Nesse método podem ser utilizados um ou dois sensores CCD, junto com uma fonte geradora de laser. O pulso é emitido e seu retorno é registrado por esse(s) sensor(es). Quando é utilizado apenas um sensor, o método é denominado de Câmera Simples e quando se usam dois sensores CCD é chamado de Câmera Dupla.

As figuras 15 e 16 ilustram os dois princípios de funcionamento dessa técnica.

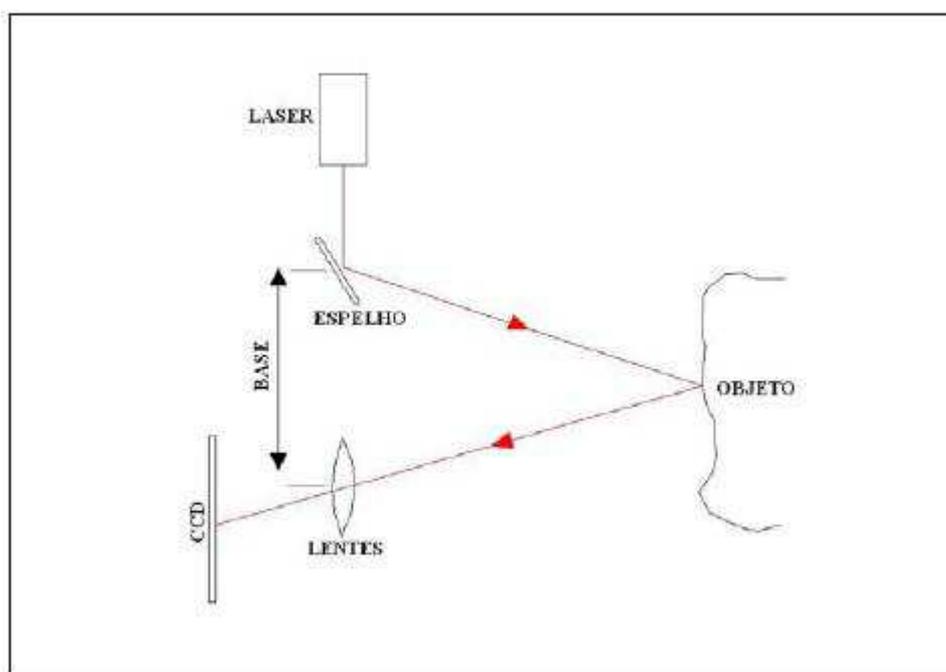


Figura 15 – Método de triangulação – Câmera Simples
Fonte: GONÇALVES[7]

No método de câmara simples, o laser é emitido diretamente a um espelho que, por oscilação ou rotação, envia o pulso laser ao objeto a ser escaneado. O laser retorna ao equipamento passando por uma série de lentes e, finalmente, é gravado em um sensor CCD.

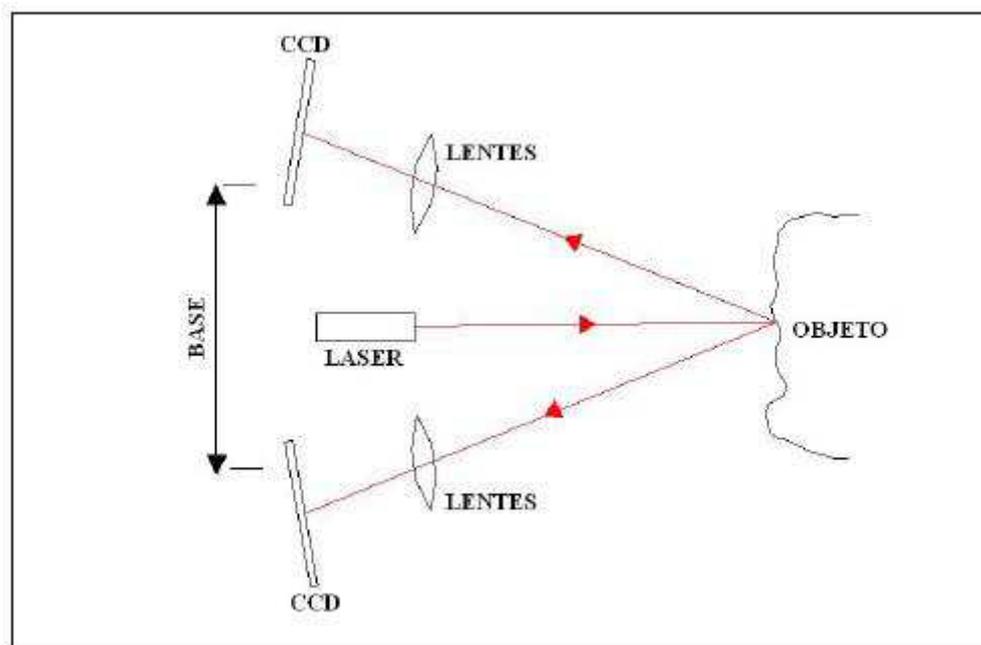


Figura 16 – Método de triangulação – Câmera Dupla
Fonte: GONÇALVES[7]

Já no método de câmara dupla, o laser emitido é lançado diretamente no objeto. Os pulsos lasers retornam ao sistema passando por uma série de lentes em diferentes direções, sendo a mesma informação gravada nos dois sensores CCD's. Esse método utiliza o princípio de intersecção fotogramétrica, ou seja, o ângulo de varredura dos pulsos é registrado no sistema e, conhecendo-se a base entre o sensor laser e a(s) câmara(s), por meio de um processo de calibração, determina-se a posição dos pontos refletidos pelo objeto.

Esse tipo de sistema é indicado para a modelagem de objetos pequenos ou com alto nível de detalhes, sendo que a distância máxima de operação depende da base entre o sensor laser e o sensor CCD. Como a base não é regulável, a distância máxima é limitada (no máximo 10 metros) a fim de atender a alta precisão desejada. Nesse método, a exatidão está no nível submilimétrico. A taxa de coleta de pontos também é inferior se comparado com os métodos anteriores, atingindo o máximo de 500 pontos por segundo.

3.2.3 Emissão do laser – O método da varredura

Os equipamentos Laser Scanner 3D utilizam de alguns métodos para a emissão do pulso laser. Os mais comumente utilizados são os de espelho oscilador e o de polígono de rotação. Genericamente são emitidos pulsos de laser com o auxílio de um espelho de varredura. Esse pulso laser atinge o objeto e parte dessa energia volta para o equipamento. No método do espelho oscilador o pulso laser é dirigido diretamente ao espelho, o qual está em constante oscilação vertical, como mostra a Figura 17.

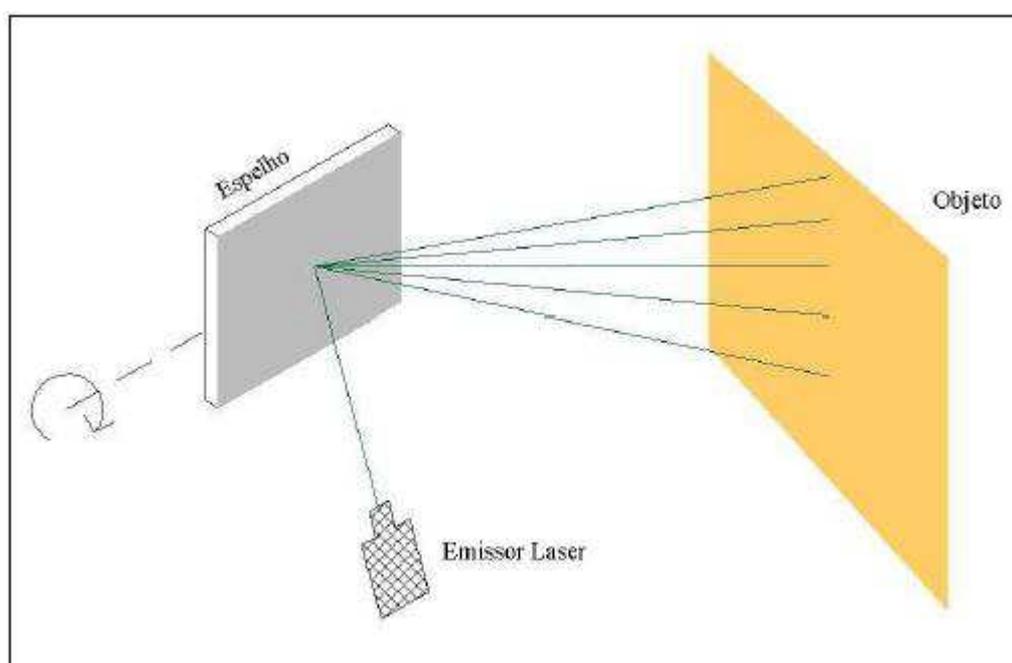


Figura 17 – Espelho oscilador
Fonte: GONÇALVES[7]

Essas variações do ângulo do espelho fazem com que o laser seja projetado sobre o objeto faixa por faixa. Para que haja uma progressão horizontal utilizando esse método, os equipamentos devem possuir um servo-motor que movimenta o espelho horizontalmente em torno de um eixo, ou o espelho deve ser capaz de oscilar horizontalmente. No primeiro caso, pode-se citar o equipamento da fabricante Trimble modelo GS200 que utiliza um espelho que envia o pulso laser numa faixa vertical com amplitude de até 60°. Na horizontal esse equipamento possui um servo-motor que permite um giro de 360° (volta completa), fazendo com que se tenha um campo de visada de 360° x 60°. Cada aparelho costuma trabalhar com um campo de visada diferente.

O outro método utilizado é conhecido como espelho de rotação. O pulso laser é emitido para um prisma óptico regular que está em constante rotação, fazendo com que o pulso laser seja refletido até o objeto de interesse em diferentes direções. Esse método é mostrado na Figura 18.

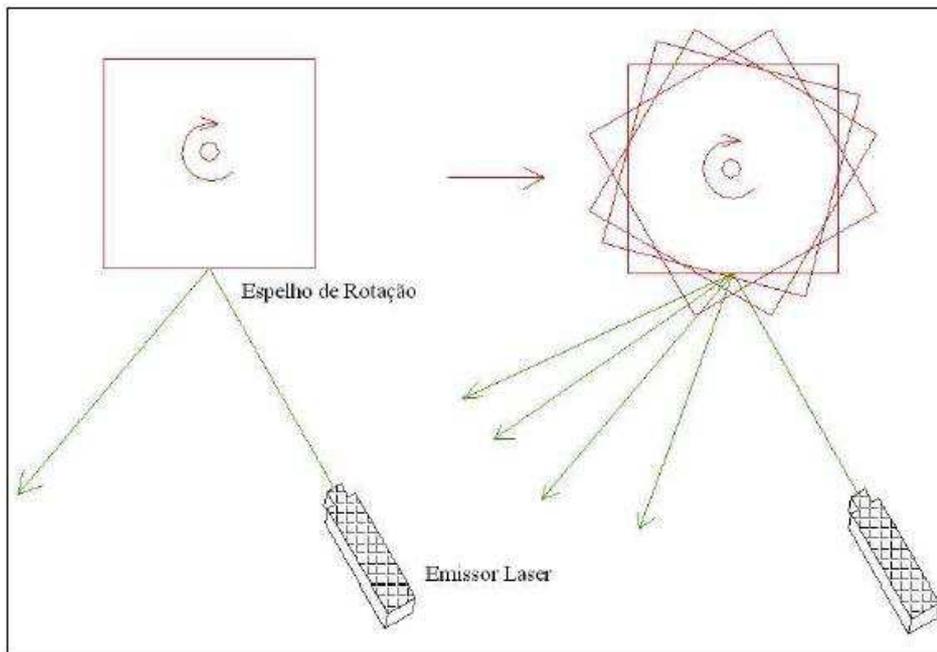


Figura 18 – Polígono de rotação
Fonte: GONÇALVES[7]

3.2.4 Níveis de Segurança

Uma das grandes preocupações em se trabalhar com aparelhos emissores de raio laser é a questão da segurança. Com os avanços da tecnologia laser, é fundamental que os profissionais de topografia conheçam mais a fundo como trabalhar com o sistema de modo seguro, visando à proteção dos olhos e da pele, evitando queimaduras e também riscos de incêndio.

Os problemas ocorrem em função de quatro aspectos: potência emitida pelo laser, comprimento de onda, duração e taxa de repetição. Outras características menos importantes são o diâmetro do feixe e a sua divergência.

O laser é produzido por raios de luz intensos e altamente convergentes. Se este for direcionado, refletido ou focado sobre um objeto, a luz incidente será parcialmente absorvida, aumentando a temperatura do objeto, podendo causar alterações das propriedades químicas ou deformações do material.

Essas propriedades lasers, as mesmas utilizadas em cirurgias a laser e no processamento de materiais, também podem causar danos. O corpo humano é sensível a incidência de certos lasers e, sob certas condições, a sua exposição pode resultar em danos para a pele e para os olhos. Entretanto, desde sua descoberta, nos anos 60, o laser tem sido largamente utilizado na vida cotidiana e em várias técnicas com pouca incidência, se comparado a outros modos de utiliza-lo.

Várias pesquisas foram realizadas abordando os danos causados nos olhos e na pele, de modo a entender o perigo biológico da radiação laser. Sendo evidente que o olho é mais vulnerável que a pele.

A potência da energia luminosa de um dispositivo laser pode ser medida e avaliada não somente pela área em que ela se concentra, mas também pelo tempo que determinada superfície fica exposta.

Hoje em dia o laser mais utilizado é o do tipo pulsado, onde são gerados pulsos laser em intervalos de tempos muito pequenos e por uma fonte de luz altamente colimada (que gera raios de luzes altamente paralelos). Muitas vezes superior a de qualquer outra fonte de luz e, teoricamente, a energia emitida pode ser concentrada em um único ponto que, se olhado de frente, pode ser projetado na retina e queimar o tecido, sem que haja tempo de proteger-se piscando os olhos.

Para avaliar os valores aceitáveis de radiação laser que o olho humano suporta é levada em consideração a situação menos favorável. Considera-se a pupila como totalmente aberta (situação noturna). Valores toleráveis para a incidência de luz na retina estão associados à densidade de energia (cuja unidade de medida é Joules por metro quadrado). De qualquer modo, os valores aceitáveis vão depender do intervalo de tempo que a radiação irá incidir sobre os olhos ou outra parte do corpo.

Segundo TOMMASELLI[9]: “O pior caso de exposição ocorre quando o olho de um indivíduo estiver focado a uma distância curta, com incidência de um raio direto ou refletido em uma superfície espelhada. A luz entrando no olho é multiplicada por um fator de 100 vezes quando atinge a retina. Portanto, um raio laser no visível com potência de 10 watt/cm² resultará em uma exposição de 1000 watt/cm² na retina, o que tem densidade mais do que suficiente para causar danos. Seriam necessários níveis muito maiores de radiação laser no caso do olho não estar focado na direção da emissão ou se o raio for refletido em uma superfície difusa (não espelhada). Felizmente, na região do visível do espectro óptico há um reflexo (da pálpebra) que fecha o olho em menos de 0,25 segundos e previne uma longa exposição.”

A principal preocupação é a perigosa exposição da retina ocular no espectro óptico, que varia desde 400 nm (violeta) até 1400 nm (perto do infravermelho), que é a faixa de comprimento de onda utilizada em todos os aparelhos.

O Limite de Emissão Aceitável (LEA) é o valor máximo que uma pessoa pode ser exposta a radiação laser. Esses limites de LEA foram elaborados com base na avaliação dos níveis de exposição máximos permitidos (MPE – Maximum Permissible Exposure), ou seja, os limites que uma pessoa pode ser exposta sem que lhe seja prejudicial à saúde. Os valores de MPE são especificados tanto para o olho como para a pele e variam em função do comprimento de onda da radiação laser e do tempo de exposição.

Há uma grande variedade de normas de segurança para usuários e fabricantes de aparelhos que utilizam a tecnologia laser. Essas normas classificam os aparelhos de acordo com a sua potência e efeitos sobre a pele. Dentre elas pode-se citar a norma internacional europeia (IEC 60825-1) e as normas americanas (ANSI Z136.1 e CDRH 21 CRF).

3.2.4.1 Padrão internacional IEC 60825-1

Originalmente designado como IEC (International Electrothechnical Commission) 825-1, essa norma foi editado pela primeira vez em 1984. Em 1993 passou a designar-se IEC 60825-1, sendo que em 1997 recebeu uma emenda sobre a padronização dos LEDs (Light Emitting Diodes) e em 1998 foi reedita. A última edição encontrada é de 2001.

De acordo com a norma em vigor há quatro classes de lasers, com subclasses correspondentes a diferentes níveis de perigo baseados no conhecimento médico atual e nas pesquisas realizadas:

- **Classe 1**

Dispositivos laser classe 1 são extremamente seguros para os olhos. A potência é tão fraca que a visualização direta ou através de instrumentos ópticos não é danosa. Geralmente são aparelhos encapsulados ou com a potência laser muito baixa.

- **Classe 1M**

Essa classificação foi dada para aparelhos com potência muito baixa, colimado e de diâmetro grande ou altamente divergente. Em relação à potência, são perigosos aos olhos se visualizados por meio de instrumentos ópticos, lentes ou lunetas por exemplo.

- **Classe 2**

Esses aparelhos emitem na região visível do espectro óptico (400 – 700 nm) e podem operar tanto em modo contínuo como em pulso e são seguros para visualização acidental devido ao reflexo do olho (pálpebra), que é de 0,25 segundos, que o protege contra longo tempo de exposição. A visualização longa e intencional, entretanto, pode ser perigosa, assim como sua visualização através de instrumentos óticos.

- **Classe 2M**

São potencialmente perigosos aos olhos se observados por meio de instrumentos óticos. Dependendo dos níveis e condições geométricas específicas (distância da fonte produtora do laser e espaçamento da malha) um dispositivo da classe 2M pode ser menos perigoso do que um que seja classificado como Classe 2. Dispositivos dessa classe são, portanto, potencialmente baixos quanto aos riscos, operam na região do visível e seu feixe pode ser colimado e de diâmetro grande ou altamente divergente.

- **Classe 3R**

Equipamentos laser Classe 3R são seguros quando manipulados com precaução, mas podem ser potencialmente perigosos aos olhos se observados por meio de instrumento ótico ou visualização direta próxima à fonte de emissão laser. O risco é muito mais baixo comparado à Classe 3B e, portanto, possuem menos requisitos de segurança para fabricação e controle do usuário.

- **Classe 3B**

Dispositivos lasers dessa classificação são normalmente perigosos quando ocorre uma exposição direta ao raio. A visualização de uma reflexão difusa é normalmente segura.

- **Classe 4**

São classificados assim os lasers que são capazes de produzir reflexos difusos perigosos. Podem causar danos e até perigo de incêndio. Seu uso requer extrema cautela.

3.2.4.2 Normas ANSI Z 136.1 e CDRH 21 CRF

Após a invenção do laser, na década de 1960, as normas americanas passaram a ser desenvolvidas e ocorreram diversas atualizações principalmente entre os anos de 1973 e 1986, época em que a tecnologia laser alcançou o estágio próximo ao que existe hoje.

Os EUA utilizam dois tipos de padrão para classificação dos equipamentos lasers: a norma ANSI Z 136.1, desde 1986, e a norma CDRH 21 CRF, desde 1973.

Os usuários dessa tecnologia estão subordinados à regulamentação da ANSI (American National Standards Institute), enquanto que os fabricantes estão subordinados à CDRH (Center of Devices and Radiological Health) que por sua vez é um órgão da FDA (Food and Drugs Administration).

A CDRH requer que todo produto laser produzido e vendido nos EUA tenha um certificado do fabricante que especifique a potência laser. Assim como a IEC 6082-1:2001, essa norma classifica os dispositivos de acordo com a LEA (lei de emissão aceitável), ou seja, o limite de tempo que um indivíduo pode receber esse tipo de radiação sem que cause algum dano para ele.

Segundo a CDRH 21 CFR, os produtos lasers podem ser classificados da seguinte forma:

- **Classe I**

Dispositivos lasers dessa classificação não são considerados perigosos em nenhuma circunstância.

- **Classe IIa**

Nessa classificação a radiação é considerada perigosa se observada por um intervalo maior que 1000 segundos, abaixo desse tempo a radiação não causa danos.

- **Classe II**

Podem causar danos a visão se observados diretamente por um período maior que 0,25 segundos.

- **Classe IIIa**

Podem causar sérios riscos à visão se observados diretamente ou através de instrumentos óticos por um período maior que 0,0018 segundos.

- **Classe IIIb**

Lasers desta classificação são considerados perigosos para a pele e a visão através de exposição direta.

- **Classe IV**

Lasers de Classe IV são considerados são considerados perigosos para a vista se for exposta direta ou indiretamente, devendo o aparelho ser manipulado com cuidado.

3.2.5 Segmentos de mercado

Com o objetivo de se investigar as aplicações em engenharia da tecnologia Laser Scanner 3D, foi realizada uma visita a uma empresa de engenharia especializada no uso dessa tecnologia, a Litholdo Engenharia (<http://www.litholdoengenharia.com.br/>).

A empresa possui disponíveis dois equipamentos Laser Scanner 3D, sendo eles os modelos FARO FOCUS 3D e Laica C10, sendo o primeiro utilizado em serviços de curto alcance e que exigem um detalhamento maior do objetivo a ser escaneado, e o segundo utilizado para geração de imagens com maiores dimensões. Esses equipamentos podem ser vistos na Figura 19.



Figura 19 – Equipamentos Laser Scanner 3D modelos Faro Focus 3D e Laica C10
Fonte: Litholdo Engenharia

Uma vasta lista de aplicações em engenharia foi mencionada durante a visita, as quais foram compiladas e apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Aplicações da tecnologia Laser Scanner 3D

Aplicações	Requerimentos	Exemplos
Levantamento de Estruturas Civas, Metálicas e Industriais	● As-builts 3D	● Pontos, rodovias
	● Monitoramento de inspeções	● Plantas industriais
	● Controle dimensional	● Petróleo: Óleo e Gás, Refinarias, Petroquímica...
	● Análise de interferências	
	● Checagem eletrônica de avanços físicos de montagem	● Construção de navios,
Construção Civil e Patrimônio Histórico	● Desenhos 2D	● Edifícios, interiores, fachadas, estátuas, arqueologia...
	● Modelos 3D	
	● Cálculos de volume / superfície	
	● As-Builts 3D	
Topografia Urbana	● Desenhos 2D	● Infraestrutura urbana
	● Volume de pilhas	● Minas, túneis, trabalhos terrestres...
● Cálculos terrestres		
Medicina legal	● Representação 3D	● Análise de acidente e investigação da cena do crime
	● Medições	
	● Prova de acontecimento	
Especial	● Modelos 3D	● Entreterimento

Questionados sobre a aplicação específica no caso aeroportuário, foi dito que não havia nenhum caso conhecido e que, pelas próprias características de varredura e emissão do laser pelo equipamento, essa tecnologia não é adequada para geração de modelos de terrenos, excetuando-se no caso de ser aerotransportado.

3.2.6 Equipamentos disponíveis no mercado

Atualmente existe um grande número de equipamentos e fabricantes, cada qual desenvolvido para uma determinada aplicação e que podem ser classificados pela precisão, alcance, taxa e coleta (pontos/s), parâmetros de segurança e acessórios que os compõem.

Pode-se dizer que existem três grandes empresas no mercado de aparelhos laser scanner 3D. A Leica Geosystem apresenta disponível em seu website cinco modelos; a empresa RIEGL possui disponível também cinco modelos; e a fabricante Trimble quatro modelos. Além dessas três principais, pode-se ainda citar as empresas menores: FARO,

Optech, MDL e Zoller. A Tabela 6 mostra a maioria dos equipamentos disponíveis no mercado e suas características.

Tabela 6 – Equipamentos disponíveis para escaneamento terrestre

Tipo de equipamento	Fabricante	Comprimento de onda (nm)	Segurança IEC 60825-1	Precisão pontual
ScanStation P20	Leica	808 (invisível)	2	3 mm em 50 m
ScanStation C10	Leica	532 (verde)	3R	4 mm em 50 m
ScanStation C5	Leica	532 (verde)	3R	4mm em 50 m
HDS8810	Leica	1545	1	8 mm em 200 m
HDS8400	Leica	1545	1	8 mm em 200 m
VZ-6000	RIEGL	IV*	3B	60mm em 500 m
VZ-4000	RIEGL	IV*	1	75 mm em 500 m
VZ-1000	RIEGL	IV*	1	8 mm em 100 m
VZ-400	RIEGL	IV*	1	5 mm em 100 m
LPM-321	RIEGL	IV*	1M	15 mm em 100 m
VX	TRIMBLE	905	1	2 mm em 100 m
TX5	TRIMBLE	905	3R	0,6 mm em 10 m
TX8	TRIMBLE	1500	1	2 mm em 100 m
FX	TRIMBLE	685 (verde)	3R	2,4 mm em 50 m
Tipo de equipamento	Peso (kg)	Campo de visada (H x V)	Alcance máximo (m)	Pontos / s
ScanStation P20	0,86	360° x 270°	120	1000000
ScanStation C10	0,9	360° x 270°	300	50000
ScanStation C5	0,9	360° x 270°	300	50000
HDS8810	14	360° x 80°	2000	8800
HDS8400	12	360° x 80°	1000	8800
VZ-6000	14,5	360° x 60°	6000	220000
VZ-4000	14,5	360° x 60°	4000	220000
VZ-1000	9,8	360° x 100°	1400	122000
VZ-400	9,6	360° x 100°	600	122000
LPM-321	16	360° x 150°	6000	1000
VX	5,2	360° x 300°	250	150000
TX5	5	360° x 360°	120	976000
TX8	11	360° x 317°	340	312000
FX	11	360° x 270°	140	216000

*IV: infra-vermelho

O que se percebe é uma grande variação nas características dos aparelhos, principalmente nos quesitos alcance, precisão e taxa de coleta de pontos. As especificidades de cada serviço de engenharia é que irá identificar aquele mais apropriado a ser utilizado.

3.2.7 Comentários sobre o uso do escaneamento terrestre

Percebeu-se que a grande maioria dos sistemas de escaneamento utiliza o tempo de percurso do pulso laser para medir as distâncias. Isso se deve à boa precisão alcançada em distâncias maiores, e a relativa rapidez de coleta de pontos. Mas, pela evolução da tecnologia, acredita-se que esse tipo de método será substituído pela comparação de fase, que hoje é limitado pela distância de coleta com precisão aceitável (em torno de 25 metros). Essa é uma tendência das empresas que desenvolvem esse tipo de equipamento.

Denota-se que esse tipo de equipamento pode ser caracterizado pela boa precisão, alta densidade de pontos levantados, pouco tempo necessários para adquirir uma enorme quantidade de dados e alta automação para o processamento dos dados.

Deve-se ter pleno conhecimento a respeito dos tipos de equipamento existentes no mercado para que os usuários dessa tecnologia possam discernir qual o equipamento mais adequado à sua aplicação, com base nas informações de precisão, alcance e qualidade da nuvem de pontos (menor nível de ruído). Utilizando equipamentos inapropriados, o desenvolvimento do projeto pode ser comprometido, não alcançando suas expectativas quanto à precisão e automação do processo de escritório.

Para o eficiente uso dessa tecnologia, é necessário que o usuário esteja familiarizado com os princípios básicos de operação, funcionamento do equipamento e limitação da tecnologia (incluindo as estações totais que em alguns casos devem ser utilizadas). Dessa forma, essas fases foram descritas no presente trabalho.

De maneira geral pode-se ponderar que essa nova tecnologia gera uma grande capacidade de automatizar esse tipo de levantamento, principalmente a etapa de escritório. É possível realizar o trabalho de campo com menos horas de trabalho, minimizando custos e mesmo assim tendo melhores resultados do que em métodos utilizados no passado. Um

comparativo entre a tecnologia laser e o método convencional (estação total) será mostrado futuramente nesse trabalho.

Na área de mapeamento de plantas industriais, esse tipo de levantamento vem sendo utilizado em grande escala no mercado brasileiro com segurança e economia, com satisfação dos usuários. A diferença, para outras aplicações em engenharia, é que o desenvolvimento da obra não é mais linear (uma dimensão altamente predominante e de grande extensão), mas concentra-se numa área menor e o objeto é de alta complexidade.

3.3 Varredura laser aerotransportada

O sistema de varredura laser (Laser Scanning) aerotransportada é um método usado para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos na superfície da terra a partir de medições feitas por um equipamento de varredura laser instalado em uma aeronave ou helicóptero. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície. Ao atingir a superfície, parte do sinal emitido é refletida na direção do sensor. O sensor mede tanto a intensidade do sinal de retorno, como também o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno, que é usado para calcular a distância sensor-objeto, considerando que o pulso laser se propaga à velocidade da luz.

Aplicam-se, nessa tecnologia, os mesmo conceitos apresentados no item anterior, a respeito da emissão, método de coleta de informações, e normas de segurança da emissão laser.

Esse sistema de varredura a laser é utilizada desde a década de 70 pela NASA e o National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), com o objetivo de coletar dados atmosféricos, oceanográficos e topográficos. Somente a partir de 2001 o sistema é inserido no mercado brasileiro, o primeiro mapeamento foi realizado por uma empresa privada no Brasil, com a utilização de um sensor modelo ALTM 2025 (Airbone Laser Terrain Mapper) do fabricante canadense Optech Inc, atingindo uma precisão altimétrica de aproximadamente 0,15 m para dados brutos.

A popularidade da varredura a laser aerotransportada é crescente, principalmente pelo seu caráter inovador e complementar em relação a outras formas de obtenção de dados

espaciais, como os levantamentos topográficos convencionais (via estação total ou GPS) e a fotogrametria. Uma das vantagens da varredura a laser é sua capacidade de obter pontos da superfície do terreno mesmo em áreas cobertas por vegetação, onde os métodos convencionais apresentam restrições. Em áreas florestais, levantamentos topográficos podem se tornar difíceis e trabalhosos, em função dos obstáculos presentes. A fotogrametria também encontra dificuldades, pois a obtenção de um mesmo ponto do terreno em um par de fotografias é pouco frequente, devido à altura da vegetação, podendo-se citar como exemplo a construção de aeródromos em regiões de mata fechada na Amazônia. O laser scanner aerotransportado não apresenta essas restrições, pois um único raio é necessário para determinar a cota do terreno, e o conjunto desses pontos permite obter uma malha de medições remotas.

Com base na distância entre o sensor, a superfície da terra e a orientação do raio, são determinadas a posição tridimensional do local de onde o raio é refletido. Como a varredura é efetuada a partir da aeronave, junto com a superfície do terreno outros objetos acima da mesma, como a copa das árvores e telhados, são medidos. Estes tipos de sistemas também são chamados de LIDAR (Light Detection And Ranging).

Para o cálculo da posição de cada ponto, o instrumento registra, além do tempo, a orientação do sensor no instante da emissão/registro do pulso e a posição exata da aeronave que carrega o sensor. Por este motivo, o laser scanner aerotransportado necessita de unidades auxiliares para obter estes dados complementares. O sistema de varredura laser pode ser então dividido em três componentes principais: a unidade de medição a laser, encarregada de emitir e receber o sinal laser, um sistema de varredura e uma unidade de registro de medições de apoio.

O conjunto de medições de apoio, os dados do IMU e do GPS diferencial são medidos e armazenados simultânea e paralelamente à medição da distância pelo sistema laser. Numa etapa posterior, as séries de dados coletados são sincronizadas e a posição exata de cada ponto calculada. A determinação da distância pode se efetuada com precisão menor a 10 centímetros, mas a precisão da determinação da posição do ponto depende do desempenho dos sistemas de apoio. Tipicamente, uma precisão planimétrica da ordem de 50 centímetros é encontrada, enquanto a precisão altimétrica está na ordem de 10 a 15 centímetros, ou seja, analisando esses valores de precisão, conclui-se que esta tecnologia não é ainda indicada para levantamentos que exigem uma acuidade elevada.

As principais aplicações encontradas na literatura utilizando a varredura laser aerotransportada são na geração de plantas de perfil topográfico, definição do perfil geomorfológico de determinada região, identificação de linhas de transmissão e etc.

Na Figura 20 pode-se observar um helicóptero modelo Bell equipado com os equipamentos: Laser Scanner Riegl LiteMapper, IMU (inertial measurement unit), Câmera Digital Hasselblad, Armazenador de dados Riegl 500Gb e GPS Novatel com correção DGPS em tempo real. O objetivo da missão foi levantar o posicionamento das torres, construções, vegetação e linhas de transmissão do trecho ANGRA-GRAJAU, operado pela empresa FURNAS, no estado do Rio de Janeiro, percorrendo uma distância de 200 km. Devido à grande extensão do levantamento, seria totalmente inviável realizá-lo utilizando métodos convencionais.



Figura 20 – Equipamento completo montado num helicóptero Bell
Fonte: FURNAS

3.3.1 Métodos de geração de modelos do terreno

O conjunto de medições constitui uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais distribuídos de forma irregular na superfície do terreno, segundo o padrão de varredura. Este conjunto pode ser tratado de duas formas: como dados vetoriais ou

transformado ao formato Raster (estrutura computacional formada por linhas e colunas, transformando a imagem em um sistema matricial) e ser processado como uma grade regular. A segunda opção é geralmente mais adotada, pois implica na redução significativa da quantidade de dados.

Como o feixe emitido na direção da superfície da Terra não atinge apenas a superfície do terreno, mas pode atingir outros objetos como prédios ou árvores, ele pode ser refletido por diferentes pontos localizados a diferentes distâncias do sensor. Sendo assim, o ponto mais próximo ocasiona um retorno mais rápido. Já o ponto mais distante origina um retorno mais demorado (Figura 21a). Alguns sistemas podem medir diferentes retornos do sinal emitido, refletido por diferentes objetos dentro da projeção do feixe no terreno (footprint). É possível medir o primeiro e o último retorno do pulso (first/last pulse), ou até pode-se medir toda a variação do retorno, se for necessário.

Após a classificação, dois conjuntos de pontos encontram-se disponíveis, os do terreno e os associados a outros objetos. Por este motivo, dois conceitos são reconhecidos quanto aos modelos que podem ser produzidos: quando os dados se referem aos pontos que atingiram o terreno, fala-se em modelo digital do terreno (MDT); já quando o modelo inclui, além do terreno, os objetos a ele superpostos, fala-se em Modelo Digital da Superfície (MDS). A diferença é ilustrada na Figura 21b.

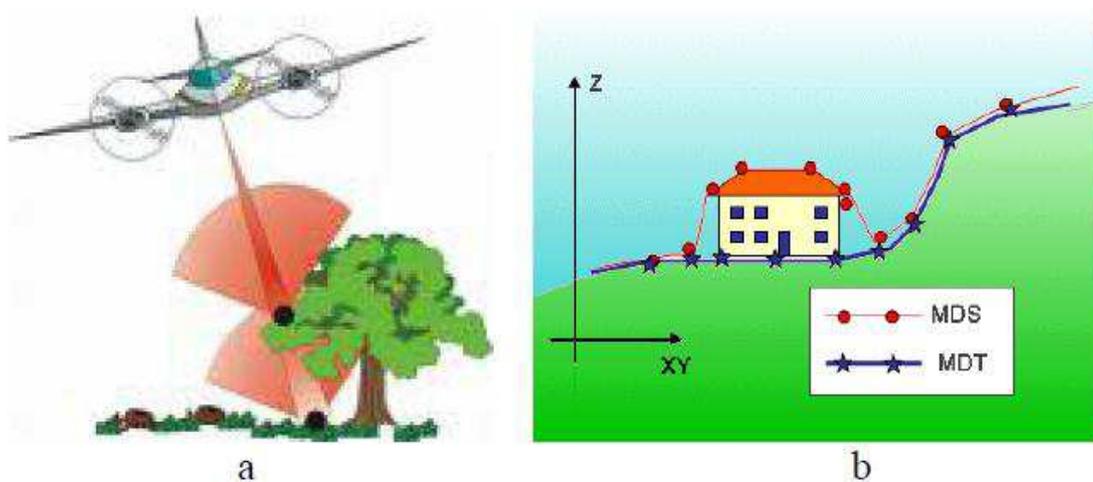


Figura 21 – Modelagem do terreno (a: Primeiro e último retorno; b: diferença entre MDT e MDS)

Fonte: CENTENO[10]

A separação de primeiro e último retorno permite identificar alguns pontos que penetram, por exemplo, em florestas. Em áreas urbanas, grande parte dos pulsos provoca apenas um retorno, pois as superfícies, como telhados, são sólidas. O problema central, na produção de modelos digitais do terreno, é separar os pontos correspondentes ao terreno daqueles originados em construções e árvores. Na literatura encontram-se descritas diferentes alternativas para a solução deste problema.

A maior parte desses métodos se baseia na identificação de pontos afastados do terreno em função da declividade local, continuidade da superfície ou da distância do ponto a um plano de referência que corresponderia ao terreno. Por exemplo, o método conhecido como do “bloco mínimo” pesquisa uma região, procurando pelo menor ponto, que supostamente corresponde ao terreno. A altura dos outros pontos nesta região é comparada com o valor mínimo. Pontos com distâncias muito elevadas são considerados árvores ou prédios e são removidos. A Figura 22 mostra um exemplo da remoção de pontos, numa região de área urbana, usando este método.

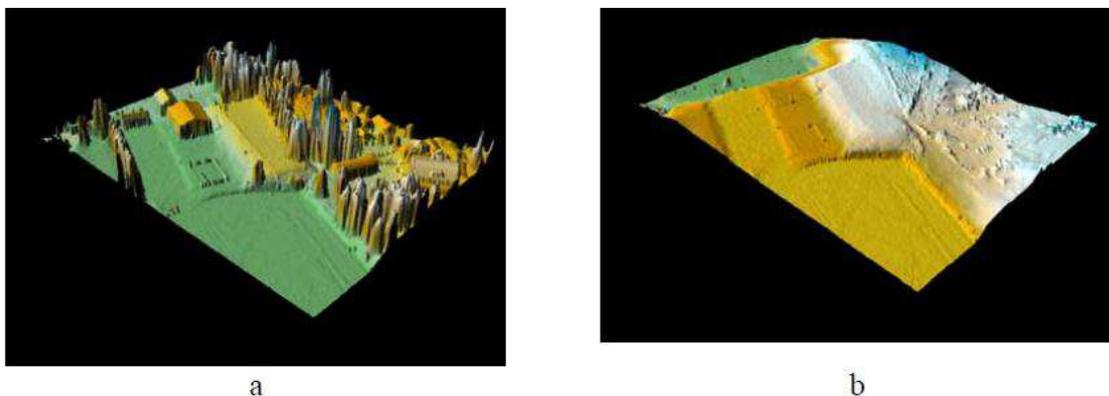


Figura 22 – Exemplo de eliminação de vegetação e construções (a: com alvos; b: sem alvos)
Fonte: CENTENO[10]

Para a produção de um modelo digital, os pontos classificados podem ser interligados para formar uma grade TIN, ou servir de entrada no processo de interpolação para a geração de uma grade regular. Muitos algoritmos de interpolação foram criados para o uso com base em levantamentos esparsos e pouco densos. O conjunto de dados laser scanner, pelo contrário, é caracterizado por uma alta densidade, motivo pelo qual existe pouca necessidade de interpolar valores.

A interpolação, por outro lado, pode degradar os dados, suavizando as bordas dos objetos presentes em um MDS. Existem duas situações nas quais é necessário interpolar dados: em regiões de “sombra” ou oclusão, causadas pelo ângulo de visada do sensor, o que geralmente ocorre devido à baixa altura de voo e a presença de objetos altos, algo muito comum em áreas urbanas ou em regiões de floresta densa; a outra situação é quando o levantamento foi efetuado com espaçamento muito maior do que a resolução da grade pretendida.

CENTENO [10] descreve uma maneira de gerar um modelo digital que preserva ao máximo os valores originais e, com isso, as bordas. Primeiro, uma grade vazia é produzida. A seguir, a posição de cada ponto do levantamento dentro da grade é calculada e o ponto representado dentro da grade. Caso mais de um ponto ocorra na mesma célula, o menor valor é adotado. Finalmente, os espaços vazios são preenchidos utilizando ferramentas de morfologia matemática. O produto obtido apresenta as bordas melhor definidas e elimina a presença de sombras. As regiões de oclusão muito grandes são preenchidas, geralmente, com o valor mínimo da vizinhança. A Figura 23 mostra um resultado deste processo.

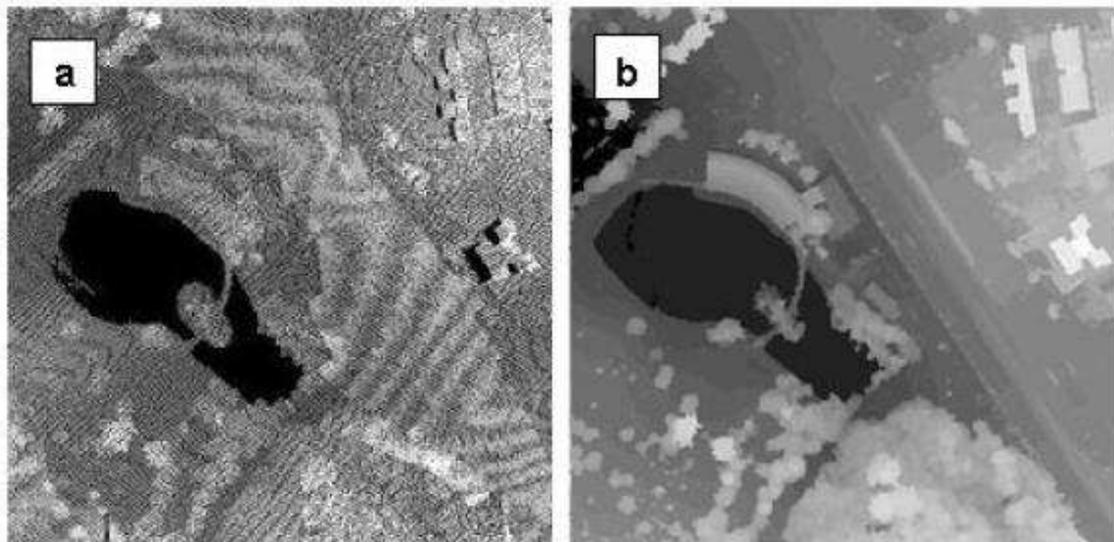


Figura 23 – Grade altimétrica(a;bruta; b: após preenchimento de lacunas)
Fonte: CENTENO[10]

Após a interpolação das grades do MDT e do MDS, uma terceira grade pode ser derivada calculando a diferença entre o MDS e o MDT. Trata-se, neste caso, de uma grade

que contem apenas os objetos acima do terreno. Esta grade é chamada, na literatura, de modelo digital de superfície normalizado ou MDSn. Neste modelo, apenas a altura dos objetos acima do terreno é representada, o que simplifica a análise. Em regiões de relevo acentuado, pontos do terreno e pontos no telhado de um prédio podem ter a mesma coordenada Z na grade. Após a normalização, o efeito do terreno é eliminado. A vantagem do uso do modelo normalizado no estudo de áreas urbanas é que o mesmo permite obter diretamente a altura das construções. A Figura 24 mostra um exemplo de um modelo normalizado em perspectiva.

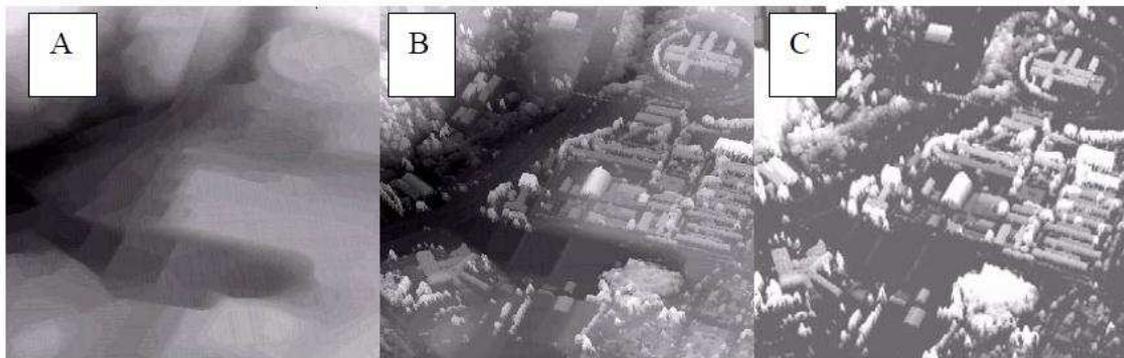


Figura 24 – Modelo normalizado em perspectiva (a: modelo digital de elevação; b: modelo digital de superfície; c: modelo digital de superfície normalizado)
Fonte: CENTENO[10]

3.3.2 Equipamentos disponíveis no mercado

Foi feito um levantamento dos equipamentos disponíveis dessa tecnologia no website das duas principais fabricantes mundiais, são elas: Leica e Trimble. Cada qual apresenta aparelhos com diferentes características e aplicações, as quais merecem ser comentadas isoladamente:

- Equipamentos da empresa Leica Geosystem

Leica ALS70-CM : projetado para aplicações de mapeamento em cidades e corredores que requerem uma altura de voo baixa (máxima de 1600 metros). Uma densidade extremamente alta de pontos pode ser alcançada voando em aeronaves pequenas ou montado em helicópteros, utilizando scanner de perfil reduzido (ângulo de varredura).

Leica ALS70-HP : projetado para mapeamentos com propósitos gerais com alturas de voo mais comuns (máxima de 3500 metros), e possibilitando diferenças maiores de terreno devido a um limite máxima de altura de voo mais amplo.

Leica ALS70-HA: variante do anterior para altas altitudes, permitindo as alturas de voo mais altas entre os equipamentos disponíveis (até 5000 metros), para mapeamento de áreas extensas a nível estatal ou nacional.

Leica ALS Corridor Mapper: está direcionado para o mapeamento de baixas altitudes e de corredores, tendo como altitude atuação entre 200 e 1000 metros, para ser usado apenas em helicópteros.

Os quatro aparelhos disponíveis dessa marca trabalham com um ângulo de varredura de 75°.

- Equipamentos da empresa Trimble

Trimble AX60: aparelho versátil, que opera com altitudes de até 3000 metros. Tem seu uso indicado na agricultura, mapeamento urbano, monitoramento de florestas e levantamentos de grandes áreas. Tem a capacidade específica de operar no mapeamento de superfícies cobertas pela neve.

Trimble Harrier 68i: mais indicado para levantamentos detalhados do terreno, uma vez que fornece uma maior densidade de pontos e melhor precisão nas medidas. Possui altitude de voo limite de 1600 metros.

É comum os manuais de cada equipamento conterem tabelas relacionando a altitude de voo, condições climáticas e frequência dos pulsos lasers com a resolução obtida no levantamento.

3.3.3 Comparação entre o método tradicional e o escaneamento terrestre

Em comparação com os equipamentos convencionais de levantamento (GPS e Estação Total), a tecnologia Laser Scanner apresenta como principal vantagem a elevada quantidade

de pontos coletados, permitindo reproduzir de forma muito próxima da realidade a topografia do terreno, com maior precisão e confiança tanto nas representações quanto em todos os cálculos.

O escaneamento a Laser 3D permite aquisição de dados em locais inacessíveis e/ou perigosos, dispensando assim a presença do homem e reduzindo os riscos de acidentes. O equipamento Laser Scanner 3D pode ser operado à noite ou em locais escuros, como no fundo de cavas, túneis, edificações, etc, Concluindo, o potencial do Laser Scanner terrestre para cálculo de volume em comparação com o uso da estação total se mostra muito mais preciso. A aquisição de dados 3D é rápida, automática e permite mais possibilidades na representação dos dados.

A Tabela 7 apresenta um quadro comparativo com vários quesitos avaliados, entre o método convencional e a tecnologia de escaneamento laser, tanto a terrestre como a aerotransportada.

Tabela 7 – Comparativo entre o método convencional e equipamentos Laser Scanner 3D

Quesito avaliado	Equipamento convencional	Laser Scanner 3D
Precisão	5+2ppm (distância); 2" (angular)	5 mm
Alcance	Até 500 m	Até 1400 m
Velocidade	1,2 pontos/segundo *	Até 122000 pontos/segundo
Memória Interna	Até 44000 pontos	Mais de 1 bilhões de pontos
Nivelamento	Manual	Automática
Operação	Manual	Automática
Conferência de dados	No escritório	Em tempo real ou no escritório
Descarregar dados	No escritório	Em tempo real ou no escritório

Uma análise da tabela mostrada permite destacar os seguintes aspectos:

- A grande quantidade de pontos coletados com o Laser Scanner permite reproduzir de forma muito próxima da realidade a topografia do terreno, agregando com isso maior precisão e confiança tanto nas representações quanto em todos os cálculos, principalmente nos volumes.
- O Laser Scanner comprovadamente executa trabalhos de forma muito mais rápida do que os equipamentos convencionais.

- Com seu longo alcance, o Laser Scanner permite a aquisição de dados em locais inacessíveis ou perigosos, dispensando a presença do homem e reduzindo assim os riscos de acidentes.
- Há redução de custos: 1 Laser scanner pode substituir diversas equipes de topografia.
- Há maior segurança para os funcionários envolvidos na medição.

3.3.4 Comentários sobre a varredura laser aerotransportada

A utilização da varredura a laser oferece grandes vantagens para a obtenção de informações a respeito do terreno, principalmente em áreas de difícil acesso, como no caso da construção de aeródromos em regiões de mata fechada.

A maior vantagem é que os dados, de natureza geométrica, são complementares aos dados espectrais, tradicionalmente empregados no sensoriamento remoto. Também, o resultado da varredura é um conjunto de pontos dentro de um sistema com projeção ortogonal.

A análise exclusiva de imagens não inclui a altura dos objetos, a não ser que seja pelo uso de pares estereoscópicos. Com a ajuda dos dados altimétricos, a terceira dimensão pode ser integrada na análise. Isto facilita, por exemplo, discriminar telhados ou copas de árvores de outros tipos de superfícies, com o mesmo material, mas localizadas no nível do chão, como os pavimentos.

A utilização em larga escala do Laser Scanner Aerotransportado ainda esbarra em fatores limitantes, como a resolução espacial da varredura. Existe a expectativa, porém, de que este fator seja superado com o desenvolvimento de varredores mais eficientes, assim como também é esperado que novos sensores orbitais, com maior resolução espacial, sejam comercialmente disponibilizados e que novas câmaras digitais, com maior capacidade, possam ser utilizadas.

3.4 Imagens de Satélite

Nos dias de hoje, o sensoriamento remoto através de imagens de satélite está se tornando cada vez mais valorizado devido ao seu potencial de análise espacial, uma vez que, por meio dos sensores geradores de imagem, há um maior conhecimento sobre o espaço e, por sua vez um maior domínio sobre a superfície terrestre através de imagens que podem ser adquiridas rapidamente em qualquer computador com acesso a internet.

3.4.1 Resoluções de imagens

Resolução é a limitação operacional de um sistema de sensoriamento remoto para produzir uma imagem nítida e bem definida. Quando se fala a respeito de imagens obtidas através de satélites, há quatro tipos de resolução que se aplicam:

A Resolução Espectral indica o número e a largura das bandas espectrais que o sensor do satélite pode discriminar. Um sensor será tanto mais sensível quanto maior o número de bandas que ele tiver, uma vez que isso ajuda na caracterização espectral dos diferentes objetos sobre a superfície terrestre. Uma elevada resolução espectral é obtida quando as bandas de um sistema sensor são estreitas ou quando se utiliza um maior número de bandas espectrais.

A Resolução Espacial mede a menor distância linear ou angular entre dois pontos da superfície. Quando um sistema, por exemplo, possui uma resolução espacial de 20 metros, significa que objetos distanciados entre si em menos que 20 metros não serão, em geral, diferenciados na imagem. Assim, quanto menor a resolução espacial do sistema maior o poder e a qualidade de resolução, ou seja, maior a sua capacidade de distinção entre objetos muito próximos.

A Resolução Temporal é definida como o número de vezes que um satélite observa uma mesma área do terreno em um determinado período. Por exemplo, o sensor TM a bordo do satélite LANDSAT observa um mesmo local a cada 16 dias. A resolução temporal refere-se à periodicidade com que o sistema sensor adquire imagens da mesma porção da superfície terrestre. A seqüência temporal dos sistemas varia de acordo com os objetivos fixados para o sensor. Por exemplo, os satélites meteorológicos são programados para fornecer informações em períodos curtos de tempo, pois se dedicam a observar um fenômeno muito dinâmico

(movimentação das nuvens e das massas de ar), por esta razão sua resolução temporal é de 30 minutos, como os satélites Meteosat e GOES, ou de 12 horas como o do satélite NOAA. Os satélites de recursos naturais oferecem uma periodicidade muito maior, pois não há uma coleta de informações de fenômenos tão dinâmicos como os meteorológicos. Assim, a resolução temporal destes satélites está entre os 16 dias do LANDSAT e os 31 dias do ERS.

A Resolução Radiométrica mede a sensibilidade do sensor em detectar diferentes níveis de intensidade de radiação, ou seja, trata-se da capacidade de um determinado sensor em diferenciar os níveis de intensidade dos sinais que chegam ao satélite. Assim, quanto maior a resolução radiométrica maior será a quantidade de níveis de brilho que o sensor poderá distinguir.

Ainda nesse contexto, é importante ter clara a definição de Pixels, que são imagens elementares ou elementos de resolução do terreno, aos quais se encontram associados os valores de energia refletida pelos alvos neles contidos. Em geral, o valor atribuído a um pixel corresponde à soma dos valores de energia refletida pelos elementos que os compõem.

3.4.2 Satélites em operação

A energia radiante emitida pelo Sol, após atravessar a atmosfera, atinge a superfície terrestre (água, vegetação, estrada, prédios e etc), sofre interações, produzindo uma radiação de retorno, que se propaga novamente pela atmosfera e atinge o sensor do satélite, onde é detectada. Essa radiação de retorno é transformada em sinais elétricos que correspondem às variações de energia da cena original. Esses sinais elétricos são transmitidos e registrados nas estações de recepção de dados terrestres, onde ficam armazenados.

Para captar essa radiação de retorno oriunda da terra, atualmente existe em operação uma série de satélites, cada qual possuindo sensores com períodos e resoluções diferentes, e assim atendendo a diferentes necessidades. A grande maioria desses satélites tem suas imagens disponibilizadas em sites da internet, alguns grátis e outros, mais detalhados ou com precisões maiores, pagos.

Dentre os mais famosos, pode-se citar o LANDSAT 5, o qual orbita a uma altitude de 705km e período de revisita (resolução temporal) de 16 dias. Suas principais aplicações, sendo dados da EMBRAPA, são no(a):

- Acompanhamento do uso agrícola das terras;
- Apoio ao monitoramento de áreas de preservação;
- Atividades energético-mineradoras;
- Cartografia e atualização de mapas;
- Desmatamentos;
- Detecção de invasões em áreas indígenas;
- Dinâmica de urbanização;
- Estimativas de fitomassa;
- Monitoramento da cobertura vegetal;
- Queimadas Secas e inundações;
- Sedimentos em suspensão nos rios e estuários.

Imagens deste e de outros satélites podem ser obtidas na página do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), acessando <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

O satélite com a melhor resolução operando atualmente é o Geosy-1. Ele possui, segundo seu catálogo, a maior exatidão posicional do mercado com CE90 de 5,0m. Isso significa dizer que, 90% dos pontos dentro da imagem terão erro de exatidão posicional máximo de 5,0m, considerando-se a imagem bruta.

Apenas a fim de citações, lista-se outros satélites de sensoriamento remoto: Theos, SPOT, Rapid Eye, Digital Globe, QuickBird, WorldView e Ikonos.

3.4.3 Softwares de geoprocessamento

Uma vez adquirida a imagem, o próximo passo é realizar o geoprocessamento da mesma, que consiste no tratamento da imagem em relação a cor, nitidez, tons de cinza, preenchimento de bordas, destaque de elementos e etc. A fim de atender um determinado propósito.

O termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem

influenciando de maneira crescente as áreas como de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações e etc.

As ferramentas computacionais para geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica GIS - sigla em Inglês para SIG -, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Um dos principais softwares de geoprocessamento utilizados no Brasil, o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geográficas) é um SIG que possui funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

O SPRING é um software de produção nacional, sendo um projeto do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e da DPI (Divisão de Processamento de Imagens) com a participação ainda da EMBRAPA/CNPTIA (Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura), da IBM Brasil, da TECGRAF - PUC Rio e da PETROBRÁS/CENPES. Sendo disponível para download no website <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>.

Esse programa tem como objetivos principais:

- Construir um sistema de informações geográficas para aplicações em Agricultura, Floresta, Gestão Ambiental, Geografia, Geologia, Planejamento Urbano e Regional.
- Tornar amplamente acessível para a comunidade brasileira um SIG de rápido aprendizado.
- Fornecer um ambiente unificado de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para aplicações urbanas e ambientais.
- Ser um mecanismo de difusão do conhecimento desenvolvido pelo INPE e seus parceiros, sob forma de novos algoritmos e metodologias.

Além do SPRING, há uma série de softwares disponíveis para geoprocessamento, cada um possuindo ênfase em alguma aplicação específica e singularidades próprias. Foi feita uma lista com os principais softwares disponíveis, com o respectivo website onde podem ser baixados ou comprados, assim como encontrar maiores informações:

- GDAL/OGR - <http://www.remotesensing.org/gdal/>
- MultiSpec - <http://cobweb.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>
- MapServer - <http://mapserver.gis.umn.edu/>
- Grass Gis - <http://grass.itc.it/index.html>
- Terra View - <http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.html>
- Quantum GIS - <http://qgis.org>
- Proj4 - <http://www.remotesensing.org/proj>
- JTS Topology Suite - <http://www.vividsolutions.com/jts>
- Terra Lib - <http://terralib.dpi.inpe.br/portugues.html>
- Geotools - <http://www.geotools.org>

3.4.4 O Google Earth

Nos últimos anos tem-se presenciado a massificação do geoprocessamento. Com o lançamento de ferramentas como o Google Earth, o WikiMapia e o Google Maps Engine, qualquer pessoa, mesmo que não entenda nada de geoprocessamento, pode ter acesso a mapas de qualquer região do mundo que aliam imagens de satélite, GPS e modelos em 3D.

A Microsoft possui também a sua solução de visualização do Globo terrestre em 3D, chamado de Virtual Earth (hoje denominado Bing Maps). A NASA oferece o NASA World Wind um globo virtual destinado ao segmento de pesquisadores. Outra aplicação existente é o Arc globe da Environmental Systems Research Institute (ESRI) com o Arc Globe, um visualizador de dados em 3D.

O Google Earth possui ferramentas específicas de topografia para a criação, por exemplo, de plantas altimétricas e para modelagem 3D de qualquer ponto na superfície terrestre. Mesmo não sendo trabalhos de boa precisão, esses podem ser úteis em projetos preliminares, permitindo uma visão geral do terreno de modo a planejar o método mais

adequado de levantamento para determinada área, observando elementos como vias de acesso, densidade da vegetação, presença de rios e etc.

3.4.5 Aplicação em aeródromos

Na norma GE.01/101.75/00950/03[2] faz-se referência ao uso de imagens de satélites para a realização do levantamento topográfico expedido. Este levantamento constitui a base para estudos gerais, a escolha das áreas e o estabelecimento de projetos preliminares. Sua utilidade é evidente, pois indica a situação geral e permite estabelecer um esboço que facilitará a escolha do local mais adequado para a implantação, por exemplo, de um aeródromo.

É um levantamento que deverá proceder ao levantamento topográfico regular sempre que houver dúvida quanto à escolha de um local, pois, sendo um trabalho de custo reduzido e executado em prazo curto tem como finalidade principal acarretar economia de tempo e financeira no estabelecimento de projetos definitivos.

Este processo expedido normalmente é executado através do levantamento com bússola, passômetro, teodolito de pouca precisão, trenas e etc., ou empregando-se o Método Estereoscópico com utilização de fotografias aéreas e imagens de satélite.

4 Conclusões

Serviços de topografia representam menos de 1% dos gastos em grandes obras, porém os resultados gerados no levantamento possuem enorme responsabilidade sobre todas as etapas posteriores no projeto. Logo, é fundamental que essa etapa seja realizada com a melhor acuidade e precisão possível, não sendo admissível que se utilize de procedimentos rudimentares havendo técnicas bem mais apuradas disponíveis no mercado.

É fundamental que o conhecimento gerado nesse trabalho seja difundido no meio da construção civil, principalmente com aquele que lidam diretamente na área de topografia, a fim de que seja incentivado no Brasil esse “salto tecnológico” em relação ao modo de se realizar levantamentos.

Deve haver um imediato investimento por parte do COMAER na aquisição dessas tecnologias e na formação de pessoal para manuseá-las, principalmente em aparelhos de varredura laser aerotransportada. Uma vez que a FAB já possui aeronaves e helicópteros, é um grande desperdício não utilizar dessa frota como suporte para essa técnica que pode revolucionar os serviços de levantamentos de pistas já existentes ou no planejamento de novos aeródromos, principalmente em áreas de difícil acesso na região Amazônica.

Recomenda-se que haja uma imediata adaptação das normas em vigor (NBR 13133[1] e GE.01/101.75/00950/03[2]), a fim de que sejam abrangidas as modernas técnicas e equipamentos mostrados.

5 Recomendações para trabalhos futuros

Prosseguimentos deste trabalho poderiam ser feitos no sentido de fazer uma orçamentação do preço dos equipamentos, da manutenção, da mão de obra, e calcular de maneira objetiva os custos necessários para a implementação de cada tecnologia dentro de uma empresa.

Para o caso do COMAER, sugere-se que seja feito um trabalho específico abordando os benefícios econômicos e produtivos caso fosse proposto um reaparelhamento de seus equipamentos topográficos.

6 Referências bibliográficas

- [1] **NBR 13133 – Execução de Levantamento Topográfico.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994.
- [2] **GE.01/101.75/00950/03 – Memorial de Critérios e Condicionantes – Infra-estrutura / Topografia.** Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária, 2003.
- [3] VEIGA, L.A.K. **Topografia Automatizada.** Curso de Especialização Em Geotecnologias – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 61f.
- [4] GRANEMANN, D. **Estabelecimento de uma Rede Geodésica para o Monitoramento de estruturas: estudo de caso na Usina Hidrelétrica Salto Caxias.** Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.
- [5] DINATO, A. CARLOS. **Análise do perfil longitudinal e transversal de pistas de pouso e decolagem com a utilização do GPS em aeroportos do DAESP.** Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2001.
- [6] NASCIMENTO JÚNIOR, J. O. ; SCHULER, C. A. ; CAVALCANTE, R. B. DE S. **Sistema Laser Scanner.** Artigo apresentado no Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju, 2011.
- [7] GONÇALVES, RODRIGO. **Dispositivo de varredura 3D terrestre e suas aplicações em engenharia, com ênfase em túneis.** Dissertação de mestrado - Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2009.
- [8] WUTKE, J. DIAS. **Métodos para avaliação de um sistema laser scanner terrestre.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

[9] TOMMASELLI, A. M. G. **Um Estudo Sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamentos 3D a Curta Distância**. GEODÉSIA Online - Revista da Comissão Brasileira de Geodésia.

[10] CENTENO, J.A. SILVA ; MITISHITA, E. APARECIDA. **Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR**. Artigo apresentado no Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007.

Websites:

<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>, acessado em 08/2013

<http://www.leica-geosystems.com.br> , acessado em 09/2013

<http://www.riegl.com/>, acessado em 09/2013

<http://www.trimble.com/>, acessado em 09/2013

<http://www.aleziteodolini.com/>, acessado em 10/2013

<http://www.litholdoengenharia.com.br/>, acessado em 10/2013

<http://www.embrapa.br/>, acessado em 11/2013

<http://www.garmin.com/en-US>, acessado em 11/2013

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

¹ CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	² DATA <p style="text-align: center;">21 de novembro de 2013</p>	³ REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/TC-072/2013</p>	⁴ N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">76</p>
⁵ TÍTULO E SUBTÍTULO: <p>O uso de tecnologias modernas em levantamentos topográficos de obras de infraestrutura aeroportuária.</p>			
⁶ AUTOR(ES): <p>Felipe Kunz Corrêa</p>			
⁷ INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): <p>Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA</p>			
⁸ PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: <p>Topografia, Estação Total, Sistema GPS, Sensoriamento Remoto, Escaneamento Terrestre.</p>			
⁹ PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: <p>Topografia; Aeroportos; Tecnologias; Sistema de posicionamento global; Sensoriamento remoto; Engenharia aeroportuária; Engenharia civil.</p>			
¹⁰ APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Dr. Eugênio Vertamatti; coorientador: Tenente-Coronel Marco Antonio Carnevale Coelho. Publicado em 2013.</p>			
¹¹ RESUMO: <p>É indispensável para todo profissional da área de engenharia civil, e principalmente aqueles que lidam diretamente com a área de topografia, manter-se atualizados com as mais recentes e modernas tecnologias existentes no mercado. O Brasil, de uma maneira geral, carece de investimentos em equipamentos e know-how de utilização de técnicas de automação topográfica, tais como o uso de imagens via satélite, sistema GPS e sensoriamentos a laser, terrestre e aerotransportado. Tais avanços permitem uma significativa economia de tempo e pessoal nos serviços de campo, além de uma qualidade avançada na geração de cartas topográficas. Este trabalho apresenta um histórico das técnicas e equipamentos utilizados na topografia, e apresenta as informações essenciais para o entendimento e futuro uso das novas tendências nessa área, de modo a atualizar os profissionais nas técnicas modernas da topografia.</p>			
¹² GRAU DE SIGILO: <p>(X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO</p>			