

PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEIS GEODÉSICOS DIGITAIS

SILVIO HENRIQUE DELLESPOSTE ANDOLFATO¹

PEDRO LUIS FAGGION²

LUIS AUGUSTO KOENIG VEIGA³

Universidade Federal do Paraná - UFPR

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - CPGCG

Sector de Ciências da Terra - Departamento de Geomática, Curitiba – PR

(¹) andolfato@utfpr.edu.br

(²) faggion@ufpr.br

(³) kngveiga@ufpr.br

RESUMO – Este trabalho trata de uma proposta de automação de níveis digitais, que vem sendo pesquisada numa pesquisa de doutorado. O trabalho descreve os níveis geodésicos digitais e propõe uma forma de automação dos mesmos. Propõe a utilização de motores de passo controlados por uma placa microcontroladora, que farão parte de uma plataforma de suporte a ser adaptada no instrumento, permitindo a movimentação e manuseio do nível digital. Realizou-se, também, um estudo sobre o código de barras utilizado pelo nível, com o objetivo de confeccionar alvos que serão utilizados em testes de monitoramento.

ABSTRACT - This work presents a proposal for the automation of digital levels, which is being investigated in a research of doctorate. The paper describes the digital levels surveying and proposes a form of automation of the system. It proposes the use of stepper motors controlled by a computer, which will be part of a support platform to be adapted to the instrument, allowing the movement and handling of digital level. There was also a study about the barcode used by level, aiming to manufacture targets that will be used in monitoring tests.

1 INTRODUÇÃO

Está em desenvolvimento um projeto de pesquisa de doutorado, vinculado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, cujo objetivo é automatizar o processo de coleta, processamento e análise dos desníveis, utilizando-se para tal, o nível geodésico digital DNA03 e um sistema de controle comandar o nível digital, objetivando a determinação de desníveis na região de interesse.

O nivelamento geométrico é uma técnica geodésica que permite a obtenção de desníveis entre pontos de monitoramento. Com a utilização do nível geodésico digital, e a sua automação, pretende-se atingir a precisão sub-milimétrica.

Contudo, como esta técnica necessita que operadores e auxiliares trabalhem diretamente no campo, muitas vezes eles podem estar em áreas consideradas de risco. Logo, a aplicação dos resultados desta pesquisa é de fundamental importância para evitar acidentes e agilizar o monitoramento de obras civis, tais como: usinas hidrelétricas, pontes, edificações urbanas, entre outras.

Apresenta-se neste trabalho, uma proposta de automação do nível geodésico digital DNA03, com a

construção de um dispositivo motorizado para o controle do instrumento, quer seja na pontaria dos alvos (miras) e na focagem dos mesmos, e também a confecção desses alvos, já que para o nivelamento digital utilizam-se as miras codificadas com código de barras.

2 NÍVEIS DIGITAIS

Os níveis digitais (Figura 1) possuem os mesmos componentes mecânicos e ópticos de um instrumento óptico automático, mas diferem destes no que diz respeito à forma de leitura. Esta se fundamenta na decodificação de um código de barras que substitui a graduação centimétrica nas miras convencionais. (VEIGA, 2002).

Estes instrumentos capturam e processam a imagem da mira codificada, fornecida por um sensor CCD interno ao equipamento, a qual é comparada com padrões gravados em sua memória, obtendo-se assim os dados que são disponibilizados no display (visor), podendo ser armazenados na memória interna do instrumento ou ainda copiados para um cartão PCMCIA.



Figura 1 – Níveis digitais NA3003 e DNA03, respectivamente

O código de barras da mira é armazenado no instrumento como sinal de referência. Durante a medição, a seção visível da mira no campo de visão é capturada pelo decodificador de linhas e interpretada como sinal de medição. Este, é posteriormente comparado com o sinal de referência e através disso é possível determinar a altura do plano horizontal definido pelo nível e o tamanho da visada.

De acordo com a NBR 13133, nivelamento geométrico é o nivelamento que realiza a medida da diferença de nível entre os pontos por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos.

Quanto a precisão, o IBGE, em sua Resolução PR nº 22 de 21 de julho de 1983, dita as especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos em território brasileiro. Nesta resolução, para a execução de nivelamento geométrico de alta precisão, a diferença máxima aceitável entre o nivelamento e contra-nivelamento de uma seção deve ser menor que $3 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$ e para uma linha $4 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$ (sendo k a média das distâncias niveladas e contra niveladas em quilômetros).

A NBR 13133 recomenda que para nivelamentos geométricos de alta precisão, devem ser observadas as especificações e normas do IBGE, citada acima. Já, a Associação Geodésica Internacional (IAG) recomenda $1 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$.

Em trabalhos de nivelamento geométrico, realizados pela equipe de pesquisadores da UFPR, vinculados ao Projeto Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança da Usina de Salto Caxias, utilizando níveis digitais, chegou-se a precisão de $0,5 \text{ mm} \cdot \sqrt{k}$, mostrando assim, a eficácia da utilização desses equipamentos em nivelamentos de alta precisão.

Apesar do GPS e outras técnicas alternativas para determinação de altitudes, o nivelamento clássico tem mantido sua importância, especialmente no domínio de nivelamentos de primeira e segunda ordem, de determinações de altitudes precisas e determinações de alturas em túneis. (SCHNEIDER & DIXON, 2002).

A idéia de desenvolver um sistema automatizado para a determinação de desníveis empregando-se níveis digitais, tem como um dos itens a serem trabalhados o entendimento de como é realizada a leitura do código de

barras gravado na mira, para que seja desenvolvido um dispositivo para realizar as leituras automaticamente.

ANDOLFATO et al (2007) realizaram alguns experimentos sobre o nível digital, obtendo informações a respeito do comprimento mínimo da seção visível na mira necessário para se fazer a leitura e do movimento do micrômetro de ajuste do foco em função da distância nível-mira, obtendo-se os resultados mostrados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Intervalo mínimo da mira para medição com os níveis.

Distância nível - mira (m)	Intervalo na mira (cm)	
	DNA03	NA3003
5	11	13
10	18	26
15	29	41
20	62	48
25	53	57
30	50	70

Tabela 2 – Movimento aproximado em graus do micrômetro para ajuste do foco dos níveis.

Distância nível - mira (m)	Movimento (em ° - sentido horário)	
	DNA03	NA3003
5	0	0
10	30	24
15	36	36
20	43	42
25	48	47
30	50	48

3 PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO DO NÍVEL GEODÉSICO DIGITAL

3.1 Motor de passo

O motor de passo é um transdutor que converte energia elétrica em movimento controlado através de pulsos, o que possibilita o deslocamento por passo, onde o passo é o menor deslocamento angular.

A maioria dos motores gira a uma velocidade relativamente constante, enquanto outros deslocam-se por impulsos ou passos discretos. Os primeiros possuem apenas dois estados de operação (parados ou girando); os de passo exibem três: parados, ativados com rotor travado ou girando em etapas. Este movimento pode ser brusco ou suave, dependendo da frequência e amplitude dos passos em relação a inércia do motor.

O motor de passo consiste num motor DC de ímãs permanentes ou de relutância variável que apresenta as seguintes características de desempenho :

- a- rotação em ambas as direções;
- b- variações incrementais de precisão angular;
- c- repetição de movimentos bastante exatos;
- d- um torque de sustentação à velocidade zero e
- e- possibilidade de controle digital.

Neste trabalho, serão utilizados dois motores de passo (Figura 2), um para o movimento horizontal do nível digital (modelo AK57HY/5-1.8) e outro para o movimento de focalização da imagem da mira (modelo AK39H/12-1.8), ambos adquiridos da empresa Akiyama Tecnologia em Componentes Eletrônicos Ltda.

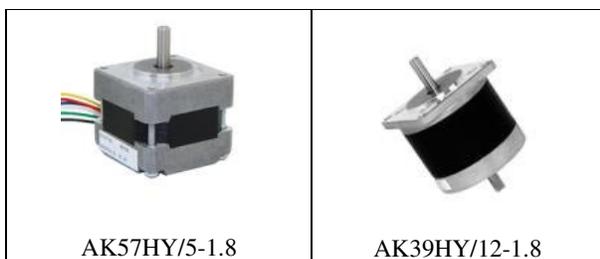


Figura 2 – Motores de Passo utilizados.

Alguns testes estão em desenvolvimento para um melhor funcionamento dos motores. A Tabela 3 descreve as características básicas dos motores envolvidos.

Tabela 3 – Especificações Técnicas dos Motores de Passo

ITEM	ESPECIFICAÇÃO	
	AK57HY/5-1.8	AK39H/12-1.8
Ângulo do passo	1.8	1.8
Nº de passos	200	200
Enrolamento	unipolar	Unipolar
Tensão nominal	5.0 Vdc	12.0 Vdc
Corrente	1.0 A/fase	0.1 A/fase
Holding torque	4.6 kgf.cm	1.1 kgf.cm
Detent torque	300 gf.cm	0.06 gf.cm
Inércia do motor	120 g.cm ²	48 g.cm ²
Peso	420 g	220 g
Rotação	150 ~ 1500 rpm	150 ~ 1500 rpm

3.2 Placa Microcontrolada para Automação do Nível Digital – PMAND

A proposta da Placa Microcontrolada para a Automação do Nível Digital (PMAND) será dividida em duas partes: a primeira para o microcontrolador (a) e a

segunda para a potência (b), conforme figura abaixo (Figura 3).

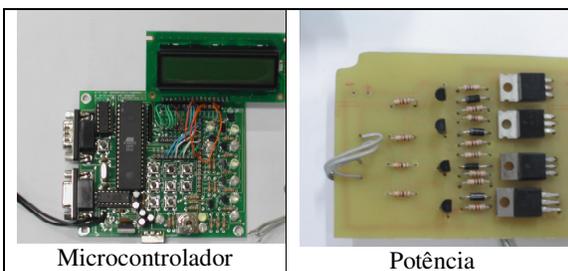


Figura 3 – Detalhe da PMAND

A placa é constituída por dois circuitos independentes de acionamento de motor de passo, ou seja, dois motores podem ser acionados por uma única placa. Cada circuito é composto por um CI lógico (STL297) que contém a seqüência de acionamento das fases, funcionando em modo *Full* ou *Half Step*, e por um CI de potência (STL298) que fornece a tensão e corrente necessária para o acionamento do motor.

Através da porta paralela, os motores serão controlados através da excitação por passo-inteiro. Toda a lógica deve ser exercida pelo computador inclusive a da ordem de excitação das bobinas.

3.3 Linguagem de programação – linguagem C

A programação de microcontroladores gerencia entradas e saídas digitais de forma que através de uma seqüência de bits, onde o microcontrolador entende que existe uma tecla acionada, fazendo com que um sensor seja ativado e, conforme a programação, este aciona saídas ligando os motores, acionando displays LCD e Led's.

Neste projeto, será utilizado várias teclas de entrada e como saída temos um display LCD, que faz a IHM (Interface Homem-Máquina), e o acionamento de dois motores de passo.

O programa será escrito em linguagem C, compilado para um arquivo hexadecimal, utilizando o compilador SDCC (freeware), e posteriormente será transformado para um arquivo binário e finalmente gravado no microcontrolador. O fluxograma do programa, mostrado abaixo, apresenta uma síntese do funcionamento do sistema (Figura 4).

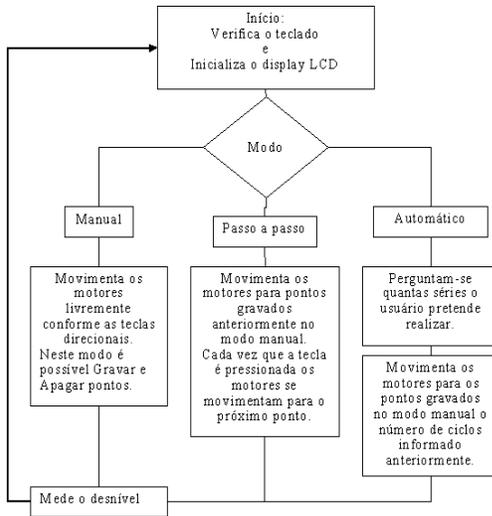


Figura 4 - Fluxograma do funcionamento do sistema de automação proposto.

3.4 Confeção da mira (alvos) codificada com código de barras

O código da mira é binário, pois consiste unicamente de elementos brancos e pretos. Um elemento mede somente 2,025 mm. O código de barra completo totaliza 2000 elementos sobre uma amplitude de 4050 mm. Tendo em conta que o código da mira se avalia mediante o método de correlação, se tem como padrão um código não periódico pseudoestocástico. Este código conta com características especiais que permitem aplicar o método de correlação em um intervalo compreendido entre 1,8 e 100 m. (Informe Técnico – LEICA).

Para checar as informações técnicas referente a mira codificada com códigos de barras, foi realizada uma comparação (calibração) da Mira de ínvar da Leica, modelo GWCL92, nº 9117, onde foram medidas as espessuras dos elementos de códigos pretos e brancos, realizadas no Interferômetro do Laboratório de Instrumentação Geodésica da UFPR -LAIG (Figura 5).

Primeiramente, partiu-se para a análise do código, verificando com auxílio de um paquímetro, as espessuras de cada elemento do mesmo, obtendo-se a seqüência entre os códigos pretos e brancos, tendo em cada espessura um múltiplo de 2,025 mm. Adotou-se a nomenclatura de “P” para o elemento de código preto e “B” para o branco, seguido do múltiplo “M” em questão. Como exemplo, tem-se:

- PM = elemento de Código Preto x Múltiplo de 2,025 mm (exemplo: P3 = Preto com espessura de 3x2,025, totalizando 6,075 mm);

- BM = elemento de Código Branco x Múltiplo de 2,025 mm (exemplo: B2 = Branco com espessura de 2x2,025, totalizando 4,050 mm).

A tabela 4 mostra as espessuras dos elementos de código encontrados na mira de ínvar.

Tabela 4 – Espessuras dos elementos de código, brancos e pretos, da mira de ínvar GWCL92, nº 9117 – LEICA.

Cd.	Esp.	Cd.	Esp.	Cd.	Esp.	Cd.	Esp.	Cd.	Esp.
Inic.	0	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P2	4050
B5	10125	P3	6075	B1	2025	P5	10125	B2	4050
P3	6075	B1	2025	P1	2025	B2	4050	P3	6075
B3	6075	P2	4050	B3	6075	P2	4050	B1	2025
P1	2025	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P4	8100
B3	6075	P1	2025	B2	4050	P1	2025	B3	6075
P1	2025	B3	6075	P1	2025	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P2	4050	B1	2025	P1	2025	B1	2025
P3	6075	B1	2025	P3	6075	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P1	2025	B2	4050	P2	4050	B2	4050
P2	4050	B2	4050	P2	4050	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P2	4050	B1	2025	P5	10125	B4	8100
P1	2025	B1	2025	P8	16200	B2	4050	P1	2025
B2	4050	P3	6075	B2	4050	P1	2025	B1	2025
P1	2025	B1	2025	P1	2025	B15	30375	P1	2025
B1	2025	P2	4050	B3	6075	P3	6075	B2	4050
P1	2025	B2	4050	P2	4050	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P3	6075	B1	2025	P1	2025	B2	4050
P2	4050	B1	2025	P1	2025	B2	4050	P3	6075
B1	2025	P2	4050	B4	8100	P1	2025	B1	2025
P1	2025	B1	2025	P2	4050	B6	12150	P11	22275
B1	2025	P1	2025	B2	4050	P2	4050	B1	2025
P1	2025	P2	4050	P1	2025	B1	2025	P1	2025
B2	4050	P1	2025	B2	4050	P4	8100	B2	4050
P2	4050	B3	6075	P1	2025	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P2	4050	B4	8100	P4	8100	B5	10125
P1	2025	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P2	4050
B5	10125	P2	4050	B3	6075	P1	2025	B3	6075
P2	4050	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P9	18225
B1	2025	P2	4050	B1	2025	P5	10125	B1	2025
P2	4050	B1	2025	P2	4050	B1	2025	P2	4050
B1	2025	P1	2025	B4	8100	P1	2025	B2	4050
P1	2025	B7	14175	P2	4050	B1	2025	P2	4050
B1	2025	P1	2025	B4	8100	P6	12150	B5	10125
P2	4050	B3	6075	P2	4050	B3	6075	P1	2025
B1	2025	P1	2025	B1	2025	P1	2025	B6	12150
P5	10125	B1	2025	P3	6075	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P1	2025	B1	2025	P1	2025	B5	10125
P3	6075	B2	4050	P3	6075	B1	2025	P2	4050
B2	4050	P1	2025	B1	2025	P1	2025	B2	4050
P2	4050	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P1	2025	B1	2025	P1	2025		
P2	4050	B2	4050	P1	2025	B8	16200	Tot.	886950

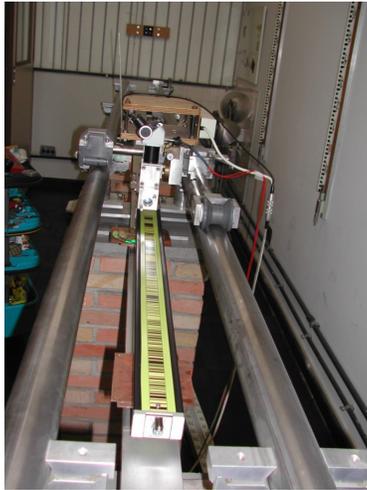


Figura 5 – Interferômetro utilizado.

Após desta checagem dos elementos de códigos brancos e pretos, foram desenhados estes elementos de código, utilizando o software AutoCad R14, disponível no Laboratório de Topografia Informatizada – LATIN, do CPGCG (Figura 6). As dimensões originais da fita de ínar da mira citada são de 2,100 mm de largura x 886,950 mm.

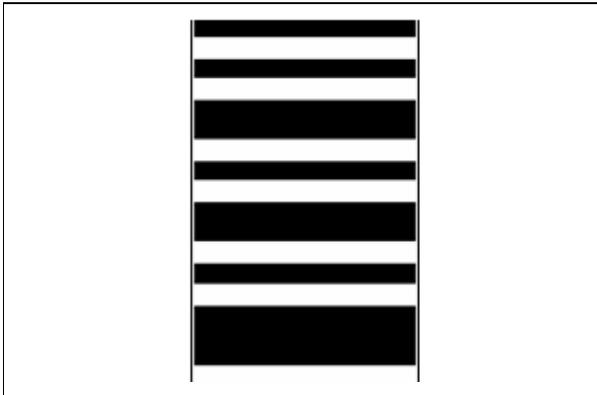


Figura 6 – Detalhe do desenho do alvo feito do Autocad.

Os elementos de códigos foram impressos (plotados) em papel sulfite e plastificados, para a confecção dos alvos a serem utilizados nos trabalhos de laboratório, visando obter a mínima deformação possível desse material.

Contudo, caso ainda haja alguma deformação nestes alvos, esta poderá ser desprezada, pois as leituras a serem realizadas pelo Nível Digital, serão comparadas relativamente uma as outras, eliminando assim, o efeito da deformação do material usado na plotagem dos elementos de código.

Para este teste, foram realizadas leituras com o Nível Digital DNA03, programado para se fazer a média de 3 leituras, em cada alvo. Na Ré, foi colocado a Mira original (Mira Leica GWCL92 N° 9117), servindo como

um *Bench Mark* e, nas Vantes 1 e 2, foram colocados os alvos com os elementos de código plotados, obtendo-se os desníveis $\Delta H1$ e $\Delta H2$ respectivamente ($\Delta H = Ré - Vante$), conforme Tabela 5.

As leituras dos alvos foram realizadas no laboratório LAIG, com os alvos dispostos como mostra a Figura 7, em temperatura ambiente de aproximadamente 22° C, em intervalos de 30 minutos.

Tabela 5 – Desníveis obtidos com os alvos confeccionados

Ré (fixa) (x 10 ⁻³ m)	Vante 1 (x 10 ⁻³ m)	$\Delta H1$ (x 10 ⁻³ m)	Vante 2 (x 10 ⁻³ m)	$\Delta H2$ (x 10 ⁻³ m)	Temperatura (° C)	Hora
53680	75842	-22162	47154	6526	21,6	14h15
53681	75843	-22162	47154	6527	21,9	14h45
53682	75843	-22161	47155	6527	22,0	15h15
53681	75842	-22161	47155	6526	22,0	15h45
53680	75842	-22162	47155	6525	22,1	16h15
53679	75840	-22161	47153	6526	22,0	16h45
53679	75840	-22161	47152	6527	22,0	17h15
médias						-
53680,28	75841,71	22161,43	47154,00	6526,28	21,9	-



Figura 7 – Disposição dos alvos no Laig: Ré (A) , Vante 1 (B) e Vante 2 (C)

Percebe-se neste experimento, que não houve variação significativa das leituras realizadas nos alvos com os elementos plotados, onde a variação da leitura está na ordem do centéssimo do milímetro, tanto nas leituras realizadas com a Mira original (Ré) quanto nos alvos confeccionados (Vantes 1 e 2), mostrando assim que estes alvos podem ser utilizados.

3.5 Plataforma para suporte do sistema de automação ao nível digital

Nesta etapa da pesquisa, pretende-se fazer a adaptação do sistema de automação ao nível digital, bem como alguns testes de funcionamento, tomando os cuidados necessários para a calagem do instrumento, fazendo com que esta plataforma não interfira no funcionamento do instrumento.

As figuras 8 e 9 mostram os componentes do sistema de automação proposto e a Figura 10 uma visão geral de todo sistema.

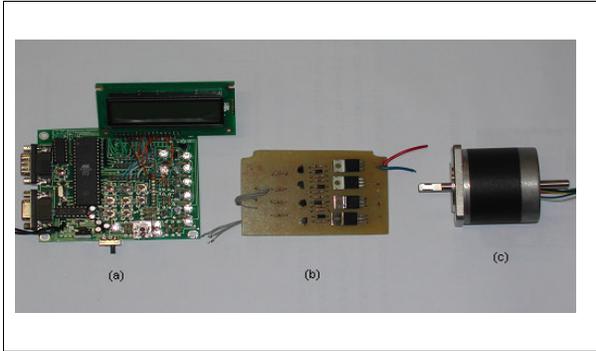


Figura 8 – Componentes do sistema de automação: placa microcontroladora (a), placa de potência (b) e motor de passo (c)

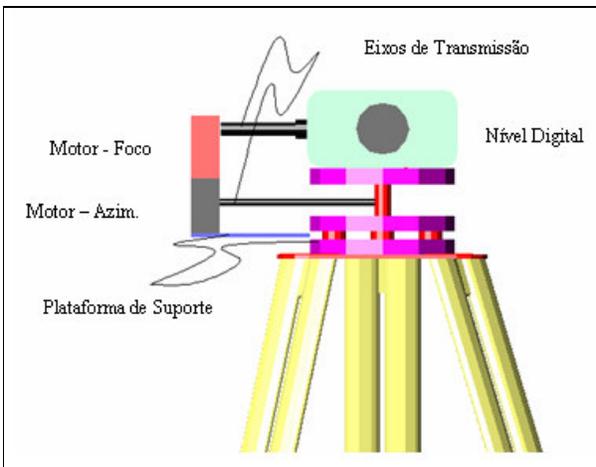


Figura 9 – Esquema demonstrativo da plataforma de suporte ao nível digital

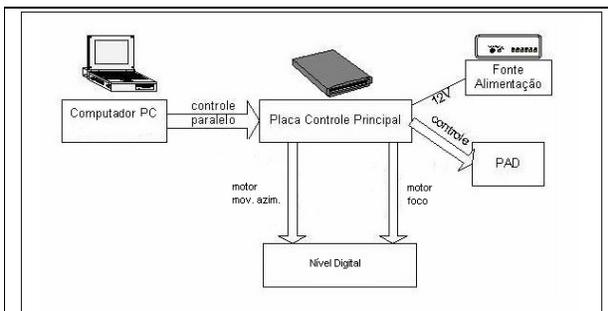


Figura 10 – Visão geral do sistema de automação do nível digital.

4 CONCLUSÕES

De acordo com Andolfato et al (2007), constatou-se que o comprimento mínimo necessário da mira com código de barras, considerando os dois equipamentos testados, foi de 70 cm, pois o intervalo máximo obtido pelo nível NA3003 foi de 70 cm para uma visada de 30 m e para o nível DNA03 foi de apenas 62 cm, para 20 m, fazendo com que o intervalo de 70 cm satisfaça ambos os equipamentos em uma distância nível-mira de no máximo 30 m.

Quanto ao movimento do micrômetro para ajuste do foco, mesmo considerando que para esta observação foi utilizado um sistema expedito de gradação, verificou-se que houve um giro de aproximadamente 50° no micrômetro. Este giro satisfaz ambos equipamentos para a visada de até 30 m, que de acordo com o manual técnico destes equipamentos, mesmo com uma ligeira desfocagem da imagem não influencia negativamente a duração e a precisão das medições. Em caso de grandes erros de focagem, a medição é interrompida. (LEICA, 2004).

Com relação aos alvos confeccionados (miras), pode-se dizer que a confecção dos mesmos, através da plotagem dos elementos de códigos pretos e brancos (código de barras), teve um funcionamento adequado, onde as leituras obtidas foram satisfatórias, considerando que o instrumento conseguiu realizar as leituras nos alvos confeccionados, devendo-se entretanto, imprimir tais alvos da melhor maneira possível, obtendo-se diversos alvos para serem utilizados em diversos pontos de interesse, como no caso de monitoramento de obras civis.

Quanto ao sistema de automação proposto, mostrou-se que a utilização de motores de passo, controlados por uma placa microcontroladora, juntamente com um software de comando, pode ser viável para a elaboração de um Sistema de Automação para Níveis Digitais, fazendo que o instrumento aponte e ajuste o seu foco nos alvos de interesse, de forma automática, buscando otimizar o trabalho de obtenção de desníveis entre pontos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho tem apoio e colaboração do Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG, junto ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, da Universidade Federal do Paraná – UFPR, através do projeto “Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança da Barragem de Salto Caxias”, da Capes com o auxílio da bolsa de estudos e da UTFPR pela liberação do afastamento para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANDOLFATO et al. **Primeiros Desenvolvimentos aplicados à Automação de Níveis Geodésicos Digitais**. In: Anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente-SP. 2007.

FAGGION et al. **Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança da Barragem de Salto Caxias**. Relatório Técnico-Científico. Vol 3 – Nivelamento e Gravimetria. UFPR, Departamento de Geomática. Curitiba-PR. 2006

FAGGION et al. **Monitoramento Geodésico da Usina de Salto Caxias**. In: Anais do III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens, p. 681-688. Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. São Paulo-SP, 2006.

GROVER, M. P. et al. **Robótica: Tecnologia e Programação**. São Paulo. Mecral-Hill, 1988.

IBGE. **Resolução PR nº 22 de 21 de julho de 1983**. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_normas.shtml>. Acesso: 30 de março de 2007.

INGENSAND, H. **Check of Digital Levels**. In: FIG XXII International Congress. Washington, D.C. USA, 2002.

LEICA. **DNA03/DNA10 - Manual do Usuário**. Versão 1.2 – Português. 2004.

MEDEIROS, Z. F. **Considerações sobre a Metodologia de Levantamentos Altimétricos de Alta Precisão e Propostas para sua Implantação**. Curitiba, 1999.142p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós Graduação em ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná.

PAZOS, F. **Automação de Sistemas e Robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2002.

SCHNEIDER, F., DIXON, D. **The New Leica Digital Levels DNA03 and DNA10**. In: FIG XXXII International Congress. Washington, D.C. USA, 2002.

VEIGA, L. A. K. **Sistema para Mapeamento Automatizado em Campo: Conceitos, Metodologia e Implantação de um Protótipo**. 2000. 201p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes. Universidade de São Paulo. São Paulo.

VEIGA, L. A. K. **Homogeneização de Dados Provenientes de Diferentes Níveis Digitais**. In: Anais

do Simpósio Brasileiro de Geomática. Presidente Prudente – SP, 2002.

VEIGA et al. **O Uso de Poligonais de Precisão para o Monitoramento de Pontos em Galerias de Drenagem: A Experiência na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias**. In: Anais do III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens, p. 287-295. Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. São Paulo-SP, 2006.