

Dimensionamento de um sistema de iluminação a LED alimentado por painéis fotovoltaicos

Edwilson da Silva Souza
Engenheiro Eletricista pelo Centro Universitário CESMAC.

Marcos André dos Santos Ferreira
Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário CESMAC.

Sérgio Silva de Carvalho
Mestre em Ciência da Computação pela UFPE.

RESUMO

Este artigo descreve um método para dimensionamento de um sistema de placas fotovoltaicas, e demais equipamentos associados, para fornecimento de energia à iluminação de um ambiente com lâmpadas de alto rendimento. São utilizadas luminárias com Diodos Emissores de Luz (LED). Estes dispositivos possuem baixo consumo energético, baixa manutenção e alta durabilidade, não emitem raios ultravioleta e nem gases poluentes. Esta solução ajuda a atenuar o problema de muitos dos atuais sistemas de iluminação, que são de baixa eficiência energética, e que portanto não deveriam ser alimentados por fontes alternativas de energia, especialmente fontes fotovoltaicas, que possuem baixo rendimento energético.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Fotovoltaica. Iluminação de alto rendimento. Diodos Emissores de Luz. Lumens.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta os passos necessários para a execução de um projeto luminotécnico que utiliza luminárias LED em uma sala de aula. Estas luminárias são alimentadas por painéis fotovoltaicos, e são mostrados os cálculos de eficiência energética e da quantidades de lâmpadas para atender a demanda de luminosidade que uma sala de aula exige. Também se apresenta, para o sistema de energia solar fotovoltaica, quais os equipamentos e a sua quantidade, para que atenda a necessidade do projeto. A sala a ser iluminada, possui uma área de 60m^2 e um plano de trabalho situado a 1,7 m da luminária. Usando o Método dos Lumens, foram desenvolvidos todos os cálculos necessários, como também, a potência nominal necessária, as quantidades de lâmpadas, as quantidades de placas fotovoltaicas e a especificação das baterias necessárias para o funcionamento do sistema.

2 PROJETOS LUMINOTÉCNICOS

Desde a época em que a luz artificial passou a ser utilizada, até os dias atuais, constatou-se o grande avanço tecnológico dado pela indústria da iluminação no século XX. Nos últimos anos, houve um avanço na utilização de sistemas mais eficientes, certamente motivado pelo aumento nos custos da energia elétrica nos países desenvolvidos.

O investimento necessário para construir usinas e sistemas de transmissão é tamanho que governos adotam programas intensivos para promover a utilização de equipamentos de utilização energeticamente mais eficientes.

Recentemente foi decretada uma nova lei nos EUA para regulamentar a iluminação sob seu aspecto energético. Foi simplesmente proibido o uso de sistemas de iluminação com baixa eficiência, incluindo lâmpadas bastante utilizadas no Brasil, como as incandescentes, as fluorescentes tradicionais, as de vapor de mercúrio e as mistas.

Em alguns produtos do EUA, como lâmpadas comuns e equipamentos auxiliares, encontra-se a inscrição “proibida a venda no território americano”, ou “somente para exportação”. A mesma lei dá prazo para que as instalações antigas sejam reformadas e, para motivar a população, prevê financiamento destinado à troca de sistemas, além da aplicação de pesadas multas (COSTA, 2006).

Para Costa (2006) o motivo pelo qual essa resolução foi tomada é lógico: minimizar o consumo de energia elétrica. Os governos pretendem reduzir ao máximo os investimentos em eletricidade, que, além dos custos financeiros, geram custos ambientais significativos. A estratégia para atingir esses objetivos reside no desenvolvimento de novas fontes de luz, equipamentos auxiliares, sensores e luminárias mais econômicas.

2.1 CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

Ao se pensar em cálculo luminotécnico, é necessário ter presente quatro critérios principais, quais sejam:

- a) A quantidade de luz;
- b) O equilíbrio da iluminação;
- c) O ofuscamento;
- d) A reprodução de cor.

A cada um destes critérios deve ser dada a maior atenção, pois estão diretamente relacionados com as necessidades visuais, conforto visual e, portanto, o bem estar humano.

Uma fonte de radiação emite ondas eletromagnéticas. Elas possuem diferentes comprimentos, e o olho humano é sensível a somente alguns. Luz é, portanto, a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual (COSTA, 2006).

A sensibilidade visual para a luz varia não só de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade. A curva de sensibilidade do olho humano demonstra que radiações de menor comprimento de onda que são as cores violeta e azul, geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz, enquanto as radiações de maior comprimento de onda que são as cores laranja e vermelho se comportam ao contrário. Este fenômeno se denomina Efeito Purkinje¹.

Fluxo Luminoso é a radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda mencionados (380nm e 780 nm²).

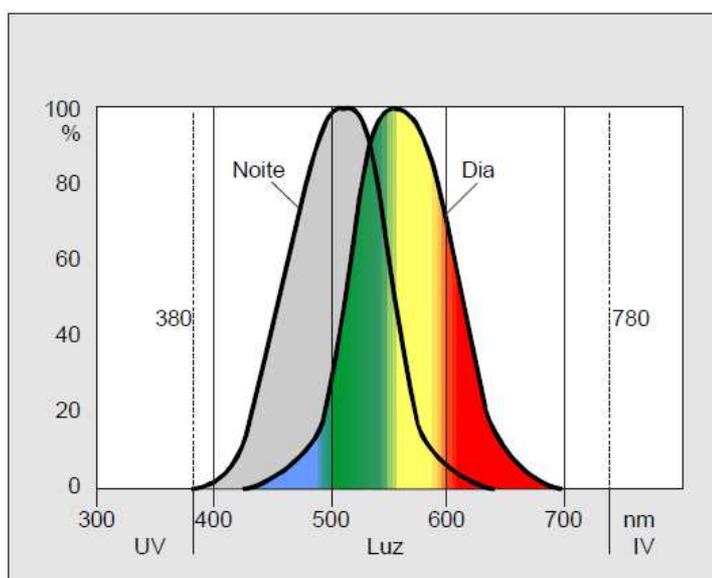


Figura 3 Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas
Fonte Manual Luminotécnico Prático OSRAM

Ao se iniciar um projeto luminotécnico deve se levantar opções preliminares, ou seja, escolher o tipo de iluminação mais adequada seja incandescente, fluorescente, o tipo de luminária seja direta ou semi-direta, sendo que estas opções envolvem aspectos de decoração e as atividades que serão desenvolvidas.

¹ Fisiologista e histologista checoslovaco, Johannes Evangelista Purkinje. Foi autor do conhecido Efeito de Purkinje, que descreve um fenômeno relacionado com a percepção dos objetos e a intensidade da luz.

² Unidade de medida onde 1 nanômetro é igual a 10^{-9} m.

Basicamente existem três métodos para cálculo luminotécnico:

- a) Método dos Lumens ou Método do Fluxo Luminoso;
- b) Método Ponto por Ponto;
- c) Método das cavidades zonais.

O método mais utilizado para sistemas de iluminação em edificações é o método dos Lumens, ou método do Fluxo Luminoso, que consiste em determinar a quantidade de fluxo luminoso (lumens) necessário para determinado recinto baseado no tipo de atividade desenvolvida, cores das paredes e teto e do tipo de lâmpada-luminária escolhidos.

O método ponto por ponto também chamado de método das intensidades luminosas baseia-se nas leis de Lambert³ e é utilizado quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação ao plano que deve ser iluminado. Consiste em determinar a iluminância (lux) em qualquer ponto da superfície, individualmente, para cada projetor cujo fecho atinja o ponto considerado. O iluminamento total será a soma dos iluminamentos proporcionados pelas unidades individuais.

Para Costa (2006) os projetos luminotécnicos também vêm evoluindo com o passar do tempo. Projetos visando à eficiência energética dos sistemas de iluminação promoveram a substituição das lâmpadas de vapor de sódio, utilizada nos postes públicos de iluminação, por outras de vapor de mercúrio, muito mais eficientes.

As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes Fluxos Luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lúmens são gerados por Watt absorvido. A essa grandeza dá-se o nome de Eficiência Energética, antigo Rendimento Luminoso.

Eficiência Energética é a relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida. Portanto por um Watt consumido, uma lâmpada incandescente standard clara produz de 10 a 15 lm/W⁴, uma fluorescente compacta DULUX, de 50 a 80 lm/W, e uma vapor de sódio NAV, de 80 a 140 lm/W.

A Figura 4 nos mostra a eficiência de alguns tipos de lâmpadas.

³ Johann Heinrich Lambert foi um matemático de origem francesa, radicado na Alemanha.

⁴ Lm/W unidade de medida da Eficiência Energética

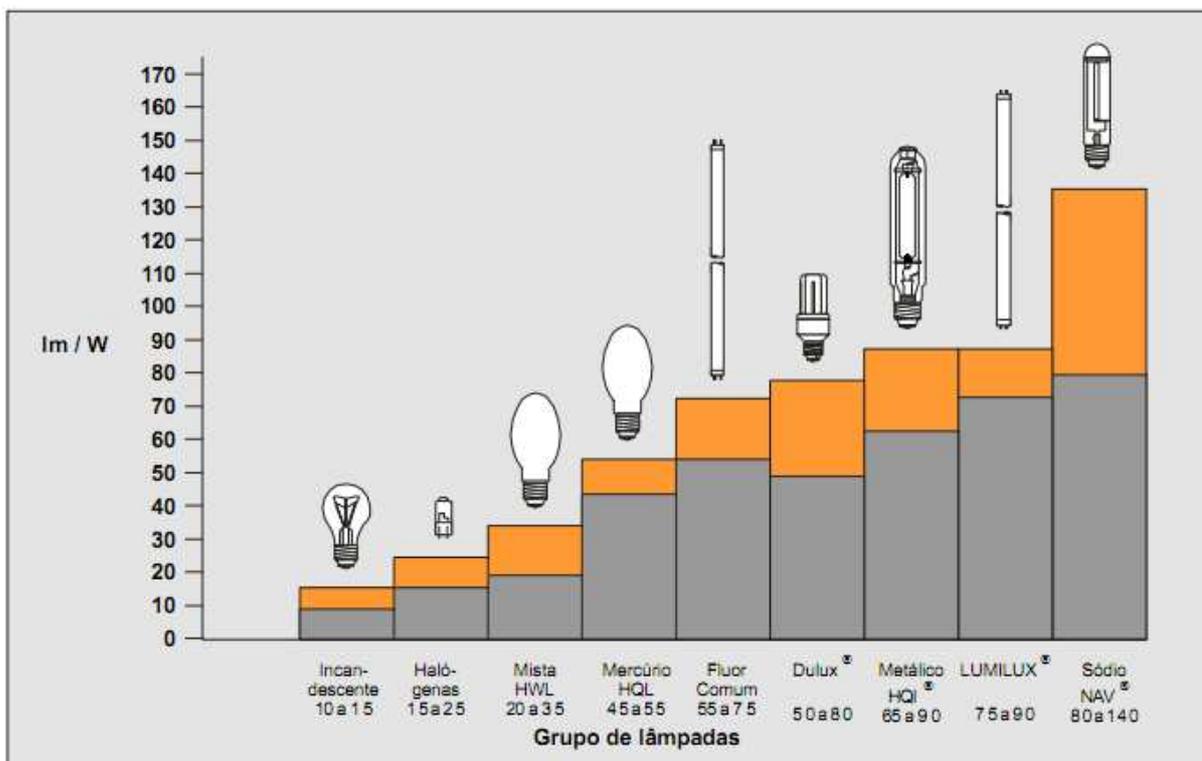


Figura 4 Eficiência Energética com unidade em lúmens / Watt
 Fonte: Manual Luminotécnico Prático OSRAM

Na limitação de ofuscamento, duas formas podem gerar incômodos:

- a) Ofuscamento direto, através de luz direcionada diretamente ao campo visual;
- b) Ofuscamento reflexivo, através da reflexão da luz no plano de trabalho, direcionando-a para o campo visual.

Considerando que a luminância da própria luminária é incômoda a partir de 200 cd/m^2 ⁵, o posicionamento e a Curva de Distribuição Luminosa devem ser tais que evitem prejudicar as atividades do usuário da iluminação.

Quanto mais elevada a exigência visual da atividade, maior deverá ser o valor da Iluminância Média (E_m) sobre o plano de trabalho. Deve-se consultar a norma NBR-5413 para definir o valor iluminância pretendido.

⁵ Candela por metro quadrado (cd/m^2), Luminância de uma fonte com um metro quadrado de área e com intensidade luminosa de 1 candela.

Deve-se considerar também que, como tempo de uso, se reduz o Fluxo Luminoso da lâmpada devido tanto ao desgaste, quanto ao acúmulo de poeira na luminária, resultando em uma diminuição da iluminância (FILHO, 2002).

A Figura 5 mostra o ângulo necessário para não haver prejuízos para tais atividades.



Figura 5 Limite do ângulo para evitar ofuscamento em planos de trabalhos
Fonte: Manual Luminotécnico Prático OSRAM

Um dos requisitos para o conforto visual é a utilização da iluminação para dar ao ambiente o aspecto desejado. Sensações de aconchego ou estímulo podem ser provocadas quando se combinam a correta tonalidade de cor da fonte de luz ao nível de iluminância pretendido.

Segundo Filho (2002), estudos subjetivos afirmam que para iluminâncias mais elevadas são requeridas lâmpadas de temperatura de cor mais elevada também. Chegou-se a esta conclusão baseando-se na própria natureza, que ao reduzir a luminosidade, reduz também sua temperatura de cor.

A ilusão de que a tonalidade de cor mais clara ilumina mais, leva ao equívoco de que com as "lâmpadas frias" precisa-se de menos luz.

A Figura 6 mostra a relação de conforto ambiental entre níveis de iluminância e tonalidades de cores.

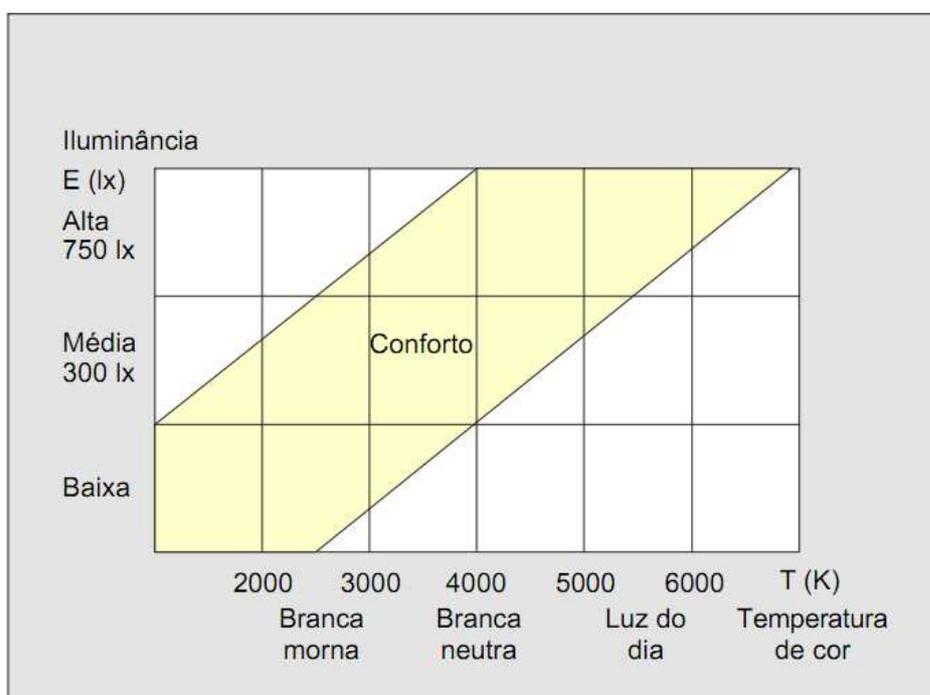


Figura 6 Relação de conforto ambiental entre níveis de iluminância e tonalidades de cores
 Fonte Manual Luminotécnico Prático OSRAM

2.2 PLACAS FOTOVOLTAICAS PARA SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Ao projetar uma instalação fotovoltaica, tem que se levar em consideração algumas medidas, que garantam o perfeito funcionamento dos módulos para se evitar sua deterioração.

Um sistema fotovoltaico precisa de módulos fotovoltaicos ou placas fotovoltaicas, mais comumente conhecidas, tem por função captar a radiação solar, transformando-a em energia elétrica, são constituídos por células semicondutoras que são responsáveis pela geração de corrente elétrica (COSTA, 2006).

As baterias também são parte essencial para esse sistema, pois são as responsáveis pelo armazenamento da energia produzida. Elas são dimensionadas a depender da carga que irá ser instalada no sistema e da necessidade de horas que o sistema ficará em funcionamento.

O regulador de carga tem a função impedir que a bateria se sobrecarregue. E por último os inversores, que são os responsáveis pela conversão de corrente contínua em corrente alternada, pois as placas fotovoltaicas geram apenas corrente contínua e a maioria dos equipamentos utilizam corrente alternada (COSTA, 2006).

2.2.1 Fatores de Dimensionamento

Para o dimensionamento dos painéis, é necessário possuir o levantamento de carga, a radiação solar e as perdas no sistema. O sistema poderá ter melhor aproveitamento quando é feita uma boa captação de radiação solar. Alguns dos fatores são divididos por estações do ano, A Tabela 1 mostra alguns desses fatores.

Tabela 1 Fatores divididos por estações do ano

	VERÃO (Dezembro)	INVERNO (Junho)
Z2	5.8	1.95
Z3	0.94	1.55
Z4	0.88	1.02

Fonte: PRINCON, 2004

Onde:

Z2 – h/dia de radiação; (de acordo com o período do ano);

Z3 – ângulo de inclinação da célula;

Z4 – Desvio da temperatura da célula;

a) Levantamento de Carga

O levantamento deve considerar a potência de cada carga, quantidade de cargas do mesmo tipo e também o tempo que essas cargas ficarão ligadas durante o dia, assim obtendo a unidade de Wh/dia.

Essas informações são necessárias, pois com o cálculo da energia diária se pode obter a potência necessária do sistema.

b) Radiação Solar

A energia solar captada pelas células é obtida através da intensidade de radiação solar. Esta radiação varia com a movimentação do Sol em relação à Terra. Conforme as estações do ano se têm os dados de posicionamento do Sol e com este posicionamento se pode obter o nível médio de radiação no local.

A potência apresentada nos painéis fotovoltaicos é referenciada em um nível de radiação de 1000W/m^2 . Este valor pode ser maior ou menor dependendo da localização geográfica, conforme define Quinteros (2000). Apesar disto, pode-se definir um valor médio para o nível de radiação solar incidente normalmente sobre uma superfície situada no topo da

atmosfera. Dados recentes da WMO *World Meteorological Organization*⁶ indicam um valor médio de 1367 W/m^2 para a radiação extraterrestre (HERNÁNDEZ, 2004).

c) Fatores de correção

O circuito completo de um gerador fotovoltaico necessita de vários elementos que são responsáveis pela geração. Por este motivo devemos considerar perdas de energia nas etapas de conversões.

As perdas de conversão são representadas pelo rendimento do sistema elétrico, fazendo com que estes valores variem a cada instalação. Para efeito de projeto admite-se um rendimento de 76% (HERNÁNDEZ, 2004).

d) Ângulo de Inclinação

A posição das placas solares definidas no projeto pode ser calculada pela localização da cidade, de acordo com a latitude. Esta característica é muito importante para que obtenha um bom resultado na captação de energia.

A posição correta do painel solar no hemisfério sul é voltada para norte com certa inclinação. Na prática aconselha-se a fazer com que o painel não fique em uma inclinação menor que 15° , assim dificultando o acúmulo de sujeira.

A Figura 7 mostra como deve ser a inclinação dos painéis solares.

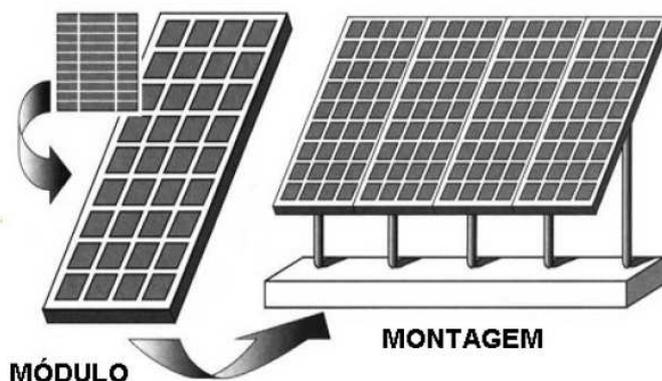


Figura 7 Inclinação correta dos painéis solares
Fonte Manual Luminotécnico Prático OSRAM

⁶ Organização Meteorológica Mundial

2.3 QUANTIDADE DE PLACAS FOTOVOLTAICAS E TIPOS DE BATERIAS

Com as fórmulas obtidas, basta escolher a potência dos painéis de acordo com a disponibilidade do mercado. Deve-se fazer o processo de divisão para se obter a quantidade de painéis responsáveis pela geração de energia.

A corrente disponível na célula varia de forma proporcional à intensidade de radiação. A tensão mantém-se praticamente constante. A Figura 8 mostra um gráfico que faz referência a essa variação.

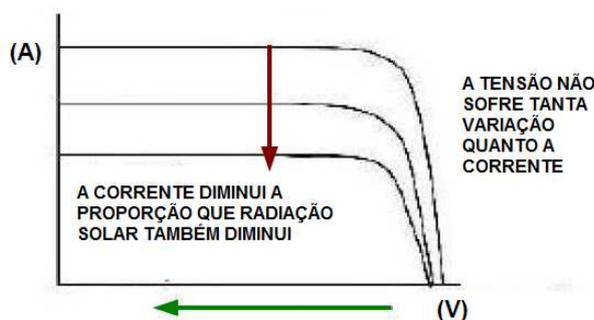


Figura 8 Variação de corrente com a tensão em relação a radiação solar
Fonte Manual Luminotécnico Prático OSRAM

As tarefas do acumulador de energia são basicamente duas no sistema de energia fotovoltaico;

- Acumular energia para os períodos de pouca ou nenhuma radiação solar;
- Fornecer correntes mais elevadas à carga que a corrente máxima produzida pelos módulos fotovoltaicos.

Cargas como motores podem exigir correntes elevadas em períodos curtos de tempo, na partida por exemplo. Dessa maneira, as células solares e o conjunto de baterias trabalham em conjunto para fornecer energia à carga de forma mais constante ou também mais intensa do que a que poderia ser gerada exclusivamente pelo painel fotovoltaico. (PRINCON, 2004).

As baterias utilizadas em sistemas de energia fotovoltaica são as de chumbo-ácido, e são definidas basicamente pela quantidade de energia, em Ah na tensão nominal, que é capaz de armazenar. Essa energia depende da velocidade de descarga. A capacidade nominal é expressa para uma descarga de 20 horas.

Exemplificando se tem o seguinte:

Uma bateria de 60 Ah – 12 V pode fornecer 60 Ah por 12 horas, ou seja, 5 A por hora durante 12 horas consecutivas com uma tensão de 12 V em seus terminais. Essa bateria, seria capaz de alimentar uma lâmpada incandescente de 60 W por 12 horas, pois, multiplicando a tensão que ela fornece, 12 V, pela corrente que ela gera por hora, 5 A, dará uma potência de 60 W (PRINCON, 2004).

Porém se o tempo de descarga for maior a bateria fornecerá mais energia, ou seja, se uma bateria de 55 Ah com descarga em 20 horas pode atingir, por exemplo, 80 Ah com descarga em 100 horas.

Outro parâmetro importante de uma bateria são os números de ciclos de carga ou descarga em sua vida útil. Valores típicos são 2.500 ciclos com profundidade de descarga de 20% e 1200 ciclos de vida com profundidade de 50% (PRINCON, 2004).

2.4 EXEMPLO PRÁTICO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

O projeto a seguir se baseou nas normas NBR-5413 que se refere a projetos luminotécnicos, NBR-5410 para projetos em baixa tensão e NR-10 que é uma norma regulamentadora para proteção física de pessoas, animais e equipamentos.

Neste projeto foram utilizadas lâmpadas de LED alimentadas por placas fotovoltaicas, com o intuito de demonstrar a harmonia que estes dois sistemas, trabalhando em conjunto, pode proporcionar.

Para uma sala de aula com as dimensões de 6,50 m de largura por 9,30 m de comprimento, totalizando uma área de $60,45\text{m}^2$ e levando em consideração que as luminárias estão instaladas a 1,70 m do plano de trabalho dessa sala, ou seja, as carteiras dos alunos.

De acordo com a NBR-5413 (ABNT, 1992) para uma sala de aula a quantidade de fluxo luminoso mínima necessária será de 300 a 500 lm/m^2 , porém nos cálculos serão utilizados 300 lm/m^2 .

Os LEDs escolhidos para esse projeto têm as seguintes especificações:

- a) Lâmpada tubular de teto de LED;
- b) Potência de 20 W;
- c) Fator de potência de 0,90;
- d) Eficiência luminosa de 100 lm/W ;
- e) Fluxo luminoso de 1.450 lumens;
- f) Tempo de vida de 50.000 horas.

Para descobrir a quantidade necessária de lâmpadas de LED para atingir a especificação da norma utilizou-se o fato de que para uma área de 60,45 m² seriam necessários 18.135 lumens, pois $300 \times 60,45 = 18.135$ lumens.

Logo dividindo a quantidade de lumens encontrada (18.135 lumens) por 1.450 lumens que é quantidade de uma única lâmpada, será encontrado um total aproximado de 12 lâmpadas.

Porém, cada lâmpada consome 20 W de potência, para um total de 12 lâmpadas seriam necessários 240 W de potência. Já para o inversor seria necessário também incluir as suas perdas. Em um inversor de 700 W as perdas seriam de 20%, logo 140 W de potência que será somada ao total de potência das lâmpadas, totalizando 380 W. Esse será o valor exigido pela carga do sistema de iluminação a LED.

Com esses dados se pode definir também qual a corrente que o sistema irá utilizar, fazendo a divisão de 380 W por 220 V, que será a tensão de trabalho das lâmpadas, que resulta em um total de 1,72 A. Como a sala funciona durante 4 horas, então a carga irá utilizar 6,9 Ah aproximadamente 7,0 Ah.

Fazendo uma conversão de 220 V, que as lâmpadas necessitam para 12 V, que as baterias geram teremos 220 V por 12 V será igual a 18,33, multiplicando esse valor encontrado por 1,72 A que é a carga necessária do sistema, teremos 31,52 A e ainda multiplicando esse valor por 4 horas de funcionamento temos 126,08 Ah, valor esse que será atribuído ao banco de baterias.

Contudo, para que as baterias não cheguem ao limite de descarga ou tecnicamente, à sua tensão de corte, será necessário utilizar duas baterias de 100 Ah, totalizando 200 Ah.

Finalmente, para que se determine a quantidade de placas necessárias para suportar essa demanda, se deve saber qual o valor de corrente que ela produzirá, apenas dividindo a potência da placa por sua tensão gerada, 50 W por 12 V chegando assim a um total de 4,16 A, valores esses atribuídos através dos modelos de placas utilizado no sistema. Também se deve considerar o tempo que essa placa irá levar para carregar esse banco de baterias, então, para diminuir o tempo de carregamento da bateria utilizou-se duas placas.

O total de corrente gerada por essas duas placas chegou a 8,33 A, logo para saber qual o tempo que irá levar para carregar esse banco de bateria por completo basta dividir o valor do banco de bateria pelo total de corrente que o sistema gera, ou seja 200 Ah dividido por 8,33 Ah dando um total de 24 h, lembrando esse total de tempo pode ser reduzido aumentando a quantidade de placas.

3 CONCLUSÃO

Este artigo teve como objeto principal mostrar a importância que um sistema de geração fotovoltaica poderá ter na geração convencional de energia, podendo contribuir para a redução do efeito estufa que tem como um dos principais causadores a queima de combustíveis fósseis, inclusive para geração de energia elétrica.

A necessidade da redução do efeito estufa já é um problema discutido por líderes do mundo inteiro, assim como a geração de energia convencional, pois em muitos casos, para haver eletricidade é necessário a queimas de combustíveis fósseis, logo, temas como geração limpa de energia, tornou-se assunto principal em reuniões mundiais.

Uma fonte inesgotável de energia como o Sol não pode ser desprezada, porém a limitação em seu uso se torna um ponto fraco para seu investimento, contudo, utilizando-a para sistemas que necessitam de pouca energia pode se tornar viável. Iluminação a LED, por exemplo, poderia se tornar um grande aliado para uso de sistemas fotovoltaicos, pois, para o funcionamento adequado da iluminação a LED são necessários poucos Watts de potência.

A exemplificação de um projeto luminotécnico a LED alimentado por placas fotovoltaicas apresentado neste trabalho, mostrou a possibilidade de se realizar iluminação com sistemas de baixo consumo, podendo assim, reduzir aos poucos a necessidade da energia convencional.

REFERÊNCIAS

MARTINS, FR, *et al.* **O aproveitamento da Energia Eólica**- 2008. Revista Brasileira de Ensino de Física – São José dos Campos – SP - Artigo Científico – Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br>>. Acessado em 24 de Maio de 2011.

DUTRA, Marques Ricardo. **Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA.** (TESE DOUTORADO). Rio de Janeiro, 2008.

MARCONDES Mônica, *et al.*– **Panorama dos Investimentos em Energia Eólica no Brasil e no Mundo** – Artigo Científico – 2006. Disponível em: <<http://www.nuca.ie.ufrj.br>>. Acessado em 24 de Maio de 2011.

MME – **Ministério de Minas e Energia.** Brasília: MME, 2008. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acessado em 24 de Maio de 2011.

Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil 2ª ed. Brasília: ANEEL, 2005.

QUINTEROS, André Ricardo **Aquecimento de Água por Energia Solar**, SOLETROL. Aquecedores solares. 2000.

HERNÁNDEZ, Krenzinger, **Análise Experimental e Simulação de sistemas Híbridos e Eólico-Fotovoltaicos**, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2004.

PRINCON - Energia Fotovoltaica – **Manual sobre tecnologias, projeto e instalação Portugal**, 2004.

MALLMANN, A. P. Comunicação via e-mail. Núcleo Tecnológico de Energia Solar (NT-SOLAR). **Centro Brasileiro para Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica (CB-SOLAR)**. Abril 2008.

COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação** / Gilberto José Corrêa da Costa 4. ed. Porto Alegre: EDICUCRS, 2006.

MAMEDE FILHO, João: **Instalações Elétricas Industriais** 6ª ed. 2002 Editora LTC.