

# CONTROLE GEODÉSICO DE TRILHOS INDUSTRIAIS UTILIZANDO AUTOCOLIMAÇÃO ÓPTICA

*Geodetic Control of Industrial Lineament of Beam Track by Optical Autocollimator*

**Carlos Aurélio Nadal**<sup>1,2</sup>  
**Pedro Luis Faggion**<sup>1,2</sup>  
**Renata Purger Brasil**<sup>2</sup>  
**Vanessa Hilleshein**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> **Universidade Federal do Paraná – UFPR**

**Departamento de Geomática – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas**  
Centro Politécnico, Jardim das Américas. 81531-990 Curitiba-PR  
Caixa Postal 19001.  
cnadal@ufpr.br  
faggion@ufpr.br

<sup>2</sup> **Universidade Federal do Paraná – UFPR**

**Departamento de Geomática – Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica**  
Centro Politécnico, Jardim das Américas. 81531-990 Curitiba-PR  
Caixa Postal 19001.  
renata.pbrasil@gmail.com  
vanehil@hotmail.com

## RESUMO

Instalado no Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná encontra-se uma estrutura utilizada na calibração da graduação de miras verticais de invar, as quais são usadas em nivelamento geométrico de alta precisão (Faggion & de Freitas, 1996). Esta estrutura tem como componentes básicos: pilares, trilhos e carrinho de deslocamento do refletor móvel do interferômetro. Neste trabalho realizou-se o levantamento 3D por métodos topográficos e geodésicos dos trilhos com autocolimação, determinado-se as deformações horizontais e verticais dos mesmos. A autocolimação, que consiste em se observar simultaneamente a imagem de fendas reticulares iluminadas e os fios de retículo de um colimador, sendo a imagem das fendas obtida por reflexão da luz em um espelho plano. O colimador é acoplado em um teodolito de forma rígida permitindo a medida de deslocamentos angulares, que posteriormente são transformados em deslocamentos lineares. Os resultados obtidos neste método foram comparados aos determinados com o método nivelamento geométrico. Como produto final deste trabalho obteve-se um modelo digital tridimensional comparativo dos métodos. Conclui-se que este método de autocolimação pode ser aplicado na locação, monitoramento e controle de trilhos utilizados em indústrias.

**Palavras chaves:** Deformação de Trilhos, Autocolimação, Nivelamento Geométrico.

## ABSTRACT

There is installed at the Geodetic Instrumentation Laboratory of the Paraná Federal University a structure used for the calibration of high precision invar leveling rods (Faggion & de Freitas, 1996). This structure is composed of basic components such as pillars, trails and a small “vehicle” for moving the reflector of the interferometer. By using topographic and geodetic methods a complete 3D survey of the trails was done with self collimation, determining by this the horizontal and vertical deformations of it. Self collimation consists of simultaneous observation of an illuminated pictured crack with crosslines and the reticles of a collimator, being the picture of the crack got by the reflection of the light on a plane mirror. The collimator is fixed on a theodolite in a tight way allowing the measurement of angular displacements that later are transformed on linear displacements. The results of this method were compared with those determined by the Geometric Leveling method. As a final product of this work we got a 3D comparative

digital model of the methods. We conclude that this method of self collimation may be applied for placing, monitoring and control of industrial trails.

**Keywords:** Control of Industrial Trails, Self Collimation, Geometric Leveling Method.

## 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho foram realizados levantamentos por métodos topográficos e geodésicos de pontos situados nos trilhos que fazem parte de uma estrutura utilizada na calibração da graduação de miras verticais. Estas miras são usadas em nivelamento geométrico de alta precisão.

Pretende-se comparar os resultados entre o método de autocolimação e o método de nivelamento geométrico. Serão discutidos os métodos, resultados e efetivada a representação tridimensional dos trilhos.

## 2. METODOLOGIA UTILIZADA

### 2.1. Autocolimação óptica

O método de autocolimação consiste em se observar simultaneamente a imagem de fendas iluminadas e a imagem do retículo de um colimador, que é acoplado ao teodolito. A imagem das fendas iluminadas é resultante da reflexão em um espelho plano. Os deslocamentos angulares provenientes da não coincidência entre as imagens do retículo e da fenda iluminada são medidos com os limbos: horizontal e vertical de um teodolito onde o colimador é acoplado. Posteriormente, os deslocamentos angulares são transformados em deslocamentos lineares (Faggion, 2001). Na figura 1 mostra-se a estrutura de calibração de graduação de miras verticais do LAIG (Laboratório de Instrumentação Geodésica da UFPR).

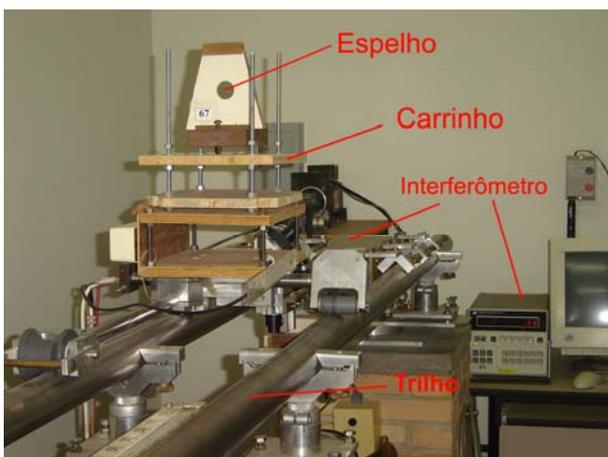


Figura 1 - Estrutura instalada no LAIG para calibrar a graduação em miras verticais

Como equipamentos são utilizados um colimador óptico com sistema de iluminação acoplado através de peça de fixação em um teodolito. Esta peça foi projetada e executada no LAIG, e permite a utilização do colimador em conjunto com um teodolito

óptico-mecânico de precisão, no caso o teodolito marca “Wild”, modelo T2, cuja precisão angular é de 1”.

O carrinho do sistema de calibração da graduação de miras é composto por três rodas que tocam os trilhos em três pontos, e permitem o deslocamento deste com o uso de servo-motores controlados por sistema computacional. Neste é acoplado um espelho do interferômetro e um sistema microscópico que permite a colocação de um retículo nas graduações de miras verticais utilizadas em nivelamento geométrico de alta precisão.

O Interferômetro Laser emite um pulso que é enviado aos espelhos do interferômetros (um fixo e outro móvel). Utilizando-se dos princípios da interferometria, permitem a determinação da distância com precisão do centésimo do milímetro (Faggion, 2001). A mesmo tempo sobre o carrinho é colocado um espelho plano, com espelhamento frontal, utilizado no método de autocolimação, usado também para se transformar os deslocamentos angulares em lineares, observados nas figuras 2 e 3 (Rüger, 1996); (Faggion, 2000).



Figura 2 – Sistema utilizado na autocolimação.

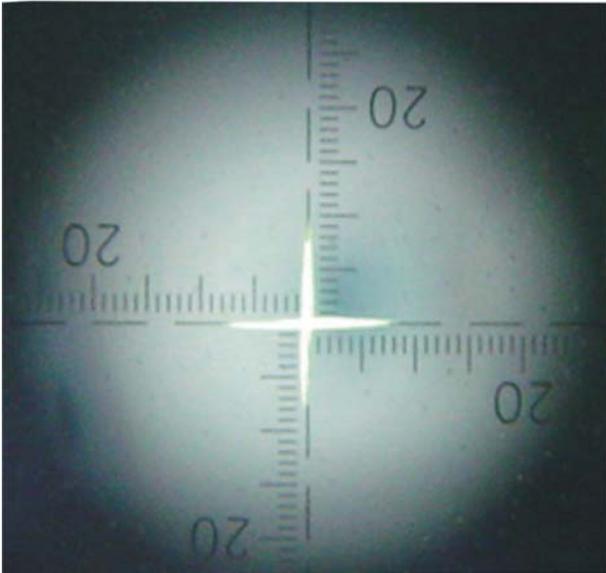


Figura 3 – Fotografia da reflexão das fendas iluminadas do colimador no espelho sobreposta a imagem dos fios de retículo.

Tecnicamente, a autocolimação consiste em projetar um sinal luminoso em forma de retículo para o infinito e receber a imagem após a reflexão em um espelho liso com espelhamento frontal. Esta imagem é trazida ao foco da lente objetiva em que o retículo da ocular fica situado. Assim, a imagem refletida e o retículo da ocular podem simultaneamente ser observados. Quando o feixe colimado incide em um espelho perpendicular à linha central do feixe, a luz é refletida ao longo do mesmo trajeto. Desta forma, o espelho está colocado perpendicularmente ao feixe de luz emitido pelo colimador (MILDEX, 2005). Estando focado o sistema de lentes para o infinito, os raios ópticos refletidos pelo espelho, reproduzem uma cruz no retículo como a imagem refletida no plano do retículo. Está técnica não depende da distância da pontaria, podendo ser medido até a distância em que seja possível receber o retorno do sinal luminoso. Se a imagem refletida coincide com o retículo, o plano do espelho está perpendicular à linha de visada (MILDEX, 2005).\*

A coincidência da imagem com retículo é feita utilizando os parafusos do movimento micrométrico do teodolito, fazendo-se em seguida observação das direções horizontal e vertical.

Estando focado o sistema de lentes para o infinito, os raios ópticos refletidos pelo espelho, reproduzem uma cruz no retículo como a imagem refletida no plano do retículo. Está técnica não depende da distância da pontaria, podendo ser medido até a distância em que seja possível receber o retorno do sinal luminoso. Se a imagem refletida coincide com o retículo, o plano do espelho está perpendicular à linha de visada (MILDEX, 2005).

## 2.2. Nivelamento Geométrico adaptado ao problema em estudo

O Nivelamento geométrico é um método, que permite a medida do desnível entre dois pontos topográficos, pela diferença de leituras das graduações ou de gravações de miras colocadas sobre os referidos pontos.

Utilizamos nesse trabalho o método de visadas iguais, isto é, o nível colocado a igual distância dos pontos, pois este método apresenta como vantagem a eliminação de erros sistemáticos provocados pelo não paralelismo entre o eixo de colimação óptico e o eixo do nível tubular (erro de colimação), erro devido a refração atmosférica e erro devido a não consideração da curvatura terrestre (WOLF & GHILANI, 2002).

Foi utilizado o nível marca “Wild” modelo N3, que possui uma placa em vidro óptico plano-paralelo, associado a um parafuso micrométrico, sendo os desníveis mensurados com este parafuso.

Para se determinar os desníveis, utilizou-se uma barra horizontal com um metro de comprimento, a qual possui dois alvos colados em suas extremidades (Faggion, 1993). A barra é colocada sobre o carrinho da estrutura de calibração do LAIG, paralela ao movimento ao longo dos trilhos, figura 4.



Figura 4 - Montagem de barra horizontal adaptada para o nivelamento dos trilhos.

## 3. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos pelo método de autocolimação e nivelamento geométrico são apresentados nos gráficos 1 e 2 sucessivamente, tendo sempre como origem início dos trilhos junto ao interferômetro.

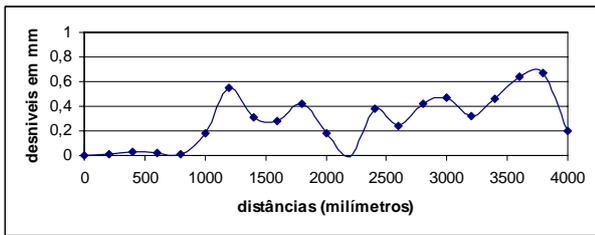


Gráfico 1 – Perfil longitudinal dos trilhos com o método de autocolimação

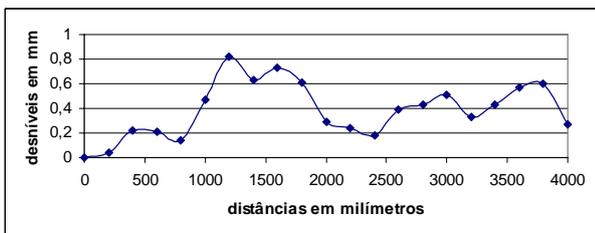


Gráfico 2 – Perfil longitudinal dos trilhos com o método de nivelamento geométrico

Efetou-se ainda, a determinação das coordenadas horizontais dos mesmos pontos em que foram levantados os desníveis por autocolimação.

Adotou-se um sistema de coordenadas tridimensionais dextrógiro com origem na posição início do trilho, com o eixo x na direção do deslocamento do carrinho, o eixo y apontando transversalmente aos trilhos e o eixo z na vertical apontando para o zênite (Nadal, 2000). Os deslocamentos horizontais do trilho foram determinados e são mostrados no gráfico 3. Este gráfico pode ser também interpretado como os desvios de alinhamento dos trilhos (afastamentos da reta que une os extremos dos trilhos).

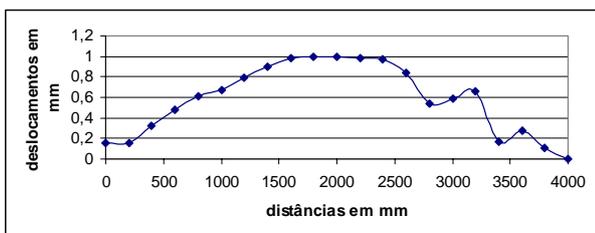


Gráfico 3 – Deslocamentos horizontais obtidos com o método de autocolimação.

Com as observações acima foi possível a modelagem tridimensional dos trilhos. Na figura 5 a seguir, mostra-se a representação dos trilhos que fazem parte da estrutura utilizada na calibração da graduação de miras verticais de invar no LAIG. Nota-se que esta representação é esclarecedora quanto aos deslocamentos observados.

Na figura 6 apresenta-se um outro ponto de vista com a totalidade dos deslocamentos.

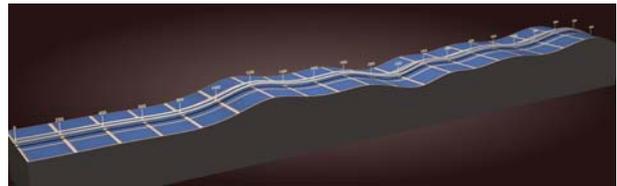


Figura 5 - Representação tridimensional de parte dos trilhos do LAIG



Figura 6 - Representação tridimensional dos trilhos do LAIG

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na comparação dos métodos aplicados para a determinação do desnível vertical pode-se observar um comportamento bastante similar. A diferença entre os resultados pode ser explicada pela essência dos métodos, pois na autocolimação determinam-se os desníveis de maneira indireta com utilização de relações trigonométricas, enquanto que no nivelamento geométrico obtém-se da forma direta (Faggion, 1993). Supõe-se, devido a este fato, que a ocorrência de erros no nivelamento geométrico é menor. Mesmo que pareça que a diferença mostrada nos gráficos seja considerável é bom lembrar que todos os deslocamentos são inferiores ao milímetro.

Uma avaliação pormenorizada desses resultados, juntamente com a inspeção dos trilhos, mostra que na posição 2000mm em x, encontra-se uma junção, pois no caso os trilhos do LAIG são montados em barras cilíndricas com comprimento nominal de 2m, aparece uma descontinuidade. Por ser o nivelamento geométrico um método direto para obtenção de desníveis, e a possibilidade de ocorrerem erros é menor, podemos considerá-lo como método mais indicado para tal atividade. Na figura 7 mostra-se a junção dos trilhos.



Figura 7 – Detalhe das junções dos trilhos, explicitada nos levantamentos efetuados.

O método de autocolimação é altamente competitivo e pode ser utilizado em trabalhos de Geodésia aplicada a Engenharia com alto grau de confiabilidade.

## REFERÊNCIAS

FAGGION, P. L. **Contribuição para a implantação de um sistema de aferição de miras de invar na UFPR**, Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba. 110p. 1993.

FAGGION, P. L.; DE FREITAS, S. R. C.. **Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná**. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, 21-23 abril, Anais, v3, pp.: 494-503. 1996.

FAGGION, P. L. **Determinação do Fator de Escala em Estações Totais e MED utilizando observações de campo e laboratório**, Revista Brasileira de Cartografia, Número 52, pp 20 – 28 , 2000.

FAGGION, P. L. **Obtenção dos elementos de calibração e certificação de medidores eletrônicos de distância em campo e laboratório**. Tese de Doutorado em Ciências Geodésicas – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 134p. Curitiba, 2001.

**MILDEX** – Modular Auto-collimator. Disponível em: <<<http://www.mildex.com/testequip/optitest/description.html>>>

<<[http://www.mildex.com/testequip/optitest/component\\_s1.html](http://www.mildex.com/testequip/optitest/component_s1.html)>> Acesso em: 25 nov. 2005.

NADAL, C. A. **Método da Interseção óptica tridimensional aplicado à Engenharia de Precisão**. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR. 2000. 116p.

RÜEGER, J. M. **Electronic distance measurement**. 3ª. Edição. Berlin: Springer-Verlag, 1996.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D. **Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics**. 10th ed. Prentice Hall. P. 418-425. 2002.