



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Coletor solar para iluminação direta através de fibra óptica

Carlos Ademar Purim *	Rogers Demonti	Walter Antônio Kapp
Lactec	Lactec	Engemovi
purim@lactec.org.br	rogers@lactec.org.br	wakapp@uol.com.br

* Autor correspondente

Palavras-chave:

Coletor solar
Eficientização
Energia solar
Fibra óptica
Iluminação

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados preliminares da construção de um protótipo de coletor solar para iluminação de ambientes através da concentração dos raios solares utilizando-se uma lente de Fresnel e fazendo-se o transporte da luz por meio de fibra óptica até o ambiente a ser iluminado. Visa prover iluminação com luz natural em ambientes onde há impossibilidade de construção de janelas ou outras aberturas, ou mesmo para complementar a luminosidade exigida em qualquer ambiente durante o período diurno. Evita-se, assim, o desperdício de energia onde lâmpadas elétricas ficam ligadas durante o dia.

O trabalho completo está sendo preparado para apresentação como parte das exigências para obtenção do título de mestrado profissionalizante do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia - Prodetec.

1. Introdução

Muito se tem explorado sobre o tema da energia solar como fonte alternativa visando seu aproveitamento na matriz energética. O Brasil, por ser um país predominantemente tropical é contemplado por uma imensa disponibilidade desta energia. No entanto, a maior parte dos trabalhos foca a conversão da energia solar em energia elétrica através de painéis fotovoltaicos e seu armazenamento em baterias. Não menos importante tem sido a utilização do calor gerado pelo sol para a utilização em sistemas de aquecimento de água.

Uma lacuna ainda não preenchida nestes estudos é o melhor aproveitamento da luz solar em iluminação. Esta afirmação pode parecer, num primeiro momento, um contra-senso uma vez que todas as construções possuem janelas e outras aberturas para a entrada de luz. Mas basta uma observação mais atenta para verificar que a maioria dos locais de trabalho – escritórios e fábricas – permanece com suas luzes acesas durante o dia.

Isto acontece principalmente devido à intensa utilização de computadores e seus respectivos monitores. Para um conforto na visualização da tela, a iluminação não pode ser, nem frontal, pois ofusca a visão do operador, nem de retaguarda, uma vez que nesta situação há grande chance de reflexos na tela. Percebe-se que, para o trabalho com computadores, a iluminação vinda do teto é a mais adequada. Segundo um estudo realizado pelo Procel da Eletrobrás, em prédios públicos, 24% da energia consumida é para iluminação¹.

Mesmo um prédio dotado de bom aproveitamento da iluminação natural haverá espaços internos onde a luz não consegue penetrar com a intensidade necessária, como, por exemplo, áreas internas de circulação e garagens subterrâneas. Hoje em dia, para estes espaços, não há outra solução a não ser a iluminação elétrica.

A aplicação de um sistema que faça a coleta da luz solar, e esta luz possa ser 'canalizada' para dentro dos ambientes através de um feixe de fibras ópticas, pode reduzir significativamente a utilização de energia elétrica despendida no período em que o sol está disponível. Sabe-se também que a luz natural traz enormes benefícios para a saúde e para o bem-estar das pessoas, melhorando a produtividade e reduzindo a fadiga, associando-se à maior produtividade, menor absenteísmo, menor índice de erros no trabalho, estimula atitudes positivas e diminui problemas de visão².

Para comprovar a viabilidade de um sistema de canalização da luz solar através de fibras ópticas foi construído um protótipo que, apesar das suas pequenas dimensões, se mostrou adequado ao propósito. Como elemento de concentração dos raios solares foi utilizada uma lente de Fresnel similar às utilizadas em retroprojetores. Esta lente foi montada num mecanismo que permite sua orientação automática para a perpendicularidade com os raios solares, acompanhando o movimento aparente do sol durante o dia e durante as estações do ano.

2. Considerações iniciais sobre projeto

Pode-se avaliar teoricamente a validade de um projeto de aproveitamento da luz solar para iluminação fazendo-se algumas comparações com a iluminação elétrica. Lâmpadas fluorescente tradicionais de 20 W emitem um fluxo luminoso de 1060 lm conforme dados do fabricante³. Isto corresponde a uma eficiência elétrica de 53 lm/W. Lâmpadas incandescentes têm rendimento muito inferior, na faixa de 9 a 16 lm/W. As novas famílias de lâmpadas fluorescentes tubulares chegam a um fluxo luminoso de 1350 lm com 14 W, resultando em uma eficiência elétrica de 96 lm/W, mas a maior parte do parque instalado vai levar tempo para atingir este rendimento.

O sol emite uma energia de 970 W/m² em todo o seu espectro, sendo que praticamente a metade está na faixa do infravermelho. Se filtrarmos esta região, cujos comprimentos de onda estão acima de 0,7 micrometros (ou 700 nanometros), e os comprimentos de onda abaixo de 400 nm, resulta em que o espectro visível apresenta uma energia de 490 W/m². Como a intensidade luminosa incidente na superfície da terra é de até 100000 lx, ou seja, 100000 lm/m², a eficiência teórica é ligeiramente acima de 200 lm/W⁴. Mesmo considerando-se uma perda de 70% na coleta e transporte da luz, é possível a obtenção de uma eficiência de 60 lm/W. Há que se considerar ainda, numa análise mais detalhada, a contribuição do aquecimento do ambiente pelos reatores e lâmpadas e que certamente vai exigir mais energia do sistema de ar condicionado. Um sistema de iluminação por fibra óptica elimina este inconveniente.

¹ L. Magalhães Orientações Gerais para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos

² L. Edwards et al A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants

³ http://www.osram.com.br/download/dados_tecnicos/fluor_tubulares.pdf acesso em 15/03/2008

⁴ J. D. Muss Hybrid solar lighting doubles the efficiency and affordability of solar energy in commercial buildings

Há, obviamente, o fato da impossibilidade do armazenamento da energia em forma de luz. A solução da conversão da energia solar em eletricidade através de painéis fotovoltaicos, certamente é uma solução interessante. No entanto, até o momento a tecnologia só atingiu um rendimento na faixa de 10%, sem levar em consideração outras perdas como no armazenamento e na conversão de corrente contínua para corrente alternada, ou seja, a solução completa acaba apresentando um rendimento entre 1 a 5%⁵.

Portanto, do ponto de vista técnico, a solução do aproveitamento direto da luz solar com transporte por fibras ópticas é viável e deve ter suas pesquisas incentivadas para que o mercado tenha esta opção e venha a ser adotado como complemento na matriz energética.

3. Descrição do projeto

Para efeito de uma descrição mais organizada, pode-se dividir o projeto do protótipo nas seguintes partes:

- a) Escolha da fibra óptica;
- b) Escolha da lente concentradora;
- c) Projeto do mecanismo de movimentação da lente;
- d) Projeto do circuito eletrônico.

3.1. Escolha da fibra óptica

Existem basicamente dois tipos de fibras ópticas: as fibras de quartzo e as fibras plásticas fabricadas de Polimetil Metacrilato - PMMA (PolyMethylMethAcrylate). Enquanto as primeiras apresentam melhor condutividade da luz e suportam maiores temperaturas, as de PMMA apresentam melhor flexibilidade e apresentam um custo menor. O princípio da propagação da luz através da fibra óptica é apresentado na Figura 1.

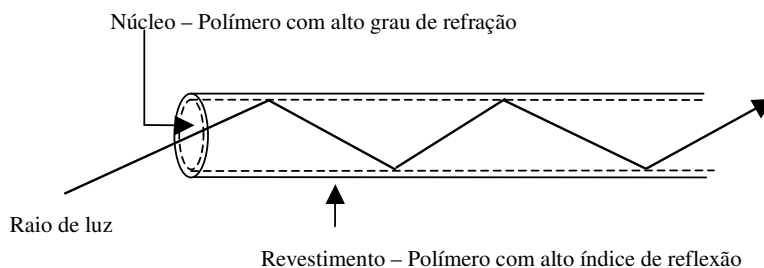


Figura 1 – Propagação da luz através da fibra óptica.

No protótipo deste trabalho foi utilizado um cabo fabricado pela Fasa Fibra Ótica⁶ de 4 m de comprimento cuja especificação é: tipo endlight encapado modelo FOC.080 com diâmetro útil é de 8 mm contendo 75 fibras de PMMA de 0,75 mm de diâmetro.

3.2. Escolha da lente concentradora

Se a fibra óptica for simplesmente apontada para o sol ela irá transportar apenas a luminosidade incidente na área da sua extremidade. Para aumentar a luminosidade transportada faz-se necessário concentrar a luz com a utilização de uma lente adequada. Desprezando-se as perdas do sistema, pode-se dizer que a luminosidade transportada pela fibra é equivalente à luminosidade incidente sobre a área da lente concentradora. Portanto, a dimensão da lente é fator fundamental para determinação da luminosidade disponível no ambiente que se deseja iluminar através do sistema coletor.

⁵ J. D.Muss Hybrid solar lighting doubles the efficiency and affordability of solar energy in commercial buildings

⁶ www.fibraoptica.com.br

Como as lentes esféricas são relativamente pesadas, optou-se pela utilização de uma lente de Fresnel. Sua principal característica é apresentar um foco bastante curto com uma lente de pouca espessura. Baseia-se na segmentação de uma lente esférica, onde as angulações são mantidas em cada segmento, sem, no entanto, utilizar a mesma quantidade de material. Pela Figura 2 pode-se perceber o princípio da Lente de Fresnel e a comparação entre elas.

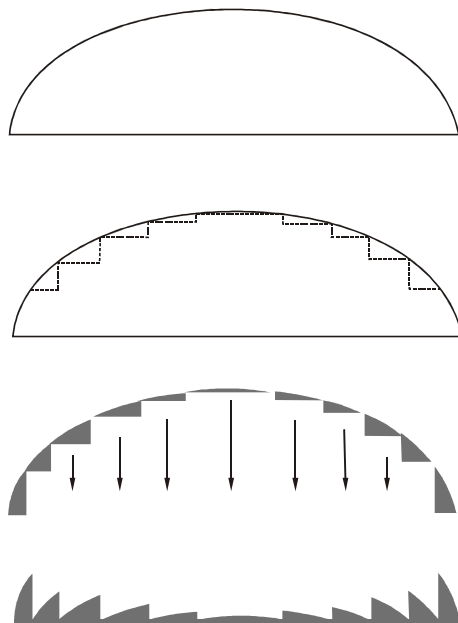


Figura 2 - Princípio da Lente de Fresnel.

Para o protótipo foi aplicada uma lente de Fresnel de 280 mm x 280 mm utilizada em retroprojetores de transparências, fabricado com material polimérico o que deixa seu peso ainda mais reduzido. O foco desta lente fica a cerca de 100 mm da superfície. Considerando que o sol produz um iluminamento na faixa de 32000 lx a 100000 lx na superfície da terra, pode-se calcular que uma superfície com as dimensões da lente utilizada ($0,0729\text{m}^2$) obtém-se um fluxo luminoso teórico entre 2509 lm e 7840 lm.

3.3. Descrição do mecanismo de movimentação da lente

Para manter o foco da lente sempre posicionada na extremidade da fibra óptica é necessário movimentar a lente para acompanhar o movimento aparente do sol durante o dia (movimento no sentido da longitude – leste-oeste), bem como no movimento aparente durante o ano (movimento no sentido da latitude – norte-sul). A Figura 3 apresenta o desenho em perspectiva do mecanismo indicando os principais componentes.

Enquanto o movimento no sentido da longitude acompanha a trajetória aparente do sol no seu movimento diário entre o amanhecer e o anoitecer, o movimento no sentido da latitude acompanha o sol durante as estações do ano.

Foram utilizados dois micromotores de corrente contínua modelo MR102-35ML-Z da Action Technology cuja construção já incorpora um redutor embutido na sua carcaça. Quando alimentado com 12 Vcc a velocidade do eixo é de 36 rpm em vazio e torque no eixo (já considerado o redutor incorporado) de 6,6 kgf.cm. Além do redutor incorporado, foi previsto no projeto um mecanismo redutor adicional, tanto para o movimento leste-oeste (longitude) quanto para o movimento norte-sul (latitude).

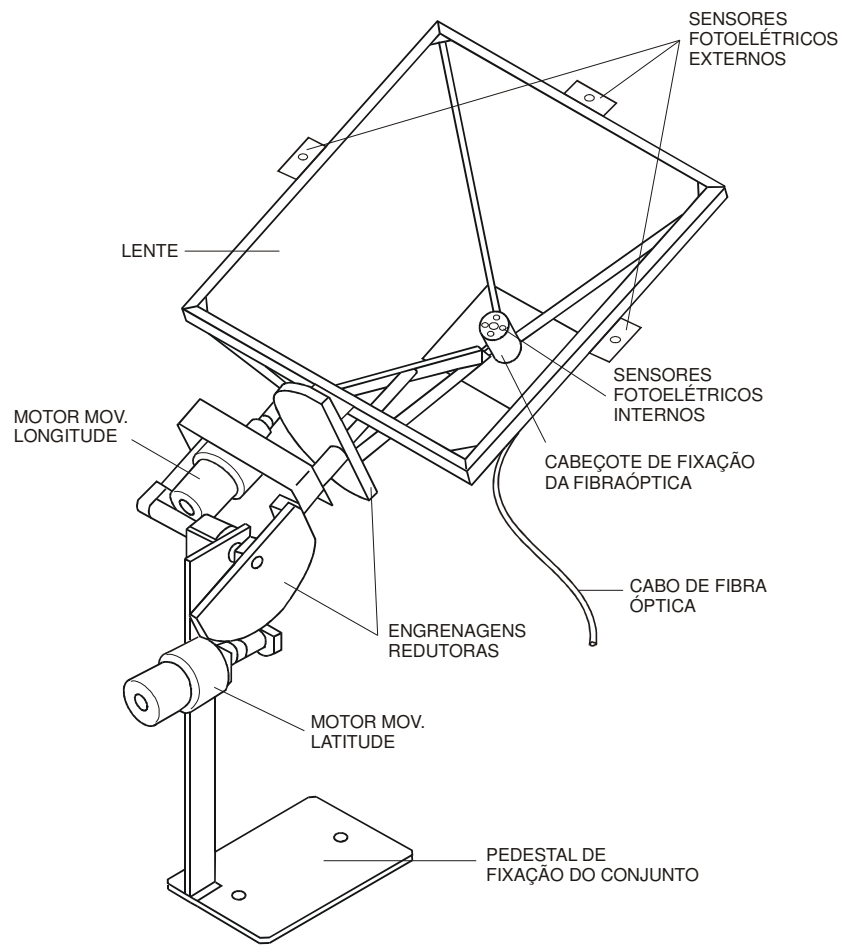


Figura 3 – Desenho do conjunto mostrando os principais componentes.

Para o cálculo do ângulo do movimento diário da lente foi considerado um período de aproveitamento da luz solar entre 7 horas da manhã até às 17 horas perfazendo assim um período de 10 horas. A faixa do ângulo pode ser calculada como:

$$f\alpha = \frac{fh}{24} \cdot 2\pi \text{ onde } fh = h_{\max} - h_{\min} \therefore fh = 17 - 7 = 10 \quad (1)$$

$$f\alpha = \frac{20\pi}{24} \therefore f\alpha = 2,618rd \therefore f\alpha = 150^\circ \quad (2)$$

A velocidade angular do mecanismo diário (ω_d) é de:

$$\omega_d = \frac{f\alpha}{fh} = \frac{150}{10} \therefore \omega_d = 15^\circ/h = 0,25^\circ/\text{min} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ rpm} \quad (3)$$

Considerando que o motor com a redução incorporada, gira a uma velocidade de 36 rpm, ou seja, 9.000°/min, o mecanismo de redução adicional deveria ter uma relação teórica de:

$$rel = \frac{9000}{0,25} = 36000 \quad (4)$$

No entanto, esta relação pressupõe que o motor deverá girar na sua velocidade nominal para acompanhar o sol, mas isto não é possível, pois certamente exigiria um sincronismo equivalente a um relógio de precisão. É preferível estabelecer uma velocidade mais alta e fazer com que o circuito eletrônico controle a velocidade do mecanismo em malha fechada, através da tensão do motor, reduzindo ou aumentando sua velocidade, para manter o foco da lente sobre a fibra óptica. O motor de

corrente contínua, com imã permanente é perfeitamente adequado, uma vez que uma das suas características é manter o torque mesmo em baixas rotações.

Uma redução mecânica adicional é até conveniente para aumentar o torque disponível, e na análise do circuito eletrônico será abordada a questão desta redução tendo como base a premissa do mínimo valor do incremento da velocidade possível de se obter em função da resolução (número de bits) do circuito de controle.

As Figuras 4 e 5 apresentam a simulação em computador das várias posições que a lente pode assumir.

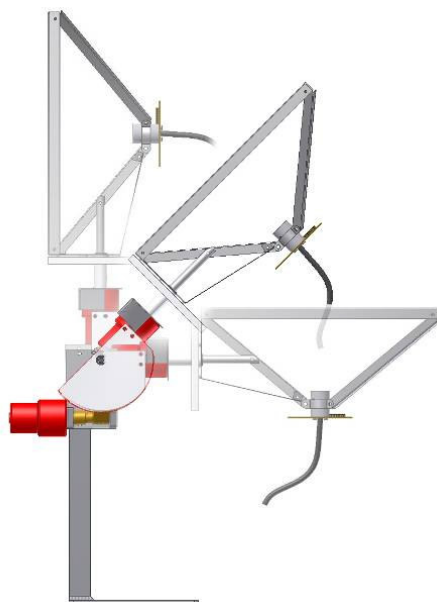


Figura 4 – Simulação do movimento da lente com relação às estações do ano (latitude).

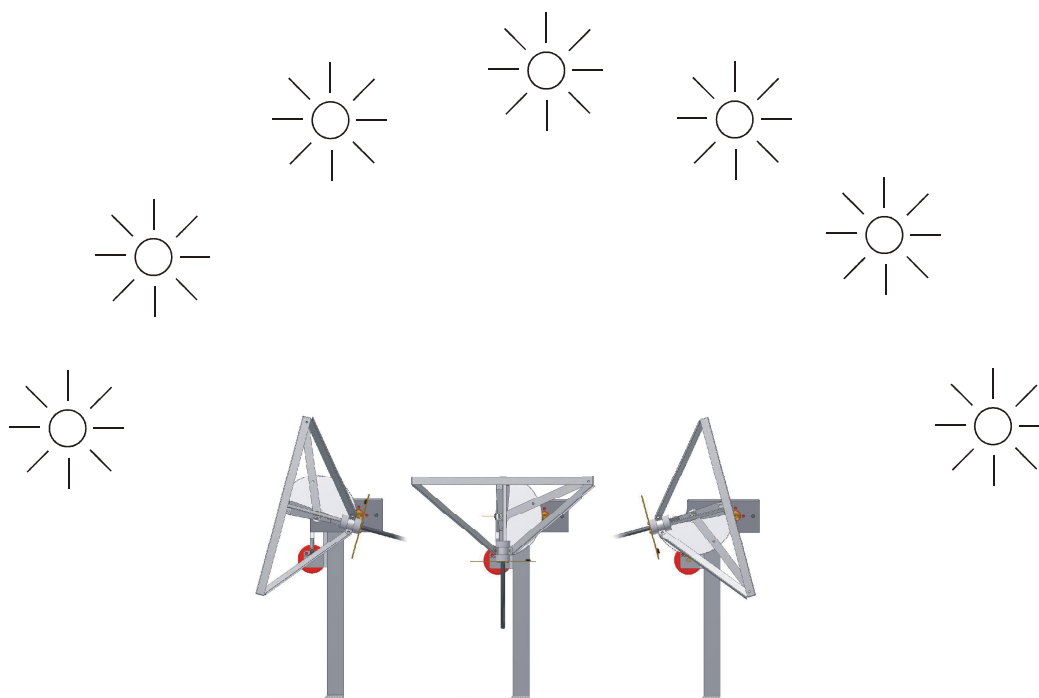


Figura 5 – Movimento da lente entre o amanhecer e o anoitecer.

Foram previstos dispositivos sensores de fim-de-curso para interromper o movimento dos motores caso o mecanismo de movimentação da lente atinja a posição limite. Esta segurança protege os motores do aquecimento excessivo e o mecanismo de sobrecargas que poderiam danificá-los definitivamente.

O mecanismo pressupõe que no final do dia a lente vai ficar estacionada na sua última posição. Ao amanhecer os próprios sensores farão a busca da posição do sol e, uma vez atrelado ao movimento do sol, assim permanecerá durante o dia.

Se durante o dia houver um encobrimento do sol, o equipamento ficará estacionado até que haja diferença na intensidade recebida nos seus sensores, quando então, inicia o movimento para o equilíbrio dos sinais e, conseqüentemente, se posiciona para o sol.

Como princípio de operação, o equipamento estará sempre buscando a maior intensidade de luz em todos os sensores. Assim, é possível que quando uma determinada nuvem encobrir o sol, haja brilho intenso em alguma extremidade da nuvem. O mecanismo estará temporariamente apontando para este brilho até que o sol volte a aparecer.

3.4. Descrição do circuito eletrônico

A função do circuito eletrônico é detectar a posição relativa do sol e enviar um comando para a movimentação dos motores com o objetivo de posicionar o foco da lente na extremidade da fibra óptica. Nas laterais da lente foram instalados quatro sensores fotoelétricos, cuja diferença de sinal elétrico entre eles indica um posicionamento irregular da lente em relação a perpendicularidade com os raios solares. Assim os motores são movimentados num controle de malha fechada até que a tensão entre todos os sensores esteja equilibrada. Para uma aproximação mais acurada, foram instalados outros quatro sensores no cabeçote de fixação do cabo de fibra óptica visando um ajuste fino do foco. Quando o nível de tensão dos quatro sensores externos estiver equilibrado, o circuito eletrônico passa a monitorar os sensores próximos à extremidade da fibra. Desta forma, obteve-se um ajuste mais preciso do foco.

O circuito tem como principal componente um microprocessador AduC812 (8051 compatível) com 8 entradas analógicas de 12 bits, 2 saídas analógicas também de 12 bits, 32 I/O's digitais programáveis como entradas ou como saídas.

O circuito do driver dos motores foi implementado com a utilização de um circuito ponte completa para dois motores baseado no circuito L298N Dual Full-Bridge Driver que possibilita um controle de corrente até 4 A, ou seja, bastante acima das necessidades desta aplicação.

Foi utilizada a técnica PWM – Pulse Width Modulation para controlar a velocidade dos motores. Esta técnica de modulação faz com que uma onda quadrada (com valor de pico constante) forneça tensões efetivas, em função da razão cíclica, em toda a faixa de tensão que vai de zero até a tensão de pico, pelo simples desligamento e religamento, com uma frequência bem acima da frequência máxima de resposta mecânica. A Figura 6 mostra o princípio de funcionamento da modulação PWM.

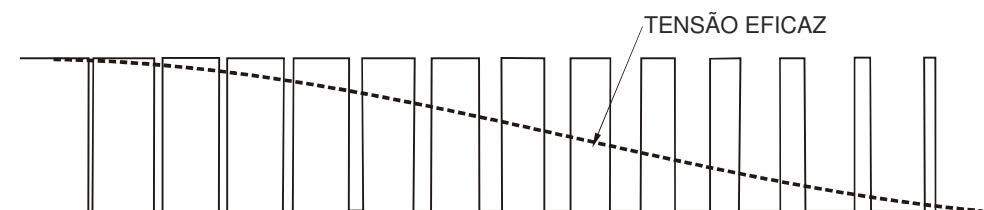


Figura 6 – Princípio da modulação PWM.

No caso do projeto, a modulação em largura de pulso é feita diretamente pelo microprocessador e disponibilizada em pinos de I/O's. À medida que a malha de controle verifica que os sensores tendem

a receber a mesma intensidade de luz, a largura do pulso enviado ao driver do motor vai diminuindo, reduzindo assim a tensão eficaz e, conseqüentemente, reduzindo a velocidade. Vale salientar que há uma malha de controle e duas saídas de I/O para cada motor, uma para cada direção que se deseja movimentar.

Neste ponto cabe analisar as premissas estabelecidas no projeto para o controle PWM e que influenciaram o projeto mecânico do redutor adicional do motor a partir dos seguintes dados:

- Tensão nominal do motor: $V_{N_{MOT}} = 12 \text{ V}$;
- Tensão de pico do PWM: $V_{PWM} = 4,75 \text{ V}$ (alimentação em 5V e descontando-se as perdas de comutação);
- Velocidade angular do motor com redutor incorporado: $\omega_{N_{MOT}} = 36 \text{ rpm} = 3,8 \text{ rad/s}$;
- Velocidade angular do mecanismo diário: $\omega_d = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ rpm}$ (já calculado anteriormente – Equação 3);
- Resolução do controle: (Res) = 1024 (discretização do período da onda com resolução de 10 bits).

Uma primeira hipótese seria deixar o controle da velocidade do motor-redutor totalmente para o circuito eletrônico, isto é, sem conjunto redutor mecânico adicional, fazendo com que o eixo do motor fosse acoplado diretamente ao conjunto da lente.

Calculando-se a rotação mínima sustentável (ω_{MIN}) verifica-se que este valor ainda é bastante superior à velocidade angular diária (ω_d) com mostra a Equação 6. Esta limitação é devida a sensibilidade da tensão de controle, que, por sua vez, é função da resolução obtida no controle PWM.

A sensibilidade da tensão de controle (SV_{MOT}) para o motor é dada por:

$$SV_{MOT} = \frac{V_{PWM}}{Res} = \frac{4,75}{1024} = 4,6mV \quad (5)$$

Determinação da rotação mínima sustentável do motor, levando-se em conta apenas a sensibilidade da tensão de controle (sem levar em consideração o atrito estático):

$$\omega_{MIN} = SV_{MOT} \frac{\omega_{N_{MOT}}}{VN_{MOT}} = 4,6 \cdot 10^{-3} \frac{3,8}{12} = 1,457 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s} \quad (6)$$

$$\omega_{MIN} = 0,014 \text{ rpm}$$

Esta é a velocidade mínima do motor possível de se obter com o circuito eletrônico a partir dos dados estabelecidos. Pode-se constatar que esta velocidade mínima do motor-redutor ainda é maior do que a velocidade diária do mecanismo (ω_d) impossibilitando assim o acoplamento mecânico direto. Fazendo-se uma relação entre a velocidade mínima e a velocidade diária do mecanismo, podemos obter a relação de transmissão teórica:

$$Rt_d = \frac{\omega_{MIN}}{\omega_d} = \frac{14 \cdot 10^{-3}}{0,7 \cdot 10^{-3}} = 20 \quad (7)$$

Isto significa que uma redução mecânica adicional com esta relação permite que o motor-redutor, rodando na sua velocidade mínima sustentável, acompanhe a velocidade diária ω_d .

Foi estabelecida a construção das engrenagens na modalidade coroa-pinhão, com dentes retos e com um módulo (m_d) de 0,5 mm e 12 dentes no pinhão ($z_{p_p} = 12$).

Cálculo do diâmetro primitivo do pinhão:

$$\phi_{p_p} = m_d \cdot z_{p_p} = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ mm} \quad (8)$$

Número de dentes da coroa:

$$z_{p_c} = z_{p_p} \cdot Rt_d = 12 \cdot 20 = 240 \quad (9)$$

Diâmetro primitivo da coroa:

$$\phi_{p_c} = z_{p_c} \cdot m_d = 240 \cdot 0,5 = 120 \text{ mm} \quad (10)$$

4. Construção do protótipo e testes preliminares

Como já exposto anteriormente, utilizou-se uma lente de Fresnel comercial adquirida em empresa de manutenção de equipamentos de projeção de imagens. Não foi possível localizar no mercado lentes de Fresnel de dimensões maiores. Como o propósito do projeto era de validar um modelo de captação de luz solar, esta lente se apresentou bem adequada.

Após a fabricação das peças mecânicas, montagem do circuito eletrônico e montagem do conjunto, foram iniciados os testes onde várias correções e ajustes foram necessários. Adaptações no software só puderam ser desenvolvidas com o protótipo montado, especialmente o estabelecimento de tensões de offset para vencer o atrito inicial e que interferem no algoritmo para proporcionar a largura de pulsos de acionamento dos motores e sua respectiva malha de controle.

Uma fotografia do protótipo montado pode ser vista na Figura 7. Nesta fase foi utilizada uma fibra óptica de quartzo com 6 mm de diâmetro e 1,80 m de comprimento própria para experiências de laboratórios de óptica.



Figura 7 – Protótipo do coletor solar montado.

Foi então adquirido um cabo de fibra óptica plástica tipo endlight encapado modelo FOC.080 com diâmetro útil é de 8 mm contendo 75 fibras de PMMA de 0,75 mm de diâmetro. O comprimento do cabo era de 4 m e o fabricante fornece com o acabamento nas extremidades conforme pode ser visto na Figura 8.



Figura 8 – Detalhe do acabamento da extremidade da fibra óptica plástica.

Antes da aplicação deste cabo de fibra no coletor solar, foi realizado um ensaio no Laboratório de Luminotécnica do Lactec para medição das perdas. Utilizou-se como fonte de luz uma lâmpada dicrômica de 12 V – 50 W modelo D0501 fabricado pela Empalux.

Primeiramente foi realizada a medição do iluminamento com a lâmpada, sem a fibra óptica, e compararam-se as medições realizadas com a inserção da fibra entre a lâmpada e o sensor. Foi necessária a construção de duas peças mecânicas, uma para acomodar a lâmpada e a outra para o sensor do instrumento. No primeiro ensaio estas duas peças foram acopladas por um tubo de alumínio simulando as duas extremidades da fibra (Montagem 1). Com este arranjo, mediu-se a intensidade luminosa. Na segunda medição (Montagem 2), inseriu-se cada uma das extremidades da fibra em cada dispositivo (retirando-se o tubo de alumínio) e repetiu-se a medição. O esquema da montagem da experiência pode ser visto na Figura 9 e a Figura 10 mostra o ensaio sendo realizado. Os resultados das medidas obtidas e a perda estão apresentados no Quadro 1. A perda foi calculada como um percentual, tendo-se como referência a montagem 1.

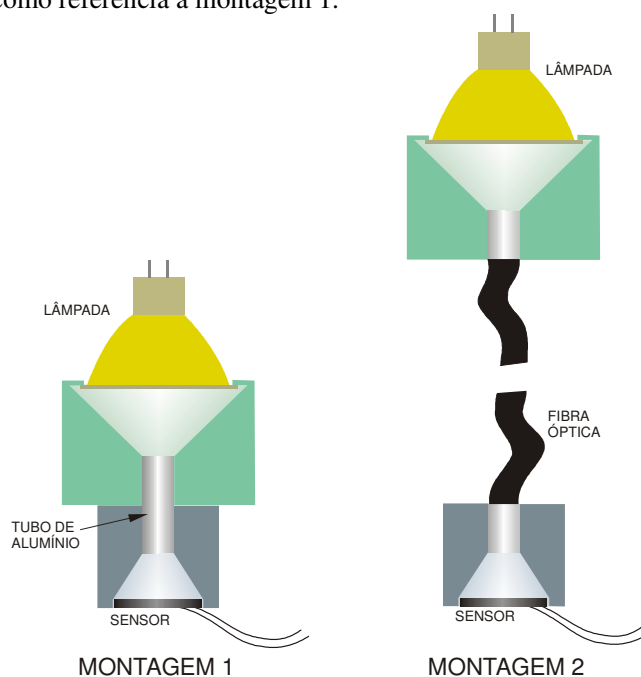


Figura 9 – Montagens dos ensaios de perda da fibra óptica

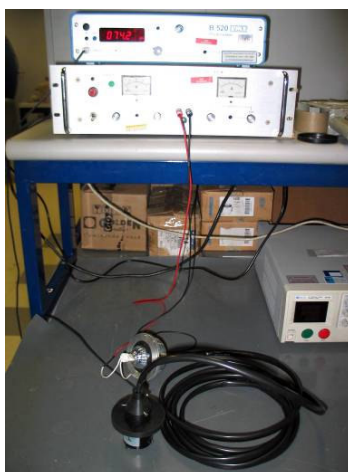


Figura 10 – Realização do ensaio das perdas da fibra plástica

Quadro 1 – Resultados das medições

Montagem 1	Montagem 2 (cabo com 4 m)	Perda
23610 lx	7020 lx	70%

Outro problema enfrentado no experimento com o coletor solar foi a temperatura na extremidade da fibra onde o foco da lente concentra a luz. O fabricante da fibra não recomenda temperaturas acima de 75° C e a temperatura neste ponto passava facilmente dos 100° C. Desta forma foi necessário desenvolver uma solução para a dissipação com um mínimo de perda luminosa.

Foi então projetado um cabeçote de alumínio com várias aletas para melhorar a dissipação e uma espécie de reservatório com tampa de vidro onde foi colocada certa quantidade de água. Este arranjo vidro-água certamente aumenta as perdas na coleta da luz, mas permitem a utilização de fibras plásticas. O projeto deste novo cabeçote levou em consideração os aspectos da estanqueidade para não ocorrer vazamentos da água quando da sua utilização. A Figura 11 apresenta o cabeçote montado. Como se pode observar no Quadro 2, as temperaturas ficaram em níveis perfeitamente aceitáveis. A título de comparação, foi anotada a temperatura da estrutura metálica em local onde não incidia o foco da lente.

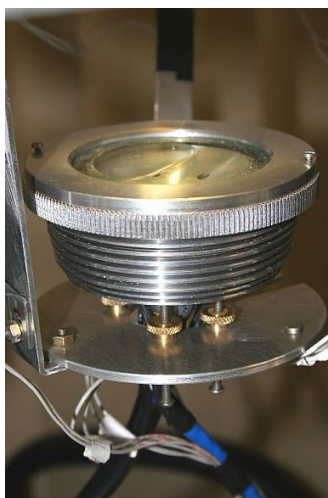


Figura 11 – Cabeçote com dissipação

Quadro 2 – Medições da temperatura utilizando-se o cabeçote com dissipação

Local da medição	Temperatura (°C)
Carçaça de Alumínio	46
Base da fibra	42
Estrutura metálica do coletor	34

Para se obter a perda inserida no coletor com este novo cabeçote, foi necessário um novo ensaio no Laboratório de Luminotécnica. O resultado obtido mostra que a perda inserida não é significativa conforme mostra o Quadro 3. Saliente-se que foi utilizado um vidro comum de 4 mm de espessura.

Quadro 3 – Perdas devidas ao cabeçote com dissipação

Perda devida ao cabeçote (vidro + água)	Perda com cabeçote (vidro + água) e fibra óptica com 4 m de extensão
24%	85%

A Figura 12 mostra flagrantes do primeiro testes de campo realizado com o mecanismo.



Figura 12 – Primeiro ensaio de campo mostrando detalhes da extremidade da fibra iluminada

5. Conclusões

O presente trabalho apresentou um projeto viável de aproveitamento da luz solar durante o dia para iluminação tanto para ambientes residências quanto ambientes profissionais, especialmente onde não existem janelas ou elas são insuficientes para uma iluminação adequada, bem como, para ambientes onde as janelas, mesmo adequadas em tamanho, não proporcionam o conforto desejado para a uma boa iluminação. A solução apresentada tem como foco mitigar o desperdício de energia elétrica utilizada em iluminação durante o dia.

Sendo o Brasil um país com abundância de sol e dada a urgente busca de opções de energias limpas e renováveis, a solução apresentada por este projeto mostra que um dos caminhos pode ser o aproveitamento direto da luz solar com a canalização através de fibras ópticas. O trabalho apresenta apenas os primeiros ensaios e ainda há um longo caminho a ser percorrido para se chegar a um equipamento efetivamente prático e comercial. No entanto, já provou que este caminho existe e é viável tecnicamente. Por se tratar de um trabalho acadêmico, com escassos recursos, não houve possibilidade de se fazer mais experimentos com outros materiais, diferentes soluções de controle e outras soluções de mecanismo e nem mesmo aprofundar as questões econômicas.

6. Agradecimentos

Merecem destaque alguns colegas do Lactec que ajudaram em partes importantes do projeto como o pesquisador João Adalberto Pereira, Giordano Bruno Wolaniuk da Divisão de Eletrônica, Reinaldo Stier e Rafael Martins do Laboratório de Luminotécnica e os estagiários Deivid Ribeiro e André Dal Santos, bem como o empresário e ex-professor Luiz Florenzano da Zolla Metalúrgica que confeccionou as partes mecânicas do protótipo.

7. Bibliografia

1. MAGALHÃES, L. C. Orientações Gerais para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos. Eletrobrás-Procetel, 2001, p. 11.
2. EDUARDES, L., TORCELINI, P. A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants. National Renewable Energy Laboratory, USA, 2002.
http://www.osram.com.br/download/dados_tecnicos/fluor_tubulares.pdf acesso em 15/03/2008
3. MUSS, J. D. Hybrid solar lighting doubles the efficiency and affordability of solar energy in commercial buildings. Oak Ridge National Laboratory, USA, Newsletter nº 4, 2000.
4. MARTINS, F. R., PEREIRA E. B., ECHER, M. P. S., Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário – o Projeto Swera. Revista Brasileira de Física, v. 26, nº 2, p. 145- 159, 2004.
5. COSTA, G. J. C. Iluminação econômica:cálculo e avaliação. Porto Alegre, EDIPUCRS, 1998.