

# UMA ABORDAGEM GEODÉSICA DE TÉCNICAS ÓPTICAS DE MEDIÇÃO TRIDIMENSIONAL PARA DETERMINAÇÃO E TRANSPORTE DE ALTURAS EM ÁREAS DE RISCO

*A geodesic approach to three-dimensional measurement optic techniques for determination of movements and transport of heights in areas of risk*

ANDREA DE SEIXAS <sup>(1)</sup> ;  
 ADMILSON DA PENHA PACHECO <sup>(2)</sup>  
 LUIS AUGUSTO KOENIG VEIGA <sup>(3)</sup>  
 DANIEL PEROZZO DOS SANTOS <sup>(5)</sup>  
 PEDRO LUIS FAGGION <sup>(4)</sup>

<sup>(1,2)</sup> Universidade Federal de Pernambuco

<sup>(3,4,5)</sup> Universidade Federal do Paraná

aseixas@gmx.net; admilpp@ufpe.br; faggion@ufpr.br ; kngveiga @ufpr.br ;  
 danielperozzo@hotmail.com

## RESUMO

Neste trabalho, trata-se de métodos da Geodésia Aplicada relacionados com técnicas ópticas de medição tridimensional aplicadas à determinação de deslocamentos verticais e transporte de alturas a partir de instrumentação geodésica moderna. Considera-se a importância e a necessidade do estudo de métodos geodésicos de posicionamento tridimensional a partir de sistemas de medição polar à base de teodolitos. Considerando as exigências atuais para aplicações industriais decorrentes de maior rigor geométrico de construção/operação de máquinas e eficácia no controle de riscos operacionais e de meio ambiente, os métodos de medição geodésicos convencionais necessitam de automação para serem empregados. Tal é o caso, por exemplo, dos requisitos para o aumento da rapidez e da precisão assim como da diminuição de custos das medições associadas ao controle de qualidade. A obtenção dos deslocamentos verticais, assim como o transporte de alturas, poderão ser realizados com o emprego do método do nivelamento geométrico, como também, através da transferência de altura do teodolito, do método polar, do método das linhas de grade e procedimentos derivados do nivelamento trigonométrico. Para medições angulares de direções e de distâncias, com base em interseção a vante e medição polar, são potencialmente úteis -principalmente em ambientes restritos ou aplicações não convencionais de

monitoramento- teodolitos apontador e identificador, taqueômetro eletrônico e taqueômetro identificador. De um modo geral, classificam-se estes sistemas à base de teodolitos, como sistema de medição híbrida, os quais possuem um funcionamento manual (sistema manual) ou são adaptados com motores (sistemas motorizados) para o seu funcionamento completamente automático. Vale ressaltar a importância da pré-análise e das observações de campo em rede geodésica tridimensional como referência ao posicionamento preciso dos objetos em estudo, afim de que possam ser estudados e analisados tanto os deslocamentos verticais como o transporte de alturas, buscando desta forma soluções mais apropriadas para a estabilidade das construções e diminuição dos riscos decorrentes.

**Palavras Chave:** Técnicas ópticas de medição tridimensional, deslocamento vertical, sistema manual, sistema motorizado e métodos geodésicos de posicionamento tridimensional.

### ABSTRACT

This work deals with methods of applied geodesics related to three-dimensional measurement optic techniques applied to determine vertical movements and transport of heights through modern geodesic instrumentation. It considers the importance and necessity for the study of geodesic methods of three-dimensional positioning, by polar measurement systems based on theodolites. It considers the current demands for industrial applications resulting from the need for greater geometrical precision in the construction industry and in the operation of machines and efficiency in the control of operational and environmental risks, conventional geodesic measurement methods need to be automated to be able to be employed. Such is the case, for example, of the requirements for an increase in speed and precision as well as a reduction of measurement costs that are associated to quality control. The acquisition of vertical movement as well as the transport of heights can be carried out by using the geometric levelling method as well as through transference of theodolitic height. By the polar method, grid line method and procedures derived from trigonometric levelling. For angular measurements of directions and distances, based on advance intersection and polar measurement, they are potentially useful-principally in restricted surroundings or in no conventional monitoring applications - pointing and video theodolites, electronic tacheometry and video tacheometry. In a general way, these systems are based on theodolites, as the hybrid measurement system, which have manual functioning (manual system) or are adapted to motors (motorized systems) for completely automatic functioning. The importance of pre-analysis and field observations are worth emphasizing, in three-dimensional geodesic network as reference to precise positioning of the objects under study, so that they can be studied and analysed as much for vertical movement as height transport. Thus searching for more appropriate solutions for stability of buildings and therefore a reduction in construction risks.

**Key words:** Three-dimensional measurement optic techniques, vertical movement, manual system, motorized system and geodesic methods of three-dimensional positioning.

## 1. INTRODUÇÃO

A Metrologia que é a “Ciência de Medição” no Ramo da Geodésia Aplicada à Engenharia, é uma ferramenta de grande atuação no levantamento, no projeto, na locação, no controle, no monitoramento de estruturas e de suportes de edificações e de máquinas. Estas medições exigem os conhecimentos básicos e experiências dos métodos de construção e de emprego de equipamentos geodésicos.

Os crescentes progressos na área de micromedições, com base em instrumentação geodésica, são perceptíveis através do instrumental de medição de direções, ângulos e distâncias, por meio de sensores, estes adaptados as diferentes circunstâncias de construção e autocontrole. Este instrumental vem incentivar o desenvolvimento de novas técnicas e métodos de medição tridimensional, objetivando assim, o aumento do grau de automação, da flexibilidade do sistema e de controle na medição. Como exemplo pode-se citar o controle geodésico de risco na exigência de uma precisão planimétrica e altimétrica de  $\pm 0,1\text{mm}$  para distâncias de até 1km na locação de componentes de estruturas que requerem um maior cuidado.

As circunstâncias de medição de desníveis, assim como o modo de determinação (instrumentação empregada) dos pontos, motivaram o desenvolvimento dos denominados Sistemas de Medição Híbrida. Estes sistemas permitiram acuracidades comparadas com o nivelamento geométrico clássico de altíssima precisão (e.g. precisões de até 0,02mm em 80m de visada, empregado normalmente no controle de risco urbano). O emprego de técnicas tridimensionais de posicionamento através de sistema de medição à base de teodolitos apresenta grandes vantagens com respeito ao método clássico do nivelamento geométrico, principalmente quando o ambiente de trabalho envolve vibrações, já que os teodolitos são mais adequados a estes ambientes do que os níveis automáticos. Isto é muito comum em ambiente industrial quando o objeto de medição contém máquinas acopladas a sua estrutura ou quando sua estrutura está sujeita a algum tipo de variação de carregamento em um determinado intervalo de tempo. Outra vantagem é quando os pontos a serem observados estão em diferentes elevações. Os teodolitos possibilitam, neste caso, visadas inclinadas aos pontos de medição.

O objetivo da medição de deslocamentos verticais é de determinar a mudança de nível de um objeto de prova com respeito ao seu redor, como função do tempo. O deslocamento vertical poderá ocorrer sobre a influência de forças externas e internas. A determinação de alturas tem assim, como objetivo interligar diferentes objetos, possibilitando a análise temporal de deslocamentos verticais da área de estudo como um todo.

Prejuízos tanto humanos, quanto ambientais e econômicos vêm incentivar o desenvolvimento de sistemas de segurança, incluindo-se neles, dentre outros, os sistemas de medição e de informação apoiados a dados georreferenciados.

Até o momento foram desenvolvidos aparelhos de medição altamente precisos e automáticos, bem como métodos de medição adaptados à alta tecnologia industrial. O crescente aumento das exigências na qualidade, e confiança sobre o controle e o monitoramento de regiões de alto risco exigem também, o desenvolvimento e a integração de métodos de medição do tipo “on-line”.

A pré-análise e as observações de campo em rede geodésica tridimensional como referência ao posicionamento preciso de objetos, como os acima descritos são de grande importância. Neste caso, podem ser estudados e analisados tanto os deslocamentos verticais como o transporte de alturas, buscando assim, soluções mais apropriadas para a estabilidade das construções.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar fundamentos geodésicos/metrológicos (teóricos e experimentais) e métodos ópticos para a determinação de deslocamentos verticais e transporte de alturas à base de sistemas de medição compostos exclusivamente por teodolitos e estações totais (taqueômetros eletrônicos) de caráter manual e/ou motorizado, trazendo definições de possíveis sistemas de referências e orientações dos mesmos. As características de distinção entre os métodos apresentados servirão como subsídio para uma pré-seleção da metodologia a ser utilizada.

## 2. CONCEITOS BÁSICOS

Antes da descrição dos Sistemas e dos métodos envolvidos neste trabalho é necessário o esclarecimento de alguns conceitos básicos.

### **Sistemas de Medição Híbridos**

Um Sistema de Medição Híbrido é composto por pelo menos dois sensores diferentes, que sincronizados, determinam grandezas de medição através de diferentes princípios (SCHLEMMER, 1997).

Um taqueômetro, por exemplo, é um sistema sensor que associa medições goniométrica e distanciométricas. Para automatizar a medição, o sistema poderá ser equipado com uma câmera CCD acoplada à sua luneta. O controle do eixo principal segundo a vertical é realizado por um sensor disposto longitudinal e, muitas vezes, também transversalmente à projeção horizontal do eixo de colimação que avalia a direção do vetor de gravidade local. Sobre este aspecto a definição para um sistema de medição híbrido poderá ser estendida e ao mesmo tempo delimitada da seguinte forma:

Sistemas de medição híbridos são sistemas multi-sensoriais automatizados voltados para o posicionamento e para a identificação do objeto. Com respeito ao resultado das medições as grandezas de medição obtidas por cada sensor deverão complementar, apoiar e controlar umas as outras (SCHLEMMER, 1997).

### **Deslocamento vertical**

É uma variação de posição sofrida no objeto ou pelo objeto na direção vertical. Pode se tratar de deslocamento ou deformação em consequência, por exemplo, de uma variação de carregamento em uma estrutura. Quando o sentido do deslocamento é para baixo, diz-se que houve um recalque positivo na estrutura. Quando o sentido do deslocamento é para cima, diz-se que houve uma elevação ou recalque negativo.

### **Medições Geodésicas em Áreas de risco**

São medições realizadas em áreas poluídas, degradadas, desmatadas e áreas instáveis sujeitas a deformações (de formas e deslocamentos) mensuráveis por métodos geodésicos de predição, nocivas ao homem e ao meio ambiente [DE SEIXAS, 2005].

### **Sistemas manuais e sistemas motorizados**

Quando o direcionamento da luneta sobre o alvo é manual, este Sistema é definido como manual. Caso contrário o Sistema é definido como motorizado, ou seja, o direcionamento da luneta sobre o alvo é motorizado. Quanto ao processo de leitura goniométrica, ela poderá ser analógica ou digital. Sistemas automáticos são Sistemas motorizados, onde o fluxo de dados é transmitido diretamente do instrumento para o sistema computacional. Taqueômetros eletrônicos da nova geração, por exemplo, oferecem a possibilidade de procura e do acompanhamento automático do ponto visado na forma de alvo.

### **Medições relativa e absoluta**

Geralmente distingue-se entre medições relativas de deslocamentos (controle da posição relativa de um ponto-objeto) e medições absolutas de deslocamentos (determinação dos movimentos dos pontos-objeto com respeito a pontos fixos de referência normalmente externos a área de trabalho).

### **Medição zero**

Para a comparação de variações (mudanças), exige-se o conhecimento de uma situação de referência, fixada através de uma medição denominada de medição zero.

### **Frequência da Medição e distribuição de pontos**

De acordo com o procedimento de deslocamento vertical cada ponto poderá ser observado continuamente ou descontinuamente. A quantidade dos pontos, diferenciados entre pontos-objeto e pontos de referência (FERREIRA, T.S. et al., 2004), e a distância entre os mesmos deverá ser escolhida, de modo que o deslocamento vertical do objeto possa ser determinado, livre de erros.

## **3. TÉCNICAS DE MEDIÇÃO ÓPTICA E TRIDIMENSIONAL**

São técnicas, com base nos métodos da Geodésia, Topografia, Fotogrametria e/ou Videogrametria, empregadas para determinar as coordenadas tridimensionais de alvos, normalmente pontos-objeto (FERREIRA, T.S. et al. 2004), sejam eles estáticos ou cinemáticos.

Existem, na atualidade, aparelhos de medição automáticos de alta precisão, baseados em métodos de medição adaptados à alta tecnologia e condições específicas do ambiente industrial. O crescente aumento das exigências na qualidade e confiança sobre o controle e o monitoramento de grandes espaços, por exemplo, áreas de alto risco, exigem também o desenvolvimento e a integração de métodos de medição do tipo “on-line”, onde o gerenciamento dos sistemas de medição acontecem interligados e de modo automático.

Nos itens seguintes descreve-se sobre os componentes de alguns Sistemas (sensores e acessórios) e os respectivos métodos geodésicos para determinação de deslocamentos verticais e transporte de alturas .

### **3.1 Sistemas ópticos de medição híbrida**

Os sistemas distinguem-se através:

- dos seus componentes;
- do método de medição (determinação das observáveis);
- do controle de suas medidas;
- do direcionamento do eixo de visada sobre o alvo (manual ou motorizado).

Neste item, pretende-se mostrar diferentes possibilidades de determinação de deslocamentos verticais e/ou transporte de altitude ou cotas, abordando-se a precisão e os principais componentes dos sistemas de medição.

#### **3.1.1 Sistemas manuais**

##### **(a) Sistema de medição à base de um nível autocompensador**

O nivelamento de alta precisão é realizado com um nível e duas miras verticais de invar. O sistema é composto por um nível de luneta, onde a direção da vertical é realizada com um pêndulo autocompensador, nos níveis automáticos - introduzido pela primeira vez em 1950 com o Ni2 da ZEISS, (TORGUE, W., 2003), e nos níveis mecânicos através de um nível tubular, projetado para o observador na forma de uma bolha bipartida.

Níveis digitais foram introduzidos com o NA2000 da WILD (INGENSAND, H., BOECKEN, B., 1990). As leituras são realizadas neste caso sobre miras de invar gravadas em código binário (código de barras). A imagem da mira é projetada sobre uma câmera CCD colocada no plano-imagem da luneta do instrumento.

A precisão dos nivelamentos está condicionada:

- Ao tipo do tripé;
- As miras e aos suportes;
- Aos métodos e procedimentos de medição para a eliminação de erros sistemáticos;
- Às condições ambientais (temperatura, insolação e terreno).

Os levantamentos de alta e altíssima precisão requerem instrumentos (níveis) que para 1km de nivelamento duplo apresentem  $\sigma_h$  menor ou igual a 1mm e menor ou igual a 0,5mm respectivamente (KAHMEN, H., 1997).

**(b) Sistema de medição polar à base de um teodolito eletrônico**

Este Sistema foi desenvolvido e testado para transportar a altura do teodolito como uma técnica de medição industrial de alta precisão (OBIDOWSKI, R.M. et al., 1997). Esta técnica foi proposta inicialmente por Rueger e Brunner em 1982. O sistema mede apenas ângulos verticais (zenitais) direções sobre uma mira de invar na posição vertical de 3 metros de comprimento com dupla graduação. A vantagem deste método em detrimento ao método do nivelamento geométrico está na grande automação, flexibilidade e no controle de erros.

O Sistema é formado por quatro partes:

-Um teodolito eletrônico T2002 (LEICA);

-Uma mira invar (KERN);

-Um programa computacional para controle das medições e automação da coleta implementado em um palmtop;

-Um porta-alvo consistindo em dispositivo de centragem forçada para suporte da mira. A mira é colocada em cima de modo que o sistema corrigirá automaticamente a diferença de altura entre a base da mira e o ponto.

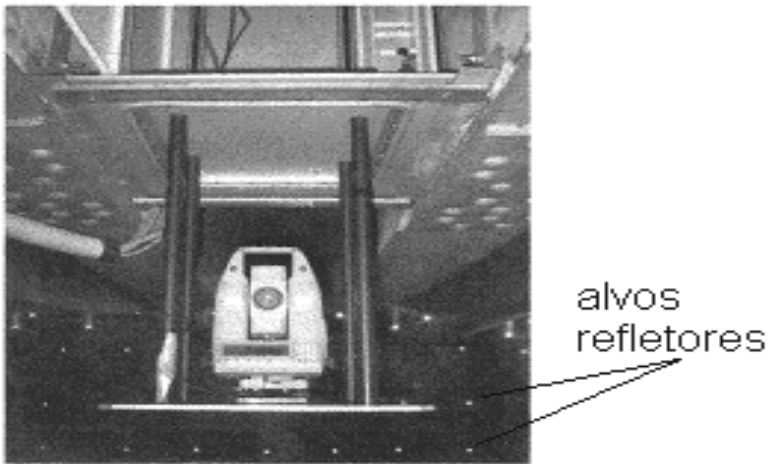
A acurácia deste método está correlacionada diretamente à precisão do comprimento da mira e de sua graduação, atingindo precisão equivalente à do nivelamento geométrico para distâncias de até 15m. A acurácia de uma medição chega a atingir em condições de laboratório 0,015mm para uma distância de 6m. Este sistema tem uma maior ênfase nas aplicações industriais (por exemplo: alinhamento de eixos de turbina e estabilidade de fundações).

### 3.1.2 Sistemas motorizados

**(a) Sistema de medição polar com base em um taqueômetro eletrônico identificador com centragem forçada em uma plataforma motorizada**

Este Sistema é completamente automático formado por um taqueômetro identificador de alvos motorizado tal como o TCA 1800 da LEICA, instalado sobre uma plataforma telescópica, como forma de proteção ao vandalismo, conforme o exemplo apresentado na Figura 01. Junto ao sistema de medição do exemplo, encontra-se uma estação meteorológica de monitoramento de temperatura, pressão atmosférica e umidade. Os pontos-objeto são representados por 180 pontos materializados com prismas refletores em forma de grade sobre os pilares de uma ponte. Este sistema de medição tem o objetivo de medir continuamente a deformação sofrida por uma ponte (NIEMEIER, W., 2000). A exatidão da medição requerida do monitoramento dos pontos é igual ou melhor que 1 mm.

Figura 01 - TCA 1800 (LEICA) centralizado a uma plataforma telescópica (HEINERT, M.; REISER, S., 2003)



**(b) Sistema de medição polar à base de um teodolito apontador e de um teodolito identificador**

Um sistema de medição polar à base de teodolitos pode ser composto por um teodolito apontador e um teodolito identificador. Define-se teodolito apontador, como um teodolito que projeta marcas de alvo ao longo do seu eixo de colimação. O teodolito identificador, por sua vez, localizará e medirá os alvos projetados. Um sistema de aparelho deste tipo trabalha no módulo chamado “master-slave”. O instrumento “master” (o teodolito apontador) projeta um ponto a laser sobre o objeto, e o instrumento “slave” (o teodolito identificador) mede o ponto projetado pelo teodolito apontador.

Vídeo-teodolitos (teodolitos identificadores) acoplados a um computador são empregados para a captura de dados referenciados espacialmente de cenas de tamanho pequeno ou grande, e de cenas estáticas ou cinemáticas. Um vídeo-teodolito possui no seu sistema óptico uma câmera CCD. Os eixos horizontal e vertical, os quais comportam a luneta e a câmera CCD, são conduzidos por motores controlados por um sistema computacional. As imagens serão referenciadas espacialmente com exatidão quando são combinados dois ou mais destes teodolitos.

Testes experimentais (DE SEIXAS, A., 2001) mostraram que: (a) o método de medição por interseção a vante empregando o teodolito apontador TCA1800 e como teodolito identificador um TM3000VD possui uma precisão melhor que 0,1mm; (b) os pontos de interseção das linhas de grade com a superfície plana de um objeto utilizado como referência poderão ser determinados com uma precisão



tridimensional menor e/ou igual a 0,1mm; (c) estes resultados são independentes do algoritmo de medição empregado; e (d) o critério de parada deve ser escolhido maior que a precisão de medição (neste caso melhor que 0,1mm). Os testes foram realizados até uma distância de 30m, porque acima desta distância as marcas projetadas pelo teodolito apontador não puderam ser identificadas pelo teodolito identificador. Nestes experimentos foi empregada uma ocular a laser (DL3 da LEICA).

### **(c) Sistema de medição polar à base de um taqueômetro eletrônico**

Este sistema visa o emprego do nivelamento trigonométrico, utilizando o método de visadas iguais, o qual possibilita a minimização dos efeitos provocados pelas principais fontes de erro inerentes ao método, que são: medida da altura do instrumento; da altura do sinal; da refração atmosférica; e da curvatura da Terra. Buscando atingir precisão de primeira ordem com alto rendimento e baixo custo (FAGGION, P.L. et. al., 2003).

A metodologia tradicional do nivelamento trigonométrico foi adaptada, com o intuito de eliminar a medição da altura do instrumento e do refletor, tornando o sistema de medição capaz de ser empregado em trabalhos de transporte de altura de primeira ordem. O sistema é composto por:

- uma estação total TC2002 LEICA,
- dois bipés de mesma altura cada qual com um prisma acoplado.

As únicas observações que influenciam na determinação do desnível, passam a ser a distância inclinada entre a estação e o refletor e a distância zenital. As visadas aos prismas são realizadas automaticamente nas duas posições da luneta.

Segundo testes realizados (FAGGION, P.L. et.al., 2003) foi possível atingir uma diferença de nível de 2,9 mm em uma distância de 751,42 m entre nivelamento e contra-nivelamento sobre uma rede de caráter científico na UFPR (campus III). Obteve-se assim um resultado melhor do que o exigido pela primeira ordem, que é de  $4mm\sqrt{k}$ , sendo  $k$  a média da distância nivelada e contra nivelada em quilômetro (conforme a resolução PR número 22 do IBGE).

## **3.2 Métodos Geodésicos para determinação de deslocamentos verticais e transporte de alturas**

Dependendo do princípio de medição são empregados, respectivamente níveis, teodolitos apontador e identificador, taqueômetro eletrônico e taqueômetro identificador. De um modo geral, classificam-se os sistemas à base de teodolitos, como Sistemas de Medição Híbrida, os quais possuem um funcionamento manual ou são adaptados com motores para o seu funcionamento completamente automático (cf. item 2).

A descrição dos métodos a seguir está de acordo com os Sistemas de medição apresentados no item anterior (item 3.1).

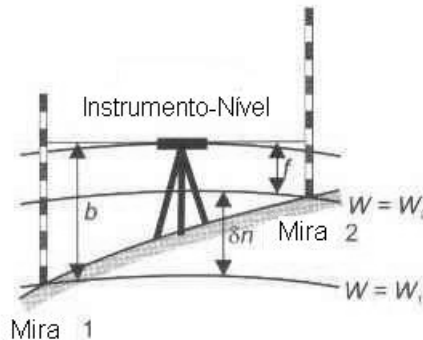
### (a) Método do nivelamento geométrico (clássico)

Com o nivelamento geométrico são determinadas, através de visadas horizontais, as diferenças de altura (desníveis) entre pontos próximos uns aos outros.

A diferença de altura  $\delta n$  entre os dois pontos sobre os quais as miras estão verticalmente colocadas é dada pela diferença entre a leitura denominada de ré e a leitura denominada de vante (Figura 02).

A distância entre o nível e a mira é fixada entre 30m a 40m. O nível é instalado no centro entre as duas miras. Minimiza-se desta forma os erros de ajuste, tais como: não paralelismo entre o eixo de colimação e o eixo do nível tubular assim como do compensador horizontal, e influência sistemática da refração. As leituras são realizadas sobre duas partes da mira com o emprego de uma placa plano-paralela e seu correspondente parafuso micrométrico.

Figura 02 - Nivelamento geométrico (Adaptado de TORGE, W., 2003)



Na verdade, o que se obtém é a separação (distância) entre as duas superfícies equipotenciais  $W_1$  e  $W_2$  (figura 02), supostas paralelas, que passam pela base das duas miras. Em tese, o que duas superfícies equipotenciais têm de constante entre elas é a diferença de potencial e não a distância. Assim, conclui-se que o nivelamento geométrico fornece resultados que dependem do trajeto percorrido (FREITAS & BLITZKOW, 1999).

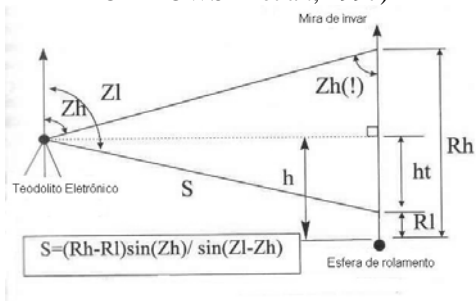
### (b) Nivelamento trigonométrico pelo método da transferência de altura do teodolito

O método requer a medição de ângulos zenitais a duas divisões da mira. A figura 03 mostra a geometria do método.

A marcação da mira deverá ser escolhida de modo a ser grosseiramente simétrica com respeito ao instrumento. As observações são dois ângulos zenitais  $Z_h$  e  $Z_l$  a duas graduações da mira, possibilitando a diferença de altura  $h$  entre o

teodolito e o porta-alvo. A altura  $h$  pode ser expressa facilmente como função dos elementos geométricos da figura 03, sendo  $S$  a distância inclinada do centro do instrumento a mira. Este método permite o controle dos ângulos zenitais  $Z_h$  e  $Z_l$  como mostrado na figura acima.

Figura 03 - geometria de transferência de altura do teodolito (Adaptada de OBIDOWSKI et al., 1997)



### (c) Método polar

Um exemplo de aplicação do Método Polar está apresentado na Figura 04. Para a verificação da posição do instrumento são medidos quatro pontos de controle materializados a distâncias de 20 a 100m. Antes de cada época do monitoramento o sistema determina estes quatro pontos e através da interseção a ré é determinada a posição atual do instrumento de medição. Um software específico (no caso o programa da LEICA APSWin) controla o taqueômetro, coleta os dados e transfere os mesmos através de uma conexão a um computador próximo da ponte monitorada. Os parâmetros de refração, erros dos eixos e escala da rede são determinados através da programática PANDA (NIEMEIER, W., TENGEN, D., 1988).

Três vezes ao dia são medidos através do método polar automatizado os 180 pontos-objeto materializados por refletores nas paredes dos pilares.

### (d) Método das linhas de grade

É um método para a medição de formas e mudanças de formas que tem uma elevada flexibilidade, quando a superfície do objeto, durante a medição zero (época 0), e durante as sucessivas medições, é interceptada com linhas de grade de um sistema de coordenadas. Linhas de grade são linhas de direções constantes; podendo ser definidas em diferentes sistemas de coordenadas tridimensionais, se duas coordenadas são mantidas constantes (DE SEIXAS, A., 2004).

As linhas de grade poderão ser definidas teoricamente (por exemplo, em um modelo CAD) ou no contexto de uma medição zero. Na Figura 05 são, por exemplo,

definidas linhas de grade  $y$  (reta  $g$ ), se as coordenadas  $x$  e  $z$  forem mantidas constantes.

Figura 04 - Rede de controle com os pontos 1001 a 1004 (HEINERT, M.; REISER, S., 2003)

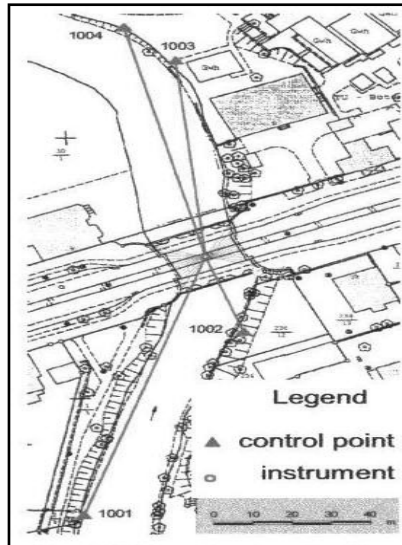
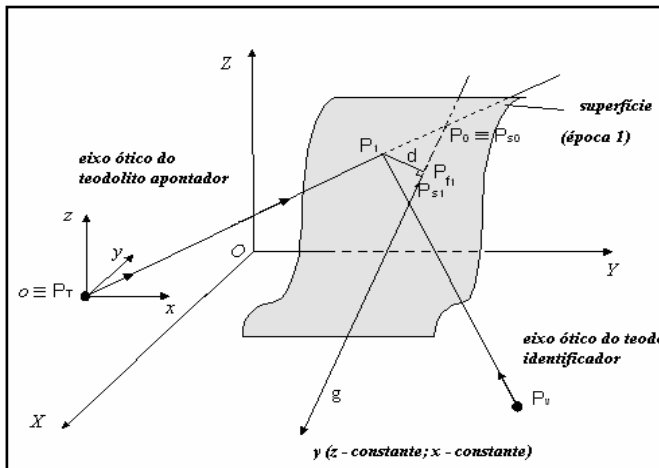


Figura 05 - Geometria do método das linhas de grade a partir da interação a vante espacial



A linha de grade intercepta a superfície do objeto durante a medição na época 0 na posição  $P_{s0}$  (s representa posição exigida, 0 representa medição zero) e durante a medição de repetição na época 1, depois da ocasionada mudança de forma; a linha de grade passou a interceptar a mesma superfície na posição  $P_{s1}$ . Durante a primeira medição de repetição o ponto  $P_{s0}$  será visualizado com o sistema de medição. Caso o sistema de medição seja constituído por um taqueômetro apontador, serão determinadas, ao contrário deste, as coordenadas de  $P_1$  a partir da estação  $P_T$  através do método polar.

Por causa das mudanças de forma, o sistema de medição encontra agora a superfície do objeto na posição  $P_1$ . O segundo teodolito estacionado em  $P_V$  (Figura 5) procura o ponto-objeto  $P_1$  e através da interseção a vante serão determinadas as suas coordenadas. Então  $d$  é a distância entre  $P_1$  e seu correspondente ponto  $P_{f1}$  definido perpendicularmente sobre a linha de grade.

O método de linhas de grade realizar-se-á, quando as direções Hz e V do teodolito em  $P_T$  forem continuamente reposicionadas (semelhante a um sistema de comando - e - controle), até que a distância perpendicular  $d$  do ponto  $P_1$  da linha de grade y (Figura 05) for zero ou demasiadamente pequena (desprezível), ou seja, menor que um intervalo de precisão dado.

Foram apresentados em de Seixas (2001) quatro métodos buscando a solução do método das linhas de grade: o método das secantes, o método da bisseção, o método do gradiente e o método de Newton.

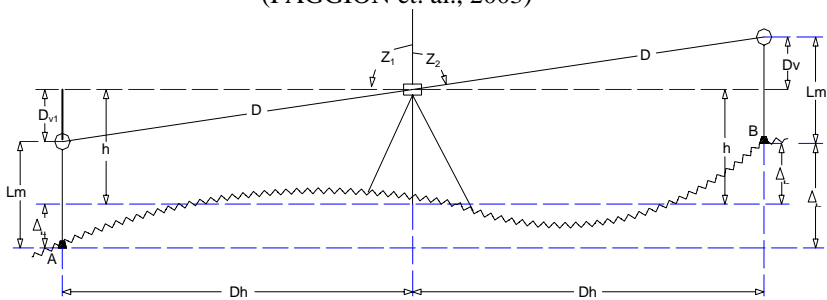
### **(e) Método nivelamento trigonométrico**

Inicialmente, instala-se sobre as RRNN, entre as quais se deseja determinar o desnível, dois bipés de mesma altura. Estes sustentarão os refletores que farão a devolução do sinal de medida da distância entre emissor e refletor, e servirão também como alvo para a medida do ângulo zenital. A estação total será instalada em uma posição que seja possível visualizar os dois refletores posicionados em ré e vante. Atuando desta forma, será possível determinar o desnível entre os alvos sem considerar a altura do refletor (se os mesmos estiverem na mesma altura) e do instrumento, uma vez que este é mantido na mesma posição para determinar o desnível de ré e de vante (FAGGION, P.L. et. al., 2003).

Porém se a estação total for instalada no centro do lance será possível também minimizar os efeitos da curvatura da terra, refração atmosférica e das condições ambientais (temperatura, umidade e pressão atmosférica), uma vez que estes efeitos são proporcionais às distâncias.

A figura 06 representa o método adaptado do nivelamento trigonométrico com visadas iguais.

Figura 06 - Nivelamento trigonométrico método de visadas iguais  
(FAGGION et. al., 2003)



Onde:

$D_{V1}$  = distância vertical em A;

$D_{V2}$  = distância vertical em B;

$L_{m1} = L_{m2}$  = altura do sinal;

$D_i$  = distância inclinada entre a estação e o refletor;

$D_{hi}$  = distância horizontal entre a estação e o refletor;

$h_i$  = altura do instrumento;

$Z_i$  = distância zenital;

$\Delta_{hl}$  = desnível entre a estação total e a RN A.

Os testes realizados utilizando esta metodologia demonstraram resultados compatíveis com nivelamento geométrico de precisão, para visadas iguais e menores de 150m, quando se utiliza uma estação total com precisão nominal de 5 segundos, nas medições angulares e (3mm + 3ppm) nas medições das distâncias. Quando se utiliza visadas maiores e com comprimentos diferentes a influência da refração atmosférica é significativa, principalmente na medição do ângulo vertical. Aos interessados em maiores informações sobre o assunto recomenda-se o trabalho de GOMES (2006).

#### 4. SISTEMAS DE REFERÊNCIA E ORIENTAÇÃO DOS SISTEMAS

Uma região de estudo é caracterizada geometricamente por um sistema de referência constituído por um sistema de coordenadas e por um campo de pontos dentro de um espaço constituído por zonas estáveis e instáveis.

A determinação dos deslocamentos verticais e transporte de alturas, somente será possível quando os sistemas de referência forem devidamente definidos, de forma que os mesmos pontos observados possam ser estudados em um mesmo

sistema de referência, devidamente otimizado, ao longo do tempo (DE SEIXAS, A. et.al.,2003).

A definição de sistemas de referência dependerá da geometria do objeto e do objetivo a ser alcançado. Em geral a determinação espacial de um objeto é realizada de vários pontos das estações, ocupados pelos instrumentos (Figura 07). Suas coordenadas deverão ser referenciadas a um sistema de coordenadas superior. Um apropriado sistema de coordenadas do objeto será empregado, caso o objeto tenha uma forma geométrica típica: cubo, esfera, cilindro ou outro formato qualquer.

O sistema de referência de medição (sistema de coordenadas do aparelho) é o elemento chave para a interligação entre os diferentes campos de pontos (DE SEIXAS, A., 2004). Um sistema de coordenadas superior abrange toda área de levantamento. Dentro desta área poderão existir vários objetos, podendo cada um, estar definido em um apropriado sistema de coordenadas do objeto. A figura 07 mostra um exemplo de uma configuração geométrica de campo de pontos definidores do Sistema de referência (DE SEIXAS, A., et. al., 2005) onde:

A, B e C discretizam o campo de pontos de referência do Sistema de coordenadas superior;

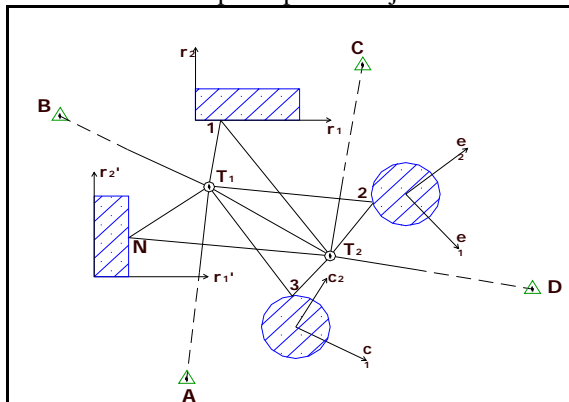
$T_1, T_2$  discretizam o campo de pontos de referência do Sistema de coordenadas de medição do aparelho;

1, 2, 3 e N discretizam o campo de pontos-objeto dos diversos Sistemas de coordenadas do objeto;

$r_1, r_2, r_1', r_2', c_1, c_2, e_1, e_2$  definem os eixos dos Sistemas de coordenadas do objeto. Pois, r – Sistema cartesiano do objeto; c – Sistema cilíndrico do objeto; e – Sistema esférico do objeto.

Conceitos de campo de pontos poderão ser vistos em FERREIRA, T.S. et al. (2004).

Figura 07 - Sistemas de referência, campo de pontos de referência e campo de pontos-objeto



Acidentes ambientais vêm incentivar o desenvolvimento de sistemas de segurança incluindo-se neles, dentre outros, os sistemas de medição e os sistemas de informação apoiados a dados georreferenciados. A análise posicional e temporal de campo de pontos à base de um sistema de informação local, torna-se, desta forma, imprescindível para o pleno funcionamento (operacionalidade) deste sistema de segurança apoiado por monitoramento geodésico de diversos objetos.

## **5. BREVE ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS**

### **5.1 Vantagens e desvantagens**

Aquí, confronta-se o nivelamento geométrico e os demais métodos citados nas seções precedentes, procurando-se desta forma, citar algumas vantagens e desvantagens.

#### **- Nivelamento trigonométrico pelo Método da transferência de altura do teodolito**

A vantagem do método da transferência da altura do teodolito está (OBIDOWSKI, R.M. et. al. 1997):

1. No funcionamento on-line e automático para a detecção, redução e comando dos dados;
2. Na sensibilidade menor para erros oriundos de vibração do que os níveis à base de compensadores a pêndulo;
3. No controle de erros on-line e em tempo real e fornecendo o diagnóstico dos resultados;
4. Na grande flexibilidade de medição especialmente sobre superfícies desniveladas;
5. Na exatidão comparável a curtas distâncias de até 15m.

As vantagens em comparação às medições de distância eletrônica relativamente ao nivelamento geométrico são:

1. A acurácia para distâncias curtas, (Ex: para um arco de segundo angular a 10m corresponde a 0,05mm na acurácia da distância).
2. Poderão ser construídos alvos simples e com durabilidade maior;
3. Eliminação de erros da orientação de alvos;
4. Baixo custo de equipamento de medição.

A única desvantagem do método de transferência de alturas em comparação ao método de nivelamento geométrico é a queda na exatidão para distâncias acima de 15m.

#### **- Método polar**

A vantagem do método polar em detrimento ao método do nivelamento geométrico está na grande automação, flexibilidade e no controle de erros. A



desvantagem está em ainda não atingir ao nível de resolução requerido para trabalhos de alta precisão [cf. OBIDOWSKI, 1997 e NIEMEIER, 2000].

#### **- Método das linhas de grade**

Métodos de interseção a vante à base de teodolitos utilizando as linhas de grade oferecem acurácia comparável, mas são mais trabalhosos, requerem um maior número de medidas e tempo de análise, além de uma boa interação espacial e geométrica de redes. Além disso, são mais apropriados para a interligação com outros sistemas sensores.

#### **- Método do nivelamento trigonométrico**

A vantagem do método adaptado do nivelamento trigonométrico está em poder atingir precisão ao nível do nivelamento geométrico com alto rendimento. A generalização do método com respeito aos horários, novos alcances, entre outros parâmetros, está em fase de estudos [FAGGION, P.L. et. al. 2003].

### **5.2 Características dos métodos ópticos de medição híbrida**

Fazendo uma análise com relação aos diferentes métodos estudados, pode se dizer que além dos erros de construção do teodolito, têm-se os seguintes erros sistemáticos: Refração, vibração, temperatura, tipologia de alvos, verticalidade da mira, exatidão da graduação da mira, variação do nível do espelho d'água e variação de carga da estrutura, os dois últimos para o caso do método polar apresentado.

Estudos dos erros sistemáticos e acidentais são de fundamental importância. Os métodos apresentados mostraram soluções orientadas para minimização de erros sistemáticos de acordo com a geometria de medição realizada.

A precisão, o ordenamento de medição, o grau de automação e o alcance da medição, são características básicas para a escolha dos métodos de medição de deformação, e determinação de específicas áreas de estudo. A tabela 1 mostra em linhas gerais um resumo das principais características de distinção entre os métodos descritos neste trabalho.

Tabela 1 - Comparação entre os métodos de medição a partir de técnicas ópticas tridimensional

Características de distinção	Método do nívelamento geométrico	Método da transferência da altura do teodolito	Método polar	Método da linha de grade	Método adaptado do nívelamento trigonométrico
<b>Instrumentação</b>	Nível analógico Nível digital	Teodolito eletrônico	Taqueômetro identificador motorizado	Taqueômetro identificador motorizado ou teodolito apontador e teodolito identificador motorizado	Taqueômetro eletrônico motorizado
<b>Acessórios</b>	- Mira de nível - Suporte de mira - Tripé rígido	- Mira de nível de 3m - Suporte de mira - Tripé	- Sistema metecolônio - Prismas refletores - Plataforma telescópica motorizada	- Tripé industrial - Ocular a LASER	- Bipés com refletores - Tripés
<b>Número de instrumentos</b>	1	1	1	1, 2 ou mais	1
<b>Pontos-alvos</b>	Miras com dupla graduação	Mira de nível de 3m	Refletores	Pontos a LASER sobre marcas virtuais	Prismas acoplados aos bipés
<b>Observáveis</b>	Leituras da mira	ângulos zenitais	ângulos zenitais, horizontais e distâncias inclinadas	São determinados os centros de elipses	Leituras de ângulos zenitais e distâncias inclinadas
<b>Precisão</b>	Em 1km (duplamente nivelado) 0,5mm a 1mm	Equivalente ao do nivelamento geométrico para distâncias até 1,5m	De 1mm para distâncias até 10m	0,1mm para distâncias de 30m	Cerca de 3mm para distâncias de 750m

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trabalhos na área da construção civil e da indústria mecânica estão cada vez mais exigindo procedimentos automáticos para a medição e o monitoramento planialtimétrico e, em grande parte, altimétrico de componentes estruturais, assim como fundações de edificações e suportes/bases de máquinas. Por outro lado, novos sistemas de medição vêm sendo estudados e desenvolvidos com a finalidade do aumento da flexibilidade, da qualidade e do controle posicional.

Níveis e teodolitos motorizados trazem uma grande dinamicidade aos sistemas de posicionamento, além de permitirem o monitoramento contínuo de objetos, estruturas e obras. O ambiente de trabalho e a grandeza dos desníveis entre os pontos a serem monitorados caracterizam a escolha apropriada dos sistemas de medição: quando os pontos a serem observados estão mais próximos do plano horizontal, emprega-se de preferência o método do nivelamento geométrico; caso contrário, busca-se solucionar o problema com o emprego de sistemas de medição polar à base de teodolitos, como, por exemplo, aqueles apresentados neste trabalho. As atividades relativas à Geodésica Aplicada à Engenharia empregadas em áreas de risco podem, além dos sistemas sensores aqui apresentados, ser auxiliadas em áreas maiores, com certas restrições, com o emprego do Sistema GPS e como o emprego do Sistema GPR (RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO) conectado a técnicas GPS. Medições do nivelamento hidrostático, de grandezas elétricas de medidas dimensionais representam, por outro lado, opções complementares importantes.

Um sistema de informação de caráter local a ser desenvolvido seria capaz de identificar o melhor método geodésico para a determinação de deslocamentos verticais e seus correspondentes riscos em função do ambiente de trabalho, da materialização dos pontos, do desnível entre os mesmos e do alcance das medições. O principal desafio para os metrologistas em geodésia seria encontrar soluções geodésicas preditivas apropriadas para o controle de risco de cada problema identificado pelo sistema de informação com os menores custos. Isto requer a adaptação de diferentes sistemas de medição, o desenvolvimento de novos arranjos metodológicos e de novas técnicas de medição.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio financeiro do Programa CT INFRA PADCT/Cnpq UFPE/UFPR.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAIS - *Primeiro Simpósio Latino Americano de Risco Geológico Urbano*, São Paulo, 1998.
- FAGGION, P.L., VEIGA, L.A. K., FREITAS, S.R.C., PEROZZO, D. S. *Desníveis de primeira ordem com estação total*. In: *Novos Desenvolvimentos em Ciências*

- Geodésicas, Série em Ciências Geodésicas, Volume 3, ed. Edson Aparecido Mitshita - UFPR, 2003.
- FERREIRA, T. S., DE SEIXAS, A., ROMÃO, V. M., *Conceituação de campos de ponto na medição de deformação de objetos*. I SIMGEO 01 – 03 de setembro de 2004, Recife – PE.
- FREITAS, S.R.C., BLITZKOW, D., *Altitude e Geopotencial*. “IGeS Bulletin N.9, pp 47 – 62 – International Geoid Service, Milan, June 1999.
- GOMES, J. P., *Determinação de Desníveis de Precisão utilizando Estação Total*, Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.
- HEITER, M.; REINER, S., *Continuous building monitoring using adaptive kalman-filtering for real-time data screening and pre-processing..* <http://www.igp.tu-bs.de/institut/images/paper-fig.pdf>. Acesso em 31.07. 2005.
- INGENSAND, H., BOECKEN, B., *Automatic Location and Pointing Techniques in Local Positioning Systems*. Optical 3-D Measurement Techniques IV, Gruen/Kahmen (Eds.), Wichmann, 1997
- KAHMEN, H., *Vermessungskunde*, 19. A, 1997.
- NIEMEIER, W., KRAUS, B., MIIMA, J.-B., FLEBBE, H. *Bestimmung von 3D-Verformungen einer Bruecke mit motorisierten Tachymeter – Anforderungen, Systemaufbau, und Ergebnisse*, Schaedelbach/Schilcher (Eds.). Ingenieurvermessung 2000. Stuttgart, Germany: Verlag Konrad Wittwer p.122-132 , 2000.
- NIEMEIR, W., TENGGEN, D.. PANDA – A Menu Driver Software Package on a PC for optimization, Adjustment and Deformation Análisis of Engeneering Networks. Proc. 5. Int. FIG. Symposium “Deformationsmessungen”, Fredericton, Canada, 1988, p. 374-376.
- OBIDOWSKI, R.M. e TESKEY, W.F., *A high precision measurement technique for industrial applications*. Optical 3-D Measurement Techniques IV, Gruen/Kahmen (Eds.), 1997.
- RUEGER, J.M. and F.K. BRUNNER, *EDM Heihgt Traversing versus Geodetic Leveling*. The Canadian Surveyor, Vol. 36, No. 1, 1982.
- SCHLEMMER, H., *Hybride Vermessungssysteme – Grundlagen und Anwendungen*, Deutscher Verein fuer Vermessungswesen e.V. (DVW), , Wittwer, *Hybride Vermessungssysteme – ein Ueberblick*, Schriftenreihen 29/1998.
- DE SEIXAS, A., *Objektrekonstruktion mittels Gitterlinien-verfahren*. Austria, 2001. 128f. Tese (Doutorado em Geodésia aplicada à engenharia). Instituto de geofísica e geodésia aplicada. Departamento de geodésia aplicada à engenharia. Universidade Técnica de Viena.
- DE SEIXAS, A., FERREIRA, T., ROMÃO, V., BOTELHO, F., *Definição de sistemas de Referência no controle de qualidade de edificações*. In: Novos

- Desenvolvimentos em Ciências Geodésicas, p. 209-224. Série em Ciências Geodésicas, Volume 3, ed. Edson Aparecido Mitishita – Editora UFPR, 2003..
- DE SEIXAS, A., *Sistema de medição polar à base de teodolitos e definição do método das linhas de grade*. Revista Brasileira de Cartografia, v. 56/2, 2004.
- DE SEIXAS, A, BURITY, E.F. , *Geodésia Aplicada à medição e ao monitoramento de áreas de risco em sítios industrializados* , Anais do IV CBCG Curitiba Paraná, 2005.
- TORGE, W. , *Geodaesie, 2. Auflage* , de Gruyter Lehrbuch, 2003

(Recebido em setembro de 2006. Aceito em abril de 2007).