



GONIÔMETRO de ESPELHO BASEADO no DESLOCAMENTO LINEAR E ANGULAR DO ESPELHO

Ricardo Souza Brandão

PROJETO DE FORMATURA/2003



PROJETO DE FORMATURA / 2003

**GONIÔMETRO de ESPELHO BASEADO
no DESLOCAMENTO LINEAR E ANGULAR DO
ESPELHO**

ALUNO: Ricardo Souza Brandão

ORIENTADOR: Walter Kaiser

COORDENADOR: Carlos Márcio Vieira Tahan

Este trabalho foi apresentado no dia 09 de dezembro de 2003

Avaliadores:

Prof. Carlos Márcio Vieira Tahan

Prof. Luiz Cláudio Ribeiro Galvão

Prof. Marco Antonio Saidel

Dedico este trabalho aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Este projeto não seria possível sem a colaboração direta da seguintes pessoas:

Roberto Cândido Brandão.

Carla Bernardini de Araujo.

Vinicius de Martin.

Engº Rinaldo Caldeira Pinto.

Marcelo de Oliveira Jesus.

Engº Luiz Carlos Lopes.

Engº José Gil Oliveira.

Agradeço ainda a colaboração da diretoria do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP

RESUMO

Com a defasagem tecnológica na área de goniofotometria no laboratório de fotometria do IEE-USP e a falta de recursos necessários para a importação de um sistema atual, este trabalho vem propor um sistema confiável e eficaz a um custo mais baixo. Com a utilização de tecnologia acessível no território nacional se propôs um novo modelo de goniômetro. Através da construção de um modelo em escala pode-se avaliar o seu desempenho ao se comparar os resultados obtidos com os valores especificados pelo fabricante de uma lâmpada halógena ensaiada.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONCEITOS FUNCAMENTAIS DO FUNCIONAMENTO.....	6
2.1. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LUMINÁRIAS.....	6
2.2. MEDIÇÃO DE INTENSIDADE LUMINOSA.....	8
2.3. O GONIÔMETRO PROPOSTO	9
2.3.1. CONCEITOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO.....	9
2.3.2. PROPOSIÇÃO INICIAL DO PROTÓTIPO - ANTEPROJETO	12
2.3.2.1. MOVIMENTOS BÁSICOS	13
3. APRESENTAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	15
3.1. APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	15
3.2. IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	17
4. ENSAIO DE VALIDAÇÃO.....	18
4.1. ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO	19
4.2. ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DA PRECISÃO DOS MOVIMENTOS.....	19
4.3. DETERMINAÇÃO DA SEQUENCIA DE PASSOS UTILIZADA NO ENSAIO DA LÂMPADA.....	21
4.4. ENSAIO DE LEVANTAMENTO DA CURVA CARACTERÍSTICA DA LÂMPADA	22
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	24
5.1. ESPECIFICAÇÕES DO PROTÓTIPO.....	24
5.2. SEQUENCIA DE ACIONAMENTO DO ESPELHO (CURVA CARACTERÍSTICA DE FUNCIONAMENTO D X Θ).....	25
5.3. MEDIÇÕES REALIZADAS NA LÂMPADA	28
6. CONCLUSÕES.....	32
ANEXO A – A CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	34
ANEXO B – ESQUEMA ELÉTRICO	36
ANEXO C – LISTAGEM DO SOFTWARE DO MICROCONTROLADOR.....	38
ANEXO D – LISTAGEM DO SOFTWARE DO PC	
COMENTADO.....	47
ANEXO E – CURVA CARACTERÍSTICA AMPLIADA.....	60

1. Introdução

A área de Iluminação, a exemplo das demais áreas do conhecimento, tem passado por grandes avanços científicos e tecnológicos, exigindo a cada dia profissionais mais preparados para aplicar tais inovações. Novas opções de materiais de superfícies refletoras, design e acessórios elétricos como reatores e ignitores têm oferecido tecnologia aos profissionais da área, que devem utilizá-la adequadamente.

Um forte argumento para justificar uma maior atenção nesse setor se prende à conservação de energia. Evidentemente, com equipamentos elétricos, torna-se importante analisar a conservação de energia sob o ponto de vista elétrico, entretanto esse procedimento é clássico e amplamente abordado em cursos de engenharia e de pós-graduação. O que falta atualmente é uma visão mais profunda da Conservação de Energia sob o ponto de vista luminotécnico. A troca pura e simples de lâmpadas, reatores e ignitores, em que pese o melhor desempenho ou rendimento elétrico, por si só, deixa a desejar, numa avaliação mais otimizada.

Antes de se proceder a troca de luminárias, lâmpadas e acessórios ou redução de lâmpadas para se ter menor consumo de energia, deve-se analisar outros compromissos como o nível de iluminância, uniformidade e reprodução de cores, exigidos para o ambiente de modo a não se comprometer a acuidade e conforto

visual, a ponto de se garantir uma boa qualidade de luz, de grande importância para que a produtividade e a segurança não sejam comprometidas.

A maneira de se avaliar o desempenho luminotécnico, é através de uso de informações dos fabricantes, que apresentam em seus informes técnicos as curvas características e outros dados complementares que devem dar subsídios que permitam aos profissionais da área decidir, de forma confiável, a melhor opção e autorizar os investimentos necessários. Com a abertura do mercado brasileiro no modelo da economia globalizada, o Brasil se vê na situação de ter que concorrer internacionalmente com os produtos e equipamentos do setor, devidamente acompanhados de certificado de qualidade, com características confiáveis e com menores custos.

No Brasil os laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento tecnológico, assim como de Certificação de Qualidade, com raras exceções, deixam muito a desejar, sendo que a maioria deles é de empresas multinacionais e os poucos disponíveis em instituições de ensino e pesquisa são geralmente ultrapassados e de operação manual. Assim, as empresas brasileiras estão sem opção para desenvolver produtos e equipamentos a ponto de competir com os importados, além de não conseguir oferecer, para o mercado, luminárias com bom rendimento luminotécnico que possam contribuir com conservação de energia, uma vez que mais lâmpadas seriam necessárias para produzir o mesmo nível de iluminância.

Os levantamentos fotométricos de luminárias ou de projetores, simétricos ou assimétricos, são indispensáveis para que seja possível o traçamento de suas curvas características, necessárias para se demonstrar como a luz é distribuída no espaço e como os engenheiros de projetos devem utilizar as intensidades luminosas em cada

direção, com precisão suficiente para garantir a qualidade da simulação antes de se fazer investimentos financeiros.

A experiência mundial se concentra em dois tipos construtivos de Goniofotômetros: Goniofotômetro de espelho com fotocélula fixa ou Goniofotômetro, com ou sem espelho, com fotocélula móvel. Um dos requisitos básicos para o equipamento é que a luminária ou projetor seja mantido em sua posição de serviço durante as medições, uma vez que a inclinação pode alterar o fluxo luminoso da lâmpada. É permitido, no entanto, a rotação da luminária, no plano horizontal, desde que em movimentos suaves, sem vibrações perceptíveis. A Norma CIE publicação n. 27 recomenda que o mínimo caminho da luz, do centro da luminária até o sensor seja de 10 vezes a maior dimensão da superfície emissora de luz. Esta precaução é necessária para minimizar os erros introduzidos uma vez que nestas condições considera-se a luminária como fonte pontual de luz.

As restrições apontadas levam os interessados a montar um goniofotômetro, com uma estrutura volumosa, cara e de difícil operação.

Convém lembrar que atualmente, num mercado competitivo e globalizado não mais se admite a comercialização de produtos que não possuam certificação de qualidade, com informações confiáveis para que os investimentos sejam otimizados. Nas Universidades, com raras exceções, não existem linhas de pesquisa que envolvam laboratórios com goniofotômetro, razão pela qual são poucos os trabalhos de Pesquisa e Desenvolvimento tecnológico de novos materiais aplicados à luminotécnica. O mercado brasileiro está dependendo somente de alguns laboratórios defasados tecnologicamente e dos utilizados em empresas de luminárias, que são

bastante fechadas para o acesso de profissionais e pesquisadores de Universidades brasileiras.

O presente trabalho, com o intuito de indicar soluções a tais problemas, mostra o desenvolvimento de um goniofotômetro automatizado, que ocupa um espaço físico disponível no laboratório de Fotometria do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP. Evidentemente esse equipamento deve permitir movimentos, das luminárias ou projetores (mantendo-se fixa a fotocélula), através da variação de ângulos controlados por acionamentos ao espelho, manuais ou automatizados, de forma a garantir a precisão. As iluminâncias em lux devem ser convertidas automaticamente em intensidade luminosa.

Laboratório de Fotometria do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP presta serviços de ensaio para a indústria de iluminação. Sua área de atuação abrange ensaios em lâmpadas incandescentes e de alta e baixa pressão, ensaios em reatores eletrônicos e eletromagnéticos, ensaios em luxímetros, medições de cromaticidade e espectrorradiância em diversas fontes luminosas e superfícies, ensaios em semáforos e fotometrias em luminárias.

Devido a uma série de novas normalizações no setor elétrico e maior conscientização do consumidor surgidos com o recente racionamento de energia que o país passou, o laboratório de Fotometria teve um grande aumento na demanda de serviços. A carência de laboratórios de ensaio no país, proporcionou um investimento em equipamentos de medição e ensaio nas áreas de reatores e lâmpadas por serem produtos que passaram a ter certificação compulsória.

Atualmente, com a oferta de energia maior que a demanda, a demanda por ensaios se mantém estável. Uma área em que o laboratório, e o mercado nacional,

têm grande déficit no atendimento a demanda é o levantamento da curva fotométrica de luminárias. Com dificuldade de obtenção de recursos para a aquisição de um goniômetro disponível no mercado devido aos altos custos envolvidos, o laboratório tem um equipamento bastante defasado e de difícil operação. O objetivo secundário deste projeto é fornecer uma alternativa barata e eficaz para que o laboratório possa construir um goniômetro para atender as necessidades de seus clientes, ajudando a garantir a sustentabilidade econômica do laboratório.

2. Conceitos fundamentais do funcionamento

2.1. Curvas características de luminárias

A indústria de iluminação, arquitetos e engenheiros utilizam-se amplamente das curvas características de luminárias. Com o auxílio das curvas características são realizados os projetos luminotécnicos mais eficazes, são avaliados os resultados de mudanças em refletores e seus efeitos no aumento da eficiência da luminária. Com o uso de luminárias mais eficientes pode-se substituir as lâmpadas originalmente utilizadas por lâmpadas de menor potência. A análise das curvas características é um dos principais fatores na escolha de luminárias, tornando-as fundamentais para a indústria de luminárias.

Nas curvas características é expressa a distribuição da intensidade luminosa em função do posicionamento de um observador em relação ao centro da superfície irradiante da luminária. Como a intensidade luminosa não varia com a distância do observador a intensidade luminosa é declarada exclusivamente em função do ângulo em que o observador se encontra em relação à luminária. O melhor método para representar estas informações é através de coordenadas esféricas. Em ambientes computacionais, onde se realizam simulações, esta representação é satisfatória. No entanto, para a representação em meio impresso é necessária uma adaptação.

As curvas características são a representação planificada desta informação. Para cada plano perpendicular à superfície irradiante da luminária que contenha o centro da mesma superfície, traça-se uma curva característica. Cada curva é expressa em coordenadas polares, sendo o módulo a intensidade luminosa emitida em função do ângulo.

Na Figura 1 pode-se ver um exemplo de curva característica de uma luminária pública. Ao lado direito da figura pode-se observar uma representação da luminária vista a 90° , ou seja, como se o observador estivesse localizado abaixo da luminária alinhado com o centro de sua superfície irradiante. Tomando-se um semiplano genérico, perpendicular à superfície da luminária, que contém a semi-reta que se origina no centro da superfície irradiante e parte no sentido externo da luminária, podemos defini-lo pelo ângulo que este semiplano forma com o semiplano 0° medido no sentido horário. No lado direito da figura estão representados os semiplanos 0° , 90° , 180° e 270° . Note que a união de dois semiplanos defasados em 180° definem um plano.

No lado esquerdo da Figura 1, estão representadas as curvas características dos planos 0° - 180° e 90° - 270° . Nesta notação está implícito que a origem dos

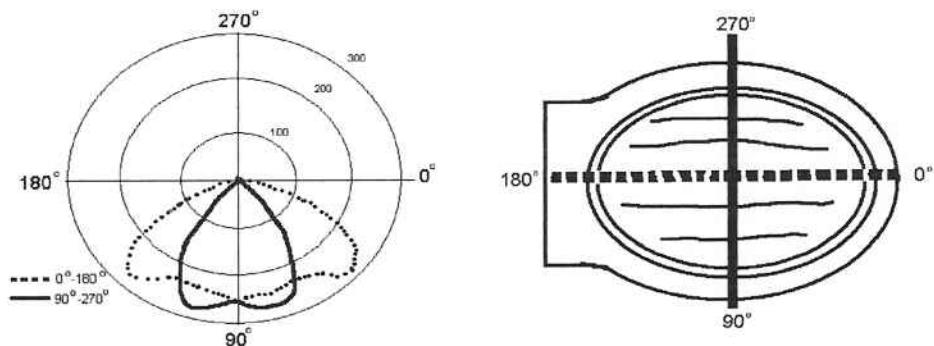


Figura 1 - Exemplo de curvas características de uma luminária

ângulos representados nas curvas características estão respectivamente nos semiplanos 0° e 90° . Para melhor compreensão das curvas características traçam-se as curvas isocandelas¹, na Figura 1 estão representadas as curvas isocandelas de 100, 200 e 300 cd.

2.2 Medição da intensidade luminosa.

A definição de intensidade luminosa é:

$$I = \Phi/w \quad (1)$$

Onde I = intensidade luminosa;

Φ = fluxo luminoso;

w = ângulo sólido.

A grande dificuldade para medição da intensidade luminosa é de que a definição de ângulo sólido² inviabiliza a fabricação de instrumentos de medição práticos. Para superar dificuldade, mede-se a intensidade luminosa indiretamente. Através da Lei de Lambert Eq.(2) pode-se calcular a intensidade luminosa através da iluminância Eq.(3)

$$E = (I/d^2) \cos\theta \quad (2)$$

$$E = \Phi / A \quad (3)$$

¹ Candela (cd) é a unidade no Sistema Internacional de medidas para a grandeza Intensidade Luminosa

² consultar Vinicius (ver biografia correta)

Iluminância é o fluxo luminoso total, medido sobre uma superfície de área “A”, sua unidade no S.I é o Lux (lx). A iluminância é medida com o uso de luxímetros.

A lei de Lambert, afirma que, para uma dada iluminância medida, tem-se que seu valor é igual à intensidade luminosa dividida pelo quadrado da distância entre a fonte de luz e o luxímetro (para situações em que exista incidência normal de luz sobre o medidor e que a fonte de luz seja considerada pontual). Na prática para distâncias acima de 5 vezes da máxima dimensão da fonte de luz, a fonte pode ser considerada pontual (IES).

2.3 O goniômetro proposto

2.3.1 Conceitos básicos de funcionamento

A função de um goniômetro é o levantamento de curvas características em luminárias¹. Existem atualmente diversos conceitos na implementação de goniômetros. Os tipos mais difundidos são:

- os goniômetros sem espelhos que variam a posição do conjunto ótico em relação a fotocélula;
- os goniômetros sem espelho que mantém a luminária fixa e movem a fotocélula;
- os goniômetros esféricos de espelho.

¹ Os goniômetros também são utilizados para medições em lâmpadas e em sistemas de sinalização (semáforos p. ex.)

O primeiro tipo apresenta a desvantagem colocar o conjunto da luminária em posições distintas da posição de funcionamento. Em lâmpadas de descarga um posicionamento diferente altera a distribuição dos componentes internos da luminária, alterando assim o fluxo luminoso gerado. O segundo tipo necessita de

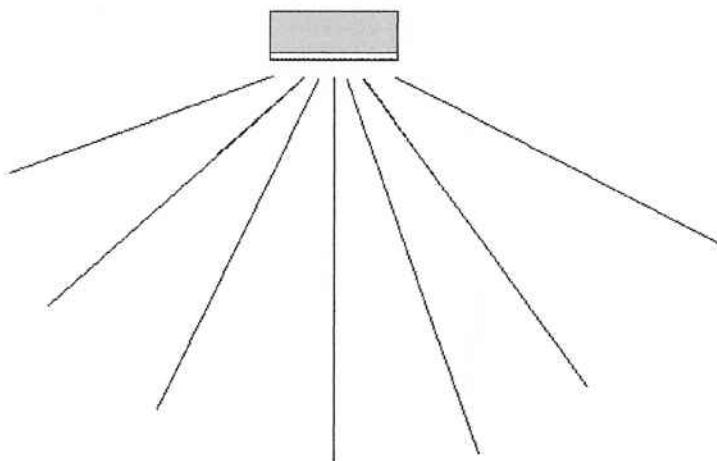


Figura 2 – Representação de uma luminária em perfil

uma grande área devido às condições apresentadas no item 2.2 deste texto, que exigem instalações prediais muito caras. O terceiro tipo, reconhecidamente eficiente e preciso, apresenta os mais respeitados, sendo muito usado em laboratórios de referência e pesquisa no mundo. A Tecnologia para sua construção porém, não está acessível no Brasil. Os custos de sua importação e instalação são muito elevados, atualmente chegam aproximadamente a um milhão de reais.

Tornou-se necessário então, um novo conceito de goniômetro que apresentasse eficiência suficiente para suprir a demanda de ensaios e ao mesmo tempo contivesse tecnologia disponível no país e um custo menor de implantação.

Na Figura 2 estão representados uma luminária em perfil (corte transversal) e alguns feixes de luz, considerando que cada feixe tenha uma intensidade luminosa

definida. O que deve ser feito então, é conceber uma maneira de se desviar estes feixes na direção de um observador fixo de modo que não exista incisão de outros feixes.

A solução foi colocar o observador na posição indicada na Figura 3, e posicionar o espelho em posições angulares precisas com seu eixo alinhado com plano de visão do observador.

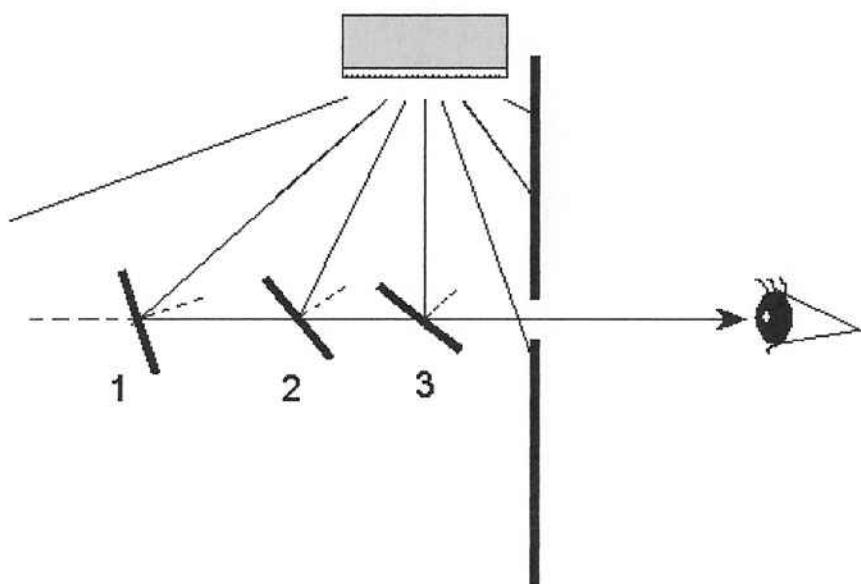


Figura 3 – Representação de uma luminária em perfil e posicionamento relativo do espelho e do observador

Para cada uma das posições do espelho indicadas o observador tem a percepção dos diferentes níveis de intensidade luminosa em função do ângulo relativo à luminária.

Através de rotações sobre a luminária podemos definir em qual semiplano estaremos realizando as medições. Podemos então realizar o levantamento das curvas

características da luminária. Para comprovação deste conceito foi proposto um protótipo em escala.

2.3.2 Proposição inicial do protótipo – Anteprojeto

O Goniômetro proposto é composto de um único espelho de dimensões 150x150 mm, de com grande planicidade, alta refletância e reflexão de primeira face. O espelho apresenta movimentação em dois graus de liberdade: translação no eixo x (ver figura 4) e rotação sobre o seu eixo alterando o ângulo θ (indicado na figura 4).

Pela descrição acima podemos afirmar que:

Dado um ângulo θ a o ângulo θ' definido pela superfície da imagem da luminária e o observador obedece a lei:

$$\theta' = 2\theta \quad (4)$$

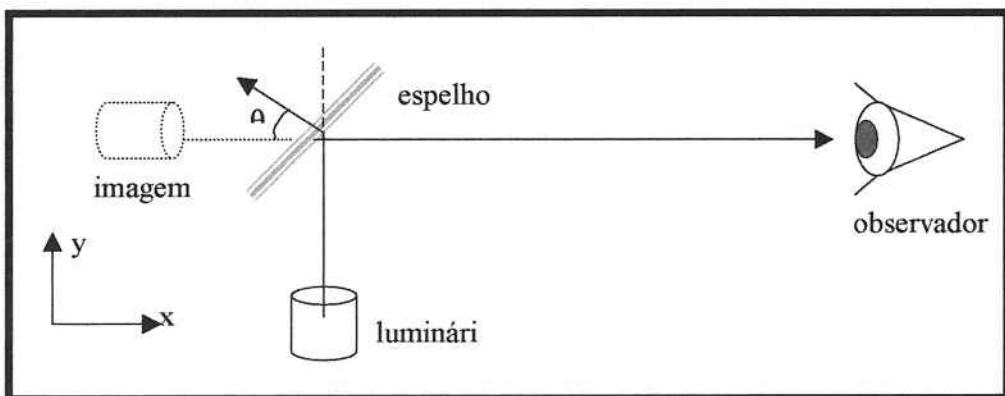


Figura4 – Conceitos básicos de posicionamento

Dado um ângulo θ existe uma posição sobre o eixo x (lembrando-se que a posição y é sempre a mesma) em que a altura centro ótico da imagem da luminária coincide com a altura do observador.

2.3.2.1 Movimentos básicos

Pode-se deduzir que a distância de recuo do espelho em função da altura h e do ângulo θ' é dada por (examinar a figura 5):

$$D = [h / \cos(\theta' - 90^\circ)] \times \sin(\theta' - 90^\circ) \quad (5)$$

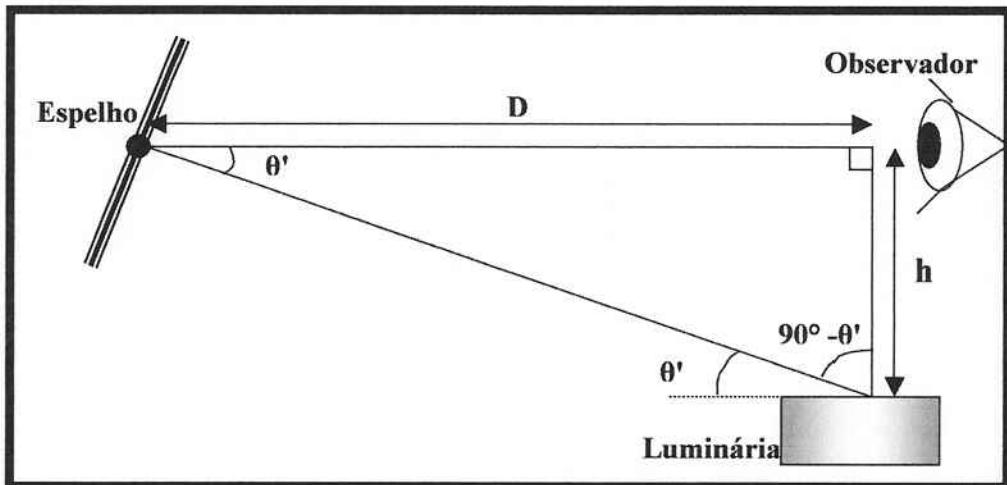


Figura 5 – Geometria para o cálculo da distância D

Para otimizar o sistema será adotado:

$$h = (\text{altura do espelho})/2 \quad (6)$$

No Protótipo tem-se que a altura do espelho é 150mm, logo será necessário elaborar uma construção que permita que a superfície da fonte luminosa fique a 75mm de distância do eixo formado pelo fotômetro e o eixo de rotação do espelho. Na próxima página é dada a curva $D(\text{mm}) \times \theta'(\text{°})$ para o espelho do protótipo.

Pode-se observar que é impraticável construir um Goniômetro que atenda valores de θ' a partir de 0° . Nota-se que para um recuo de 600mm temos leituras com θ' a partir de 7° .

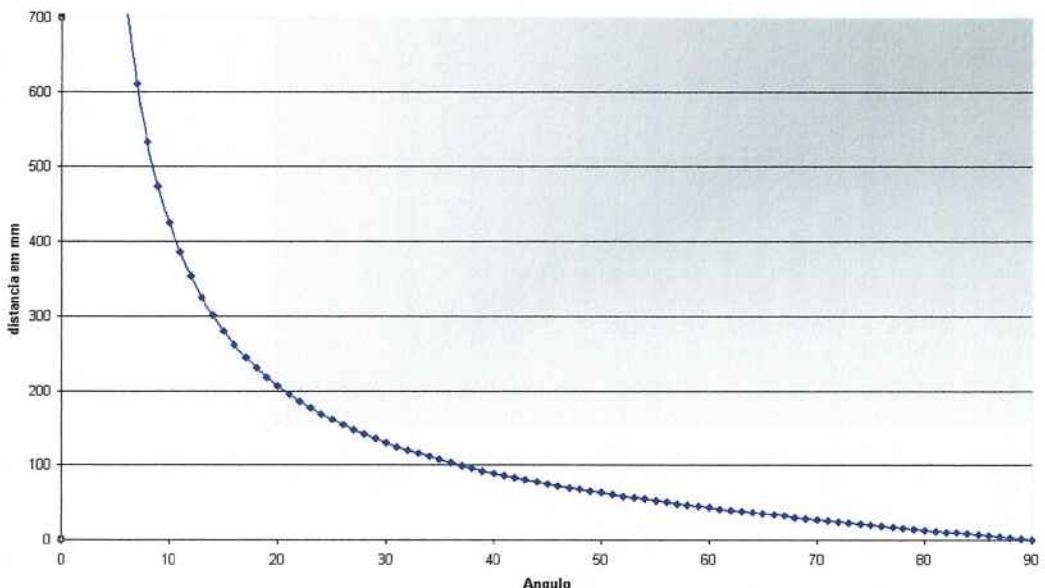


Gráfico 1 – Curva $D(\text{mm}) \times \theta'(\text{°})$ para $h = 75\text{mm}$

O Controle do movimento deve posicionar o espelho de acordo com a curva característica de funcionamento $D \times \theta$, sendo $\theta = \theta'/2$, equação (1), e D calculado pela eq. (5). Resulta-se ainda em θ' limite em torno de 7° . O espelho sempre terá valores de θ entre 0° e 45° .

3. Apresentação e implementação do protótipo

3.1 Apresentação do protótipo

O protótipo foi construído em uma base de madeira, por ser se fácil manuseio para fabricação. Nela são dispostos paralelamente, dois conjuntos de trilhos de impressoras iguais¹ compostos conectados aos motores de acionamento. Acionados pelo mesmo driver de potência e com suas bobinas ligadas em oposição este conjunto realiza o movimento linear com uma precisão em torno de 0,2 mm por passo².

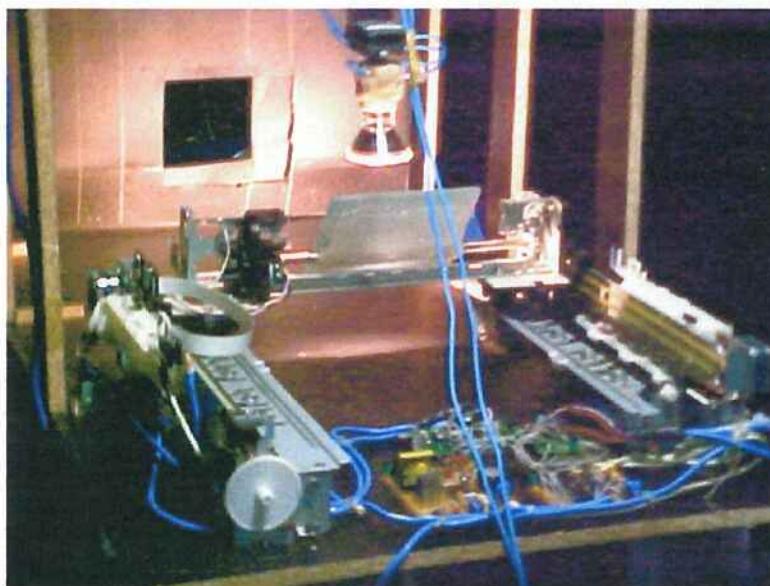


Figura 6 – imagem do protótipo durante o ensaio

¹ As impressoras utilizadas são da marca Epson modelo stylus color C60 Jato de Tinta.

² Dado obtido através de medições realizadas com um paquímetro calibrado pela Rede Brasileira de Calibração.

Apoiado sobre o sistema de deslocamento linear está o sistema de deslocamento angular, composto pelo eixo de alimentação do papel de uma impressora¹ onde foi fixado o espelho². Um terceiro motor de passo é acionado para movimentar o conjunto através de um sistema de engrenagens para redução mecânica³. A precisão do movimento angular é de $0,5^\circ$ por passo⁴ no espelho, implicando em uma precisão de 1° por passo na imagem eq.(4).

Fixado em um suporte está soquete, onde foi colocada a lâmpada ensaiada. Este soquete, base E27, está firmemente fixado a um motor de passo que possui a característica de 200 passos por volta, ou seja, $0,8^\circ$ por passo.

Foram utilizados os drivers de potência provindos das impressoras. Os drivers são baseados nos circuitos integrados LB1847 da marca Sanyo. Estes circuitos integrados são drivers capazes de realizar micro-passos⁵, porém para a aplicação do goniômetro esta capacidade não foi utilizada.

O controle e a atuação sobre os motores são realizados através de um módulo acionador. Este módulo é composto em um circuito baseado no microcontrolador AT89S8252, compatível com controladores da família 8051. Possui ainda 8K de memória para armazenamento de programas, programáveis “in-circuit” através de cabo conectado à porta paralela do PC. Existem 2K de memória EEPROM para parâmetros e uma interface serial assíncrona.

¹ Impressora da marca Epson modelo Stylos color 740i

² O espelho foi fixado utilizando-se uma gase para dar rigidez contra tensionamento impregnada de cola aplicada a quente com pistola apropriada.

³ Sistema este, que faz parte do sistema original da impressora.

⁴ Dado obtido pelas leituras de um medidor digital de inclinação, calibrado pela Rede Brasileira de Calibração.

⁵ Micro-passo é uma técnica que consiste em se impor às bobinas do motor de passo correntes em função do tempo com formas de onda diferentes da quadrada. A variação da corrente de forma gradual faz com que a posição de relutância mínima do rotor em relação ao estator varie também de maneira gradual, permitindo assim reduzir o passo do motor, uma vez que se obtém posições intermediárias de relutância mínima em relação às posições de passo completo (onda quadrada).

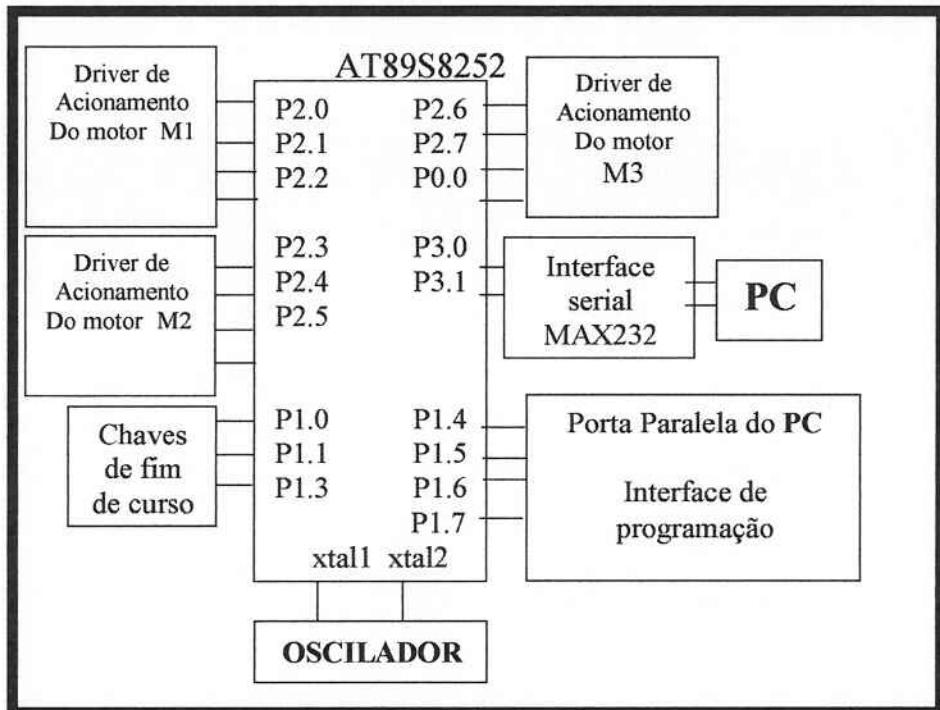


Figura 7 – diagrama de blocos do módulo microcontrolador.

O microcontrolador recebe um comando por vez. Cada comando enviado pelo PC, através de um software feito em C++ via interface RS232, contém a informação de qual motor será acionado, e quantos passos serão efetuados e em que sentido irá girar.

O software do PC é uma interface onde o operador especifica o movimento que será realizado em quantos de passos.

3.2 Implementação do protótipo

Os detalhes sobre a implementação do protótipo estão no Anexo A .

4. Ensaio de validação.

Ao final da construção do Protótipo Foi realizado um ensaio para se avaliar seu desempenho e comprovar a eficiência do método proposto. Para tanto foram realizados inicialmente os ensaios e as medições para se aferir a repetibilidade e a precisão dos movimentos. Foram levantados os melhores métodos de acionamento para se garantir o posicionamento preciso do espelho, bem como as equivalências passo/ângulo (deslocamento angular e da lâmpada) e passo/mm (deslocamento linear).

O corpo de prova escolhido foi uma lâmpada dicroica de 50W, sem reator. Esta escolha justifica-se pois sua construção assemelha-se às luminárias maiores. Dotada de um refletor, sua resposta distribuição é bastante concentrada, sendo mais fácil detectar possíveis erros na repetibilidade do ensaio.

A escolha da fotocélula utilizada no ensaio também foi criteriosa. Como a fonte de luz possui um tamanho reduzido¹, escolheu-se uma fotocélula com diâmetro inferior a 1 cm.

Após a apresentação dos métodos utilizados os resultados serão expostos

¹ Se comparadas às luminárias ensaiadas atualmente no IEE-USP

4.1. Ensaios para verificação do funcionamento

Inicialmente foram testados todos os acionamentos para verificação do sistema eletrônico e mecânico, composto pelos módulos de acionamento dos motores, transmissão mecânica do movimento, chaves de fim de curso e a comunicação com o computador.

4.2. Ensaios para determinação da precisão dos movimentos sua repetibilidade.

O segundo passo foi o levantamento da precisão dos movimentos e sua repetibilidade. Primeiramente foi determinada a equivalência passos/mm no acionamento linear. Para tanto, o carro foi posicionado manualmente em uma posição aleatória. Nesta posição foram feitas duas marcações, uma no carro e outra no trilho. Acionou-se o movimentação linear para um dos sentidos com um número grande de passos, tomando-se o cuidado de não chegar ao fim do curso. Em seguida retornou-se o carro no sentido oposto e com o mesmo número de passos. Após verificar que as marcas voltaram a se coincidir, repetiu-se este processo 1000 vezes¹, ao final verificou-se se as marcas coincidiam. Após se verificar a repetibilidade dos movimentos, a partir da posição já marcada movimentou-se o carro uma quantidade de 400 passos. Marcou-se no trilho uma marca coincidente à marca do carro, agora na segunda posição. A distância entre os dois riscos no trilho foi medida com o auxílio de um paquímetro e então foi dividida pelo número de passos dado. Este processo foi repetido mais uma vez para se verificar a repetição do valor.

¹ Estas repetições foram realizadas através de alteração no software.

O terceiro passo foi estabelecer os parâmetros do movimento angular do espelho. Com a utilização de um medidor de inclinação digital nivelou-se a mesa onde se encontrava a base de madeira do goniômetro. Posteriormente, com o medidor de nível encostado à superfície do espelho mediu-se a inclinação do mesmo enquanto repousava na sua posição de fim de curso. Logo após movimentou-se o espelho com um número definido de passos. Mediu-se o ângulo final do espelho e calculou-se a relação N° de passos/ângulo do espelho. Para se verificar se algum desbalanceamento do espelho prejudique a equivalência passo/ângulo em ângulos de inclinação elevados a relação foi verificada de grau em grau no intervalo de 0° a 45°.

O levantamento da refletância do espelho foi realizado após todos os ensaios. Para tanto, mediu-se a iluminância do corpo de prova através do espelho a um ângulo de 90°, manualmente alterou-se minimamente a angulação do espelho de modo a se encontrar o máximo valor de iluminância¹. Marcou-se na base do goniômetro a distância que a imagem do corpo de prova se encontrava da fotocélula. Recuou-se o espelho e o conjunto em que o corpo de prova se encontrava foi retirado de seu ponto de fixação. Baseando-se na marcação realizada anteriormente, alinhou-se a superfície do corpo de prova perpendicularmente à base do goniômetro buscando-se deixá-lo na posição da imagem refletida pelo espelho no momento da medição através do espelho. Efetuou-se pequenas variações angulares de modo a se encontrar o máximo valor de iluminância. Os valores colhidos foram utilizados para se calcular a refletância do espelho.

¹ Este processo foi utilizado para se minimizar os erros de medição devido à imprecisão angular provinda do posicionamento manual do corpo de prova no momento da medição da iluminância sem a utilização do espelho.

4.3. Determinação da seqüência de passos utilizada no ensaio da lâmpada.

A determinação da seqüência de passos utilizada no ensaio ocorreu da maneira descrita a seguir.

Ajustou-se o espelho a 45° com o carro de movimento linear no fim de curso mais próximo ao observador. Mantendo-se o espelho neste ângulo movimentou-se o carro até se alinhar a o centro da imagem da lâmpada com o centro do espelho quando observada na posição da fotocélula. Contou-se número de passos necessários para realizar o movimento.

A seguir ajustou-se o espelho a 40° , a partir da posição em que se encontrava o espelho. A imagem foi alinhada novamente e os passos para se realizar isto foram contados. De 5° em 5° este processo foi repetido.

Ao se repetir os passos verificou-se que ao final dos movimentos existiu uma grande variação na posição real do espelho em relação à posição esperada. Após uma análise do ocorrido, verificou-se que a discrepância encontrada deve-se à ordem em que se realizam os movimentos, pois a posição angular do espelho altera-se quando se realiza a movimentação linear.

Corrigiu-se o protocolo de acionamento, fazendo-se o ajuste da posição linear do espelho, posteriormente movimenta-se angularmente o espelho até a sua posição de fim de curso para em seguida movimenta-lo até a posição angular desejada.

Efetuada esta mudança os passos necessários para o correto posicionamento do espelho foram determinados novamente.

4.4. Ensaio de levantamento da curva característica da lâmpada.

A metodologia de ensaio seguiu as práticas utilizadas no Laboratório de Fotometria do IEE-USP. Tais práticas foram mostradas eficientes por meio de comparações interlaboratoriais realizadas e pela repetibilidade apresentada nos resultados obtidos no laboratório durante anos de prática.

O corpo de prova utilizado foi a lâmpada da marca GE, incandescente halógena modelo PAR 20. Com potência nominal de 50 W e fluxo luminoso nominal de 570 Lumens quando alimentada com tensão nominal 130V e potência nominal de 46 W e fluxo luminoso nominal de 498 Lumens quando alimentada com tensão de 120 V.

Inicialmente a lâmpada passou por um período de sazonamento¹ de três horas alimentada com tensão de 120V. O goniômetro foi montado no túnel fotométrico e sobre uma mesa e sua base foi nivelada com o auxílio de um nível digital. Em seguida a lâmpada foi acoplada ao goniômetro e foi feita uma marcação a fim de identificar o posicionamento inicial da lâmpada definindo-se assim o semiplano 0°. A lâmpada então foi alimentada com tensão nominal por um período de 15 minutos. Posteriormente o espelho foi limpo e posicionado abaixo da lâmpada com uma inclinação de 45°. A fotocélula foi acoplada a um colimador² e sua altura foi ajustada para a mesma altura do centro do espelho. O centro da fotocélula foi

¹ O sazonamento de lâmpadas é um procedimento necessário no levantamento das características fotométricas de qualquer tipo de lâmpada. No sazonamento deixa-se a lâmpada ligada por um período de tempo, determinado pelas características construtivas da lâmpada, suficiente para a estabilização das características elétricas e fotométricas da lâmpada.

² O colimador utilizado é composto por uma caixa que contém anteparos com orifícios que tem diâmetro menor quanto mais próximos da fotocélula. A extensão da caixa é de aproximadamente um metro.

alinhado com o centro do espelho também no sentido horizontal. Na figura 8 podemos observar a imagem do corpo de prova em uma fotografia tirada à frente do colimador e alinhada com o eixo da fotocélula.

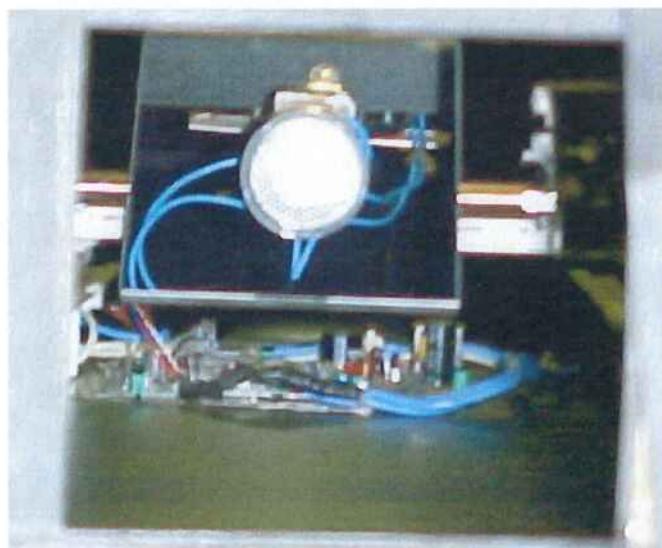


Figura 8 – Imagem do corpo de prova a 90°, observado pela fotocélula

Com o sistema alinhado, o espelho foi movimentado de acordo com a seqüência de acionamento definida no item 4.1.3. A cada 5° de giro na imagem do corpo de prova a iluminância foi anotada. Após a varredura que compreende os ângulos de 90° a 10° a lâmpada foi rotacionada em 180° e o processo de acionamento do espelho foi reiniciado para de completar a leitura do plano 0°-180°.

5. Resultados Obtidos.

A seguir estão apresentados os resultados obtidos durante a execução dos ensaios e verificações do protótipo. Os resultados estão divididos em três diferentes itens, são eles: Especificações do protótipo, Seqüência de acionamento do espelho e Medição realizadas na lâmpada. No primeiro são apresentados os parâmetros aferidos do protótipo, no segundo é apresentada a seqüência de acionamento do espelho utilizada nas medições realizadas na lâmpada, que são apresentadas no terceiro item.

5.1. Especificações do protótipo.

O protótipo apresentou funcionamento satisfatório. Os comandos enviados pelo computador foram interpretados e executados como o esperado, as chaves de fim de curso mostraram-se eficientes e precisas.

O movimento linear é realizado com uma precisão de 0,2mm/passo, e a movimentação linear do espelho é de 0,5°/passo. A tensão de alimentação do protótipo é de 127 V. Quando o espelho atinge em seu movimento angular a chave de fim de curso inferior (Superfície reflexiva voltada para baixo), o espelho fica a

10° de inclinação. Para que o espelho fique perpendicular em relação ao plano da base do goniômetro são necessários 20 passos.

O acionamento da base do corpo de prova apresenta a característica de 200 passo/volta, o que oferece uma resolução de 1,8°/passo.

Durante o ensaio de determinação da refletância do espelho, a iluminância medida através do espelho foi de 21,90 lux e a iluminância medida diretamente foi de 22,83 lux. Conclui-se que a refletância do espelho seja então:

$$\rho = (21,90/22,83) \times 100 = 95,9 \% \quad (7)$$

5.2. Seqüência de acionamento do espelho (curva característica de funcionamento D X 0).

Com o objetivo de realizar uma varredura de 90° a 0° com incrementos de 5°, foi levantada a seqüência de comandos necessária. O conjunto de instruções final está expresso na tabela 1, apresentada abaixo.

Tabela 1- Seqüência de comandos para varredura de um semiplano (curva característica de funcionamento D X 0)

Ordem do comando	Tipo de Deslocamento	Sentido do deslocamento	Nº de passos	Posição angular da imagem do corpo de prova em relação à fotocélula
1	Linear	Aproximando-se da fotocélula	Suficientes para se chegar no fim de curso	Não Definido
2	Linear	Afastando-se da fotocélula	10	Não Definido
3	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
4	Angular	Fim de curso superior	110	90°
5	Linear	Afastando-se da fotocélula	18	Não Definido
6	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°

continua

continuação

Ordem do comando	Tipo de Deslocamento	Sentido do deslocamento	Nº de passos	Posição angular da imagem do corpo de prova em relação à fotocélula
7	Angular	Fim de curso superior	105	85°
8	Linear	Afastando-se de fotocélula	33	Não Definido
9	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
10	Angular	Fim de curso superior	100	80°
11	Linear	Afastando-se de fotocélula	37	Não Definido
12	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
13	Angular	Fim de curso superior	95	75°
14	Linear	Afastando-se de fotocélula	55	Não Definido
15	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
16	Angular	Fim de curso superior	90	70°
17	Linear	Afastando-se de fotocélula	55	Não Definido
18	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
19	Angular	Fim de curso superior	85	65°
20	Linear	Afastando-se de fotocélula	40	Não Definido
21	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
22	Angular	Fim de curso superior	80	60°
23	Linear	Afastando-se de fotocélula	45	Não Definido
24	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
25	Angular	Fim de curso superior	75	55°
26	Linear	Afastando-se de fotocélula	65	Não Definido
27	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
28	Angular	Fim de curso superior	70	50°
29	Linear	Afastando-se de fotocélula	65	Não Definido
30	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
31	Angular	Fim de curso superior	65	45°

continua

conclusão

Ordem do comando	Tipo de Deslocamento	Sentido do deslocamento	Nº de passos	Posição angular da imagem do corpo de prova em relação à fotocélula
32	Linear	Afastando-se de fotocélula	65	Não Definido
33	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
34	Angular	Fim de curso superior	60	40°
35	Linear	Afastando-se de fotocélula	65	Não Definido
36	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
37	Angular	Fim de curso superior	55	35°
38	Linear	Afastando-se de fotocélula	100	Não Definido
39	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
40	Angular	Fim de curso superior	50	30°
41	Linear	Afastando-se de fotocélula	170	Não Definido
42	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
43	Angular	Fim de curso superior	45	25°
44	Linear	Afastando-se de fotocélula	220	Não Definido
45	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
46	Angular	Fim de curso superior	40	20°
47	Linear	Afastando-se de fotocélula	150	Não Definido
48	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
49	Angular	Fim de curso superior	35	15°
50	Linear	Afastando-se de fotocélula	Suficientes para se chegar no fim de curso	Não Definido
51	Angular	Fim de curso inferior	250	-20°
52	Angular	Fim de curso superior	30	10°

As leituras devem ser realizadas após os comandos 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49 e 52.

Com a fotocélula posicionada a 2,4 m da posição inicial do espelho (posição que o espelho se encontra após a realização do comando 4) pode-se calcular pela eq.(5) a distância entre a imagem e a fotocélula. As distâncias em relação à imagem estão indicadas na tabela 2, mostrada a seguir.

Tabela 2 – Distâncias entre a fotocélula e a imagem do corpo de prova

Ordem do comando ¹	Distância entre a imagem e a fotocélula (mm)
4	2482,0
7	2485,7
10	2492,8
13	2501,5
16	2515,4
19	2530,7
22	2542,4
25	2556,2
28	2557,2
31	2599,0
34	2621,5
37	2644,7
40	2681,1
43	274,7
46	2828,9
49	2887,0
52	3011,0

Para se determinar a intensidade luminosa medida deve-se multiplicar o valor de iluminância lido pela distância ao quadrado (em metros) indicada na tabela 2.

5.3 Medições realizadas na lâmpada.

O levantamento da curva característica da lâmpada halógena escolhida, ocorreu no dia 24 de outubro de 2003, nas dependências do Laboratório de Fotometria do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP. Durante o ensaio a máxima temperatura ambiente foi 25,4°C e a mínima de 24,7°C. Foi levantada a

¹ A ordem de comando é a mesma mostrada na tabela 1.

curva característica da lâmpada segundo um plano, denominado 0°-180°. O ponto que define o semiplano 180° foi marcado na lâmpada, a fim de permitir a repetibilidade dos resultados.

As iluminâncias medidas são mostradas a seguir, na tabelas 3.

Tabela 3 – medições realizadas no corpo de prova

Ângulo de inclinação (°)	Semiplano 0° (lux)	Semiplano 180° (lux)
0 ¹	0,12	0,12
5	----	----
10	0,45	0,42
15	0,52	0,56
20	0,84	0,85
25	1,3	1,4
30	2,2	2,1
35	3,6	3,2
40	6,5	5,6
45	9,0	7,4
50	9,9	9,5
55	11,2	10,6
60	12,9	14,2
65	21,4	26,4
70	51,3	48,7
75	94,1	83,0
80	139,7	137,7
85	188,8	179,6
90	258,5	258,5

Tabela 4– Valores da curva característica do plano 0°-180°

Ângulo de inclinação (°)	Semiplano 0° (Cd)	Semiplano 180° (Cd)
0	1,1	0,8
5	----	----
10	4,2	3,9
15	4,9	5,3
20	7,3	7,4
25	10,8	11,7
30	17,3	16,5
35	27,0	24,0
40	47,4	40,8
45	64,5	53,0
50	69,7	66,9
55	77,6	73,4
60	87,9	96,8

continua

¹ A medição a 0° foi realizada diretamente, ou seja, o espelho foi recuado e colocado na posição de fim de curso superior, a lâmpada foi abaixada e centralizada com a fotocélula, e a medida foi feita diretamente.

conclusão		
Ângulo de inclinação (°)	Semiplano 0° (Cd)	Semiplano 180° (Cd)
65	144,2	177,9
70	342,6	325,2
75	620,9	547,6
80	911,5	898,5
85	1223,4	1163,8
90	1665,5	1665,5

Abaixo está representada a curva característica, gráfico 2.

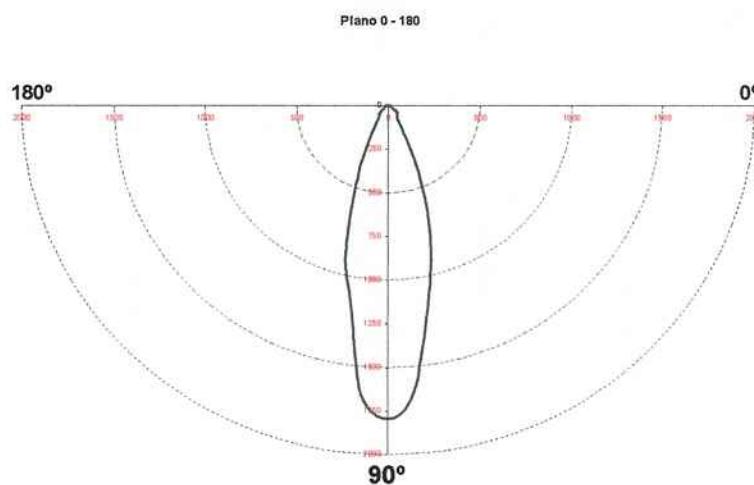


Gráfico 2 – Curva característica levantada com o uso do Protótipo.

No Anexo E pode-se ver esta mesma curva mais detalhadamente. Abaixo estão expressos os valores fornecidos pelo fabricante confrontados com os valores medidos. Em seu catálogo de produtos, a General Electric identifica o modelo ensaiado com o código 17868.

Tabela 5– Comparação dos valores medidos com os valores expressos pelo fabricante

Ângulo de inclinação (°)	Semiplano 0° Medido (Cd)	Semiplano 0° Fornecidos pelo fabricante (Cd)	Semiplano 0° Medido ¹ (%)
0	1,1	3	36
5	-----	5	-----
10	4,2	6	70
15	4,9	6	82
20	7,3	8	91
25	10,8	13	83

continua

¹ 100% equivalem à medida realizada pelo fabricante

conclusão

Ângulo de inclinação (°)	Semiplano 0° Medido (Cd)	Semiplano 0° Fornecidos pelo fabricante (Cd)	Semiplano 0° Medido¹ (%)
30	17,3	20	87
35	27,0	32	84
40	47,4	46	103
45	64,5	61	105
50	69,7	77	90
55	77,6	97	80
60	87,9	154	57
65	144,2	247	58
70	342,6	379	90
75	620,9	617	101
80	911,5	1002	91
85	1223,4	1264	97
90	1665,5	1500	111

¹ 100% equivalem à medida realizada pelo fabricante

6. Conclusões

Uma das principais características do conceito proposto neste trabalho, é que seu funcionamento depende do controle e do correto acionamento do sistema. Os outros tipos de Goniômetros existentes, procuram garantir ângulos pertinentes entre a luminária e a fotocélula estritamente através de soluções mecânicas, o que encarece e dificulta sua implementação. Ao mesclar o controle eletrônico com uma estrutura mecânica relativamente mais simples, O conceito de goniômetro proposto apresenta uma implementação mais barata com a utilização de tecnologia acessível no Brasil.

Ao se analisar os resultados obtidos com a construção do protótipo, sobre tudo na repetibilidade e precisão de seus movimentos, provou-se que é possível de implementar um goniômetro de boa precisão produtividade satisfatória a partir de conhecimentos já assimilados pela engenharia brasileira. O investimento necessário para a implementação de um goniômetro em escala real, não ultrapassa o valor do custo de importação de qualquer outra solução, sendo que sua construção trará um know-how que possibilitará o barateamento da pesquisa e desenvolvimento de luminárias mais eficientes e mais competitivas no Brasil.

A discrepância entre a curva obtida através do protótipo em relação dos valores fornecidos pelo fabricante estão dentro do aceitável, pois os corpos de prova

são de diferentes lotes havendo um desvio nas características das lâmpadas analisadas.

Neste trabalho foi proposto um novo modelo de goniômetro. Buscou-se a apresentação mais clara possível de suas limitações e vantagens, de modo a orientar eventuais interessados na construção de um equipamento a custos aceitáveis para os padrões brasileiros. Acredita-se que esta proposta venha a preencher uma lacuna existente na área de fotometria, um goniômetro eficiente, de simples operação e tecnologia acessível.

Anexo A – A construção do protótipo

A construção do protótipo foi definida pela praticidade e máxima economia de tempo. A grande dificuldade enfrentada durante a construção foi de se conseguir um projeto mecânico confiável e preciso. Após um período onde foram analisadas várias alternativas escolheu-se construir o protótipo a partir de componentes de impressoras do tipo jato de tinta. Neste projeto foram utilizadas duas impressoras Epson C62 e uma impressora Epson Stilus color 740i

Os fabricantes de impressoras do tipo jato de tinta têm a maior parte de seus lucros com a venda de cartuchos de tinta. A vantagem desta política comercial é que o valor das impressoras seja bem atrativo pois seu valor é muito baixo se comparado ao valor de seus componentes vistos separadamente. Dentro de uma impressora existem motores de passo, chips de acionamento dos motores com opção de se adotar o método de micropassos a fim de se aumentar a resolução dos motores, sensores de fim de curso óticos, que apresentam menos erros, fusos com alta precisão para a realização de movimentação linear, sistemas redutores de movimento acoplados a alguns motores, etc...

A primeira etapa da construção foi definir a maneira que os comandos seriam processados e executados. Com a utilização do microcontrolador AT89S8252 foi construído um módulo de controle. O esquema de ligações está mostrado no Anexo B. O módulo aciona os motores através dos drivers que compõe os sistemas

das impressoras. Estes drivers são os chips LB1847¹, de fácil acionamento. O circuito que contém os drivers dos motores foi literalmente cortados da placa da impressora Epson C62 e agregados ao circuito do microcontrolador.

A comunicação com o microcomputador é feita através do periférico Serial do microcontrolador. O protocolo de comunicação entre o computador é baseado em dois bits, o primeiro bit define o movimento a ser realizado e o sentido deste movimento, o segundo define o número de passos a serem dados. Na tabela abaixo temos os valores estabelecidos pelos bits.

Tabela 6– Valores convencionados para os bits

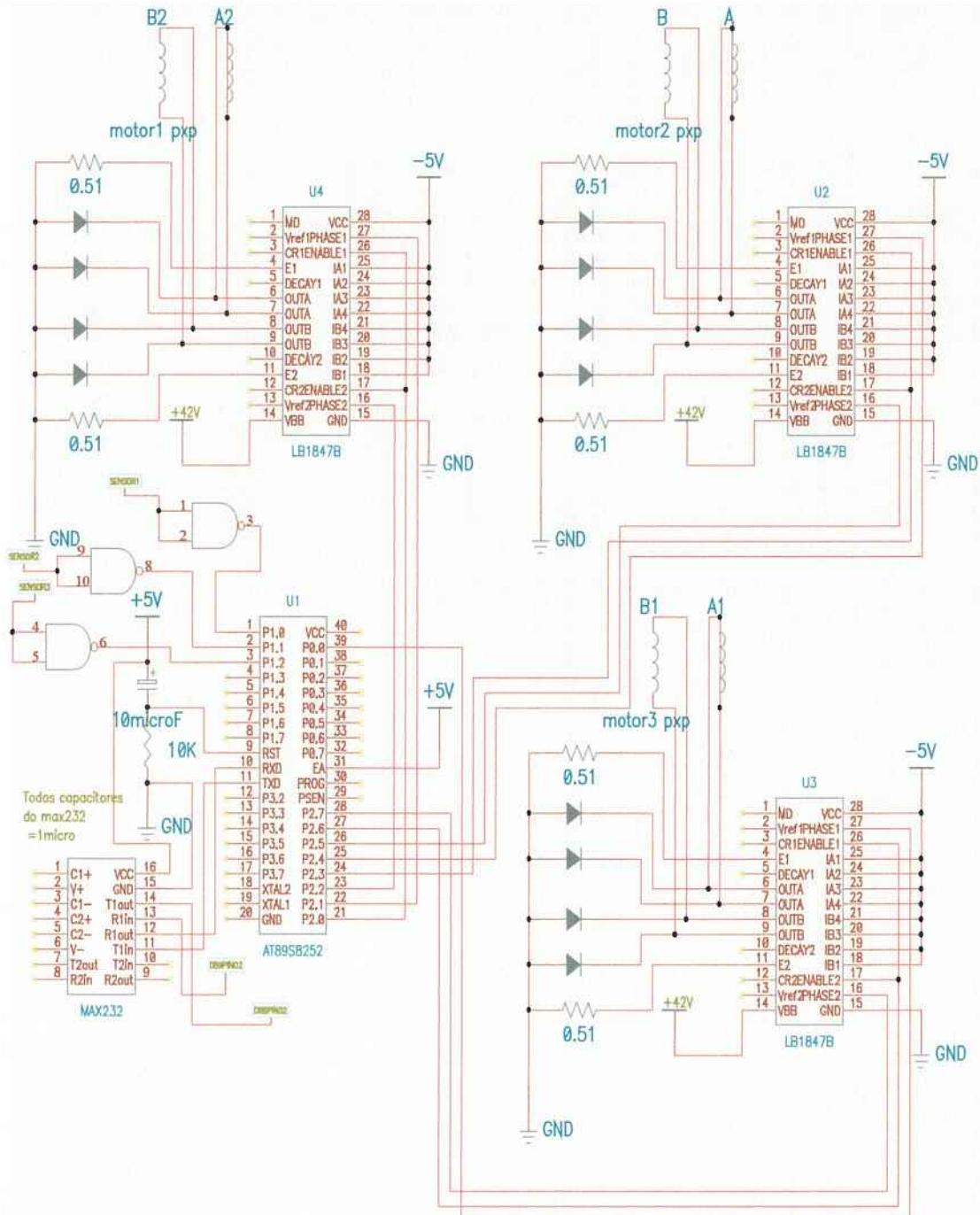
Primeiro bit	Segundo bit	Efeito Esperado
A	Entre 1 e 255	Movimento linear de afastando da fotocélula com o N° de passos definidos no segundo bit
A	Zero	Movimento linear até o fim de curso mais afastado
B	Entre 1 e 255	Movimento linear de aproximando da fotocélula com o N° de passos definidos no segundo bit
B	Zero	Movimento linear até o fim de curso mais afastado
C	Entre 1 e 255	Mov. Angular no sentido de se fazer a imagem da lâmpada descer com o N° de passos definidos no segundo bit
C	Zero	Movimento angular até o fim de curso (espelho voltado p/ cima)
D	Entre 1 e 255	Mov. Angular no sentido de se fazer a imagem da lâmpada subir com o N° de passos definidos no segundo bit
D	Zero	Movimento angular até o fim de curso (espelho voltado p/ cima)
E	Entre 1 e 255	Rotação da lâmpada no sentido horário com o N° de passos definidos no segundo bit
F	Entre 1 e 255	Rotação da lâmpada no sentido anti-horário com o N° de passos definidos no segundo bit

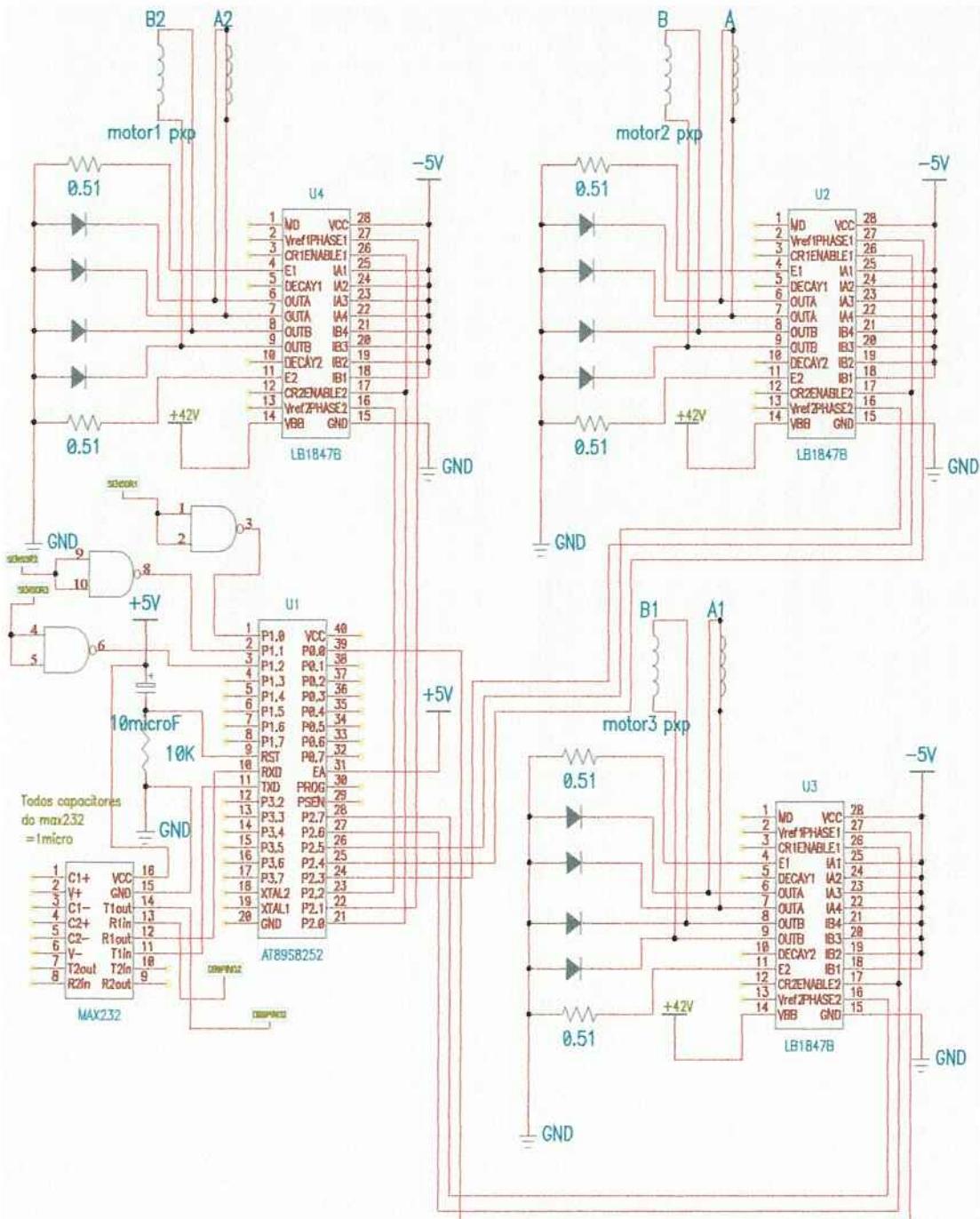
A interpretação dos comandos é realizada pelo software do microcontrolador, apresentado no anexo C. O software do microcomputador apresenta uma tela onde o usuário realiza o movimento que desejar no goniômetro.

¹ Marca Sanyo, PWM Current Control Type Stepping Motor Driver

Anexo B – Esquema elétrico

O esquema elétrico do sistema de comando do protótipo está mostrado na próxima página.





Anexo C – Listagem do software do microcontrolador comentado

Listagem do software do microcontrolador

```

$MOD51
    org 0000h
    ljmp programa

    org 0030h ;endereco de inicio do programa.

programa:
    acall inicia_ser      ;inicia a serial.

    MOV A, 96H
    ORL A, #08H
    MOV 96H,A

    MOV R1, #31H           ;INICIALIZAR POS MOTOR1
    MOV A, #00H
    MOV @R1,A
    MOV R1, #32H           ;INICIALIZAR POS MOTOR2
    MOV A, #00H
    MOV @R1,A
    MOV R1, #33H           ;INICIALIZAR POS MOTOR3
    MOV A, #00H
    MOV @R1,A
    MOV R1, #34H           ;flag do motor MOTOR2
    MOV A, #00H
    MOV @R1,A
    MOV R1, #35H           ;flag do motor MOTOR3
    MOV A, #00H
    MOV @R1,A
loop3: call serial
    ajmp loop3

linearfrente:
    mov a,p1      ;verificar se o carro esta no fim
    anl a, #04h
    JNZ cont1
    ret
cont1:
    MOV R1, #31H      ;A posicao estava no inicio, posicionar para
    o fim

```

```

MOV A, @R1
jnz salto7
mov A, #04h
salto7:
    dec A
    MOV @R1,A
    MOV DPTR, #0000H
    JZ SALTO2
VOLTA1:INC DPTR           ;posicionar o ponteiro
    DEC A
    JNZ VOLTA1
SALTO2:MOVX A, @DPTR
    MOV P2,A           ;dar um passo no motor
    CALL DELAY2
    MOV A, #49H ;dar um tempo de espera para o motor
    MOV P2,A
    CALL DELAY
    MOV R1, #30H
    MOV A, @R1
    DEC A
    MOV @R1,A
    JNZ linearfrente
    ret

lineartraz:
    mov a,pl      ;Verificar se o carro esta no começo
    anl a, #02h
    JNZ cont2
    ret
cont2:
    MOV R1, #31H
    MOV A, @R1
    inc A
    MOV @R1,A
    ANL A, #0FBH
    JNZ SALTO1
    MOV A, #0H ;reposicionar o ponteiro se ele for 3
    MOV @R1,A
SALTO1:MOV A, @R1
    MOV DPTR, #0000H
    JZ SALT2
VOLT1:INC DPTR           ;posicionar o ponteiro
    DEC A
    JNZ VOLT1
SALT2: MOVX A, @DPTR
    MOV P2,A
    CALL DELAY2
    MOV A, #49H ;dar uma pausa no motor
    MOV P2,A
    CALL DELAY
    MOV R1, #30H      ;verificar se tem mais pulso para o motor
    MOV A, @R1
    DEC A
    MOV @R1,A
    JNZ lineartraz
    ret

angularhor:
    mov a,pl      ;verificar se angulo esta no fim

```

```

anl a,#01h
JNZ cont4
MOV R1,#34H           ;flag do motor MOTOR2
MOV A,@R1
JZ SETFLAG2           ;
MOV A,#00H
MOV @R1,A
ret
SETFLAG2:
MOV A,#01H
MOV @R1,A
cont4:
MOV R1,#32H
MOV A,@R1
jnz salta7
mov A,#04h
salta7:
dec A
MOV @R1,A
MOV DPTR,#0004H
JZ SAL2
VOL1: INC DPTR
DEC A
JNZ VOL1
SAL2: MOVX A,@DPTR
MOV P2,A
CALL DELAY3
MOV A,#49H
MOV P2,A
CALL DELA3Y
MOV R1,#30H
MOV A,@R1
DEC A
MOV @R1,A
JNZ angularhor
ret

angularant:
mov a,pl           ;verificar se angulo esta no começo
anl a,#01h
JNZ cont3
MOV R1,#34H           ;flag do motor MOTOR2
MOV A,@R1
JZ SETFLAG3           ;
MOV A,#00H
MOV @R1,A
ret
SETFLAG3:
MOV A,#01H
MOV @R1,A
cont3:
MOV R1,#32H
MOV A,@R1
inc A
MOV @R1,A
ANL A,#0FBH
JNZ SA1
MOV A,#0H
MOV @R1,A

```

```

SA1:  MOV A, @R1
       MOV DPTR, #0004H
       JZ SA2
VO1:  INC DPTR
       DEC A
       JNZ VO1
SA2:  MOVX A, @DPTR
       MOV P2, A
       CALL DELAY3
       MOV A, #49H
       MOV P2, A
       CALL DELA3Y
       MOV R1, #30H
       MOV A, @R1
       DEC A
       MOV @R1, A
       JNZ angularant
       ret

lampadahor:
       mov a, p1      ; verificar se angulo esta no fim
       anl a, #08h
       JNZ cont41
       ret
cont41:
       MOV R1, #33H
       MOV A, @R1
       jnz salta71
       mov A, #04h
salta71:
       dec A
       MOV @R1, A
       MOV DPTR, #0008H
       JZ SAL21
VOL11: INC DPTR
       DEC A
       JNZ VOL11
SAL21: MOVX A, @DPTR
       MOV P2, A
       INC DPTR
       INC DPTR
       INC DPTR
       INC DPTR
       MOVX A, @DPTR
       MOV P0, A
       CALL DELAY3
       MOV A, #49H
       MOV P2, A
       CALL DELA3Y
       MOV R1, #30H
       MOV A, @R1
       DEC A
       MOV @R1, A
       JNZ lampadahor
       ret

lampadaant:
       mov a, p1      ; verificar se angulo esta no começo
       anl a, #08h

```

```

        JNZ cont31
        ret
cont31:
        MOV R1,#33H
        MOV A,@R1
        inc A
        MOV @R1,A
        ANL A,#0FBH
        JNZ SA11
        MOV A,#0H
        MOV @R1,A
SA11:   MOV A,@R1
        MOV DPTR,#0008H
        JZ SA21
VO11:   INC DPTR
        DEC A
        JNZ VO11
SA21:   MOVX A,@DPTR
        MOV P2,A
        INC DPTR
        INC DPTR
        INC DPTR
        INC DPTR
        MOVX A,@DPTR
        MOV P0,A
        CALL DELAY3
        MOV A,#49H
        MOV P2,A
        CALL DELA3Y
        MOV R1,#30H
        MOV A,@R1
        DEC A
        MOV @R1,A
        JNZ lampadaant
        ret

inicia_ser:
        mov TMOD, #0020h
        mov TH1, #00F3h
        mov TL1, #00F3h
        setb TR1
        setb SM1
        setb REN
        ;mov SCON, #0050h
        mov PCON, #0000h
;
        setb EA
        setb ES
        ;ORL IE, #10010000b
        setb TI      ;seta TI para nao trancar na
                      ;primeira chamada de env_ser.
        ret

DELAY: MOV R1,#030H
LOOP:  MOV R2,#0FFH
        DJNZ R2,$
        DJNZ R1,LOOP

        RET

```

```

DELA3Y: MOV R1,#060H
LOO3P:  MOV R2,#0FFH
        DJNZ R2,$
        DJNZ R1,LOO3P

        RET

DELAY2: MOV R1,#008H
LOOP2:  MOV R2,#0FFH
        DJNZ R2,$
        DJNZ R1,LOOP2

        RET

DELAY3: MOV R1,#050H
LOOP23: MOV R2,#0FFH
        DJNZ R2,$
        DJNZ R1,LOOP23

        RET

serial:
loop4:
        jnb RI,loop4
        mov A, SBUF
        clr RI
        cjne A, #41h,salto3
loop5:
        jnb RI,loop5
        mov A, SBUF
        clr RI
        JNZ SALTO8
        CALL RESET
        RET
SALTO8:
        mov R1,#30H
        MOV @R1,A
        call linearfrente
        ret
salto3:
        cjne A, #42h,salto4
loop7:
        jnb RI,loop7
        mov A, SBUF
        clr RI
        JNZ SALTO9
        CALL RESET
        RET
SALTO9:
        mov R1,#30H
        MOV @R1,A
        call lineartraz
        ret

salto4:
        cjne A, #43h,salto5
loop8:

```

```
jnb RI,loop8
  mov A, SBUF
  clr RI
  JNZ SALTO10
  CALL RESET
  RET
SALTO10:
  mov R1,#30H
  MOV @R1,A
  call angularhor
  ret
salto5:
  cjne A,#44h,salto6
loop6:
  jnb RI,loop6
  mov A, SBUF
  clr RI
  JNZ SALTO11
  CALL RESET
  RET
SALTO11:
  mov R1,#30H
  MOV @R1,A
  call angularant
  ret
salto6:
  cjne A,#45h,salto12
loop9:
  jnb RI,loop9
  mov A, SBUF
  clr RI
  JNZ SALTO13
  CALL RESET
  RET
SALTO13:
  mov R1,#30H
  MOV @R1,A
  call lampadahor
  ret
salto12:
  cjne A,#46h,salto14
loop10:
  jnb RI,loop10
  mov A, SBUF
  clr RI
  JNZ SALTO15
  CALL RESET
  RET
SALTO15:
  mov R1,#30H
  MOV @R1,A
  call lampadaant
  ret
salto14:
```

```

        ret

RESET:
    MOV R1,#31H
    MOV A,@R1
    jnz saltRR
    mov A,#04h
saltRR:
    dec A
    MOV @R1,A
    MOV DPTR,#0000H
    JZ SALTOR
VOLTAR:INC DPTR
    DEC A
    JNZ VOLTAR
SALTOR:MOVX A,@DPTR
    MOV P2,A
    CALL DELAY2
    INC DPTR
    INC DPTR
    INC DPTR
    INC DPTR
    INC DPTR
    MOVX A,@DPTR
    MOV P2,A
    CALL DELAY2
    MOV A,#49H
    MOV P2,A
    CALL DELAY
    mov a,pl
    anl a,#04h
    JNZ RESET
    ret
end

```

Dados carregados na memória do microcontrolador para definição dos passos.

```

DB      04AH      ;motor 1
DB      04EH      ;
DB      04CH      ;
DB      048H      ;
DB      051H      ;motor 2
DB      071H      ;
DB      061H      ;
DB      041H      ;
DB      089H      ;motor 3
DB      089H      ;
DB      009H      ;
DB      009H      ;
DB      000H      ;bit adicional motor 3
DB      001H      ;
DB      001H      ;
DB      000H      ;
DB      000H      ;flag angular do motor 2
DB      000H      ;flag angular do motor 3

```

END

Anexo D – Listagem do software do PC comentado

O software do microcomputador foi desenvolvido em C++, a seguir estão mostrados os arquivos Senna.c e Senna.h. na figura 9 temos a tela com os componentes do software

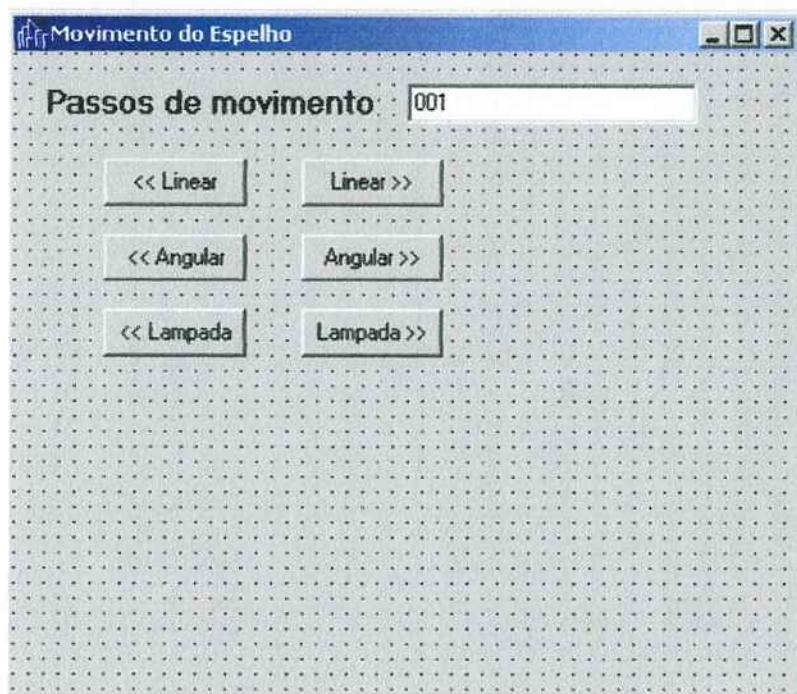


Figura 9 – tela do software de comando do protótipo

Listagem do software do computador

Senna.c

```
//-----
#include <vcl.h>
#include <stdlib.h>

#pragma hdrstop

#include "Senna.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.*.dfm"

TForm1 *Form1;

//-----
_fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
    DCB dcbConfigPorta;

    PontoX=1; // inicialização da contagem de tempo (eixo x).

    // Importante - esta função é executada na inicialização do programa
```

```
// Abre a porta serial

hndMinhaPorta = CreateFile("COM1",
                            GENERIC_READ + GENERIC_WRITE,
                            0,
                            NULL,
                            OPEN_EXISTING,
                            0,
                            NULL);

// Verifica se a porta foi realmente aberta
// ou seja se ela esta disponivel

if(hndMinhaPorta==INVALID_HANDLE_VALUE)

{
    ShowMessage("Porta nao disponivel");

    return;
}

// Prepara a configuração da porta serial para 2400 bps

GetCommState(hndMinhaPorta,&dcbConfigPorta);

dcbConfigPorta.DCBlength = sizeof (DCB);

dcbConfigPorta.fOutxCtsFlow = false;

dcbConfigPorta.fOutxDsrFlow = false;

dcbConfigPorta.BaudRate = 2400;

dcbConfigPorta.fBinary = true;
```

```
dcbConfigPorta.fParity = false;  
dcbConfigPorta.fOutxCtsFlow = false;  
dcbConfigPorta.fOutxDsrFlow = false;  
dcbConfigPorta.fDtrControl = DTR_CONTROL_DISABLE;  
dcbConfigPorta.fDsrSensitivity = false;  
dcbConfigPorta.fTXContinueOnXoff = true;  
dcbConfigPorta.fOutX = false;  
dcbConfigPorta.fInX = false;  
dcbConfigPorta.ErrorChar = false;  
dcbConfigPorta.fNull = false;  
dcbConfigPorta.fRtsControl = RTS_CONTROL_DISABLE;  
dcbConfigPorta.fAbortOnError = false;  
dcbConfigPorta.wReserved = 0;  
dcbConfigPorta.ByteSize = 8;  
dcbConfigPorta.Parity = NOPARITY;  
dcbConfigPorta.StopBits = ONESTOPBIT;  
dcbConfigPorta.XonChar = 0x01;  
dcbConfigPorta.XoffChar = 0xef;  
  
// Configura a porta e verifica se obtivermos sucesso  
if(!(SetCommState(hndMinhaPorta,&dcbConfigPorta)))  
{  
    ShowMessage("Erro na configuração da porta");  
    return;
```

```
    }

}

//-----



void __fastcall TForm1::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    CloseHandle(hndMinhaPorta);

}

//-----



void __fastcall TForm1::Button4Click(TObject *Sender)
{
    AnsiString entrada;
    AnsiString hex;
    unsigned long escrito;
    unsigned long lido;
    BYTE dado;
    int valor;
    char *x[1];
    char flag1[1];
    entrada = Angulo->Text;
```

```
        WriteFile(hndMinhaPorta,"A",1,&escrito,NULL);

        valor = StrToInt(entrada);

        //    hex = IntToHex(valor,2);

        flag1[1] = char(valor);

        x[1] = &flag1[1];

        WriteFile(hndMinhaPorta,x[1],1,&escrito,NULL);

        //    valor = StrToInt(entrada);

        //    valor = valor + 1;

        //    Angulo->Text = x[1];

    }

void __fastcall TForm1::Button5Click(TObject *Sender)
{
    AnsiString entrada;
    AnsiString hex;
    unsigned long escrito;
    unsigned long lido;
    BYTE dado;
    int valor;
    char *x[1];
    char flag1[1];
```

```
entrada = Angulo->Text;

WriteFile(hndMinhaPorta,"B",1,&escrito,NULL);

valor = StrToInt(entrada);

// hex = IntToHex(valor,2);

flag1[1] = char(valor);

x[1] = &flag1[1];

WriteFile(hndMinhaPorta,x[1],1,&escrito,NULL);

// valor = StrToInt(entrada);

// valor = valor + 1;

// Angulo->Text = x[1];

}

void __fastcall TForm1::Button6Click(TObject *Sender)
{
    AnsiString entrada;
    AnsiString hex;
    unsigned long escrito;
    unsigned long lido;
    BYTE dado;
    int valor;
```

```
char *x[1];
char flag1[1];
entrada = Angulo->Text;

WriteFile(hndMinhaPorta,"C",1,&escrito,NULL);

valor = StrToInt(entrada);

// hex = IntToHex(valor,2);

flag1[1] = char(valor);

x[1] = &flag1[1];

WriteFile(hndMinhaPorta,x[1],1,&escrito,NULL);

// valor = StrToInt(entrada);

// valor = valor + 1;

// Angulo->Text = x[1];

}

void __fastcall TForm1::Button7Click(TObject *Sender)
{
    AnsiString entrada;
    AnsiString hex;
    unsigned long escrito;
    unsigned long lido;
```

```
BYTE dado;  
int valor;  
char *x[1];  
char flag1[1];  
entrada = Angulo->Text;  
  
WriteFile(hndMinhaPorta,"D",1,&escrito,NULL);  
valor = StrToInt(entrada);  
// hex = IntToHex(valor,2);  
flag1[1] = char(valor);  
x[1] = &flag1[1];  
WriteFile(hndMinhaPorta,x[1],1,&escrito,NULL);  
// valor = StrToInt(entrada);  
// valor = valor + 1;  
// Angulo->Text = x[1];  
  
}  
  
void __fastcall TForm1::Button8Click(TObject *Sender)  
{  
    AnsiString entrada;  
    AnsiString hex;
```

```
unsigned long escrito;
unsigned long lido;
BYTE dado;
int valor;
char *x[1];
char flag1[1];
entrada = Angulo->Text;

WriteFile(hndMinhaPorta,"E",1,&escrito,NULL);

valor = StrToInt(entrada);

// hex = IntToHex(valor,2);

flag1[1] = char(valor);

x[1] = &flag1[1];

WriteFile(hndMinhaPorta,x[1],1,&escrito,NULL);

// valor = StrToInt(entrada);

// valor = valor + 1;

// Angulo->Text = x[1];

}

void __fastcall TForm1::Button9Click(TObject *Sender)
{
```

```
  AnsiString entrada;
  AnsiString hex;
  unsigned long escrito;
  unsigned long lido;
  BYTE dado;
  int valor;
  char *x[1];
  char flag1[1];
  entrada = Angulo->Text;

  WriteFile(hndMinhaPorta,"F",1,&escrito,NULL);

  valor = StrToInt(entrada);

//  hex = IntToHex(valor,2);

  flag1[1] = char(valor);

  x[1] = &flag1[1];

  WriteFile(hndMinhaPorta,x[1],1,&escrito,NULL);

//  valor = StrToInt(entrada);

//  valor = valor + 1;

//  Angulo->Text = x[1];

}

//-----
```

Senna.h

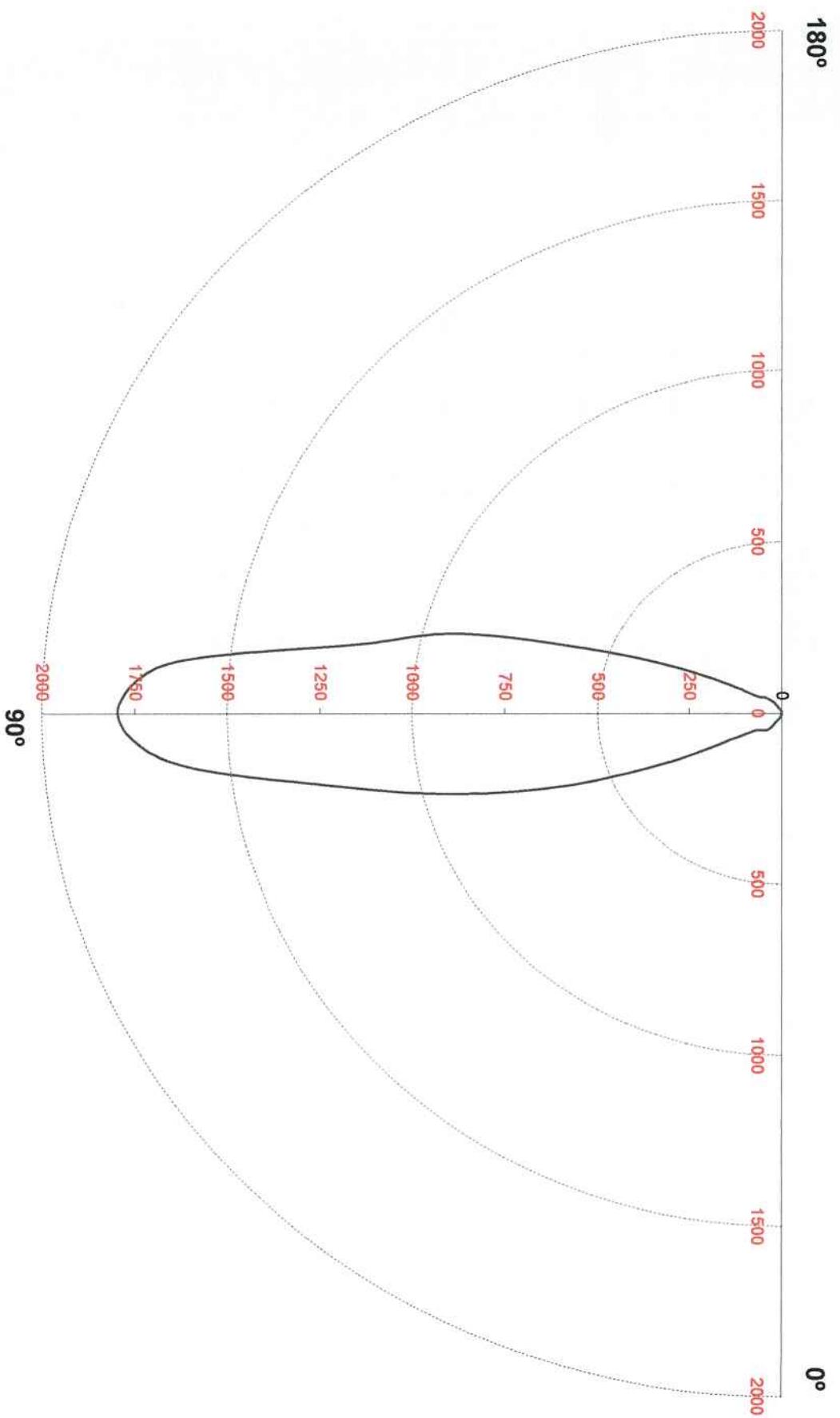
```
//-----  
#ifndef SennaH  
#define SennaH  
//-----  
  
#include <Classes.hpp>  
#include <Controls.hpp>  
#include <StdCtrls.hpp>  
#include <Forms.hpp>  
#include <Buttons.hpp>  
#include <Chart.hpp>  
#include <ExtCtrls.hpp>  
#include <Series.hpp>  
#include <TeEngine.hpp>  
#include <TeeProcs.hpp>  
//-----  
  
class TForm1 : public TForm  
{  
    __published: // IDE-managed Components  
    TTimer *Timer1;  
    TEdit *Angulo;  
    TLabel *Label1;
```

```
TButton *Button6;  
  
TButton *Button4;  
  
TButton *Button5;  
  
TButton *Button7;  
  
TButton *Button1;  
  
TButton *Button2;  
  
void __fastcall TForm1::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action);  
  
void __fastcall Button4Click(TObject *Sender);  
  
void __fastcall Button5Click(TObject *Sender);  
  
void __fastcall Button6Click(TObject *Sender);  
  
void __fastcall Button7Click(TObject *Sender);  
  
void __fastcall Button8Click(TObject *Sender);  
  
void __fastcall Button9Click(TObject *Sender);  
  
private: // User declarations  
  
    int PontoX;  
  
    HANDLE hndMinhaPorta;  
  
public: // User declarations  
  
    __fastcall TForm1(TComponent* Owner);  
  
};  
  
//-----  
  
extern PACKAGE TForm1 *Form1;  
  
//-----  
  
#endif
```

Anexo E – Curva característica Ampliada.

Na página seguinte está a curva característica levantada com a utilização do protótipo ampliada para melhor visualização

Plano 0 - 180



Referências

NICOLOSI, D. E. C. **Microcontrolador 8051 detalhado**, 4. ed. São Paulo: Érica, 2000
226p

DIB, WANDERLEY M.; PIRES, FRANCISCA A. C.; BLOISE, NICOLA.
Conservação de energia através de um goniofotômetro inteligente compacto. In:
Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica., 16., 2001,
Campinas **Anais...** Campinas: Unicamp, 2001

ATMEL 8-bit Microcontroler with 8k Bytes Flash DATA BOOK disponível em
<<http://www.atmel.com/downloads/>> Acesso em julho de 2003

**SANYO LB1847 – PWM Current Control Type Stepping Motor Driver DATA
BOOK** Produced by SANYO Electric co., Ltd. Semiconductor Business Headquarters,
Tokyo office tokyo Bldg, 1-10, 1 chome, Ueno, Taito-ku, TOKYO, 110-8534 JAPAN

Dados fotométricos no padrão IESNA:LM-63-1995 da lâmpada ensaiada
gentilmente cedidos pela Generel Eletric do Brasil