

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ITUIUTABA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
INSTITUTO SUPERIOR DE ENSINO E PESQUISA DE ITUIUTABA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**Melhoria da Eficiência energética de um edifício através
do dimensionamento de um sistema de iluminação a LED
alimentado por painéis fotovoltaicos**

Rafaeli Vanzetto

Ituiutaba / 2013

Rafaeli Vanzetto

Melhoria da Eficiência energética de um edifício através do dimensionamento de um sistema de iluminação a LED alimentado por painéis fotovoltaicos

Trabalho de Final de conclusão submetido ao Curso de Engenharia Elétrica da Fundação Educacional de Ituiutaba, Campus associado à UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus de Ituiutaba como requisito parcial para obtenção de título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Walteno Martins Parreira Jr

Ituiutaba / 2013

Rafaeli Vanzetto

**Melhoria da Eficiência energética de um edifício através
do dimensionamento de um sistema de iluminação a LED
alimentado por painéis fotovoltaicos**

Trabalho de Final de conclusão submetido ao Curso de Engenharia Elétrica da Fundação Educacional de Ituiutaba, Campus associado à UEMG – Universidade do Estado de Minas Gerais, Campus de Ituiutaba como requisito parcial para obtenção de título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Walteno Martins Parreira Jr

Banca Examinadora:

Ituiutaba, 13 de Dezembro de 2013

Prof. Me. Walteno Martins Parreira Jr (Orientador)

Prof. Esp. Clayton Pires Barbosa

Prof. Msc. Paulo César Peixoto

Ituiutaba / 2013

"Não existem sonhos impossíveis para aqueles que realmente acreditam que o poder realizador reside no interior de cada ser humano, sempre que alguém descobre esse poder algo antes considerado impossível se torna realidade." (Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Ao Professor. Me. Walteno Martins Parreira Jr braço amigo de todas as etapas deste trabalho. A Deus, que se mostrou criador, que foi criativo. Seu fôlego de vida em mim me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades. À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada. Irmão sem a sua ajuda e confiança em mim eu não teria chegado até aqui. Aos meus amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro de produção melhora tudo o que tenho produzido na vida. Sou o resultado da confiança e da força de cada um de vocês.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o propósito de contribuir com a melhoria da eficiência energética da biblioteca “Vânia Aparecida de Moraes Jacob”, localizada na cidade de Ituiutaba, Minas Gerais, no campus da fundação educacional de Ituiutaba. A eficiência energética é a utilização racional de energia promovendo a mesma quantidade de valor energético, e considerando como será utilizada. Para o ambiente de estudo da biblioteca, a solução proposta é o dimensionamento de um sistema de iluminação com lâmpadas LED, alimentadas por um conjunto de placas fotovoltaicas. Será desenvolvida a simulação do nível de eficiência energética, através do software on-line s3e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), onde será obtida a etiquetagem do edifício, procedimento este de incentivo para a redução do consumo energético do país. O PROCEL possui um programa de etiqueta de Eficiência Energética em Edificações. Para receber a etiqueta, as edificações são avaliadas em três níveis de eficiência: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. O objetivo é diminuir o ganho de calor pela envoltória do edifício e, ao mesmo tempo, aproveitar melhor a iluminação e a ventilação naturais, levando a um consumo menor de energia elétrica, além de incentivar o uso da energia solar e o consumo racional de água.

Palavras Chave: Energia fotovoltaica; Luminária LED; Etiquetagem de Edifícios; Eficiência Energética.

ABSTRACT

This work was developed with the aim of contributing to improving the energy efficiency of "Vania Aparecida de Moraes Jacob" library, located in Ituiutaba , Minas Gerais, the Educational Foundation Ituiutaba campus. Energy efficiency is the rational use of energy by promoting the same amount of energy, and considering how it will be used. For the study environment of the library, the proposed solution is designing a lighting system with LED lights, powered by a photovoltaic array. Will be developed to simulate the level of energy efficiency through online software S3E the Federal University of Santa Catarina (UFSC), where the labeling of the building, this procedure incentive to reduce energy consumption in the country will be obtained. PROCEL has a program for Energy Efficiency in Buildings label. To receive the label, the buildings are evaluated in three efficiency levels: envelope, lighting system and air conditioning system. The goal is to reduce the heat gain by the building envelope and at the same time, better use of natural lighting and ventilation, leading to lower power consumption, and encourage the use of solar energy and the rational use of water.

Keywords: Photovoltaics; LED lamp; Labeling Buildings; Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Selo PROCEL. Fonte: Eletrobras.....	23
Figura 2 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Fonte: Eletrobras	24
Figura 3 - Selo da certificação LEED. Fonte: USGBC	25
Figura 4 - Fluxograma do método de simulação do RTQ-C. Fonte: LABEEE (2013).	35
Figura 5 - Componente do software S3E. Fonte: LABEEE (2013).	37
Figura 6 - Página inicial do S3E. Fonte: simulador S3E (2013).	37
Figura 7 - Página de especificação da Geometria da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013).	38
Figura 8 - Página de especificação da Abertura da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013).	39
Figura 9 - Página de especificação dos componentes construtivos da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013).	40
Figura 10 - Página de especificação da Iluminação e Ganhos da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013).	41
Figura 11 - Página de especificação de condicionamento de ar da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013).	41
Figura 12 - Foto da Biblioteca Vânia Morais Jacob. Fonte: Autoria Própria.....	43
Figura 13 Etiqueta obtida através da simulação da instalação. Fonte: Autoria Própria.....	45
Figura 14 - Eficiência energética com unidade em lumens / Watt. Fonte: OSRAM	47
Figura 15 - Equação para o cálculo do índice do local. Fonte: KAWASAKI.....	49
Figura 16 - Definições das alturas para cálculo de K.. Fonte: KAWASAKI.....	50
Figura 17 - Fatores de manutenção recomendados. Fonte: KAWASAKI.	51
Figura 18 - Equação para o cálculo do número de luminárias. Fonte: KAWASAKI.	52
Figura 19 - Fórmula para o cálculo do número de luminárias. Fonte: KAWASAKI.....	52
Figura 20 - Etiqueta da Simulação. Fonte: Simulador S3E	53
Figura 21 - Índice médio de radiação solar. Fonte: Atlas solarimétrico do Brasil.....	55
Figura 22 - Arquitetura Básica de um Sistema Isolado. Fonte: GUZZO (2008).....	56
Figura 23 - Arquitetura Básica de um Sistema Híbrido. Fonte: GUZZO (2008).....	57
Figura 24 - Arquitetura Básica de um Sistema Conectado a Rede. Fonte: GUZZO (2008)	58
Figura 25 - Fatores divididos por estações do ano. Fonte: PRINCON (2004).....	59
Figura 26 - Inclinação correta dos painéis solares. Fonte: OSRAM	60
Figura 27 - Inclinação ideal dos painéis fotovoltaicos de algumas localidades. Fonte: Neosolar Energia (2013).....	61
Figura 28 - Curva característica IxV típica de uma célula de silício monocristalino, normalizada pela corrente de curto-circuito / Fonte: Phoovoltaic System Design.....	61
Figura 29 - Fórmula para o cálculo da potência do módulo fotovoltaico. Fonte: TEIXEIRA; CARVALHO; LEITE, (2011).....	62
Figura 30 - Primeira fórmula para o cálculo do número de baterias. Fonte: TEIXEIRA; CARVALHO; LEITE (2011).....	64
Figura 31 - Segunda fórmula para o cálculo do número de baterias. Fonte: TEIXEIRA; CARVALHO; LEITE (2011).....	64
Figura 32 - Tempo de retorno descontado. Fonte: SATYRO (2013).....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Custo inicial de implantação do sistema. Fonte: Autoria Própria. **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 2 - Custo de manutenção do sistema em 25 anos. Fonte: Autoria Própria. **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 3 – Consumo do Sistema. Fonte: Autoria Própria... 70**Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AQUA - Alta Qualidade Ambiental

ASHRAE – Sociedade Norte-Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado

CFL - Iluminação Fluorescente Compacta

CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

GEE's – Gases do Efeito Estufa

GEF - Global Environment facility

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Ambiental

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

Km/S - Quilômetro/ Segundo

LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LED - Light Emitting Diode

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

MWh – Megawatts-hora

MME - Ministério de Minas e Energia

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RAC-C - Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

TWh - Terawatts-hora

USGBC - United States Green Building Council

WMO - World Meteorological Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Identificação do Problema	12
1.2	Objetivo	13
1.3	Justificativa do Trabalho	13
1.4	Organização do Trabalho	14
1.5	Metodologia	14
2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	16
2.1.	Estados Unidos	17
2.2.	Suécia	17
2.3	Inglaterra	18
2.4	Finlândia	18
2.5	Dinamarca	19
2.6	Brasil	19
2.7	(PROCEL) Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica	20
3	PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE) EM EDIFICAÇÕES	25
3.1	Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos.	30
3.1.1	Software S3E	36
4.	ESTUDO DE CASO: BIBLIOTECA “VÂNIA APARECIDA DE MORAES JACOB”	43
5	SOLUÇÃO PROPOSTA PARA A MELHORIA DA ETIQUETAGEM DO EDIFÍCIO.	46
5.1.	Projeto Luminotécnico	46
5.1.1.	Comparativo entre lâmpadas LED e Fluorescentes	46
5.1.2.	Conceitos Básicos Utilizados	47
5.1.3.	Método utilizado para o calculo Luminotécnico	48
5.2.	Dimensionamento do sistema fotoelétrico.	54
5.2.1	Sistemas Isolados	56
5.2.2	Sistemas Híbridos	57
5.2.3	Sistemas Conectados à Rede	57
5.3.	Componentes do sistema fotovoltaico	58
5.3.1.	Módulos Fotovoltaicos	58
5.3.2.	Baterias	63
5.3.3.	Controladores de Carga	65
5.3.4.	Inversores	66
5.4.	Resultado do sistema proposto e análise da viabilidade	67
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICES	75
	APÊNDICE A	75
	APÊNDICE B	77
	ANEXOS	79
	ANEXO A (Relatório de Saída S3E da Primeira Simulação)	79
	ANEXO B (Relatório de Saída S3E da Segunda Simulação)	87

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica provém de várias fontes como a água, gás natural, carvão, petróleo, vento e até mesmo a luz do sol.

É possível observar a cada dia a necessidade que o ser humano tem de utilizar energia elétrica, seja para uso doméstico, para produção industrial ou para o desenvolvimento e crescimento tecnológico. Observa-se, pois, que o consumo de energia é necessário para todas as atividades, sejam elas: residenciais, comerciais ou industriais.

Através do estudo e pesquisa busca-se demonstrar a importância da etiquetagem das edificações, visando proporcionar o uso racional de recursos de acordo com a legislação nacional, embora não seja obrigatória, a etiquetagem desses edifícios atenderá consumidores cada vez mais exigentes e ao mesmo tempo se tornará um diferencial competitivo para as construtoras. Outra vertente que se abre é o incentivo financeiro oferecido pelo governo para construção desses empreendimentos.

Isto se faz necessário tendo em vista que durante muito tempo a sociedade utilizou as fontes de energia de uma forma ineficiente, esgotando em grande parte os recursos naturais. Atualmente, com um novo pensamento, programas de conscientização procuram incentivar a participação de cada pessoa e também empresas no processo de economia de energia e preservação dos recursos naturais.

1.1 Identificação do Problema

Face a este cenário, este trabalho buscou resposta ao seguinte problema: Como e quais medidas o Brasil deveria tomar a partir da crise de abastecimento de energia de 2001, em relação ao consumo de energia? Tendo essa pergunta como uma indagação, o governo brasileiro promulgou a Lei nº 10.295 em 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, essa lei estabelece que níveis mínimos de eficiência energética devam ser definidos segundo uma regulamentação específica. Entre estas iniciativas, em julho de 2009, o Instituto Nacional de Metrologia,

Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO) através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) publicou os Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

O objetivo desta etiqueta é estimular a construção de edificações eficientes do ponto de vista de consumo de energia, os edifícios receberão classificação variando de nível A (mais eficiente) até nível E (menos eficiente) contidos na ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) do INMETRO, esta classificação é aplicada para avaliar os sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar nos novos empreendimentos de edificações comerciais, de serviços e públicas.

A etiquetagem do edifício é voluntária e aplicável a edifícios com área útil superior a 500 m² ou atendidos por alta tensão (grupo tarifário A).

1.2 Objetivo

O estudo tem por objetivo a análise do nível de eficiência energética da edificação em questão, e se necessário dimensionar uma solução para que este nível venha a melhorar.

Caso seja necessário o dimensionamento, será voltado a soluções em eficiência energética, utilizando modernas tecnologias para obter um índice de eficiência melhor.

1.3 Justificativa do Trabalho

Justifica-se a pesquisa, tendo em vista analisar a importância da utilização e implementação de um projeto em edificações de grande porte, utilizando de equipamentos adequados para cada situação e um consumo consciente, para que haja uma considerável economia de energia elétrica.

Esse tema foi escolhido devido à grande importância que a eficiência energética representa para a economia de um país. Além de ser um assunto que faz parte do cotidiano de todas as pessoas, eficiência significa fazer o máximo com o mínimo de

recurso disponível, quando dispomos de equipamentos e empreendimentos eficientes do ponto de vista energético atrelado a um consumo consciente estamos poupando recursos, recursos esses que demandam muitos investimentos para sua geração.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho organizou-se em cinco capítulos, a saber:

No primeiro capítulo contextualizou-se o trabalho através da introdução e dos objetivos do estudo desenvolvido.

No segundo capítulo tratou-se a respeito da eficiência energética, através de políticas de eficiência energética, no Brasil e no mundo.

No terceiro capítulo apresentou-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem de edifício, foco principal deste trabalho, e a apresentação do software de simulação online da Universidade Federal de Santa Catarina denominado “s3e”, hospedado no sítio: www.s3e.ufsc.br”.

No quarto capítulo é apresentado o estudo de caso, através dos dados levantados na pesquisa de campo, gerando a etiqueta de eficiência energética.

No quinto capítulo é apresentada a solução de eficiência proposta para a melhoria do nível de eficiência energética da edificação estudada.

Seguido por Considerações finais, Referências, Apêndices e Anexos.

1.5 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido primeiramente através de pesquisa bibliográfica que forneceu o conhecimento necessário sobre soluções de eficiência energética utilizada em diversos setores, e também quanto à geração de energia elétrica e a possibilidade de redução do consumo energético em edificações de grande porte agregando valor

comercial para os novos empreendimentos que se mostrem realmente eficiente energeticamente.

Além disso, utilizou-se de pesquisa de campo, onde foram recolhidos dados a cerca da instalação e de caráter exploratório onde observou-se a importância de uma boa escolha do arranjo iluminação e instalação fotoelétrica de uma empresa, utilizando como exemplo a planta da Biblioteca “Vânia Aparecida de Moraes Jacob” da Fundação Educacional de Ituiutaba, na cidade de Ituiutaba, tendo em vista a economia energética, criando assim um novo nicho de mercado.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética pode ser definida, como a oferta de um serviço, mantendo o nível de qualidade e reduzindo o consumo da energia disponível. Em edificações envolve o atendimento às necessidades dos usuários com redução no consumo de energia elétrica, tanto na realização de atividades diárias quanto na obtenção de conforto ambiental.

Como escreve Freitas (2012), a compreensão do que envolve a eficiência energética e de como programar iniciativas de economia fez com que fossem definidos dois tipos de conduta de eficiência energética: Eficiência energética passiva e, ainda mais significativamente, Eficiência energética ativa.

Na forma passiva, podemos utilizar como modelo o atendimento das necessidades energéticas de edificações através de técnicas de Arquitetura Bioclimática. Desse modo, é possível suprir a necessidade de iluminação, por exemplo, aproveitando a luz natural disponível no ambiente externo, ou ainda contribuir para o conforto térmico no ambiente interior pelo aproveitamento das correntes de ar que atingem a edificação, ou utilizando materiais construtivos adequados que contribuam para manter adequados os níveis de conforto no ambiente.

Na forma ativa podemos utilizar os recursos energéticos naturais, através de sistemas alternativos para geração de energia que utilizam fontes renováveis de energia. Dependendo do recurso energético utilizado, é necessária uma estrutura com maior ou menor complexidade para tornar viável sua utilização nas edificações.

A eficiência energética é apresentada como uma solução para o cumprimento das obrigações estipuladas pelo protocolo de Kyoto, ações estas que estão se tornando um diferencial entre as empresas e indústrias em todo o mundo, onde setores que empregaram estas soluções conseguiram até 30% de ganho de energia (SCHNEIDER, 2010). Foi necessário a partir daí medidas de incentivo da eficiência energética em todo o mundo.

2.1. Estados Unidos

Os Estados Unidos desenvolvem diversos programas de eficiência energética. Na indústria, incluindo a imposição de eficiências mínimas obrigatórias na produção e importação de alguns equipamentos de uso geral na indústria, como motores elétricos, caldeiras, fornos e transformadores de distribuição, de baixa tensão. Há padrões mínimos de eficiência impostos pelo governo federal e pelos governos estaduais.

No caso dos padrões federais, eles são revistos a cada cinco anos, aproximadamente, pelo Departamento de Energia (*Department of Energy - DOE*) do governo americano (NADEL, 2006).

Outros destaques são a utilização de normas de gestão otimizada de energia no setor industrial.

2.2. Suécia

A agência Sueca de Energia. Em 1997, estabeleceu as diretrizes da política de energia do país, colocando a eficiência energética como uma prioridade. Em 2002 foi lançado o Programa de Política energética para uso eficiente de Energia 2002 - 2007 (*Energy Policy Programme for Efficient Energy Use: 2002-2007*). O programa é constituído por diversas medidas entre elas: (PEEREA, 2006).

- Fortalecimento dos serviços municipais de consultoria em energia em todas as 290 municipalidades suecas, complementados por 13 escritórios regionais;
- Desenvolvimento de metodologias para a divulgação de informações e capacitação;
- Apoio ao desenvolvimento de tecnologias e à implementação comercial de tecnologias eficientes;
- Testes, etiquetagem e certificação de equipamentos eletrodomésticos.

2.3 Inglaterra

Na Inglaterra foi criada uma companhia privada para combater as mudanças climáticas. A empresa, denominada Fundo do Carbono (Carbon Trust), tem como missão acelerar o desenvolvimento comercial de tecnologias que promovam a redução das emissões de carbono, trabalhando em conjunto com os setores público e privado do país.

Atualmente este é o único programa nacional que envolve eficiência energética na Inglaterra; através dele se buscam soluções de mercado com a menor intervenção governamental possível, o que reflete a cultura competitiva deste país. Para atingir este objetivo, o Fundo do Carbono trabalha de forma integrada através de cinco frentes de atuação complementares:

- Percepções (“*insights*”);
- Soluções;
- Inovações;
- Empresas;
- Investimentos.

Juntas, estas cinco frentes auxiliam na concepção, viabilização, criação financiamento de empresas com “baixas emissões de carbono”.

2.4 Finlândia

Segundo informações fornecidas pela embaixada da Finlândia em Brasília, acordos voluntários têm sido estabelecidos entre o Ministério do Comércio e da Indústria e diversas entidades que representam os principais agentes da economia finlandesa, tais como a Confederação da Indústria Finlandesa, a Associação das Indústrias de Energia Finlandesas, a Federação de Petróleo e Gás Finlandesa, e a Associação Finlandesa de Aquecimento a Óleo e a Gás, visando, entre outros objetivos, uma redução de 25%, até 2010, das emissões dos gases que causam o efeito estufa (GEE's).

Nestes acordos, o governo incentiva e subsidia as empresas na realização de diagnósticos energéticos em suas plantas; em contrapartida, as empresas se

comprometem a enviar relatórios anuais para as associações sobre os seus consumos e economias de energia. ESCO's podem ser contratadas pelas empresas para administrar os projetos de conservação de energia.

A primeira etapa destes acordos ocorreu entre 1997 e 2005 e propiciou uma economia de energia de 11 TWh. Na segunda etapa, desenvolvida no biênio 2006/02007, os resultados destes acordos foram avaliados. Uma terceira etapa foi iniciada em 2008 e deve se estender até 2016, mantendo-se o caráter voluntário dos acordos.

2.5 Dinamarca

Criado em 1976, a Autoridade em Energia da Dinamarca (*Danish Energy Authority - DEA*) faz parte do Ministério do Clima e da Energia daquele país. Este órgão elabora planos tanto para o suprimento como para o uso da energia, e implementa iniciativas para que as empresas industriais reduzam seu consumo específico de energia. Uma destas iniciativas é o Pacote Verde de Impostos (*Green Tax Package*), que compreende um imposto sobre as emissões de gases que causam o efeito estufa (GGE's) e emissões de SO₂ e um outro imposto sobre a energia consumida.

Deve-se destacar, no entanto, que, tal qual ocorre na Suécia, empresas dinamarquesas têm utilizado, com sucesso, normas de gestão otimizada de energia na indústria, compatíveis com a ISO 9000 e a ISSO 14000 (MCKANE, 2007).

2.6 Brasil

O Brasil vem desenvolvendo medidas de eficiência energética, uma delas o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de energia elétrica), criado em 1985 pelo ministério das minas e energia, sendo consolidado em 1991, como um projeto governamental com o objetivo da racionalização da produção e do consumo de energia elétrica.

2.7 (PROCEL) Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) promove a racionalização do consumo de energia elétrica, para combater o desperdício e reduzir os custos e os investimentos setoriais, aumentando a eficiência energética. Criado pelo governo federal, em 1985, é executado pela Eletrobrás, com recursos da empresa, da Reserva Global de Reversão (RGR) e de entidades internacionais.

Em 22 anos de existência, o PROCEL ajudou a economizar 28,5 milhões de MWh, consumo equivalente a 16,3 milhões de residências e à energia gerada por uma hidrelétrica de capacidade instalada de 6.841MW, que teria um custo aproximado de R\$ 19,9 bilhões. Para atingir esse resultado, o investimento realizado foi de R\$ 1 bilhão, proveniente da Reserva Global de Reversão (R\$ 628 milhões), Eletrobrás (R\$ 359 milhões) e Programa de Eficiência Energética (R\$ 37,5 milhões), iniciativa que uniu o Global Environment Facility (GEF), do Banco Mundial (Bird), e a Eletrobrás.

Instituído em 1993, o Selo PROCEL de Economia de Energia indica ao consumidor, no ato da compra, os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. O objetivo é estimular a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a redução de impactos ambientais.

Também desde 1993, o programa promove o Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, conhecido como Prêmio PROCEL, que reconhece o empenho e os resultados obtidos pelos agentes atuantes no combate ao desperdício de energia. Concedido anualmente, o Prêmio PROCEL visa estimular a sociedade a implementar ações que efetivamente reduzam o consumo de energia elétrica.

O PROCEL conta com os seguintes subprogramas:

- PROCEL Avaliação (Resultados das Ações de Eficiência Energética)
- PROCEL Edifica (Eficiência Energética em Edificações)
- PROCEL Educação (Informação e Cidadania)
- PROCEL EPP (Eficiência Energética nos Prédios Públicos)
- PROCEL GEM (Gestão Energética Municipal)

- PROCEL Indústria (Eficiência Energética Industrial)
- PROCEL Info (Centro Brasileiro de Informação em Eficiência Energética)
- PROCEL Marketing (Conscientização e Informação)
- PROCEL Reluz (Eficiência Energética na Iluminação Pública)
- PROCEL Sanear (Eficiência Energética no Saneamento Ambiental)
- PROCEL Selo (Eficiência Energética em Equipamentos)

O PROCEL estabelece metas de redução de conservação de energia que são consideradas no planejamento do setor elétrico, dimensionando as necessidades de expansão da oferta de energia e da transmissão. Dentre elas, destacam-se:

- Redução nas perdas técnicas das concessionárias;
- Racionalização do uso da energia elétrica;
- Aumento da eficiência energética em aparelhos elétricos.

Se for mantida a estrutura atual de uso da energia, projeta-se uma necessidade de suprimento, em 2015, em torno de 780 TWh/ano.

Diminuindo-se os desperdícios, estima-se uma redução anual de até 130 TWh – produção aproximada de duas usinas de Itaipu.

Uma das metas do PROCEL tem sido a redução das perdas técnicas na transmissão e distribuição das concessionárias para um valor próximo aos 10%.

Com a adoção do Selo PROCEL de eficiência energética nos eletrodomésticos, espera-se um aumento médio de 10% no desempenho dos equipamentos que participem do programa.

O PROCEL tem como principais objetivos diminuir o desperdício de energia elétrica no país e buscar a eficiência energética no setor elétrico, que visam à realização de algumas metas essenciais: o desenvolvimento tecnológico; segurança energética; eficiência econômica, novos parâmetros incorporados à Cidadania e a redução de impactos ambientais.

Desenvolvimento tecnológico implica pesquisa científica, capacitação de laboratórios e de pessoal técnico, para a melhoria da qualidade de vida. Segurança

energética visa garantir energia na quantidade e no tempo necessário. Eficiência econômica significa produzir e distribuir os bens e serviços da economia com o melhor uso possível dos insumos necessários à produção e distribuição dos produtos. A energia é um dos insumos básicos das atividades econômicas, assim a eficiência econômica passa pela eficiência energética. Por meio da atuação em todos os níveis do ensino formal do país, utilizando como canal de comunicação a educação ambiental, é possível incorporar parâmetros novos à cidadania, como a associação definitiva da totalidade, princípio fundamental da educação ambiental que não permite a dissociação do homem do ambiente onde ele vive.

O PROCEL realiza um poderoso papel de redução dos impactos ambientais no Brasil: as várias linhas de ação de cada um dos Projetos de Mudança de Hábitos e de Eficiência Energética do PROCEL permitem atender ao crescimento da demanda de energia elétrica sem que a oferta seja ampliada na mesma proporção. Uma parte da demanda por eletricidade passa a ser atendida pelo que poderíamos chamar de energia "virtual", obtida através de ações de conservação de energia.

Isto porque estas ações permitem realizar mais atividades produtivas com a mesma quantidade de energia, aumentando a eficiência energética de lâmpadas, motores, eletrodomésticos e também reduzindo o consumo de prédios públicos e das residências.

Há ainda projetos para gerenciar a demanda de energia e diminuir as perdas na transmissão e na distribuição aumentando a efetividade da oferta.

A partir do momento em que a sociedade decide usar a energia elétrica de forma mais eficiente, usinas, linhas de transmissão e redes de distribuição, que teriam de ser construídas para atender ao crescimento da demanda, poderiam ser evitadas, ou postergadas.

Os projetos e ações desenvolvidos no âmbito do PROCEL adiam a necessidade de novas usinas, evitando, assim, o lançamento de milhões de toneladas dos vários gases de efeito estufa na atmosfera. O impacto destes gases no aquecimento global costuma ser medido com base no dióxido de carbono equivalente. Por isso, nos referimos ao carbono evitado, seguindo o Protocolo de Kyoto.

O PROCEL realizou, em conjunto com a COPPE/UFRJ, um estudo que avalia a quantidade de carbono evitada por seus programas. A conclusão é que a eficiência

energética terá, até o ano 2010, contribuído para evitar a emissão de cerca de 230 milhões de toneladas de carbono na atmosfera - correspondentes à quase 29% das emissões totais de gases estufa do setor elétrico brasileiro.

Até aqui está vem sendo a contribuição do PROCEL para abrandar as mudanças climáticas e ambientais em nosso País.

Em 8 de dezembro de 1993 foi instituído por Decreto Presidencial O SELO PROCEL DE ECONOMIA DE ENERGIA (Figura 1), ou simplesmente Selo PROCEL, é um produto desenvolvido e concedido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), com sua Secretaria Executiva mantida pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A . Eletrobrás.

O Selo PROCEL tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria, proporcionando assim economia na sua conta de energia elétrica. Também estimula a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente.



Figura 1 - Selo PROCEL. Fonte: Eletrobras.

No processo de concessão do Selo PROCEL, a Eletrobrás conta com a parceria do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro, executor do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, cujo principal produto é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE, sendo também a Eletrobrás,

parceira do Inmetro no desenvolvimento do PBE. Normalmente, os produtos contemplados com o Selo PROCEL são caracterizados pela faixa. A, da ENCE Figura 2.

Para ser contemplado com o Selo PROCEL, o produto deve ser submetido a ensaios específicos em laboratório idôneo, indicado pelo PROCEL. Os parâmetros a serem avaliados para cada equipamento constam nos Critérios Específicos para Concessão do Selo PROCEL, que consta no Regulamento Selo PROCEL de Economia. A adesão das empresas ao Selo PROCEL é voluntária.



Figura 2 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Fonte: Eletrobras

3 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE) EM EDIFICAÇÕES

A certificação de edifícios iniciou-se nos EUA, em 1998 como projeto para que a indústria da construção pudesse ter um sistema que avaliasse o quanto um projeto é sustentável. Através da pesquisa de métricas e sistemas de normas o USGBC (United States Green Building Council) criou o padrão LEED.

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) é um sistema de classificação de edificações a partir de critérios de sustentabilidade ambiental em diferentes categorias, o LEED envolve pré-requisitos obrigatórios, que valem pontos, é um sistema de pontuação cumulativa que permite às edificações obter diferentes classificações. É uma forma de termos certeza que um prédio seguirá conceitos sustentáveis, pois é necessário atingir um número mínimo de pontos para obter-se a certificação.

A norma LEED teve sua adaptação para o mercado mundial, onde cada país adaptou a norma a sua realidade de mercado, no Brasil surgiu a partir de 2004, sendo conhecida como certificação “green building”, onde estas construções são valorizadas em até 20%. Desde 2004, 139 construções brasileiras entraram com pedido de certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), Figura 3.



Figura 3 - Selo da certificação LEED. Fonte: USGBC

A certificação impõe a prédios a adoção de medidas ecologicamente corretas, garantindo uma valorização de 20% aos imóveis aprovados. No mundo, mais de 100 mil construções iniciaram o processo de certificação. Existem atualmente cerca de 60 processos em andamento de empresas brasileiras que requereram o certificado LEED. No mundo, são 1.522 empreendimentos certificados pelo LEED, em 41 países, e mais 12 mil empreendimentos em processo de certificação, até junho de 2008. O país com mais construções certificadas é o Estados Unidos, seguido pelo Canadá. O valor da certificação LEED varia de acordo com o tamanho do empreendimento. O custo pode ir de US\$ 750 para obras com até 5 mil metros, até US\$ 7,5 mil para obras com mais de 50 mil metros, (Segundo Nelson Kawakami, diretor executivo do GBC Brasil), responsável por adaptar a norma de concessão do certificado LEED para a realidade brasileira.

Outra certificação lançada no Brasil, pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini, a certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental) é baseada em normas europeias, adaptada à realidade brasileira. A iniciativa decorre de parceria entre a entidade, o Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e o Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), instituto francês considerado referência mundial em pesquisas na construção civil. Uma das diferenças entre o AQUA e o selo norte-americano Leed brasileiro, é a avaliação e a certificação do edifício por requisitos.

O AQUA estabelece 14 itens que precisam ser atendidos dentro de três níveis de classificação: bom, superior e excelente. “Se, por exemplo, o solicitante cumprir três requisitos no nível excelente, quatro no superior e sete no bom, ele se enquadrará no perfil mínimo para a emissão do certificado”, explica o engenheiro civil Manuel Carlos Reis Martins, coordenador executivo do Processo AQUA.

A participação das edificações residenciais, comerciais e públicas, no consumo total de energia elétrica no Brasil, é bastante significativa. A tendência de crescimento verificada e estimada é ainda maior, sobretudo, devido à estabilidade da economia, aliada a uma política de melhor distribuição de renda, permitindo o acesso de uma fatia cada vez maior da população aos confortos proporcionados pelas novas tecnologias. Soma-se a isto a elevada taxa de urbanização, o setor de serviços em expansão, calcula-se que 42% da energia elétrica produzida no país seja consumida na operação e manutenção das edificações e na promoção de conforto aos seus usuários.

O expressivo potencial de conservação deste setor, avaliado em 30% para edificações já existentes, através de retrofit (reforma) podendo chegar a 50% nas edificações novas que utilizem tecnologia energeticamente eficiente desde a concepção inicial do projeto, balizou a reavaliação dos principais focos de atuação do PROCEL. O resultado foi a criação de um núcleo especialmente voltado à Eficiência Energética das Edificações . EEE, o PROCEL EDIFICA.

Por sua abrangência, a área de edificações está presente em todos os setores da atividade econômica do país, levando à necessidade de uma articulação entre diversas entidades das áreas: governamental, tecnológica, econômica e de construção civil; para, através de um enfoque multisetorial, promover as condições para o uso eficiente da energia elétrica, reduzindo os desperdícios e impactos sobre o meio ambiente.

O Plano de Ações do PROCEL EDIFICA, lançado em 2003, contou com a contribuição de diversos agentes ligados à construção civil e universidades, reunidos em Workshop, que marcou, desde sua criação, a forma participativa de atuação do Programa e identificou as principais vertentes de atuação:

- Atividades
- Educação
- Subsídio à Regulamentação da Lei de Eficiência Energética
- Tecnologia

Para garantir a transparência e a participação dos diversos segmentos envolvidos, decidiu-se convidar instituições de comprovada competência para exercer, de forma compartilhada, a coordenação destas vertentes, colaborando com a ELETROBRÁS/PROCEL nas decisões quanto à forma de implementação das ações. Desta forma, foram convidadas a Universidade Federal de Santa Catarina e a Universidade Federal de Alagoas, para a coordenação das duas primeiras vertentes de atuação:

Subsídio à Regulamentação da Eficiência Energética das Edificações e Educação.

Entretanto, já se encontram em desenvolvimento projetos relativos às demais vertentes, bem como em novos segmentos onde já foram identificadas possibilidades de investimento. Nesta categoria enquadram-se Convênios com Universidades e o Protocolo de Intenções assinado com a Caixa Econômica Federa. No âmbito deste

Protocolo de Intenções ELETROBRÁS/CAIXA, está vem colaborando na elaboração da Regulamentação da Lei de Eficiência Energética, além de estar sendo desenvolvido projeto de revisão de Kits para habitações de interesse social, e programa de capacitação em EEE para seu corpo técnico.

Numa outra linha de atuação, o PROCEL EDIFICA busca, através de parcerias com órgãos da administração pública, atuar na definição de critérios e elaboração de códigos de obras para as prefeituras, que obriguem a adoção de medidas de sustentabilidade e Eficiência Energética.

Nesta categoria insere-se a parceria com o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM).

Para incorporar novas ações, estão previstas a revisões periódicas do Plano de Ações, durante Workshop, reunindo atuais e futuros parceiros, para discutir e avaliar o andamento do programa, bem como traçar as novas estratégias de atuação, garantindo assim a atualidade e a efetividade do Programa.

O Programa tem como metas o desenvolvimento de um conjunto de projetos visando:

- Investir em capacitação tecnológica, estimulando a pesquisa e desenvolvimento de soluções adaptadas à realidade brasileira, visando à redução do consumo de energia elétrica nas edificações;
- Atrair um número cada vez maior de parceiros ligados aos diversos segmentos da construção civil, visando aumentar a qualidade e eficiência das edificações brasileiras; Divulgar os conceitos e práticas de eficiência energética em edificações, inserindo o tema conforto ambiental e eficiência energética nos cursos de Arquitetura e Engenharia, formando uma nova geração de profissionais comprometidos com o desenvolvimento sustentável do país;
- Disseminar os conceitos e práticas de EEE entre os profissionais de arquitetura e engenharia e aqueles envolvidos em planejamento urbano; Apoiar a implantação da Regulamentação das Edificações Brasileiras, quanto à Eficiência Energética, atendendo à Lei 10.295/2001.

A Eficiência Energética em Edificações, programa do PROCEL EDIFICA, foi instituído em 2003 pela ELETROBRÁS/PROCEL, com a finalidade de promover a etiquetagem de edifícios segundo a forma com que ele utiliza a energia elétrica.

De acordo com dados da Regulamentação para etiquetagem:

A etiqueta avalia três características do edifício: a envoltória, a parte física do edifício; o sistema de iluminação, a iluminação interna do edifício de acordo com as diferentes atividades exercidas pelo usuário; e o sistema de condicionamento de ar, que avalia o tipo de sistema utilizado e sua eficiência nas diferentes áreas do edifício. (INMETRO, 2008).

Conforme disposto por Lamberts no Manual explicativo do Ministério de Minas e Energia:

O PROCEL Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil. Em uma de suas vertentes de ação – Subsídios à Regulamentação - são determinados os parâmetros referenciais para verificação do nível de eficiência energética de edificações. (MME, 2010, p.5).

Este plano de ação tem como finalidade a análise dos edifícios comerciais, públicos e de serviços a partir do seu sistema de iluminação, de condicionamento de ar e a envoltória (análise da cobertura, áreas de vidro, janelas, aberturas e vãos etc.).

Já existe processo de capacitação para avaliação dos parâmetros o (RTQ-C) - Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e aplicação do (RAC-C) - Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Porém ainda é preciso divulgação do conhecimento para setores de Construção Civil, tendo em vista a pequena parcela de pessoas capacitadas, nesta área de atuação.

O objetivo de todo este processo, até a obtenção do selo é estimular os construtores e incorporadores a aderirem conceitos de eficiência energética em edificações e viabilizar a implementação da Lei 10.295/01 ("Lei de Eficiência Energética"). Para os responsáveis, o PROCEL-Edifica deverá se tornar um forte instrumento de mudança no mercado da construção civil.

De acordo com dados do PROCEL-Edifica o selo é necessário, tendo em vista, que as edificações representam quase metade do consumo de energia do País.

Segundo informações do Ministério de Minas e Energia:

[...] são responsáveis por 42% de toda a energia elétrica consumida. O setor residencial contribui com 23%, o comercial com 11% e o público com 8% desse percentual. Um dos grandes vilões, nesses dois últimos setores, é o sistema de condicionamento de ar, com 48% do consumo de energia elétrica, seguido pelo sistema de iluminação, com 24%. (MME, 2012).

Vale lembrar que o custo benefício deste processo, pode gerar uma economia de até 40% de energia, sendo que o investimento no processo de capacitação para avaliação dos parâmetros do RTQ-C dará retorno em apenas três anos à empresa.

3.1 Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos.

O Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) teve sua primeira versão regulamentada pela Portaria INMETRO n.º 53, de 27 de fevereiro de 2009, posteriormente sucedida pela Portaria INMETRO n.º 163, de 08 de junho de 2009. Nele são especificados os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética, criando condições para a Etiquetagem do nível de eficiência energética desta tipologia de edifícios. Três requisitos principais são avaliados: a envoltória do edifício, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar. (ROMES; LAMBERTS).

Para fins deste RTQ são adotadas as seguintes definições, símbolos e unidades:

- **Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS)**

Ângulo formado entre dois planos verticais: o primeiro plano é o que contém a base da folha de vidro (ou material translúcido); o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro (ou material translúcido).

- **Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS)**

Ângulo formado entre dois planos que contém a base da abertura: o primeiro é o plano vertical na base da folha de vidro (ou material translúcido); o segundo plano é formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha de vidro (ou material translúcido).

- **Área Condicionada (AC) (m²)**

Área útil dos ambientes condicionados.

- **Área Não Condicionada (ANC) (m²)**

Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de conforto conforme descrito no item seis deste RTQ.

- **Área da envoltória (Aenv) (m²)**

Soma das áreas das fachadas, empenas e cobertura, incluindo as aberturas.

- **Área de projeção da cobertura (Apcob) (m²)**

Área da projeção horizontal da cobertura, incluindo terraços cobertos ou descobertos e excluindo beirais, marquises e coberturas sobre varandas – esta última, desde que fora do alinhamento do edifício.

- **Área Útil (AU) (m²)**

Área disponível para ocupação, medida entre os parâmetros internos das paredes que delimitam o ambiente, excluindo garagens.

- **Coefficiente de Performance (COP)**

Pode ser definido para as condições de resfriamento ou aquecimento. Para resfriamento: segundo a norma ASHRAE 90.1, é a razão entre o calor removido do ambiente e a energia consumida, para um sistema completo de refrigeração ou uma porção específica deste sistema sob condições operacionais projetadas. Para aquecimento: segundo a norma ASHRAE 90.1, é a razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida, para um sistema completo de aquecimento por bomba de calor, incluindo o compressor e, se aplicável, o sistema auxiliar de aquecimento, sob condições operacionais projetadas.

- **Densidade de Potência de Iluminação (DPI) (W/m^2)**

Razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente.

- **Edifícios comerciais, de serviços e públicos.**

Edifícios públicos e/ou privados usados com finalidade que não a residencial ou industrial. São considerados comerciais, de serviços e públicos: escolas; instituições ou associações de diversos tipos, incluindo prática de esportes; tratamento de saúde de animais ou humanos, tais como hospitais, postos de saúde e clínicas; vendas de mercadorias em geral; prestação de serviços; bancos; diversão; preparação e venda de alimentos; escritórios e edifícios empresariais, de uso de entidades, instituições ou organizações públicas municipais, estaduais e federais, incluindo sedes de empresas ou indústrias, desde que não haja a atividade de produção nesta última; meios de hospedagem. As atividades listadas nesta definição não excluem outras não listadas.

- **ENCE**

Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

- **Envoltória (Env)**

Planos que separam o ambiente interno do ambiente externo.

- **Fachada**

Superfícies externas verticais ou com inclinação superior a 60° em relação a horizontal. Incluem as superfícies opacas, paredes, translúcidas, transparentes e vazadas, como cobogós e vãos de entrada.

- **Fator Altura (FA)**

Razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (A_{pcob}/A_{tot}), com exceção dos subsolos.

- **Fator de Forma (FF)**

Razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação (A_{env}/V_{tot}).

- **Fator Solar (FS)**

Razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. Inclui o calor radiante transmitido pelo

vidro e a radiação solar absorvida, que é re-irradiada ou transmitida, por condução ou convecção, ao ambiente. O fator solar considerado será relativo a uma incidência de radiação solar ortogonal a abertura. A ISO 15099: 2003 e a ISO 9050: 2003 apresentam procedimentos de cálculos normalizados para o FS e outros índices de desempenho energético de vidros e janelas. A NFRC 201:2004 apresenta procedimentos e especificações técnicas normalizadas para aplicação de um método calorimétrico de medição de ganho de calor solar em janelas.

- **Percentual de Abertura Zenital (PAZ) (%)**

Percentual de área de abertura zenital na cobertura. Refere-se exclusivamente a aberturas em superfícies com inclinação inferior a 60° em relação ao plano horizontal. Deve-se calcular a projeção horizontal da abertura. Acima desta inclinação,.

- **Percentual de Área de Abertura na Fachada total (PAFT) (%)**

É calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação. Refere-se exclusivamente a aberturas em paredes verticais com inclinação superior a 60° em relação ao plano horizontal, tais como janelas tradicionais, portas de vidro ou sheds, mesmo sendo estes últimos localizados na cobertura. Exclui área externa de caixa d'água no computo da área de fachada, mas inclui a área da caixa de escada até o ponto mais alto da cobertura (cumeeira).

- **Transmitância térmica (W/(m²K))**

Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das fachadas (paredes externas) ou coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. A transmitância térmica deve ser calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220 - Parte 2 ou determinada pelo método da caixa quente protegida da NBR 6488.

- **Transmitância Térmica da Cobertura (U_{cob}) (W/(m²K))**

Transmitância térmica das coberturas do edifício.

- **Transmitância Térmica das Paredes (U_{par}) (W/(m²K))**

Refere-se à transmitância de paredes externas somente.

- **Volume Total da Edificação (V_{tot}) (m^3)**

Volume delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura), com exceção de pátios internos descobertos.

Este RTQ-C aplica-se a edifícios com área total útil mínima de $500 m^2$ e/ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV, incluindo edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados. Edifícios de uso misto, tanto de uso residencial e comercial, como de uso residencial e de serviços ou de uso residencial e público, devem ter suas parcelas não residenciais avaliadas separadamente caso estas, exclusivamente, ultrapassem $500 m^2$.

A etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve ser realizada através dos métodos prescritivos ou de simulação.

A análise pode ser feita separadamente, recebendo uma classificação parcial do nível de eficiência referente a cada um dos itens avaliados. Nestes casos, as parcelas a serem classificadas devem ser:

- A envoltória, o nível de eficiência energética deve ser estabelecido para a edificação completa;
- O sistema de iluminação, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas, assim como para os subsolos;
- O sistema de condicionamento de ar, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas, assim como para os subsolos.

Para obter a classificação geral do edifício, as classificações por sistemas individuais devem ser avaliadas, resultando em uma classificação final. Para isso, pesos são atribuídos para cada sistema individual e, de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação que também varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) apresentada na ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. (ROMES; LAMBERTS).

A proposta deste trabalho é analisar a edificação por meio da simulação, este método consiste em comparar o desempenho termo energético da edificação real com

edificações de referência (A, B, C e D). Para tanto é necessário realizar a simulação dos modelos (real e de referência) por meio de um software especializado Figura 4

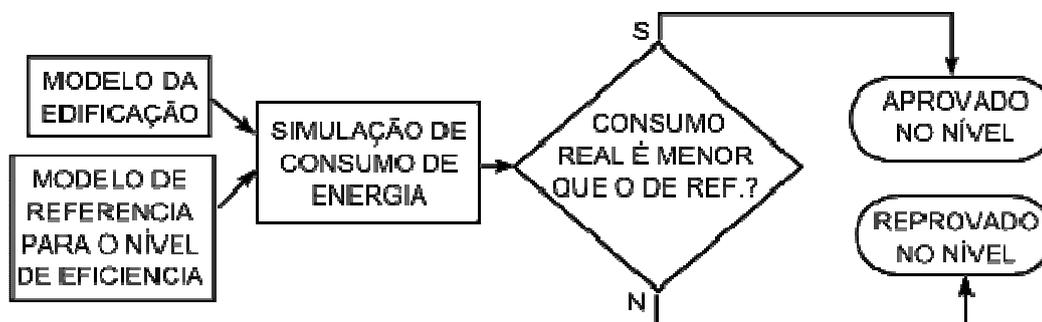


Figura 4 - Fluxograma do método de simulação do RTQ-C. Fonte: LABEEE (2013).

O RTQ-C especifica os requisitos que o software em questão deve possuir. O programa computacional de simulação termo energética deve possuir, no mínimo, as seguintes características especificadas abaixo:

- Ser um programa para a análise do consumo de energia em edifícios;
- Modelar 8760 horas por ano;
- Modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos e sistemas de ar condicionado, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- Modelar efeitos de inércia térmica;
- Permitir a modelagem de multi-zonas térmicas;
- Ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas
- Adotadas no projeto;
- Caso o edifício proposto utilizar sistema de condicionamento de ar, o programa.
- Determinar a capacidade solicitada pelo Sistema de Condicionamento de Ar;
- Produzir relatórios horários do uso final de energia.

Analisando estes requisitos, será utilizado o software desenvolvido pelo (LabEEE) Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, criado no ano de 1996 e está

vinculado ao Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Atua visando reduzir o consumo específico de energia em edificações novas e existentes, através da implantação de novas tecnologias de iluminação, condicionamento de ar e isolamento térmico sem, no entanto, reduzir os níveis de conforto. (LABEEE, 2013).

Dentre as diversas pesquisas realizadas foi desenvolvido o software de etiquetagem de edifícios denominado S3E.

O S3E, Simulador de Eficiência Energética de Edificações, é um serviço WEB gratuito que está sendo desenvolvido pelo (LabEEE) para auxiliar no processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCEs) através do método de simulação. Espera-se que o serviço disponibilizado auxilie arquitetos, engenheiros e projetistas no desenvolvimento de edificações mais eficientes. (LABEEE, 2013).

O Projeto S3E faz parte do convênio Ministério de Minas e Energia/LabEEE com recursos financeiros da FINEP e CNPq. O prazo de conclusão é de 24 meses a partir de setembro de 2009.

3.1.1 Software S3E

As simulações de edifícios existentes são de difícil utilização e não fornecem uma orientação específica para a ENCE/RTQ-C. sendo o uso destes softwares ainda restrito aos centros de pesquisa e poucas empresas de consultoria.

O software S3E foi criado buscando facilitar o uso da simulação por meio da disponibilização de uma ferramenta simples e acessível, tendo a web como forma de acesso.

A Figura 5 ilustra os principais componentes da ferramenta proposta. A interface web recebe as informações do usuário; o banco de dados fornece informações necessárias para as simulações; um programa pré-determinado executa as simulações; o módulo de avaliação da ENCE analisa os resultados da simulação visando à etiquetagem; e o gerenciador do sistema controla o fluxo de informações entre os componentes. (LABEEE, 2013).

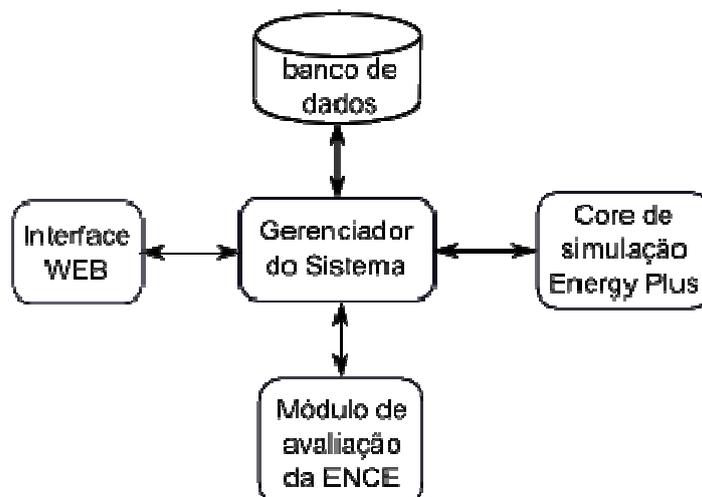


Figura 5 - Componente do software S3E. Fonte: LABEEE (2013).

A página inicial do software Figura 6, onde é dado o nome da simulação bem como a escolha do gênero da edificação e a cidade onde se encontra a edificação.



Figura 6 - Página inicial do S3E. Fonte: simulador S3E (2013).

Logo após é necessário fornecer os dados da envoltória da edificação, sendo divididos entre:

- **Geometria:** o formato da edificação avaliada ou parte dela. Figura 7.

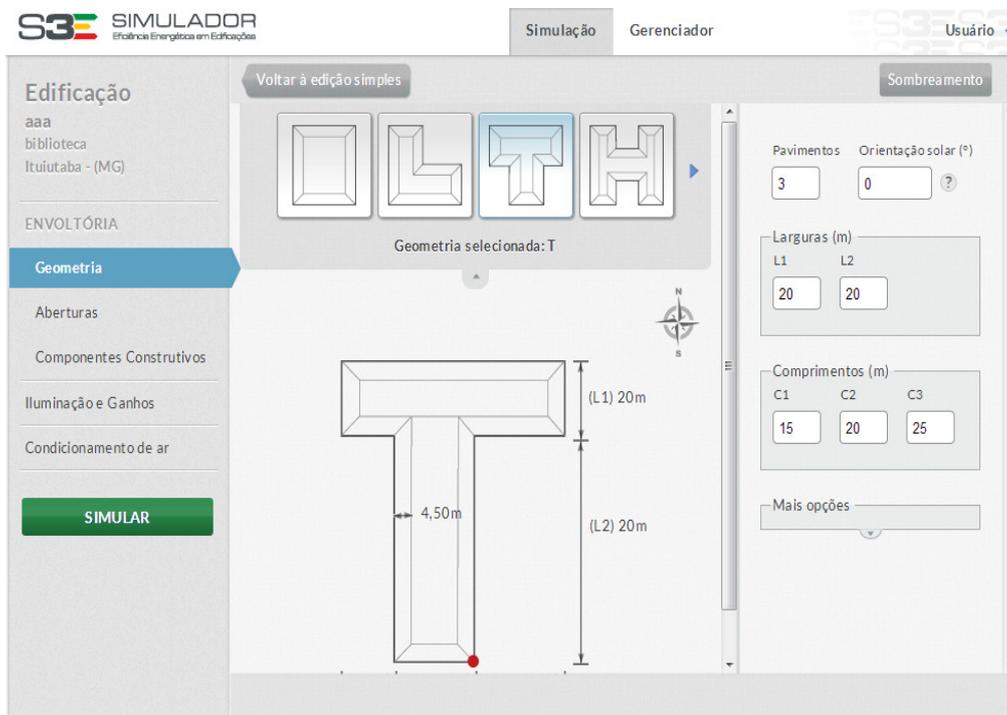


Figura 7 - Página de especificação da Geometria da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013).

- **Aberturas:** Locais da edificação onde possui aberturas, seja por fachadas, portas ou janelas. Figura 8.

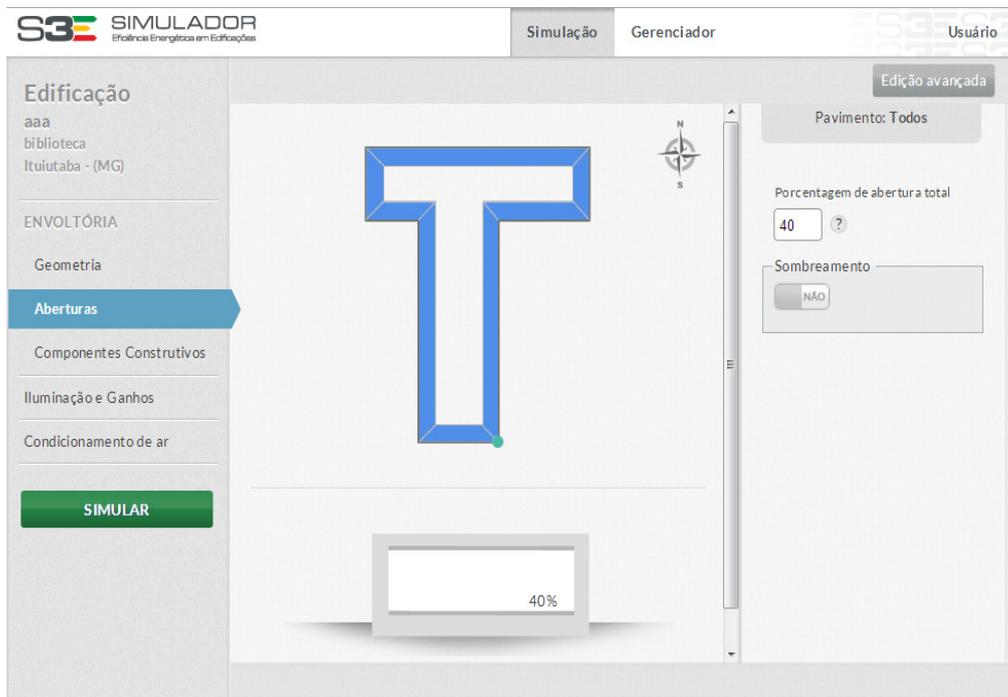


Figura 8 - Página de especificação da Abertura da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013).

- **Componentes construtivos:** é o conjunto de camadas de materiais que caracterizam construtivamente as paredes, os telhados, vidraças, entre outros. Figura 9.

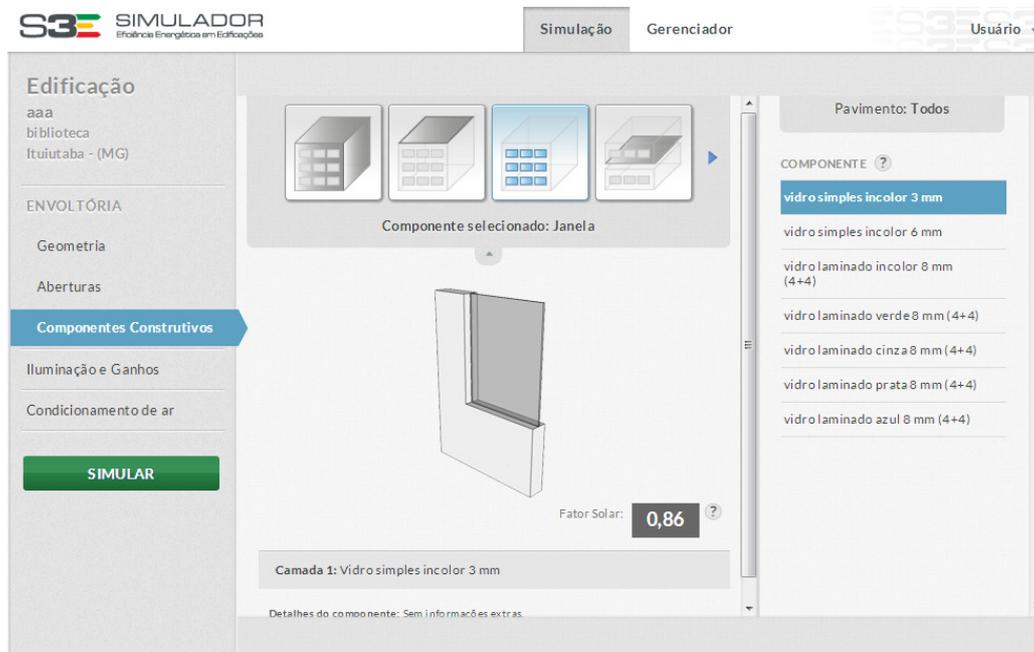


Figura 9 - Página de especificação dos componentes construtivos da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013).

Na parte de Iluminação e Ganhos é informada, a densidade de potência e a densidade de ocupação Figura10.

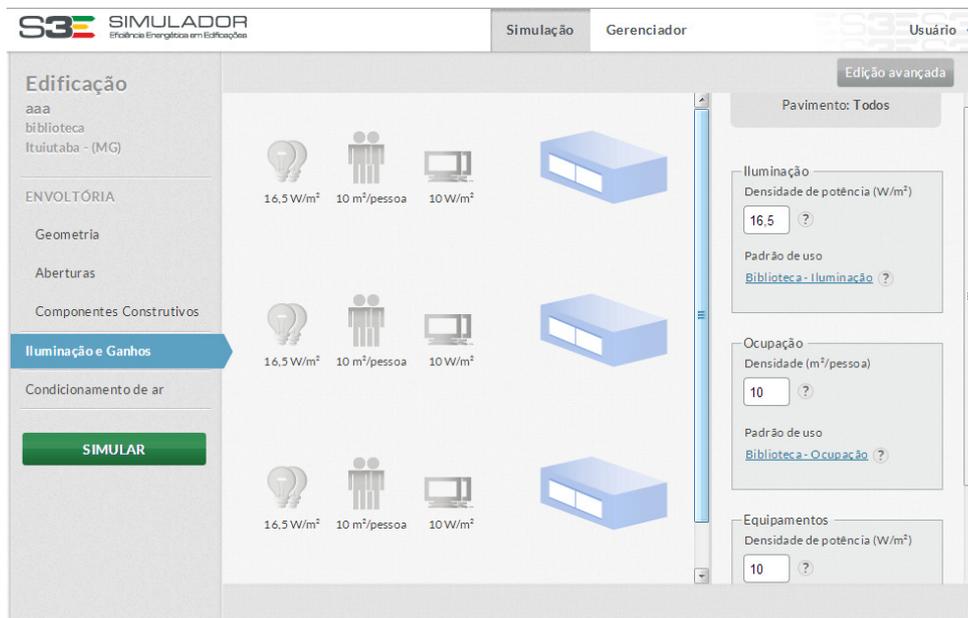


Figura 10 - Página de especificação da Iluminação e Ganhos da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013).

Em Condicionamento de ar (Figura11) é escolhido o sistema de ar condicionado.

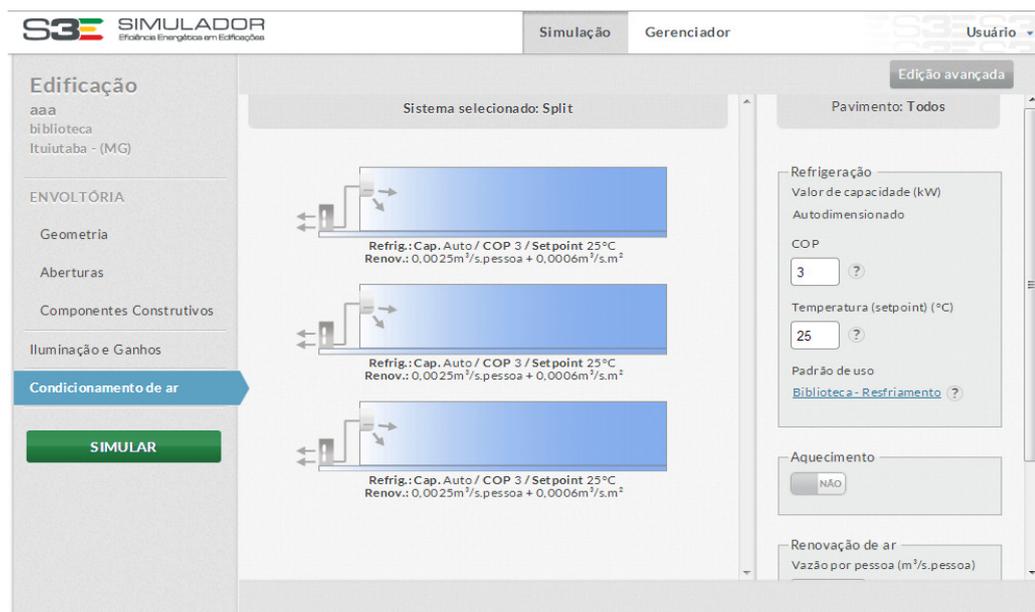


Figura 11 - Página de especificação de condicionamento de ar da Edificação. Fonte: simulador S3E (2013)

Determinando todas estas especificações, deve-se clicar em “simular”, e logo será fornecido um relatório onde é obtida a etiquetagem da edificação.

É importante esclarecer primeiramente que a obtenção de uma etiqueta de eficiência em edifícios não é definitiva. Esta pode ser sempre melhorada com o fim de obter-se melhor eficiência energética, uma vez que desempenhos mais elevados de eficiência energética podem sempre ser conseguidos.

Para obter a certificação deve-se além de avaliar os requisitos especificados no RTQ-C, ou através do método prescritivo ou da simulação, o proprietário deverá encaminhar ao laboratório de inspeção o pedido de avaliação, juntamente com os documentos exigidos, como projetos e memoriais. Esta etapa é obrigatória mesmo para edifícios já construídos, pois é na etapa de avaliação de projeto que é identificado o nível de eficiência energética através do método prescritivo ou de simulação. Cumpridos estes requisitos, o proprietário obtém uma autorização para uso da ENCE relacionada a este projeto. Depois de construído e fornecido o alvará de ocupação, é solicitado à inspeção no edifício onde é verificado se as características que constaram no projeto foram corretamente atendidas. Uma atualização do projeto de acordo com o que foi construído pode ser realizada antes da inspeção, durante a entrega dos documentos. A inspeção é realizada através de amostragem dos ambientes e componentes, inclui medições in situ de dimensões (como janelas e os próprios ambientes) e de propriedades (como absorvância das fachadas quando amostras não tiveram sido fornecidas na etapa de avaliação de projeto). Nela também serão verificados os materiais e equipamentos utilizados, como conferência do tipo de vidro e das lâmpadas/reactores/luminárias especificados na etapa de avaliação de projeto.

Caso sejam encontradas diferenças construtivas entre o projeto avaliado e o edifício pronto que não impactem o nível alcançado, a avaliação pode ser atualizada na etapa de inspeção, durante a entrega de documentos. Caso essas diferenças impactem o nível anteriormente alcançado, deverá ser feita uma nova avaliação de projeto, que, por ser corretiva, tende a ser mais rápida.

4. ESTUDO DE CASO: BIBLIOTECA “VÂNIA APARECIDA DE MORAES JACOB”.

A planta utilizada foi a da “Biblioteca “Vânia Aparecida de Moraes Jacob”, (APÊNDICE A) localizada na cidade de Ituiutaba, Minas Gerais, no campus da fundação educacional de Ituiutaba – FEIT”. (Figura 12). Construída em junho de 1999, para o atendimento do acervo bibliográfico da instituição e a necessidade de acomodação de espaço próprio.



Figura 12 - Foto da Biblioteca Vânia Morais Jacob. Fonte: Autoria Própria

A Geometria da biblioteca é irregularmente retangular com uma área superior a 500 m², composta por um auditório, sala de monografias, e áreas de estudo.

As características construtivas são: janelas com faixadas em vidro simples incolor de 3 mm, as paredes possuem estrutura externa e interna em argamassa com bloco cerâmico de dimensões 14 x 19 x 29 cm, o telhado foi montado em laje maciça com telhas de fibrocimento, e o piso em laje maciça.

A iluminação existente é distribuída de maneira uniforme, com luminárias com quatro lâmpadas fluorescentes de 40 W cada, com índice de iluminamento médio de 195 lux.

O sistema de condicionamento de ar é composto por três ar condicionado SPLIT de 48000 BTU, com etiqueta PROCEL instalado no local a menos de quatro anos.

A biblioteca também possui outros equipamentos tais como, seis computadores, impressoras, scanners, entre outros.

Para a simulação será utilizado apenas os dados da área de estudo da biblioteca, onde está localizado o sistema de condicionamento de ar, cuja área é de 505,6 m², demarcada na planta presente no (APÊNDICE A).

Através das informações obtidas na pesquisa de campo, será informado no software S3E, os dados da envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar.

Para o sistema de iluminação além do valor da densidade de potência, deverá ser informada a densidade de ocupação e dos equipamentos existentes.

Para o cálculo de densidade de ocupação necessita informar a média de ocupação existente no local, foi estipulada uma ocupação permanente de quatro pessoas, as quais trabalham no local, e onze em média que utilizam a biblioteca em questão.

Os dados gerais da planta obtidos pelo cálculo feito pelo S3E, através da pesquisa de campo são:

- Área útil: 505,61 m²
- Volume do edifício: 1516,83 m³
- Área de projeção da cobertura: 505,61 m²
- Área da envoltória: 828,11 m²
- Área total condicionada: 505,61 m²
- Área total não condicionada: 0 m²
- Orientação solar em relação ao Norte geográfico em graus: 75°
- Percentual de área de Abertura na Fachada: 90%

A etiqueta obtida pelo software S3E da instalação foi a “E”, (Figura 13), concluindo que a eficiência energética da edificação é o pior índice estabelecido pela ENCE.



Figura 13 Etiqueta obtida através da simulação da instalação. Fonte: Autoria Própria.

Isto significa uma eficiência mínima da edificação, sendo necessária uma análise para uma melhoria deste nível de etiquetagem.

5 SOLUÇÃO PROPOSTA PARA A MELHORIA DA ETIQUETAGEM DO EDIFÍCIO.

Para a melhoria da eficiência energética da Edificação analisada, será dimensionado um novo projeto luminotécnico, juntamente com um sistema de geração de energia fotovoltaico.

5.1. Projeto Luminotécnico

A iluminação existente consome a grande maioria da potência utilizada pela instalação apesar do sistema utilizar lâmpadas fluorescentes, para diminuir os gastos, este projeto utilizará lâmpadas de tecnologia LED.

5.1.1. Comparativo entre lâmpadas LED e Fluorescentes

Iluminação LED e iluminação fluorescente se diferenciam em relação ao consumo de energia e vida útil. As luzes de LED são diodos emissores de luz e são encontradas tanto como diodos individuais, como em uma lanterna, como um aglomerado de diodos, os quais formam a lâmpada. A iluminação fluorescente existe em dois tipos principais: tubo de iluminação e CFL (iluminação fluorescente compacta) podem variar em tamanho, desde as lâmpadas com múltiplos tubos alongados até as compactas, do tamanho de uma lâmpada padrão. (PAYNE).

Lâmpadas LED podem durar mais de 60.000 horas, antes que sejam substituídas. Já as fluorescentes, principalmente as lâmpadas CFL, podem durar cerca de 10.000 horas antes de precisarem ser trocadas. Seria preciso substituir a lâmpada de CFL comum 6 vezes para se igualar à vida útil de uma lâmpada de LED. (PAYNE).

Lâmpadas LED usam aproximadamente metade da potência da iluminação fluorescente, cerca de 6 watts de energia versus 14 watts de uma lâmpada CFL. Para completar a vida útil de em uma lâmpada de LED, é necessário cerca de 340 quilowatts-horas de eletricidade. Lâmpadas CFL com uma vida útil de 60.000 horas (6 lâmpadas) usariam cerca de 840 quilowatts-hora de eletricidade, segundo o site Product Dose, que

comparou especificações de diferentes lâmpadas. No que diz respeito à eficiência energética, lâmpadas de LED são cerca de 5 vezes mais eficientes que a iluminação fluorescente, segundo o site MegaVolt. (PAYNE).

5.1.2. Conceitos Básicos Utilizados

- **Fluxo Luminoso** - É a radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda mencionados (380 e 780nm). O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento.
- **Eficiência luminosa** - As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes Fluxos Luminosos que elas irradiam,(Figura 14), 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”).

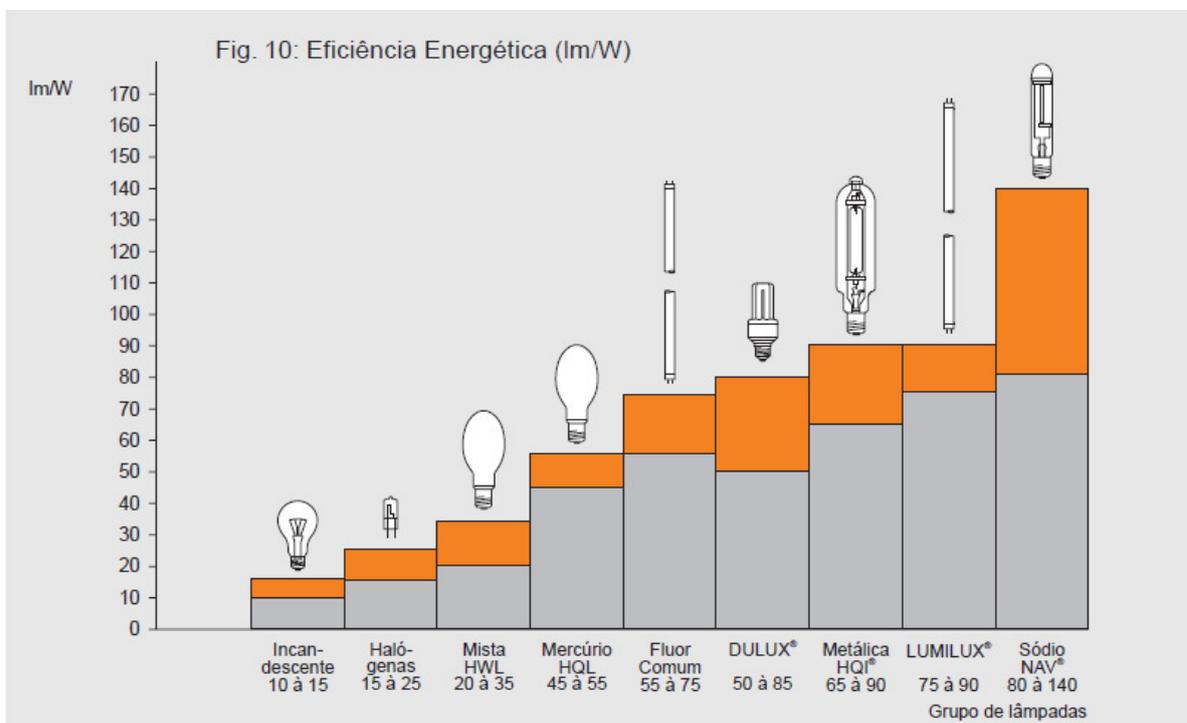


Figura 14 - Eficiência energética com unidade em lumens / Watt. Fonte: OSRAM

- **Iluminância (Iluminamento)** - A luz que uma lâmpada irradia, relacionada à superfície a qual incide, define uma nova grandeza luminotécnica, denominada de Iluminamento ou Iluminância. Expressa em lux (lx), indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada a certa distância desta fonte. Na prática, é a quantidade de luz dentro de um ambiente, existem normas especificando o valor mínimo de Em, para ambientes diferenciados pelas atividades exercidas relacionadas ao conforto visual.
- **Potência Total Instalada** - É a somatória da potência de todos os aparelhos instalados na iluminação (reatores, transformadores e/ou ignitores).
- **Densidade de Potência** - É a Potência Total Instalada em watt para cada metro quadrado de área. Essa grandeza é muito útil para os futuros cálculos de dimensionamento de sistemas de ar-condicionado ou mesmo dos projetos elétricos de uma instalação. (OSRAM).

5.1.3. Método utilizado para o cálculo Luminotécnico

O projeto a seguir se baseou nas normas NBR-5413 que se refere a projetos luminotécnicos, utilizando o método de lúmens.

O método dos lúmens é o método mais simples de cálculo e fornece um resultado numérico único da iluminância a ser obtida no ambiente em função dos equipamentos especificados e das características do ambiente ou da quantidade necessária de equipamentos em função da iluminância desejada. (KAWASAKI).

Inicialmente é necessário o levantamento dos seguintes dados:

- Dimensões dos ambientes e classificação de acordo com uso para determinação da iluminância requerida.
- Refletâncias das superfícies – teto, paredes, piso.
- Frequência de manutenção e condições de limpeza do ambiente – para estimar o fator de manutenção (FM) ou fator de perdas luminosas (FPL).

5.1.3.1. Cálculo do Índice do local (K)

O Índice do local (K) é uma relação definida entre as dimensões (em metros) do local. A Equação está na Figura 15.

$$K = \frac{c \times l}{h \times (c + l)}$$

Figura 15 - Equação para o cálculo do índice do local. Fonte: KAWASAKI.

Onde,

c = comprimento do ambiente

l = largura do ambiente

h = altura de montagem

h = distância do teto ao plano de trabalho

pd = pé-direito

hs = altura de suspensão da luminária

ht = altura do plano de trabalho

Conforme a Figura 16.

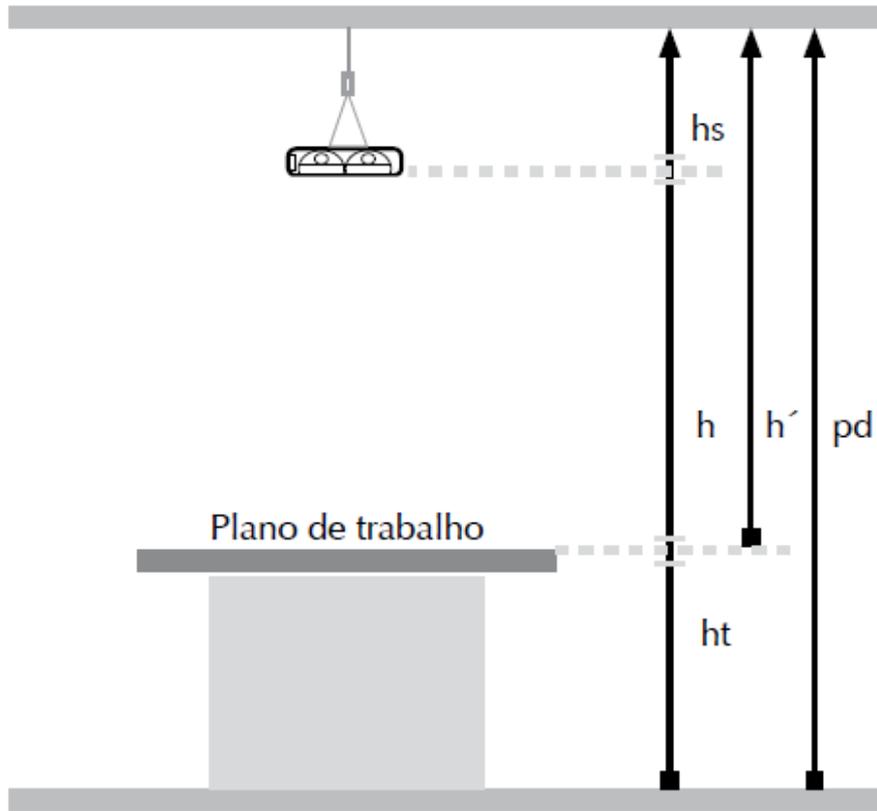


Figura 16 - Definições das alturas para cálculo de K.. Fonte: KAWASAKI.

5.1.3.2. Equipamentos para cálculo

Nesta etapa, devem ser levantados os equipamentos considerando as características fotométricas das luminárias, o desempenho das lâmpadas e as características elétricas dos equipamentos auxiliares, se tiver. As principais características a serem consideradas são:

- Luminárias – curva de distribuição de intensidade luminosa, rendimento, controle de ofuscamento;
- Lâmpadas – eficiência luminosa (lm/W), fluxo luminoso, vida útil, depreciação luminosa;
- Equipamentos – potência consumida, fator de potência, fator de fluxo luminoso, distorção harmônica.

5.1.3.3 Determinação do Fator de Utilização (U)

O Fator de Utilização (U) é dado em tabelas fornecidas pelos fabricantes de luminárias (APÊNDICE B) e indica o desempenho da luminária no ambiente considerado no cálculo. Para determinar o Fator de Utilização, basta cruzar o valor do Índice do Local (K) calculado anteriormente (dado na horizontal) com os dados de refletância das superfícies do teto, da parede e do piso (dado na vertical).

Cada luminária possui uma tabela de fator de utilização distinta, que dependerá do tipo de material empregado na fabricação e no desempenho fotométrico do produto. Assim, este dado deve ser solicitado ao fabricante de luminárias. (KAWASAKI).

5.1.3.4 Determinar o fator de manutenção

A iluminância diminui progressivamente durante o uso do sistema de iluminação devido, por exemplo, ao acúmulo de poeira nas lâmpadas e nas luminárias, depreciação dos materiais da luminária, decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas e à depreciação das refletâncias das paredes.

O dimensionamento do sistema de iluminação deve considerar um fator de manutenção (FM) ou fator de perdas luminosas em função do tipo de ambiente, da atividade desenvolvida, do tipo de luminária, da lâmpada utilizada e da frequência de manutenção dos sistemas. (KAWASAKI).

A Figura 17 sugere valores de fatores de manutenção conforme período de manutenção e condições do ambiente.

AMBIENTE	2.500 h	5.000h	7.500h
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Figura 17 - Fatores de manutenção recomendados. Fonte: KAWASAKI.

5.1.3.5 Dimensionamento

O número de luminárias necessário para um determinado ambiente é calculado utilizando a seguinte equação Figura 18:

$$N = \frac{E_{med} \times A}{n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}$$

Figura 18 - Equação para o cálculo do número de luminárias. Fonte: KAWASAKI.

Onde:

N: número necessário de luminárias

E_{med}: iluminância média (lux)

A: área do ambiente (m²)

n: número de lâmpadas em cada luminária

φ_n : fluxo luminoso de cada lâmpada (lm)

U: fator de utilização

FM: fator de manutenção

FFL: fator de fluxo luminoso do reator

Quando o número de luminárias é conhecido, a iluminância média pode ser calculada pela fórmula Figura 19:

$$E_{med} = \frac{N \times n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}{A}$$

Figura 19 - Fórmula para o cálculo do número de luminárias. Fonte: KAWASAKI.

5.1.3.6. Distribuição das luminárias

Definida a quantidade total de luminárias necessárias para atender aos níveis de iluminância e as condições requeridas de projeto, a distribuição das luminárias deve:

- Buscar uma distribuição uniforme no recinto;
- Procurar obter valores próximos de “a” e “b”, sendo $a > b$, desde que respeitando a curva de distribuição luminosa da luminária;
- Recomenda-se que as distâncias “a” e “b” entre luminárias sejam o dobro da distância entre estas e as paredes laterais;
- Recomenda-se sempre o acréscimo de luminárias quando a quantidade resultante do cálculo não for compatível com a distribuição desejada;

O memorial de cálculo luminotécnico está localizado no (APÊNDICE B), deste trabalho.

Com este novo sistema de iluminação, foi feita uma nova simulação utilizando o software S3E, os dados de envoltória e ar condicionado foram mantidos, apenas acrescentando os dados deste novo sistema.

A nova etiqueta obtida foi a “A” Figura 20, concluindo que o novo sistema alcança o nível de eficiência energética estabelecido pelo PROCEL.



Figura 20 - Etiqueta da Simulação. Fonte: Simulador S3E

5.2. Dimensionamento do sistema fotoelétrico.

O desenvolvimento e fortalecimento das energias renováveis no país são fundamentais, já que o Brasil possui as melhores condições de produção dessas fontes. Dentre as mais significativas fontes renováveis do país, a energia solar destaca-se, pois, praticamente inesgotável, pode ser usada para a produção de eletricidade através de painéis solares e células fotovoltaicas.

No modelo de etiquetagem de edificações prescritivo é dada uma importância ímpar a localidades que utilizam alguma bonificação, seja modernos sistemas de controle de consumo elétrico, á sistemas de gerações alternativas de energia.

Sendo uma fonte de geração totalmente limpa, pois não gera poluentes, a energia solar cresce a uma taxa anual de 40% desde 2000 segundo á Agência Internacional de Energia (IEA).

No Brasil, a quantidade de sol abundante durante quase todo o ano estimula o uso deste recurso. (GREENPEACE, 2006).

Esta quantidade de sol é medida pela radiação solar que se propaga a uma velocidade de 300.000 km/s, podendo se observar aspectos ondulatórios e corpusculares. Variam de acordo com o movimento aparente do Sol, e a superfície terrestre, criando uma elevação ao longo dos dias, dando origem às estações do ano. 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) indicam um valor médio de 1367 W/ m² para a radiação extraterrestre. Fórmulas matemáticas permitem o cálculo, a partir da “Constante Solar”, da radiação extraterrestre ao longo do ano.

Um dos mais usados no Brasil foi elaborado pelo INPE (Figura 21).

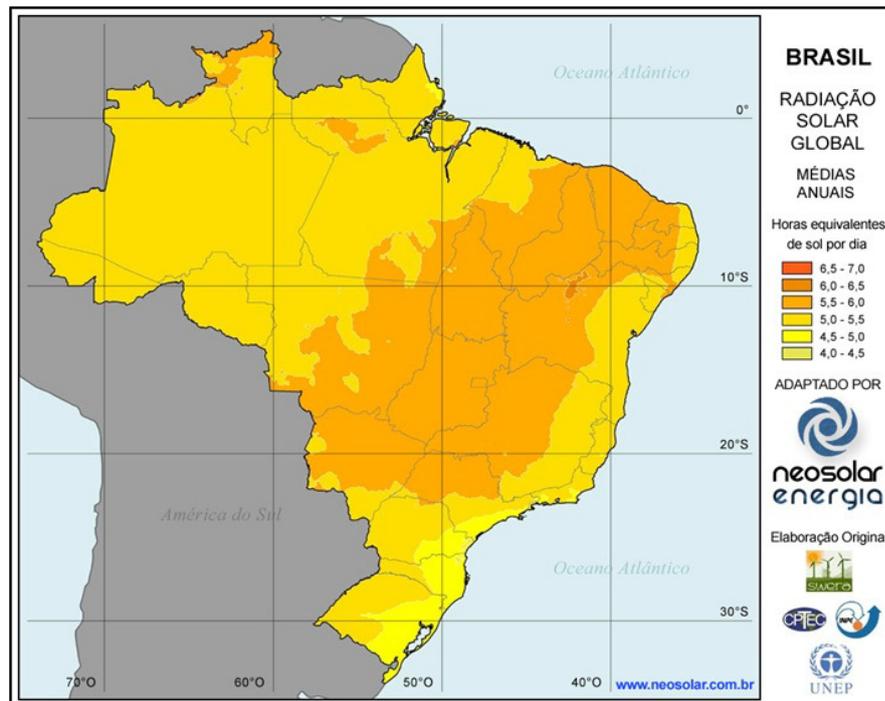


Figura 21 - Índice médio de radiação solar. Fonte: Atlas solarimétrico do Brasil

Ao projetar uma instalação fotovoltaica, além de se analisar o índice de radiação solar, 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).

Vantagens fundamentais:

- Não consome combustível;
- Não produz poluição nem contaminação ambiental;
- É silencioso;
- Tem uma vida útil superior a 20 anos;
- É resistente a condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e umidade);
- Não tem peças móveis e, portanto, exige pouca manutenção (só a limpeza do painel);

- Permite aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais.

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 de 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).

Geralmente é utilizado em zonas afastadas da rede de distribuição elétrica, podendo trabalhar de forma independente (Sistemas Isolados) ou combinada (Sistemas conectados a rede) com sistemas de produção elétrica convencional, além dos sistemas híbridos, sendo a combinação de outras formas de geração alternativa.

5.2.1 Sistemas Isolados

São sistemas independentes da rede elétrica convencional e outras formas de geração. Utilizam algum meio para o armazenamento da energia através de baterias. Sendo está energia utilizada em períodos de geração dos painéis. As baterias também são associadas a um dispositivo de controle de carga e descarga Figura 22.

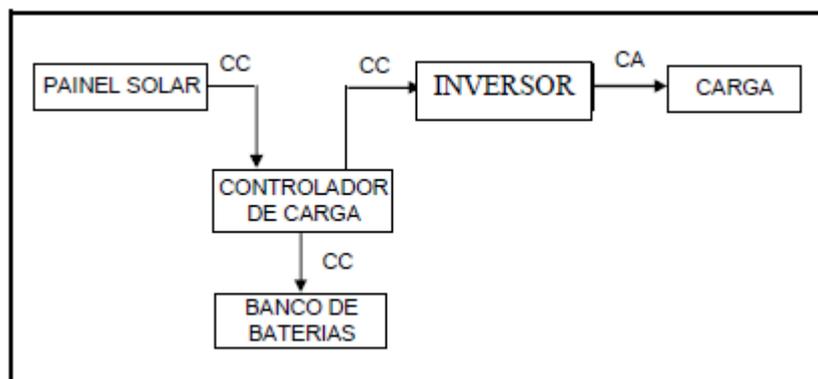


Figura 22 - Arquitetura Básica de um Sistema Isolado. Fonte: GUZZO (2008)

O painel solar, através dos módulos fotovoltaicos, alimenta a carga e recarrega as baterias durante os períodos de insolação. As baterias fornecem energia elétrica ao sistema, quando a geração é insuficiente ou não existe. O inversor é necessário para a alimentação das cargas de corrente alternada, que são a maioria das cargas residenciais usadas hoje. O controlador de carga impede a carga ou descarga demasiada do conjunto de baterias, prolongando assim sua vida útil (ALVES DA CUNHA, 2006).

5.2.2 Sistemas Híbridos

É a combinação dos sistemas fotovoltaicos com outras fontes de geração de energia que assegurem a carga das baterias na ausência de sol, podendo ser geradores eólicos, diesel, gás, gasolina ou outros combustíveis, conforme Figura 23.

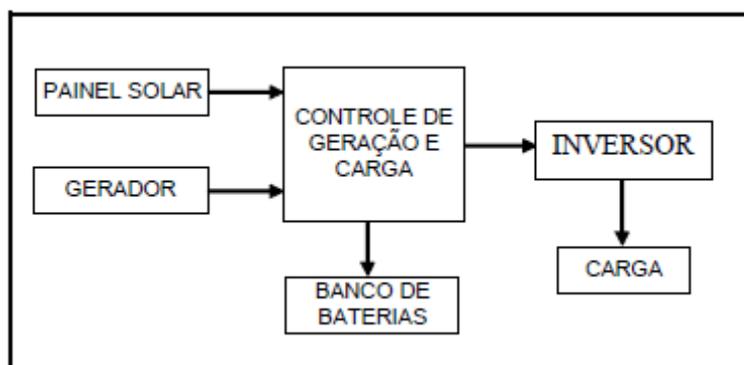


Figura 23 - Arquitetura Básica de um Sistema Híbrido. Fonte: GUZZO (2008)

São utilizados em sistemas de maior porte, com potência gerada na faixa de dezenas e centenas de quilowatt-hora-pico (KWp). Devido à grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular para cada caso e necessidade (ALVES DA CUNHA, 2006).

5.2.3 Sistemas Conectados à Rede

Representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão conectados. Normalmente não utilizam armazenamento de energia, pois toda

a geração é entregue diretamente à rede. Para a injeção de energia na rede são utilizados inversores especiais que devem satisfazer a severas exigências de qualidade e de segurança da mesma.

A potência fotovoltaica instalada neste tipo de sistema é muito variável, podendo atingir centenas de KWp em centrais fotovoltaicas e dezenas de KWp para alimentação de cargas residenciais.

Em um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica de distribuição, normalmente a energia é injetada na rede de baixa tensão e o medidor do usuário (relógio de medição) é bidirecional, efetuando um balanço entre a energia gerada e a consumida, tal com mostrado na Figura 24 (ALVES DA CUNHA, 2006).

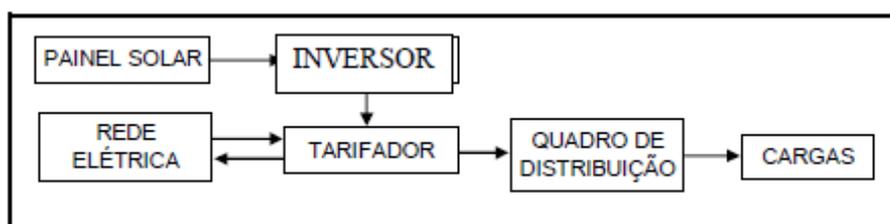


Figura 24 - Arquitetura Básica de um Sistema Conectado a Rede. Fonte: GUZZO (2008)

5.3. Componentes do sistema fotovoltaico

Para o correto dimensionamento de qualquer projeto elétrico é essencial que se conheçam todos os elementos a serem utilizados.

5.3.1. Módulos Fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico precisa de módulos fotoelétricos, cuja função é captar a radiação solar, e transforma-la em energia elétrica, são constituídos de células semicondutoras que são responsáveis por gerar a corrente elétrica. (COSTA, 2006).

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 Figura 25 apresenta alguns desses fatores.

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

Figura 25 - Fatores divididos por estações do ano. 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;

- 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.

- Radiação Solar

A energia solar captada pelas células é obtida através da intensidade da radiação solar. Esta radiação varia com a movimentação do Sol em relação a 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 1000 W/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) indicam um valor médio de 1367 W/m^2 para a radiação extraterrestre (HERNÁNDEZ, 2004).

- 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).

- 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 o 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 26 mostra como deve ser a inclinação dos painéis solares.

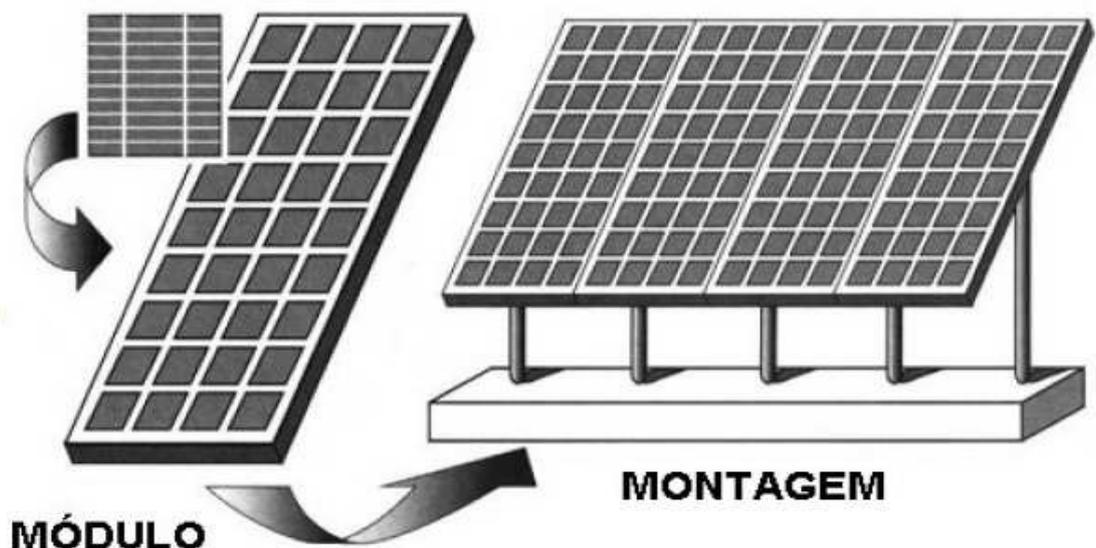


Figura 26 - Inclinação correta dos painéis solares. Fonte: OSRAM

A Figura 27 demonstra a inclinação para diferentes localidades no Brasil.

Cidade	Inclinação ideal* dos painéis (°)
Belo Horizonte – MG	20
Vitória – ES	20
Rio de Janeiro – RJ	23
São Paulo – SP	24
Curitiba – PR	25
Florianópolis – SC	28
Porto Alegre – RS	30
Campo Grande – MS	21
Cuiabá – MT	16
Goiânia – GO	17
Brasília – DF	16
Demais Capitais	10

* inclinação \approx latitude: máxima produção anual

Figura 27 - Inclinação ideal dos painéis fotovoltaicos de algumas localidades. Fonte: Neosolar Energia (2013).

- Potência dos módulos

A potência dos módulos é dada pela potência de pico expressa na unidade (Wp) – Watt pico. Entretanto, nem sempre este é o melhor caminho para comparação entre diferentes tipos de módulos.

De acordo com as mudanças de condições da carga, novos valores de corrente e tensão são medidos, os quais podem ser representados no mesmo gráfico. Juntando todos os pontos, gera-se uma linha denominada curva característica I x V (vide Figura 28). Normalmente estas curvas estão associadas às condições em que foram obtidas (intensidade da radiação, temperatura, etc.).

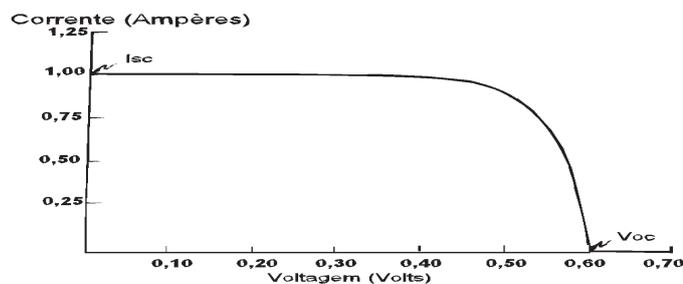


Figura 28 - Curva característica IxV típica de uma célula de silício monocristalino, normalizada pela corrente de curto-circuito / Fonte: Phoovoltaic System Design.

- Quantidade de módulos

Para a determinação do número de módulos é utilizado o método que a Universidade Federal de Lavras utiliza em seus cursos de pós-graduação para a geração fotovoltaica (BITTENCOURT, 2011), dado pela seguinte fórmula (Figura 29):

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = \frac{\text{Consumo Total (Wh./dia)}}{\text{Horas Equivalente de sol pleno} \times \text{Fpp} \times \text{Fps}}$$

Figura 29 - Fórmula para o cálculo da potência do módulo fotovoltaico. Fonte: TEIXEIRA; CARVALHO; LEITE, (2011).

Onde:

- **Potência mínima do gerador (Wp):** Potência mínima total do conjunto de módulos necessária para produzir a energia solicitada pela carga;
- **Consumo total (Wh/dia):** o consumo Wh/dia correspondente à localidade;
- **Horas Equivalente de sol Pleno (Horas/dia):** equivalente ao nível médio mais crítico de incidência solar no local, considerar entre 3,5 e 5 horas/dia de sol pleno para o pior mês de acordo com a localização escolhida;
- **Fpp – Fator de perda de potência:** especificado pelo fabricante. Essas perdas podem ser reduzidas através do uso de um controlador de carga com seguidor de máxima potência;
- **Fps – Fator de perdas e segurança:** levando em conta a redução da geração do módulo devido à tolerância na fabricação, temperatura de trabalho, poeira, degradação, sombras, desalinhamentos e também as perdas elétricas na bateria, no controlador, na instalação além de incertezas sobre os dados utilizados e o consumo previsto. Valor típico: 0,8;

5.3.2. Baterias

Nos sistemas de geração fotovoltaicos, onde a energia é requerida em momentos em que não o ocorre, torna-se necessária a utilização de baterias.

As baterias transformam diretamente energia elétrica em energia potencial química e posteriormente convertem em energia elétrica novamente.

Cada bateria é composta por um conjunto de células eletroquímicas ligadas em série obtendo-se a tensão elétrica desejada.

As baterias podem ser classificadas em duas categorias, primárias e secundárias. As baterias primárias não podem ser recarregadas, ou seja, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia elétrica, devem ser descartadas. As secundárias podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais. Os sistemas fotovoltaicos utilizam acumuladores secundários, dentre os mais comuns, as de chumbo-ácido e as de níquel-cádmio. (ALVES DA CUNHA, 2006).

5.3.2.1. Bateria chumbo-ácido

Possuem esta denominação, pois sua matéria ativa é o chumbo e possui uma solução aquosa de ácido sulfúrico. São formadas por elementos constituídos por duas placas de polaridades opostas, isoladas entre si e banhadas pela solução de ácido sulfúrico (ALVES DA CUNHA, 2006).

5.3.2.2. Bateria níquel-cádmio

Apresentam estrutura física semelhante à das baterias chumbo-ácido, utilizando hidróxido de níquel para as placas positivas, óxido de cádmio para as placas negativas e hidróxido de potássio para o eletrólito.

As baterias de níquel-cádmio, quando comparadas com as de chumbo-ácido, são menos afetadas por sobrecargas e podem ser totalmente descarregadas, não estando sujeitas a sulfatação e, ainda, seu carregamento não sofre influência da temperatura.

Porém possuem um custo mais elevado que as de chumbo-ácido (ALVES DA CUNHA, 2006).

5.3.2.3. Dimensionamento do número de baterias.

Deve ser feito o cálculo com as duas fórmulas e utilizar o maior valor. A primeira fórmula é expressa na Figura 30.

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Consumo Total (Wh/dia)} \times \text{Autonomia (dias)}}{\text{Tensão do banco de baterias(V)} \times \text{Profundidade da descarga no final da autonomia (pu)}}$$

Figura 30 - Primeira fórmula para o cálculo do número de baterias. Fonte: TEIXEIRA; CARVALHO; LEITE (2011)

- **Consumo total (Wh/dia):** o consumo Wh/dia é correspondente a cada cenário.
- **Autonomia (dias):** Prevê um período sem insolação de 3 a 5 dias, de acordo com o clima local e a confiabilidade desejada. Normalmente em residência trabalha-se com 3 dias, em sistemas de telecomunicações 5 dias.
- **Tensão do Banco de Baterias(V):** 12V (em sistemas muito grandes recomenda-se o uso de 24V ou 48V).
- **Profundidade da descarga no final da autonomia (pu):** 0,6 (descarga mais profunda significa vida útil menor para as baterias, e menos profunda um investimento inicial maior). Quando usar baterias automotivas em vez de estacionárias (recomendadas) considerar 0,5.

A segunda fórmula é expressa na Figura 31.

$$\text{Capacidade (Ah)} = \frac{\text{Consumo Total (Wh/dia)}}{\text{Tensão do banco de baterias(V)} \times \text{Profundidade da descarga no final de cada noite (pu/dia)}}$$

Figura 31 - Segunda fórmula para o cálculo do número de baterias. Fonte: TEIXEIRA; CARVALHO; LEITE (2011).

- **Consumo total (Wh/dia):** Retirar do Quadro 02 o consumo Wh/dia correspondente a cada cenário;
- **Tensão do Banco de Baterias(V):** 12V (em sistemas muito grandes recomenda-se o uso de 24V ou 48V);
- **Profundidade da descarga no final de cada noite (pu/dia):** No máximo 0,20. Valores menores aumentam a vida útil da bateria: 0,15 (vida útil de 5 anos) a 0,20 (vida útil 4 anos). Com baterias automotivas usar valores menores;

5.3.3. Controladores de Carga

Para ALVES DA CUNHA (2006) e GUZZO (2008), os controladores de carga são componentes indispensáveis para o sistema fotovoltaico, pois permitem o controle do limite de carga que os módulos de baterias podem receber evitando desta forma a sua queima por sobrecarga e conseqüente aumento do ciclo de vida destes módulos.

São especificados pela tensão de trabalho dos módulos e da corrente. Sua capacidade deve superar a corrente total dos painéis a serem conectados. Caso a corrente supere o valor do controlador, deve ser considerada a possibilidade de divisão de instalação.

Continua ALVES DA CUNHA (2006) e GUZZO (2008), são compostos por um circuito de controle e outro de comutação. O circuito de controle monitora as grandezas do sistema, como tensão, corrente e temperatura na bateria, processando essas informações e gerando sinais de controle que são utilizados para comandar o circuito de comutação. O circuito de comutação é formado por chaves semicondutoras que controlam a tensão e/ou a corrente de carga ou de descarga das baterias.

As principais funções atribuídas aos controladores de carga das baterias são:

- Providenciar o carregamento da bateria.
- Evitar sobrecarga na bateria.
- Bloquear corrente reversa entre a bateria e o painel.
- Prevenir descargas profundas (no caso de baterias chumbo-ácido).

Definem ALVES DA CUNHA (2006) e GUZZO (2008), basicamente dois tipos de controladores, os que são conectados em paralelo e os que são conectados em série com as baterias. Os controladores conectados em paralelo são constituídos de transistores que dissipam a potência gerada em excesso, quando a tensão nos polos da bateria atingir um determinado valor. A tensão de corte recomendada é de 2,35 V / elemento quando a temperatura for de 25°C. Neste caso, é conveniente instalar um diodo de bloqueio entre a bateria e o transistor para evitar dissipação da energia das baterias através dos transistores.

Os controladores conectados em série desconectam os painéis das baterias quando a tensão atinge um determinado valor pré-fixado. O interruptor utilizado pode ser um dispositivo eletromecânico, como um relé, ou estático, por exemplo, um transistor.

Para a proteção de sobrecarga, segundo ALVES DA CUNHA (2006) e GUZZO (2008), desconecta-se o gerador fotovoltaico da bateria quando a tensão em seus polos atinge cerca de 2,45 V / elemento, voltando a conectá-la quando a tensão cair para 2,2 V / elemento. Para a proteção de sobredescarga, desconecta-se a carga da bateria quando a tensão em seus polos atingir um valor determinado pela profundidade de descarga máxima estipulada para o subsistema de acumulação em questão. O controlador de carga volta a conectar a carga na bateria quando a tensão nos polos desta atingir cerca de 2,1 V / elemento. Estes valores de tensão podem variar segundo o tipo e o regime de trabalho dos acumuladores.

5.3.4. Inversores

A tensão fornecida pela geração fotovoltaica durante o processo é do tipo contínua, como a grande maioria dos equipamentos existentes, consomem energia do tipo alternado, é necessário converter está corrente, tornando-a alternada, neste caso é necessário a utilização de um inversor de frequência.

Seu dimensionamento deve ser feito de acordo com alguns critérios, dentre eles a potência nominal consumida pelo sistema, deve-se verificar a potência total das cargas de corrente alternada CA e selecionar um inversor com capacidade mínima de 10%

acima. A tensão de entrada deve ser igual à tensão das baterias e a de saída igual à tensão das cargas de corrente alternada.

De acordo com ALVES DA CUNHA (2006) e GUZZO (2008), existem basicamente dois tipos de inversores atualmente no mercado: os que produzem onda senoidal modificada e os que produzem onda senoidal pura. A diferença entre eles é sutil, porém significativa quanto à forma de operar certas cargas.

O inversor de onda senoidal modificada pode suprir de forma satisfatória a maioria dos equipamentos e eletrodomésticos de uma residência. Tem um custo menor, porém, pode apresentar problemas com alguns tipos de equipamentos de precisão como impressora a laser, relógios digitais e carregadores de bateria para equipamentos sem fio. O inversor de onda senoidal pura é projetado para fornecer energia de qualidade igual ou superior à fornecida pela concessionária.

5.4. Resultado do sistema proposto e análise da viabilidade

Para o dimensionamento deste sistema, é necessário levantar os dados das variáveis presentes nas fórmulas apresentadas.

Os dados obtidos foram:

- Potência da iluminação LED= 1620 W; Cada uma consome 18 W.
- Consumo Total do sistema de iluminação LED = 19440 Wh/dia.
- Horas equivalentes de sol pleno = 4,5 horas.
- $F_{pp} = 0.68$. Fornecido pelo fabricante do painel solar.
- F_{ps} – Fator de perdas e segurança: 0,8.
- Autonomia (dias): 3.
- Tensão do Banco de Baterias(V): 12 V.
- Profundidade da descarga no final da autonomia (pu): 0,6.
- Profundidade da descarga no final de cada noite (pu/dia): 0,15.

Após os devidos cálculos (APÊNDICE B) serão utilizados por fim:

- 90 lâmpadas de LED, modelo LED176-FLUOR- T8 – BR6500K – 18w BIVOLT;
- 59 módulos fotovoltaicos modelo kyocera KD1356X – LPU (135 Wp);

- 37 baterias modelo DF4001 com capacidade de 240 (Ah) em 100 horas da FREEDOM;
- 1 inversor de frequência 1720W;

Como observado não será necessário o controlador de carga, devido à inexistência de cargas em corrente contínua.

Para a implantação deste sistema, deverá ser feito um investimento inicial apresentado no Quadro 1.

Item	Custo R\$
90 lâmpadas LED	11.815,00
59 painéis solares fotovoltaicos	23.541,00
37 baterias	34.373,00
1 inversor de frequência	4.000,00
Valor total = 73.729,00	

Quadro 1 - Custo inicial de implantação do sistema. Fonte: Autoria Própria.

Para a análise de manutenção do sistema, será analisado durante o tempo de 25 anos relativo ao tempo de vida útil dos painéis fotovoltaicos (Quadro 2). Durante este período se têm a necessidade de substituir os outros componentes do sistema ao qual condiz com 2 vezes o Inversor e 4 vezes o banco de baterias, e as lâmpadas de LED.

Item	Custo R\$
4x lâmpadas LED	47.260,00
4 x baterias	137.492,00
2 x inversor de frequência	8.000,00
Valor total = 192.752,00	

Quadro 2 - Custo de manutenção do sistema em 25 anos. Fonte: Autoria Própria.

Fazendo a análise dos custos do investimento e de operação, o cálculo do retorno do investimento desse sistema está mostrado abaixo.

O tempo de retorno é o número de períodos que zera o valor líquido presente, ou anual do empreendimento. Neste caso a taxa de juros adotada é o próprio custo de capital. Ver Figura 32.

$$\text{Tempo de retorno descontado} = \frac{\log\left(\frac{I_v}{E_c} * i + 1\right)}{\log(1 + i)}$$

Figura 32 - Tempo de retorno descontado. Fonte: SATYRO (2013)

Os dados do consumo estão indicados no Quadro 3.

	Consumo			
	Horas (1)	Dia (KWh)	Mês (KWh)	Ano (KWh)
Sistema Atual	13 hs	74,88	1647,36(2)	19768,32
Sistema Novo	13 hs	21,06	189,54(3)	2274,48

Quadro 3 - Consumo do sistema. Fonte: Autoria Própria

Nota:

- 1 - Considerando um período de 13 horas de funcionamento da edificação / dia.
- 2 - Para um período de 22 dias de funcionamento / mês.
- 3 - O novo sistema de iluminação vai utilizar energia da rede somente nove dias os outros 13 dias será utilizada a energia do sistema de painéis fotovoltaicos, já que a autonomia das baterias é em média de três dias.

O custo do KWh da edificação é \$ 0,24, o sistema atual gasta \$ 4744,4 em consumo de energia, o novo sistema vai gastar \$ 545,87.

Utilizando a fórmula do tempo de retorno, o retorno pode vir em média em um período de 4 anos.

O sistema fotovoltaico minimiza a utilização da energia convencional, e garante o índice de etiquetagem da edificação no nível “A”, mesmo se o método de análise for o método prescritivo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser visto nas simulações propostas acima, em um projeto utilizando de equipamentos adequados para cada situação e um consumo consciente, pode haver uma considerável economia de energia elétrica, chegando a um patamar de 68%, tendo em vista que o consumo da primeira simulação ficou na casa de 122744 MWh ante a segunda que obteve um consumo de 83038 MWh.

Em alguns casos a economia gerada pode alcançar valores relativos maiores, como é o caso do projeto desenvolvido no prédio do Ministério de Minas e Energia, onde a economia obtida no prédio chegou 40% no horário de ponta e de 30% no resto do dia, apenas fazendo alterações nos sistemas de condicionamento de ar e na iluminação.

Além de ser um incentivo para a redução do consumo energético no País, o programa de edificação pode em um segundo momento, agregar valor comercial para os novos empreendimentos que se mostrarem realmente eficiente energeticamente, criando assim um novo nicho de mercado e abrindo oportunidades para as carreiras de engenharia em especial para a civil e elétrica.

Contudo, os benefícios da eficiência energética não são sentidos apenas pelos usuários finais, a economia como um todo sente os seus efeitos, alguns dos benefícios são:

- Menos investimentos em usinas hidrelétricas e termelétricas, contribuindo para o menor endividamento e ganho de competitividade;
- Atração de novos investimentos e geração de emprego e renda;
- Garantia de suprimento de energia elétrica;
- Utilização de fontes renováveis de energia.

Para a realização de projetos eficientes energeticamente, o uso das simulações do consumo energético de edificações é uma ferramenta poderosa, os software existentes são de difícil utilização e não fornecem uma orientação específica para a ENCE/RTQ-C. Sendo assim, o uso da simulação ainda está restrito aos grandes centros de pesquisa e poucas empresas de consultoria. O objetivo do Projeto S3E é facilitar o uso da simulação por meio da disponibilização de uma ferramenta simples e acessível.

Além disso, este trabalho nos mostra a importância que um sistema de geração fotovoltaica pode 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 à queima de combustíveis fósseis, logo, tema 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 em 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.

Mesmo com um investimento inicial alto, o retorno poderá vir em quatro anos, ficando a cargo apenas de eventuais manutenções no sistema, deve-se ressaltar a grande importância da instalação dos sistemas fotovoltaicos quando avaliados sob o foco da redução de impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 10. ed. Brasília: ANEEL, 2012.

ALVES DA CUNHA, J. L. P. **Eletrificação de Edificações Rurais Isoladas Utilizando Energia Solar Fotovoltaica**. MG: Universidade Federal de Lavras. Monografia apresentada para o curso de Pós Graduação em Fontes de Energia Renováveis, 2006.

BRASIL. **Laboratório de Eficiência Energético em Edificações**. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em 17 de junho de 2012.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 17 de junho de 2012.

BRASIL. **Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>. Acesso em: 17 de junho de 2012.

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PROCEL INFO. **Casos de Sucesso**, número 1.

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

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

EDUCAREDE. **O assunto é energia**. (2003). Disponível em: <<http://www.educarede.org.br/educa/index.cfm>>. Acesso em 17 Jun. 2012.

FREITAS, Stefani; **Tópicos em engenharia I – Qualidade da energia elétrica**. 2012.

GAZOLLI, Jonas Rafael; VILLALVA, Marcello Gradella; GUERRA, Juarez. **Energia Solar Fotovoltaica – Introdução**. 2012.

GREENPEACE, **A Possível Revolução Energética**. 05 de junho de 2006. Disponível em <<http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/dossie>> Acesso em 07 Out. 2013.

HERNÁNDEZ, Krenzinger, **Análise experimental e simulação de sistemas hídricos e eólicos-fotovoltaicos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2004.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na Arquitetura**. 2.ed. São Paulo: ProLivros, 2004.

LAMBERTS, Roberto Lamberts (coord). **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. Caderno 1 – Manual explicativo do Ministério de Minas e Energia, 2010.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. **Etiquetagem de eficiência Energética de Edificações** – Caderno 1 – Manual explicativo do Ministério de Minas e Energia, 2010.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. **Manual de Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C** – Caderno 2 - Manual explicativo do Ministério de Minas e Energia, 2010.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. Disponível em <<http://www.osram.com.br>>, acesso em 7 Out. 2013.

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

SATYRO, Guilherme Vogel – **Revisão e Modernização do Sistema de Iluminação e Ar Condicionado do Bloco A1 do Edifício da CPRM no Rio de Janeiro**, 2013.

TEIXEIRA, Alexandre de Almeida; CARVALHO Matheus Leite; LEITE Leonardo Henrique de Mello; **Análise da viabilidade para a implantação do sistema de energia solar residencial**. Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p. 117-136. (2011). Editora UniBH. Disponível em: <www.unibh.br/revistas/exacta/> acesso: 12 dezembro 2013.

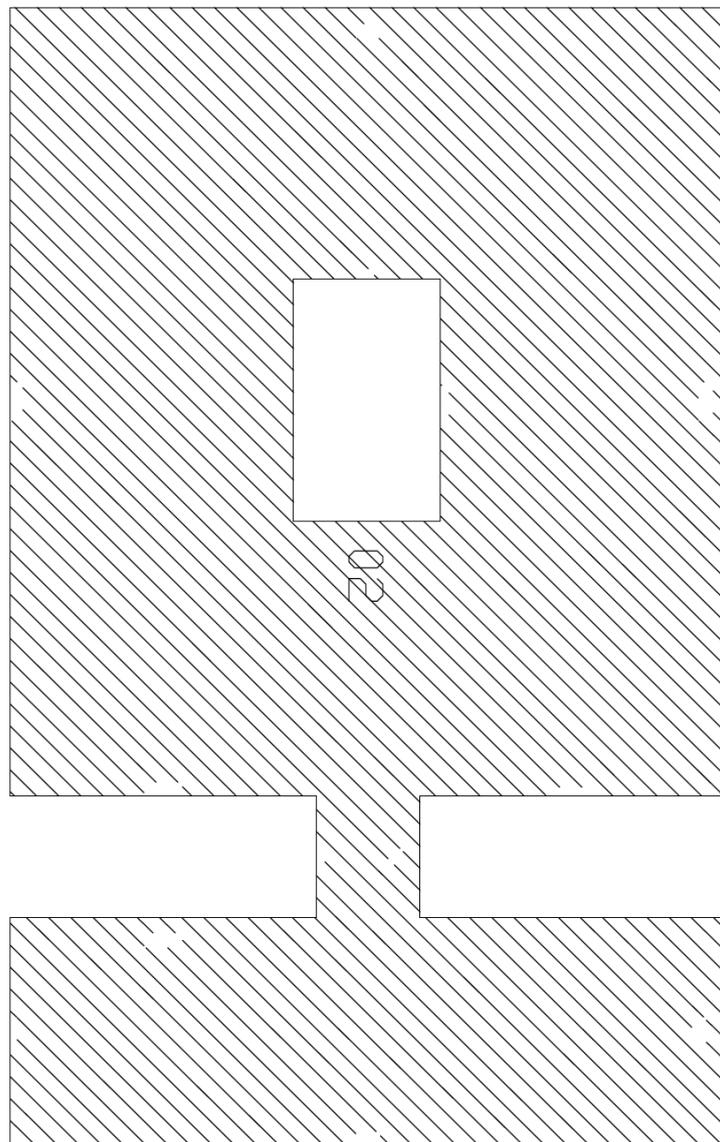
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Versão aprovada em agosto de 2008 pela Secretaria Técnica do GT-Edificações do Comitê Gestor de Índices e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE. disponível no sítio <www.labeee.ufsc.br> último acesso em 02 Jul. 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC. **s3e**: Software de simulação online da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em <<http://www.s3e.ufsc.br>>. Acesso em 17 Jun. 2012.

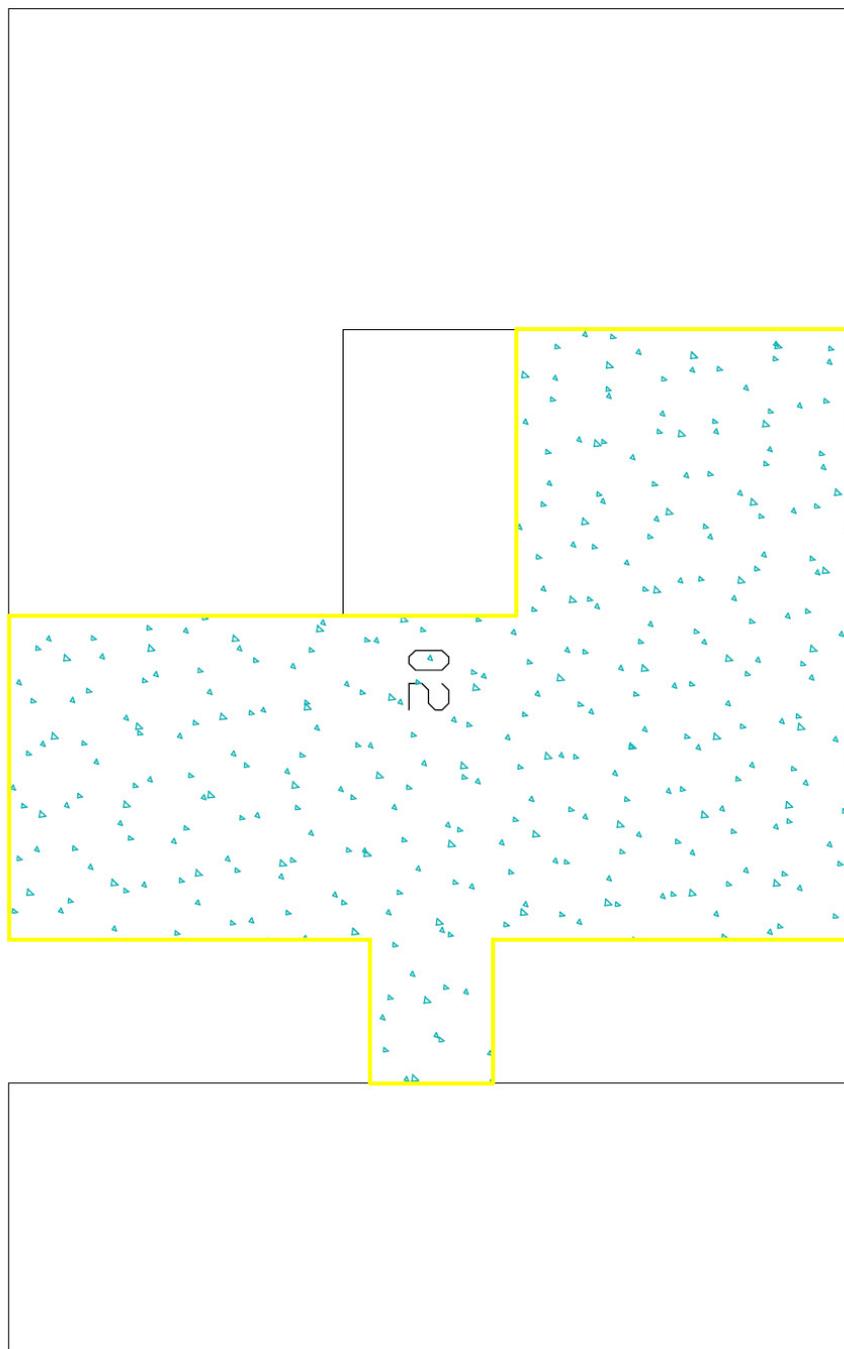
APÊNDICES

APÊNDICE A

PLANTA BAIXA DA BIBLIOTECA



PLANTA BAIXA COM DEMARCAÇÃO DA ÁREA ANALISADA



APÊNDICE B

MEMORIAL DE CÁLCULO DO PROJETO LUMINOTÉCNICO

Para uma biblioteca com uma área de 506 m² e levando em consideração que as luminárias estão instaladas a 2,20 m do plano de trabalho, ou seja, as carteiras da sala de leitura.

De acordo com a NBR-5413 (ABNT, 1992) para uma sala de leitura de uma biblioteca a quantidade de fluxo luminoso mínimo necessário será de 300 a 750 lm/m², porém nos cálculos serão utilizados 300 lm/m².

Para descobrir a quantidade necessária de lâmpadas de LED para atingir a especificação da norma, deve-se multiplicar o fluxo luminoso pela área do recinto (300 x 506 = 151.800 lumens). Após divide-se este valor pela quantidade de lumens de uma única lâmpada, será encontrado um total de 90 lâmpadas.

Porém, cada lâmpada consome 18 W de potência, para um total de 90 lâmpadas seriam necessários 1620 W de potência, ou 1,62 KW. Podemos obter também o valor da densidade de potência ($1,62 \times 1000 / 506 = 3,2$).

MEMORIAL DE CÁLCULO DO PROJETO FOTOELÉTRICO

Neste sistema considera-se que a instalação é alimentada pelo sistema fotovoltaico no qual o dimensionamento dos equipamentos é feito com o consumo total diário, as características solar do local, com horas de pleno sol de média 4,5 e autonomia de 3 dias.

Para o dimensionamento do banco de baterias, foi levantado um consumo diário de 21060 Wh/dia, escolhido o modelo sendo DF4001 com capacidade de 240 (Ah) em 100 horas da FREEDOM. A capacidade do banco de baterias ($21060 \times 3 / 12 \times 0,6$) sendo 8100 Ah.

O número de baterias calculadas corresponde ao valor da capacidade pela capacidade da bateria, chegando ao total de 37 baterias.

Para o dimensionamento das placas fotovoltaico é necessário o cálculo da potência mínima gerada ($21060 / 4,5 \times 0,68 \times 0,8$) chegando ao valor de 7941, 176 Wp.

O número de painéis será a razão entre a potência mínima gerada e a potência de cada painel, no caso o modelo escolhido foi o modelo Kyocera KD1356X - LPU (135 Wp) , obtendo 59 painéis.

O inversor é dimensionado com base na potência instalada, sendo está no valor de 1620 W, com um acréscimo de 10%, dando um total de 1720 W.

ANEXOS

ANEXO A (Relatório de Saída S3E da Primeira Simulação)

10/10/13

Relatório de saída - S3E

Relatório de saída

Resultados gerados por versão preliminar ainda não validada

[Etiqueta](#)

[Dados gerais](#)

[Envoltória](#)

[Sistema de condicionamento de ar](#)

[Ganhos internos](#)

[Consumo energético](#)

[Método prescritivo](#)

Etiqueta

Energia

Projeto do edifício

Edifício: Rafaelli10/102
Endereço: xxxxxxxxxxxx
Cidade/UF: Ituiutaba - (MG)
Método: xxxx
Data inspeção: xx
Ano da ENCE de projeto: xx/xx/xx

Bonificações: xx,xx
Pontuação: x,xx
 Pré-requisito
Aquecimento de água: X

Mais eficiente

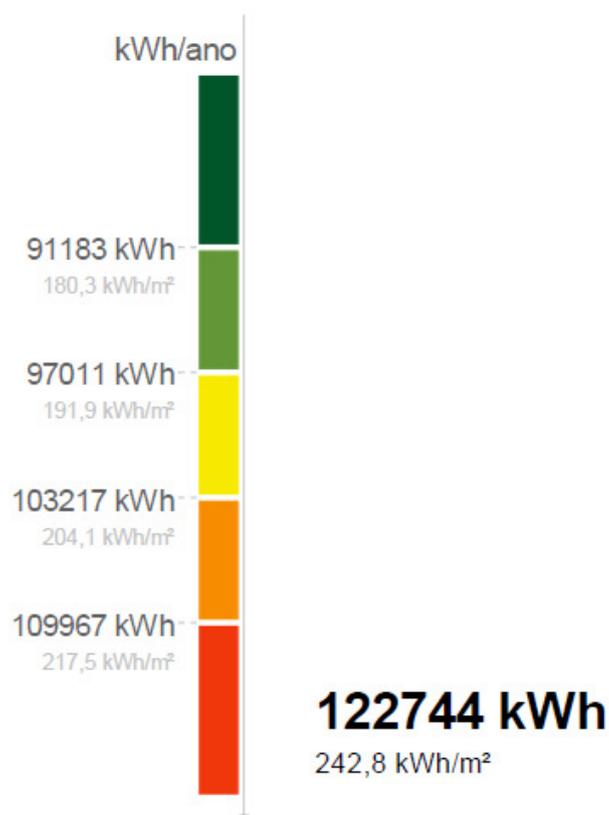
Menos eficiente

Sistemas Individuais

Envoltória	Iluminação	Condicionamento do ar
Zona Bioclimática: xxx Área: xxxx	Ambiente: xxx Área Iluminada: xxx	Tipo SPLIT Área: xxxxxxx ATC: xxxxxxxx EqNumV: xxxxxxxx
Mais eficiente Menos eficiente	Mais eficiente Menos eficiente	Mais eficiente Menos eficiente

PROGRAMA NACIONAL DE
 CONSERVAÇÃO ÁREA DA ENVOLTÓRIA EM
 METROS QUADRADOS: DE ENERGIA ELÉTRICA
 PORTARIAS INMETRO: XXX E XXX DE (MÊS E ANO)

Consumo de energia (kWh/ano)



Dados Gerais

Nome da edificação: Rafaelli10/102
 Versão do EnergyPlus: 6.0
 Arquivo climático: MG_ltuiutaba.epw
 Zona bioclimática: 6
 Latitude: -18,97°
 Longitude: -49,47°
 Altitude: 560 m
 Fuso horário: -3 h
 Rotação em relação ao Norte geográfico em graus: 75°
 Tipo de estabelecimento (uso típico): biblioteca
 Número de pavimentos: 1
 Área útil: 505,61 m²
 Volume do edifício: 1516,83 m³
 Área de projeção da cobertura: 505,61 m²
 Área da envoltória: 828,11 m²
 Área total condicionada: 505,61 m²
 Área total não condicionada: 0 m²

Envoltória

Edifício Real

FA: Fator de Altura: 1,000

FF: Fator de Forma: 0,546

Ucob: Transmitância Térmica da cobertura: 2,155 W/m².K

α_{cob} : Absortância Solar da cobertura: 0,8

Upar: Transmitância Térmica das paredes: 1,991 W/m².K

α_{par} : Absortância Solar das paredes: 0,3

PAFT: Percentual de área de Abertura na Fachada total: 90%

PAZ: Percentual de Abertura Zenital: 0%

FS: Fator Solar: 0,861

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento: 0,00°

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento: 0,00°

Referências	FA	FF	Ucob (W/m ² .K)	α_{cob}	Upar (W/m ² .K)	α_{par}	PAFT (%)	PAZ (%)	FS	AVS (°)	AHS (°)
Edifício Real	1	0,546	2,155	0,8	1,991	0,3	90	0	0,861	0,00	0,00
Referência A	1	0,546	1,022	0,3	4,005	0,8	18,61		0,861	*	*
Referência B	1	0,546	1,55	0,3	4,005	0,8	32,22		0,861	*	*
Referência C	1	0,546	2,09	0,3	4,005	0,8	45,84		0,861	*	*
Referência D	1	0,546	2,09	0,3	4,005	0,8	59,45		0,861	*	*

*Os modelos dos edifícios de referência não possuem proteção solar em suas aberturas.

Sistema de Condicionamento de Ar

		Térreo	Tipo	Ático
Resfriamento	Tipo de equipamento	SPLIT		
	Setpoint do Termostato (°C)	25		
	Capacidade (kW)	82,66		
	COP	3		

		Horas	Período
Resfriamento	Maior número de horas não atendidas durante ocupação (mensal)	1.5	Mês
	Total de horas não atendidas durante ocupação (anual)	8.0	Ano

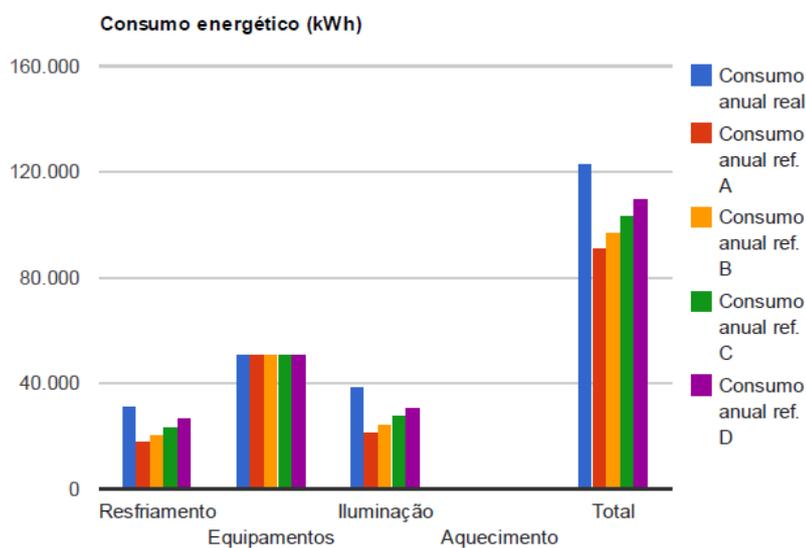
Ganhos Internos

	Real		
	Térreo	Tipo	Ático
Número de pessoas	15,0		
Ocupação específica (m ² /pessoa)	33,60		
Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	23,10		
Potência total de iluminação (W)	11679,8		
Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	33,40		
Potência total de equipamentos (W)	16887,7		

Consumo Energético

Anual					
Elemento de consumo	Edificação Real	Referência A	Referência B	Referência C	Referência D
Consumo energético total (kWh)	122744	91183,0	97011,0	103217,0	109967,0
Resfriamento (kWh)	31248	17794,0	20344,0	23262,0	26759,0
Aquecimento (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Iluminação (kWh)	38569	21204,0	24377,0	27549,0	30721,0
Equipamentos (kWh)	51040	51040,0	51040,0	51040,0	51040,0
Ventiladores (kWh)	1886	1145,0	1249,0	1366,0	1446,0
Bombas (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Torres de arrefecimento (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diversos (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Gráfico comparativo do consumo energético entre a edificação real e as edificações de referência



Edificação Real

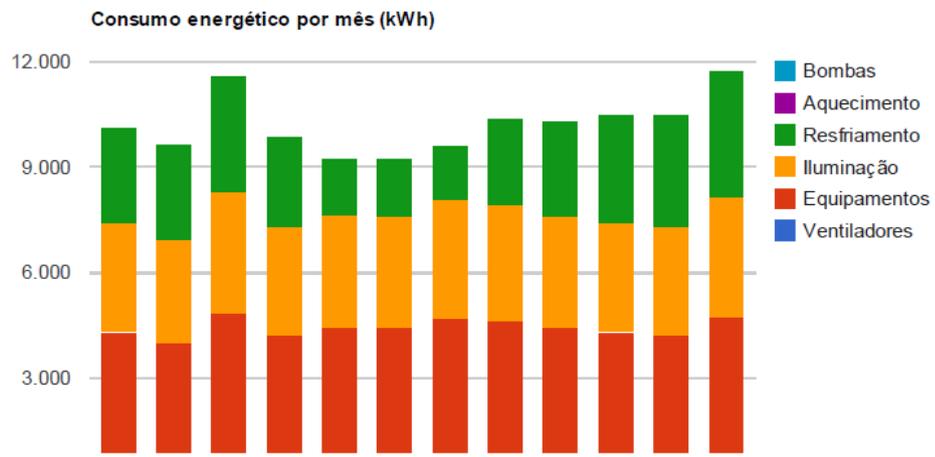
Gráfico do consumo energético mensal da edificação real

Edificação Real

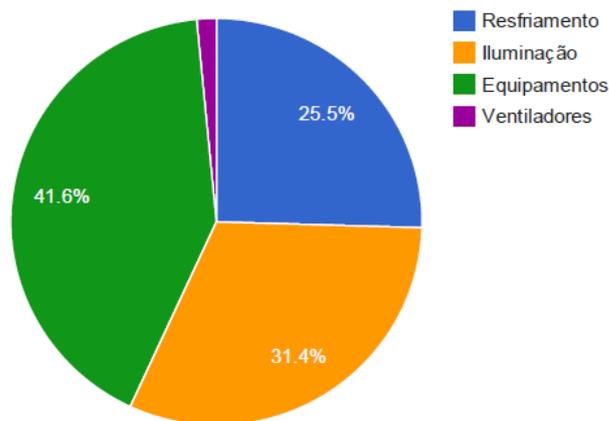
Gráfico do consumo energético mensal da edificação real

10/10/13

Relatório de saída - S3E



Consumo anual total (kWh)



Relatório de saída

Resultados gerados por versão preliminar ainda não validada

[Etiqueta](#)

[Dados gerais](#)

[Envoltória](#)

[Sistema de condicionamento de ar](#)

[Ganhos internos](#)

[Consumo energético](#)

[Método prescritivo](#)

Etiqueta

Energia

Projeto do edifício

Edifício: x2
Endereço: xxxxxxxxxxxx
Cidade/UF: Ituiutaba - (MG)
Método: xxxx
Data inspeção: xx
Ano da ENCE de projeto: xx/xx/xx

Bonificações: xx,xx
Pontuação: x,xx
 Pré-requisito
Aquecimento de água: X

Mais eficiente

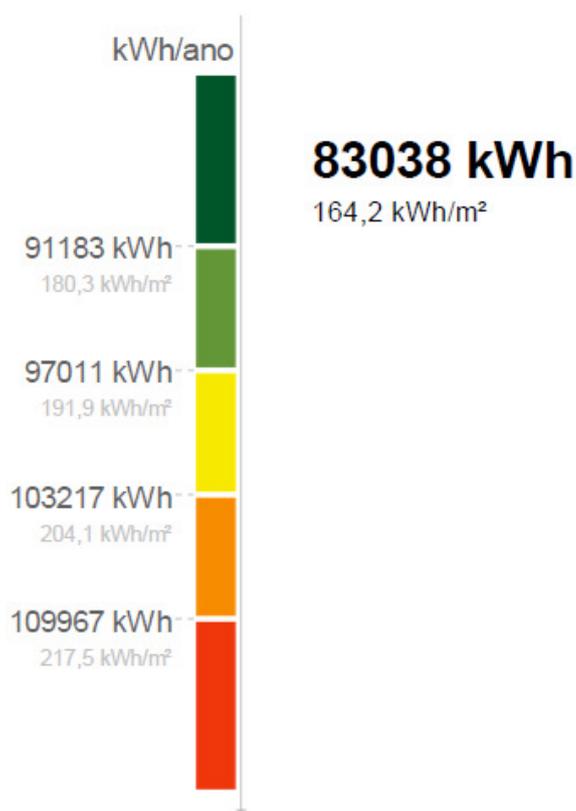
Menos eficiente

Sistemas Individuais

Envoltória	Iluminação	Condicionamento do ar
Zona Bioclimática: xxx Área: xxxx	Ambiente: xxx Área iluminada: xxx	Tipo: SPLIT Área: xxx A/C: xxxxxxxx EqNumV: xxxxxxxx
	<h1>Simulação</h1> <h2>SIMULADOR</h2> <p>Eficiência Energética em Edificações</p>	
Menos eficiente	Menos eficiente	Menos eficiente

PROGRAMA NACIONAL DE
 CONSERVAÇÃO DA ENVOLTÓRIA EM
 METROS QUADRADOS: DE ENERGIA ELÉTRICA
 PORTARIAS INMETRO: XXX E XXX DE (MÊS E ANO)

Consumo de energia (kWh/ano)



Dados Gerais

Nome da edificação: x2
 Versão do EnergyPlus: 6.0
 Arquivo climático: MG_Ituiutaba.epw
 Zona bioclimática: 6
 Latitude: -18,97°
 Longitude: -49,47°
 Altitude: 560 m
 Fuso horário: -3 h
 Rotação em relação ao Norte geográfico em graus: 75°
 Tipo de estabelecimento (uso típico): biblioteca
 Número de pavimentos: 1
 Área útil: 505,61 m²
 Volume do edifício: 1516,83 m³
 Área de projeção da cobertura: 505,61 m²
 Área da envoltória: 828,11 m²
 Área total condicionada: 505,61 m²
 Área total não condicionada: 0 m²

Envoltória

Edifício Real

FA: Fator de Altura: 1,000

FF: Fator de Forma: 0,546

Ucob: Transmitância Térmica da cobertura: 2,2444 W/m².K

αcob: Absortância Solar da cobertura: 0,8

Upar: Transmitância Térmica das paredes: 1,9139 W/m².K

αpar: Absortância Solar das paredes: 0,3

PAFT: Percentual de área de Abertura na Fachada total: 90%

PAZ: Percentual de Abertura Zenital: 0%

FS: Fator Solar: 0,861

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento: 0,00°

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento: 0,00°

Referências	FA	FF	Ucob (W/m ² .K)	αcob	Upar (W/m ² .K)	αpar	PAFT (%)	PAZ (%)	FS	AVS (°)	AHS (°)
Edifício Real	1	0,546	2,2444	0,8	1,9139	0,3	90	0	0,861	0,00	0,00
Referência A	1	0,546	1,0411	0,3	3,7037	0,8	18,61		0,861	*	*
Referência B	1	0,546	1,5953	0,3	3,7037	0,8	32,22		0,861	*	*
Referência C	1	0,546	2,1742	0,3	3,7037	0,8	45,84		0,861	*	*
Referência D	1	0,546	2,1742	0,3	3,7037	0,8	59,45		0,861	*	*

*Os modelos dos edifícios de referência não possuem proteção solar em suas aberturas.

Sistema de Condicionamento de Ar

		Térreo	Tipo	Ático
Resfriamento	Tipo de equipamento	SPLIT		
	Setpoint do Termostato (°C)	25		
	Capacidade (kW)	73,01		
	COP	3		

		Horas	Período
Resfriamento	Maior número de horas não atendidas durante ocupação (mensal)	1.33	Mês
	Total de horas não atendidas durante ocupação (anual)	3.83	Ano

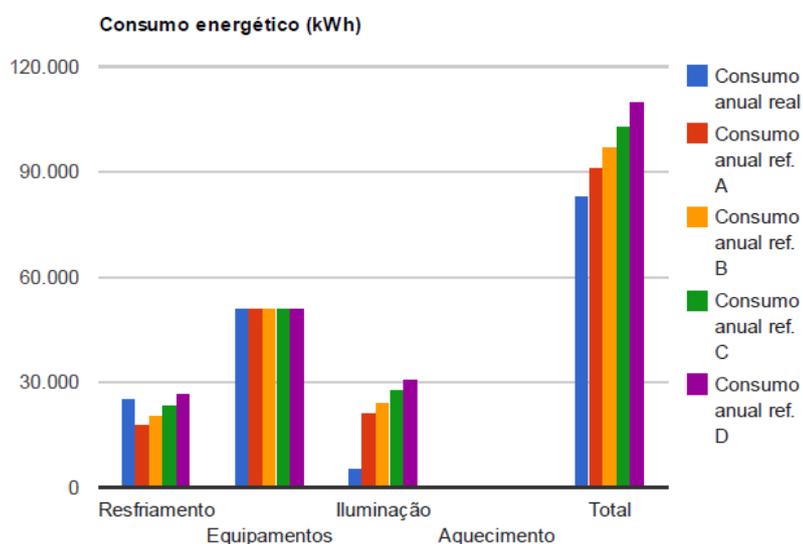
Ganhos Internos

	Real		
	Térreo	Tipo	Ático
Número de pessoas	15,0		
Ocupação específica (m ² /pessoa)	33,60		
Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	3,20		
Potência total de iluminação (W)	1618,0		
Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	33,40		
Potência total de equipamentos (W)	16887,7		

Consumo Energético

Elemento de consumo	Anual				
	Edificação Real	Referência A	Referência B	Referência C	Referência D
Consumo energético total (kWh)	83038	91183,0	97011,0	103217,0	109967,0
Resfriamento (kWh)	24988	17794,0	20344,0	23262,0	26759,0
Aquecimento (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Iluminação (kWh)	5343	21204,0	24377,0	27549,0	30721,0
Equipamentos (kWh)	51040	51040,0	51040,0	51040,0	51040,0
Ventiladores (kWh)	1666	1145,0	1249,0	1366,0	1446,0
Bombas (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Torres de arrefecimento (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diversos (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Gráfico comparativo do consumo energético entre a edificação real e as edificações de referência

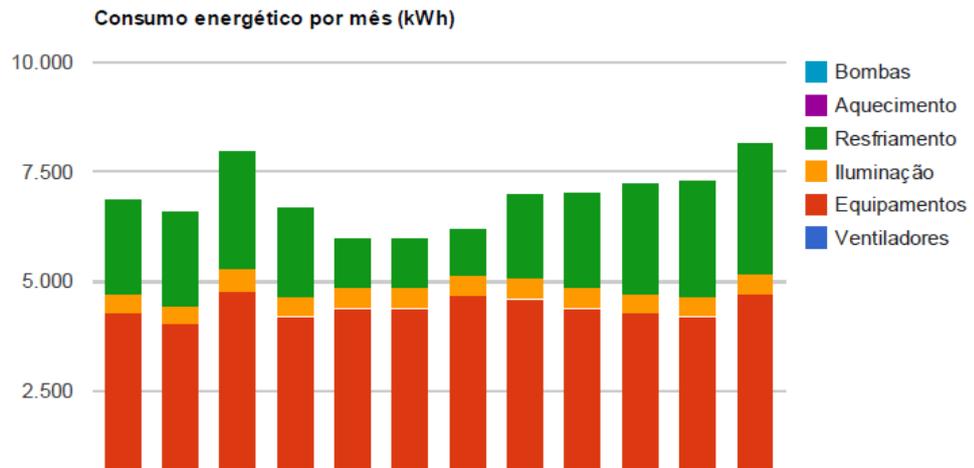


Edificação Real

Gráfico do consumo energético mensal da edificação real

05/11/13

Relatório de saída - S3E



Consumo anual total (kWh)

