

GUIA PARA  
**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS**  
**EDIFICAÇÕES PÚBLICAS**



GUIA PARA  
**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS**  
**EDIFICAÇÕES PÚBLICAS**







Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL

# **GUIA PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES PÚBLICAS**

Rio de Janeiro  
2015

Ministério de Minas e Energia – MME

*Eduardo Braga*

Ministro de Estado de Minas e Energia

*Edison Lobão*

Ministro de Estado de Minas e Energia (2008 – 2014)

*Márcio Pereira Zimmermann*

Secretário-Executivo

*Altino Ventura Filho*

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético – SPE

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL

*Albert Cordeiro Geber de Melo*

Diretor-Geral

*Roberto Pereira Caldas*

Diretor de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC/RJ

*Pe. Josafá Carlos de Siqueira*

Reitor

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

*Profa. Roselane Neckel*

Reitora

C397

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL

Guia para eficiência energética nas edificações públicas Versão 1.0  
outubro 2014 / Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL;  
coordenador Ministério de Minas e Energia - MME — Rio de Janeiro: CEPEL,  
2014.

229 p.; il.

ISBN 978-85-99714-09-6

1. Eficiência energética. 2. Prédios públicos. I. Centro de Pesquisas de  
Energia Elétrica – CEPEL II. Ministério de Minas e Energia – MME III. Título

CDU 621.31

**Coordenação:**

*Marcelo Cruz (MME)*

*Ary Vaz Pinto Junior (CEPEL)*

**Autores:**

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL

*Aroldo José Viana Borba*

*Ary Vaz Pinto Junior*

*Fernando Rodrigues da Silva Junior*

*João Carlos Rodrigues Aguiar*

*Paulo da Silva Capella*

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO – PUC/RJ

*José Carlos de Souza Guedes*

*Sergio Meirelles Pena*

*Tyrone Dias de Oliveira*

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC

*Ana Paula Melo, Dra. Eng. Civil*

*Roberto Lamberts, Ph.D.*

**Colaboradores:**

*Alvanir da Silva Carvalho - MME*

*Andrea Cristina Andrade Santos Carvalho - MME*

*Jorge Paglioli Jobim - MME*

*Marcelo Cruz - MME*

*Paula Roberta Moraes Baratella - MME*

*Terêncio T. Brandão Junior - MME*

*Carlos Alexandre Príncipe Pires - MME*

**Contato:**

e-mail: [cate@cepel.br](mailto:cate@cepel.br)

## Prefácio

O Brasil possui, há pelo menos três décadas, programas de Eficiência Energética reconhecidos internacionalmente: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), entre outros, além de políticas e planos específicos. O projeto Esplanada Sustentável insere-se nesse contexto e estimula que órgãos e instituições públicas federais adotem um novo modelo de gestão organizacional e de processos estruturado na implantação de ações voltadas ao uso racional de recursos naturais, promovendo a sustentabilidade ambiental e socioeconômica na Administração Pública Federal.

O Projeto Esplanada Sustentável destaca a relevância e reforça a contribuição dos programas e políticas de eficiência energética no Brasil. Ainda, o Plano Nacional de Energia – PNE 2030 e os Planos Decenais de Energia – PDE estabelecem metas de conservação de energia elétrica a serem alcançadas dentro de seus respectivos horizontes e respaldaram a elaboração de premissas e diretrizes básicas propostas no Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf. Cada um desses instrumentos, leis, programas e ações integram-se e complementam-se a fim de alavancar a Eficiência Energética no contexto da Sustentabilidade em Edificações.

### **Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE**

Em 1984, o Inmetro iniciou, juntamente com o Ministério de Minas e Energia, uma discussão sobre a conservação de energia, com a finalidade de contribuir para a racionalização no seu uso no país, informando os consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando-os a fazer uma compra mais consciente. Esse esforço deu início ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

O PBE promove a eficiência energética por meio de etiquetas informativas a respeito do desempenho de máquinas e equipamentos energéticos, sendo de adesão compulsória para alguns equipamentos a partir da Lei 10.295, publicada em outubro de 2001 (conhecida por “Lei de Eficiência Energética”). Há dezenas de equipamentos etiquetados como, por exemplo, refrigeradores, congeladores verticais e horizontais, máquinas de lavar roupa, condicionadores de ar, motores elétricos trifásicos, lâmpadas fluorescentes compactas, aquecedores de água de passagem, fogões e fornos domésticos a gás, entre outros. De 2006 a 2013, a etiquetagem de lâmpadas foi responsável por uma economia de cerca de R\$ 23 bilhões. No tocante a Refrigeradores e Condicionadores de Ar, estima-se uma economia de R\$ 6 bilhões, desde 2000.

### **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel**

Criado em 1985, coordenado pelo MME e operacionalizado pela Eletrobrás, o Procel é constituído por diversos subprogramas, dentre os quais se destacam ações nas áreas de iluminação pública, industrial, saneamento, educação, edificações, prédios públicos, gestão energética municipal, informações, desenvolvimento tecnológico e divulgação.

As ações de marketing, notadamente a etiquetagem, o Selo e o Prêmio Procel, são responsáveis por cerca de 90% dos resultados do Programa. Desde sua criação já foram investidos mais de R\$ 1,4 bilhão, sendo o Programa responsável pela economia estimada de cerca de 70 TW·h, equivalente ao suprimento de 35 milhões de residências durante um ano.

Ao longo dos últimos dez anos, os programas de eficiência energética no Brasil cresceram, em média, 15% ao ano. Em 2003, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel foi responsável por uma economia de energia de 1,82 TW·h, chegando a 6,16 TW·h, no ano de 2010 e 9,74 TW·h em 2013. De 2003 até o presente, os refrigeradores domésticos passaram a consumir cerca de 15% menos energia, enquanto que o número de categorias agraciados com o Selo Procel cresceu.

### **Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – Conpet**

Criado em 1991, coordenado pelo MME e operacionalizado pela Petrobras, o Conpet é constituído por vários subprogramas, dentre os quais se destacam ações na área de transporte de carga, passageiros e combustíveis, educação, marketing e premiação. Um destes programas, o EconomizAR, atende a 22 estados da Federação e possui mais de 5.000 empresas participantes, tendo promovido a economia de mais de 1 bilhão de litros de diesel e evitado a emissão de cerca de 2,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> e de 60 mil toneladas de material particulado desde sua criação.

De 2003 a 2013, o Selo Conpet para fogões a gás, fornos e aquecedores de água promoveu uma economia de cerca de 6 milhões de metros cúbicos no consumo de GLP, o que representa 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> evitado. Em 2012, foram incorporados critérios de eficiência energética no novo regime automotivo, permitindo que, hoje, 70% dos automóveis vendidos no Brasil possuam etiqueta de eficiência energética. Em junho de 2014, eram mais de 550 modelos, em 36 marcas diferentes. Até 2017, 100% da produção nacional deverá estar etiquetada.

O uso do Selo Conpet está associado aos modelos que utilizam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, que compara os automóveis semelhantes em suas categorias desde “A”, para mais eficientes, até “E”, para menos eficientes, e informa o consumo de combustível do veículo. Recebem o Selo Conpet aqueles modelos eficientes em suas categorias e também eficientes na comparação com todos os demais modelos participantes do programa.



### **Os Programas de EE das Concessionárias**

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel estabelece obrigações e encargos das Concessionárias de Energia Elétrica perante o poder concedente. Uma dessas obrigações consiste em aplicar anualmente o montante de no mínimo 0,5 % de sua receita operacional líquida, em ações que tenham por objetivo o combate ao desperdício de energia elétrica.

Desde sua criação, os programas de eficiência energética totalizaram investimentos superiores a R\$ 5,7 bilhões. Em 2013 o Programa foi responsável por uma economia de aproximadamente 9,1 TW·h e uma retirada de ponta de 2,8 GW.

Nesse período, foram realizados 3.219 projetos de eficiência energética, sendo substituídos mais de 800 mil refrigeradores antigos e obsoletos por modelos novos e eficientes.

### **A Lei de Eficiência Energética**

A Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, estabelecendo “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos fabricados ou comercializados no País”. É a chamada “Lei de Eficiência Energética”.

Em 19 de dezembro de 2001, o Decreto nº 4.059 veio a regulamentar a Lei, instituindo o CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, encarregado de operacionalizar o estabelecido pela lei. Estudo realizado em 2012 aponta que os equipamentos regulamentados e em regulamentação serão capazes de reduzir o consumo de energia elétrica em 14 TW·h/ano em 2030 e a demanda de ponta em 9 GW.

Em junho de 2012, iniciou-se a gradativa retirada das lâmpadas incandescentes ineficientes do mercado, a começar pelas de potência maior que 100 Watts. Os benefícios energéticos desta medida, nos próximos vinte anos, representarão cerca de 10 TW·h/ano, equivalendo à expansão de 2.433 MW na oferta, proporcionando uma economia de aproximadamente R\$ 6 bilhões em custos de geração, transmissão e distribuição. A implementação destas medidas são parte do esforço do governo federal no sentido de promover a eficiência energética no Brasil, alinhando-se com as premissas e diretrizes do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf)

### **CGIEE: Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética**

Instituído por meio do Decreto Nº 4.059/2001, o CGIEE tem por objetivo implementar o disposto na Lei de Eficiência Energética. Suas principais atribuições são: regulamentar os níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética de aparelhos consumidores de energia, estabelecer Programas de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados por cada equipamento regulamentado e constituir Comitês Técnicos para analisar matérias específicas.

O processo de definição dos parâmetros necessários para a regulamentação dos equipamentos se fundamenta em metodologias e regulamentos específicos, estudos

de impacto e priorização, critérios de avaliação de conformidade, e conta com laboratórios credenciados para ensaios e testes. Tanto a Lei quanto o Decreto estabelecem a obrigatoriedade de realização de audiências públicas para aprovação das regulamentações específicas.

O CGIEE é composto pelo Ministério de Minas e Energia - MME, que o preside, Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio – MDIC, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, Agência Nacional de Petróleo – ANP, por um representante de universidade brasileira e um cidadão brasileiro, ambos especialistas em matéria de energia.

### **O Plano Nacional de Eficiência Energética**

Para fazer frente ao desafio de economizar 10% de energia no horizonte de 2030, o Plano Nacional Eficiência Energética (PNEf) objetiva alinhar os instrumentos de ação governamental, orientar a captação dos recursos, promover o aperfeiçoamento do marco legal e regulatório afeto ao assunto, constituir um mercado sustentável de Eficiência Energética e mobilizar a Sociedade brasileira no combate ao desperdício de energia, preservando recursos naturais.

O MME tem a responsabilidade de coordenar as atividades de implantação do Plano, acionando ou promovendo negociação com outros órgãos do Governo Federal, Congresso Nacional, Estados, Municípios, Associações, Confederações, Universidades e instituições representativas.

**Obs.:** Todos os dados citados no *box* acima foram fornecidos pelo Departamento de Desenvolvimento Energético, pertencente a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do MME.

## **Apresentação**

O objetivo do presente manual é orientar os gestores de cada ministério na elaboração de editais para a realização de diagnósticos energéticos e para a implantação de medidas de eficiência propostas nestes diagnósticos. O manual fornece informações e sugestões de procedimentos técnicos visando a viabilizar o uso eficiente da energia elétrica no conjunto de edificações que compõem a Esplanada dos Ministérios, além de sugestões para elaboração de editais.

O manual foi dividido em três partes e um anexo, cujos públicos-alvo são os seguintes:

- ✦ As partes I, II e o anexo destinam-se aos gestores responsáveis pela área de manutenção predial de cada edificação (assume-se que tais gestores também são responsáveis pela gestão do consumo de energia elétrica);
- ✦ A parte III destina-se aos gestores responsáveis pela elaboração dos editais para contratação dos serviços necessários para a efficientização energética da edificação.

Abaixo, é brevemente descrito o conteúdo de cada parte do manual e do anexo.

### **Parte I – Aspectos do uso da energia em edificações da Esplanada dos Ministérios**

Com o objetivo de permitir que o gestor tenha uma noção geral de como se encontra a edificação sob sua administração, foram realizadas visitas a quatro edificações em diferentes estágios de conservação e modernização, no que se refere ao uso da energia elétrica e às instalações prediais.

As características dos prédios levantadas nas visitas (construtivas, da envoltória da edificação, operacional, perfis de ocupação etc.), confirmaram que há diferenças significativas na eficiência do uso da energia elétrica. Portanto, há espaço para a implementação de melhorias visando à redução do consumo.

### **Parte II – Noções gerais de eficiência energética em edificações e seus sistemas**

Esta parte busca prover ao administrador os conceitos básicos da eficiência energética de cada um dos sistemas da edificação sob sua responsabilidade, incluindo a rede de distribuição interna de energia, a contratação de fornecimento de energia elétrica e o plano de medição e verificação, de acordo com o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP (após a implementação das medidas de efficientização).

Para os subsistemas do prédio que mais influenciam o consumo de energia elétrica, foram descritos os conceitos básicos, os sistemas eficientes e as tecnologias disponíveis.

Os subsistemas descritos são os seguintes:

- ✎ Ar-condicionado;
- ✎ Iluminação;
- ✎ Envoltória e aspectos construtivos;
- ✎ Aquecimento solar de água para prédios públicos;
- ✎ Transporte vertical (elevadores);
- ✎ Sistema de supervisão, controle e aquisição de dados.

### **Parte III – Procedimentos para Contratações.**

O objetivo desta parte é dar sugestões aos gestores responsáveis pela elaboração dos editais para contratação dos serviços necessários para a eficiência energética da edificação, quais sejam:

- ✎ Diagnóstico energético;
- ✎ Elaboração de projeto básico;
- ✎ Elaboração do projeto executivo;
- ✎ Execução das obras;
- ✎ Fiscalização e acompanhamento dos resultados.

Na elaboração do manual buscou-se apresentar de forma didática, para cada sistema energético, as principais tecnologias disponíveis para torná-lo mais eficiente. Foram usadas, sempre que possível, as informações contidas nos diversos manuais, guias e informativos disponibilizados pelo Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), criado pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, e gerido por uma Secretaria-Executiva subordinada à Eletrobras.

Com o objetivo de tornar o presente manual, que é um documento elaborado totalmente em formato eletrônico, o mais abrangente possível, minimizando a necessidade de consultas a outras fontes, todo o material disponibilizado pelo Procel pode ser acessado através de *links* ao longo do texto.

## **Anexo – Simulação Energética do Prédio do Ministério de Minas e Energia em Brasília – DF**

O anexo contém a simulação<sup>1</sup> do desempenho energético do prédio do MME. O objetivo desta simulação é avaliar o potencial de transformar o prédio do MME, através da implantação das medidas de eficiência energética mais modernas comercialmente disponíveis, num edifício com o menor consumo de energia possível. Neste anexo, além da estimativa do potencial de economia de energia elétrica que poderia ser obtida a partir da implantação de cada medida de eficiência energética simulada, também foi feita a avaliação da viabilidade econômica de cada uma.

- ✈ **Etapa 01:** Simulação da Situação Atual da Edificação
- ✈ **Etapa 02:** Calibração do Modelo Computacional e Simulação das Alternativas de Revitalização *Retrofit*
- ✈ **Etapa 03:** Verificação da Viabilidade de Implantação de Cada Alternativa de *Retrofit*

---

<sup>1</sup> Simuladores do desempenho energético de edificações são ferramentas computacionais de auxílio à realização de diagnósticos energéticos. Os simuladores são alimentados com dados medidos na edificação cujo diagnóstico energético está sendo realizado, permitindo a avaliação da economia de energia que pode ser obtida para cada alternativa de intervenção proposta.

## Agradecimentos

Nossos agradecimentos às instituições que contribuíram para o presente Manual: ao Ministério de Minas e Energia, pelas informações técnicas fornecidas, articulação com os demais ministérios e colaboração na edição do Manual; aos Ministérios do Planejamento, Orçamento e Gestão, do Meio Ambiente, da Previdência Social e à Advocacia-Geral da União, pela viabilização das visitas técnicas às suas instalações e fornecimento de dados e informações.

## Sumário

|                                                                                                                  |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Capa .....                                                                                                       | I    |
| Coordenação, autores e colaboradores.....                                                                        | III  |
| Prefácio .....                                                                                                   | IV   |
| Apresentação .....                                                                                               | VIII |
| Agradecimentos .....                                                                                             | XI   |
| Sumário .....                                                                                                    | XII  |
| Parte I – Aspectos do uso da energia em edificações da Esplanada dos Ministérios                                 | 1    |
| 1 Introdução .....                                                                                               | 1    |
| 2 Edificações visitadas.....                                                                                     | 1    |
| 2.1 Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – Bloco C .....                                               | 3    |
| 2.2 Ministério do Meio Ambiente – Bloco B .....                                                                  | 6    |
| 2.3 Bloco F – Ministério da Previdência Social .....                                                             | 9    |
| 2.4 Advocacia-Geral da União – AGU.....                                                                          | 11   |
| 3 Conclusão .....                                                                                                | 15   |
| Parte II – Noções gerais de eficiência energética em edificações e seus sistemas .                               | 17   |
| 1. Instalações Elétricas – Caracterização Administrativa – Contratação de fornecimento de energia elétrica ..... | 17   |
| 1.1 Introdução.....                                                                                              | 17   |
| 1.2 Legislação vigente .....                                                                                     | 17   |
| 1.3 Definições e Conceitos.....                                                                                  | 18   |
| 1.4 Grupos tarifários .....                                                                                      | 19   |
| 1.5 Modalidade tarifária .....                                                                                   | 20   |
| 1.5.1 Estrutura Tarifária Convencional.....                                                                      | 20   |
| 1.5.2 Estrutura tarifária horossazonal verde .....                                                               | 21   |
| 1.5.3 Estrutura tarifária horossazonal azul .....                                                                | 22   |
| 1.6 A energia reativa e fator de potência .....                                                                  | 23   |
| 1.7 Reduzindo a conta de energia elétrica.....                                                                   | 24   |
| 1.8 Fatura de energia elétrica .....                                                                             | 24   |
| 1.9 Referências.....                                                                                             | 25   |
| 2. Aspectos energéticos – Instalações elétricas.....                                                             | 26   |
| 2.1 Introdução.....                                                                                              | 26   |

|       |                                                                                                                                                  |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2   | Equipamentos e materiais utilizados na distribuição .....                                                                                        | 26 |
| 2.2.1 | Transformador .....                                                                                                                              | 26 |
| 2.2.2 | Cabos elétricos .....                                                                                                                            | 30 |
| 2.2.3 | Dispositivos de proteção .....                                                                                                                   | 34 |
| 2.2.4 | Quadros de distribuição .....                                                                                                                    | 35 |
| 2.2.5 | Capacitores .....                                                                                                                                | 35 |
| 2.3   | Equilíbrio de fases .....                                                                                                                        | 38 |
| 2.4   | Referências .....                                                                                                                                | 39 |
| 3.    | Ar-condicionado .....                                                                                                                            | 40 |
| 3.1   | Porte dos sistemas e sua aplicabilidade: pequeno/médio porte; grande porte .....                                                                 | 40 |
| 3.1.1 | Instalação de pequeno/médio porte .....                                                                                                          | 40 |
| 3.1.2 | Instalação de médio/grande porte .....                                                                                                           | 42 |
| 3.2   | Ciclo Frigorífico por Compressão .....                                                                                                           | 43 |
| 3.3   | Parâmetros indicadores da eficiência de equipamentos de ar-condicionado: COP, EER, kW/TR .....                                                   | 43 |
| 3.3.1 | Coeficiente de Performance (COP) .....                                                                                                           | 44 |
| 3.3.2 | Energy Efficiency Rating – EER (Relação de Eficiência Energética) ....                                                                           | 44 |
| 3.3.3 | Eficiência em kW/TR .....                                                                                                                        | 44 |
| 3.4   | Indicadores de eficiência, aplicação, vantagens e desvantagens/limitações típicas (Tabela 3.1) .....                                             | 45 |
| 3.5   | Parâmetros estabelecidos pelo Procel/Inmetro .....                                                                                               | 47 |
| 3.6   | Tipologia de Sistemas de ar condicionado – distribuição de água e ar – equipamentos – arranjos .....                                             | 48 |
| 3.6.1 | Sistema de expansão direta .....                                                                                                                 | 48 |
| 3.6.2 | Sistema de expansão indireta .....                                                                                                               | 48 |
| 3.7   | Noções de carga térmica de uma edificação com vistas ao diagnóstico energético, projeto básico e executivo e atingimento às exigências de normas | 51 |
| 3.8   | Normas a serem atendidas em um projeto de sistemas de AC .....                                                                                   | 54 |
| 3.9   | Referências .....                                                                                                                                | 55 |
| 4.    | Iluminação .....                                                                                                                                 | 56 |
| 4.1   | Conceitos Básicos de Projetos Luminotécnicos .....                                                                                               | 56 |



|       |                                                                                                                  |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.1 | Iluminação Natural.....                                                                                          | 56 |
| 4.1.2 | Iluminação Artificial .....                                                                                      | 56 |
| 4.2   | Especificações técnicas de equipamentos e tecnologias utilizadas em sistemas de iluminação.....                  | 57 |
| 4.2.1 | Lâmpadas .....                                                                                                   | 57 |
| 4.2.2 | Luminárias .....                                                                                                 | 66 |
| 4.2.3 | Reatores .....                                                                                                   | 71 |
| 4.2.4 | Controle Digital de Sistemas de Iluminação – Sistemas Dali - <i>Digital Addressable Lighting Interface</i> ..... | 73 |
| 4.3   | Projeto luminotécnico.....                                                                                       | 75 |
| 4.4   | Normas Técnicas Brasileiras para projetos luminotécnicos .....                                                   | 75 |
| 4.5   | Economia nos sistemas de iluminação .....                                                                        | 78 |
| 4.5.1 | Estimativa de custos de energia.....                                                                             | 78 |
| 4.5.2 | Potência Instalada de Iluminação .....                                                                           | 78 |
| 4.5.3 | Horário de Funcionamento .....                                                                                   | 79 |
| 4.5.4 | Controles de Iluminação Automática.....                                                                          | 79 |
| 4.5.5 | Energia Consumida.....                                                                                           | 79 |
| 4.5.6 | Ajustes para o Consumo de Energia no Sistema de Ar Condicionado                                                  | 79 |
| 4.5.7 | Tarifas para Fornecimento de Energia Elétrica .....                                                              | 80 |
| 4.5.8 | Outros Custos Operacionais.....                                                                                  | 80 |
| 4.6   | Requisitos básicos em projetos de sistemas de iluminação .....                                                   | 81 |
| 4.6.1 | Iluminância .....                                                                                                | 81 |
| 4.6.2 | Uniformidade .....                                                                                               | 81 |
| 4.6.3 | Ofuscamento .....                                                                                                | 81 |
| 4.6.4 | Reprodução de cor .....                                                                                          | 81 |
| 4.6.5 | Cintilação e efeito estroboscópico.....                                                                          | 82 |
| 4.6.6 | Luz natural.....                                                                                                 | 82 |
| 4.6.7 | Manutenção .....                                                                                                 | 82 |
| 4.7   | Iluminação de emergência.....                                                                                    | 82 |

|       |                                                                                                                                          |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.8   | Iluminação de estações de trabalho com monitores VDT – <i>Visual display terminals</i> - também conhecido como monitores de vídeo) ..... | 83  |
| 4.9   | Considerações sobre energia .....                                                                                                        | 83  |
| 4.10  | Referências.....                                                                                                                         | 84  |
| 5.    | Envoltória e Aspectos Construtivos.....                                                                                                  | 85  |
| 5.1   | Envoltória .....                                                                                                                         | 85  |
| 5.2   | Aspectos construtivos .....                                                                                                              | 85  |
| 5.2.1 | Forma .....                                                                                                                              | 85  |
| 5.2.2 | Orientação da edificação.....                                                                                                            | 86  |
| 5.2.3 | Zonas de climatização ou zonas térmicas .....                                                                                            | 86  |
| 5.2.4 | Características de paredes e cobertura da edificação .....                                                                               | 86  |
| 5.2.5 | Fechamentos .....                                                                                                                        | 87  |
| 5.2.6 | Fator solar .....                                                                                                                        | 89  |
| 5.3   | Localização: Zonas Bioclimáticas.....                                                                                                    | 90  |
| 5.4   | Leitura adicional.....                                                                                                                   | 90  |
| 5.5   | Referências.....                                                                                                                         | 91  |
| 6.    | Aquecimento solar de água para prédios públicos.....                                                                                     | 92  |
| 6.1   | Introdução.....                                                                                                                          | 92  |
| 6.2   | Fundamentos do Aquecimento Solar de Água – conceitos e definições. 92                                                                    |     |
| 6.2.1 | Ângulos solares .....                                                                                                                    | 92  |
| 6.2.2 | Radiação: Global, Difusa e Direta.....                                                                                                   | 93  |
| 6.3   | Componentes de um sistema de aquecimento solar .....                                                                                     | 93  |
| 6.4   | Sistemas por Termossifão .....                                                                                                           | 95  |
| 6.5   | Sistemas de circulação forçada.....                                                                                                      | 96  |
| 6.6   | Dimensionamento do sistema de aquecimento solar .....                                                                                    | 97  |
| 6.7   | Considerações Finais.....                                                                                                                | 101 |
| 6.7.1 | Instalação dos Coletores .....                                                                                                           | 101 |
| 6.7.2 | Normas a serem consideradas .....                                                                                                        | 102 |
| 6.7.3 | Leitura adicional.....                                                                                                                   | 102 |
| 6.8   | Referências.....                                                                                                                         | 103 |
| 7.    | Transporte vertical (Elevadores) .....                                                                                                   | 104 |
| 7.1   | Princípio básico de funcionamento .....                                                                                                  | 105 |

|       |                                                             |     |
|-------|-------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2   | Cálculo do consumo .....                                    | 106 |
| 7.3   | Recomendações de economia de energia .....                  | 106 |
| 7.4   | Conclusão .....                                             | 108 |
| 8.    | Sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados ..... | 109 |
| 8.1   | Conceitos básicos .....                                     | 109 |
| 8.2   | Principais aplicações .....                                 | 110 |
| 8.3   | Principais funções .....                                    | 111 |
| 8.3.1 | Sinóticos .....                                             | 111 |
| 8.3.2 | Alarmes .....                                               | 111 |
| 8.4   | Relatórios .....                                            | 112 |
| 8.5   | Gráficos Históricos .....                                   | 112 |
| 8.6   | Tipos de comunicação e protocolos .....                     | 112 |
| 8.6.1 | OPC (OLE for process control) .....                         | 113 |
| 8.6.2 | Sistema Cliente/Servidor .....                              | 114 |
| 8.6.3 | Sistema Web Server .....                                    | 114 |
| 8.7   | Confiabilidade e redundância .....                          | 115 |
| 8.8   | Componentes principais .....                                | 116 |
| 8.8.1 | Banco de Dados .....                                        | 116 |
| 8.8.2 | Controlador de informações do processo (PIMS) .....         | 116 |
| 8.9   | Aplicação: controladores de demanda .....                   | 117 |
| 8.10  | Estimativa de custo .....                                   | 118 |
| 8.11  | Análise de Pontos de Função (APF) .....                     | 119 |
| 8.12  | Referências .....                                           | 121 |
| 9.    | Plano de medição e verificação .....                        | 122 |
| 9.1   | Introdução .....                                            | 122 |
| 9.2   | Limites de Medição .....                                    | 122 |
| 9.3   | Períodos de medição .....                                   | 122 |
| 9.4   | Cálculo da economia .....                                   | 123 |
| 9.5   | Opções de medição para um Plano de M&V .....                | 123 |
| 9.6   | Seleção da melhor opção .....                               | 125 |
| 9.7   | Referências .....                                           | 126 |
| 10.   | Análise Econômica em Conservação de Energia .....           | 127 |

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Parte III – Procedimentos para Contratações .....                                                                 | 128 |
| 1. Introdução .....                                                                                               | 128 |
| 2. Formas de contratação .....                                                                                    | 128 |
| 3. Características importantes e recomendações relativas às principais etapas.....                                | 129 |
| 3.1 Diagnóstico energético e projeto básico .....                                                                 | 129 |
| 3.2 Projeto executivo .....                                                                                       | 134 |
| 3.3 Principais requisitos considerados nos projetos básicos e nos projetos<br>executivos de obras e serviços..... | 134 |
| 3.4 Execução das obras .....                                                                                      | 135 |
| 4. Definições básicas .....                                                                                       | 135 |
| Anexo Simulação Energética do Prédio do Ministério de Minas e Energia em<br>Brasília – DF.....                    | 139 |
| Sumário Executivo.....                                                                                            | 140 |

# Parte I – Aspectos do uso da energia em edificações da Esplanada dos Ministérios

## 1 Introdução

Foram realizadas visitas a quatro prédios da Esplanada dos Ministérios. Tais visitas tiveram por objetivo levantar características das edificações de forma a permitir que o gestor público tivesse uma visão do estado das instalações elétricas e prediais sob sua responsabilidade em comparação com os demais da Esplanada dos Ministérios.

Assim, buscou-se visitar instalações em diversos estados de conservação e modernização.

Na visita técnica as edificações, foram verificadas as características relacionadas abaixo:

- ✦ Características construtivas gerais – (tipologia, idade e localização da edificação, aspectos de tombamento que possam influenciar na alteração de fachadas, número de andares, área por andar, orientação de fachadas, etc.);
- ✦ Características da envoltória da edificação - materiais construtivos dos principais elementos, quais sejam, paredes, lajes, telhados, esquadrias, tipos de vidros e elementos de proteção (*brises*, cortinas), etc;
- ✦ Características operacionais e perfis de ocupação - descrição de “andar tipo”, sua utilização, horários de funcionamento, ligamento e desligamento dos principais sistemas, etc.;
- ✦ Relação com o clima local - Região bioclimática em que se situa a edificação.

## 2 Edificações visitadas

Foram visitadas quatro edificações, sendo três blocos da Esplanada dos Ministérios, ou seja, o Bloco C, que abriga o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, o Bloco B, que abriga o Ministério do Meio Ambiente e o Bloco F, que abriga o Ministério da Previdência Social.

A quarta edificação visitada abriga a Advocacia Geral da União – AGU e está localizada no Setor de Autarquias, Quadra 1, Bloco "A".

Os três blocos visitados na Esplanada dos Ministérios apresentam diversas características comuns, dentre elas podemos destacar:

- ✦ As edificações são tombadas, incluindo os prédios Anexos e as edificações principais são da década de 60 (inauguração de Brasília);

- ✦ As garagens ficam localizadas no subsolo;
- ✦ As edificações possuem 10 pavimentos e um subsolo;
- ✦ A área total de cada uma das edificações é de aproximadamente 26.000 m<sup>2</sup>, sendo 20.200 m<sup>2</sup> dos edifícios sede e 26.000 dos edifícios anexos;
- ✦ Na fachada oeste foram instalados *brises* metálicos e na fachada leste uma película prata espelhada;
- ✦ Fazem uso de persiana vertical nas fachadas leste e oeste;
- ✦ Na fachada oeste os vidros são pintados acima do *brise* com a finalidade de evitar a incidência solar;
- ✦ As esquadrias das janelas são de ferro e os vidros são laminados incolores com 6 mm de espessura;
- ✦ No geral, as divisões de salas são realizadas com divisórias do tipo piso-teto (algumas cegas e outras com vidro transparente);



**Figura 1.1** – fachada típica - leste



**Figura 1.2** – fachada típica - oeste

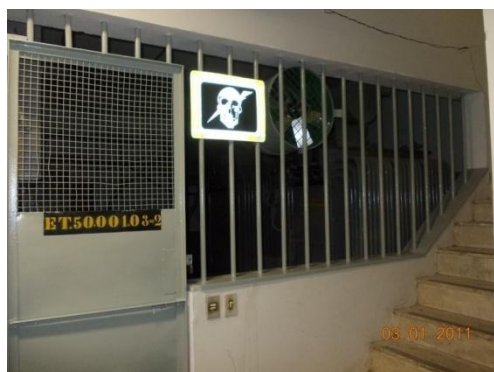


**Figura 1.3** – interior típico – sala de reunião.



**Figura 1.4** – interior típico - corredor

As subestações são de responsabilidade da concessionária de energia elétrica com tensão de entrada de 13.200 V e ficam localizadas no subsolo, junto aos painéis de distribuição de energia elétrica;



**Figura 1.5 – acesso à subestação**



**Figura 1.6 – equipamentos no interior da subestação**

Cada um dos prédios possui um único medidor de energia elétrica;

Possuem banco de capacitores automático, para a correção do fator de potência, instalado no barramento geral, localizado no subsolo;

Não possuem sistema supervisorio de energia elétrica, nem medidores de energia elétrica para cada um dos sistemas (iluminação, climatização e informática).

## **2.1 Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – Bloco C**

### **a. Características construtivas gerais**

Não possui prédio anexo;

A cobertura é de laje coberta por telha de cimento;

### **b. Características operacionais e perfis de ocupação**

Cedem três pavimentos e meio para o Ministério de Desenvolvimento Social e Combate a Fome – MDS;

O período de funcionamento é de 7 h às 20 h (maior carga de 8 h às 19 h);

Para fins de faturamento de energia elétrica, estão enquadrados na tarifa horo sazonal verde;

Existem oito elevadores (seis sociais, um de serviço e um privativo) e uma plataforma para deficiente físico para o deslocamento entre o subsolo e o térreo;

O sistema de climatização é composto em sua maioria por aparelhos de ar condicionado tipo janela, alguns equipamentos *split* e algumas máquinas *self*;

Possui um grupo motor gerador de 450 kV·A, com sistema automático de acionamento – USCA, conectado a: iluminação de emergência, *no-break*, ar condicionado do CPD e elevadores sociais e privativo;



**Figura 1.7** – equipamentos do sistema de climatização

O *no-break* supre somente as cargas do CPD;

Em cada pavimento existe um estabilizador, no qual estão conectados os equipamentos de informática;



**Figura 1.8** – grupo motor gerador



**Figura 1.9** – estabilizador utilizado pelos equipamentos de informática

A interligação entre os painéis localizados no subsolo e os quadros de distribuição nos pavimentos é realizada através de barramento blindado trifásico;

Nos pavimentos a distribuição de energia elétrica é realizada através de quadros de distribuição localizados nos setores: norte, centro e sul;





**Figura 1.10** – painéis de baixa tensão, barramento blindado, banco de capacitores e o medidor, instalados próximos a subestação



**Figura 1.11** – quadros de distribuição localizados nos pavimentos

O sistema de iluminação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão é constituído de luminárias eficientes de alumínio anodizado com aletas, e com aspecto de baixa eficiência energética, para uma ou duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W, apresentam algumas deformações possivelmente por serem luminárias com longo tempo de uso. Os corredores dos andares possuem sensores de presença e luminárias sinalizadoras de rota de fuga no sistema de iluminação de emergência.



**Figura 1.12** – equipamentos do sistema de iluminação do Ministério do Planejamento

O sistema de iluminação do Ministério de Desenvolvimento Social e Combate a Fome passou por uma recente revitalização e é constituído de luminárias eficientes de alumínio anodizado com aletas compostas com quatro lâmpadas fluorescentes tubulares de T8 de 16 W. Os corredores dos andares também possuem sensores de presença e luminárias sinalizadoras de rota de fuga no sistema de iluminação de emergência;



**Figura 1.13** – equipamentos do sistema de iluminação do Ministério de Desenvolvimento Social e Combate a Fome

## **2.2 Ministério do Meio Ambiente – Bloco B**

### **a. Características construtivas gerais:**

A edificação não possui prédio anexo;

A cobertura é de laje coberta por telha de cimento;

### **b. Características operacionais e perfis de ocupação:**

A edificação é ocupada pelos Ministérios do Meio Ambiente (do 5º ao 9º pavimento) e da Cultura (do 1º ao 4º pavimento);

Período de funcionamento de 8 h às 18 h;

Pessoal fixo de aproximadamente 1800 pessoas e 200 visitantes por dia;

A edificação possui cinco elevadores em operação (três sociais, um de serviço e um privativo) e três desativados;

Para fins de faturamento de energia elétrica, estão enquadrados na tarifa horo sazonal azul;

A climatização da edificação é realizada de modo eficiente através do sistema *variable refrigerant flow* (VRF). O sistema opera na parte da manhã (8 h às 12 h) e da tarde (14 h às 18 h). Após estes períodos são realizadas duas varreduras, a primeira às 19 h, quando ocorre o desligamento do sistema, permitindo que o usuário ative o sistema individualmente e, a segunda às 20 h, quando ocorre a desativação do sistema;

Possui um sistema ininterrupto de energia elétrica composto por um grupo motor gerador de 180/168 kVA, com sistema automático de acionamento - USCA, e um *no-break* para as cargas da sala cofre;



**Figura 1.14** – equipamentos do sistema de climatização instalados na cobertura

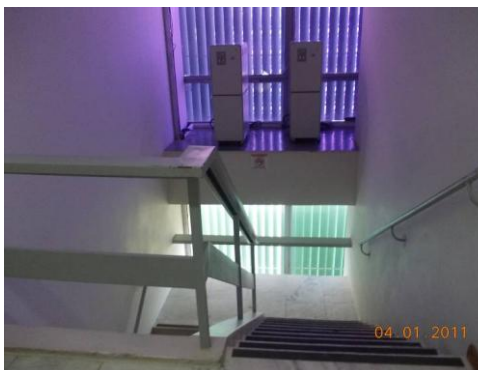


**Figura 1.15** – grupo motor gerador

Possuem dois estabilizadores por pavimento, conectados aos equipamentos de informática;

A interligação entre os painéis localizados no subsolo e os quadros de distribuição nos pavimentos é realizada através de condutores de cobre;

Nos pavimentos a distribuição de energia elétrica é realizada através de quadros de distribuição localizados nos setores: norte, centro e sul;



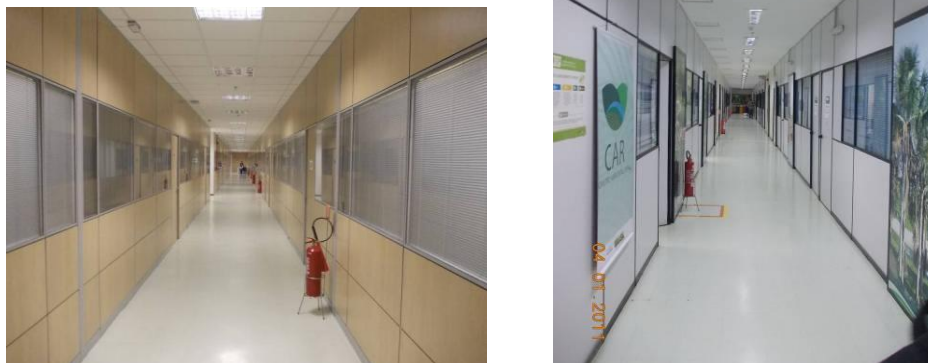
**Figura 1.16** – estabilizadores utilizados pelos equipamentos de informática



**Figura 1.17** – cabos de cobre utilizados na interligação entre os painéis de baixa tensão e os quadros de distribuição

O sistema de iluminação do Ministério do Meio Ambiente não tem um padrão; uma parte de suas instalações já passou por um processo de revitalização e possui luminárias eficientes de alumínio anodizado com aletas compostas com 4 lâmpadas fluorescentes tubulares de 16 W, na parte ainda não revitalizada as tecnologias existentes são as luminárias com uma ou duas lâmpadas fluorescente tubulares de 32 W e de 40 W, faz-se uso, também, de luminárias com lâmpadas

dicróicas e lâmpadas fluorescentes compactas. Não existe sistema de iluminação de emergência.



**Figura 1.18** – equipamentos do sistema de iluminação do Ministério do Meio Ambiente

O sistema de iluminação do Ministério da Cultura é um sistema de iluminação misto; suas instalações aparentam já ter passadas por um processo de revitalização e faz uso de luminárias eficientes antigas e com aspecto de baixa eficiência energética, compostas, em sua maioria, com uma ou duas lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 32 W; porém, nota-se, ainda a existência de luminárias compostas com lâmpadas fluorescentes tubulares T12 de 40 W. Faz-se uso, também, de luminárias com lâmpadas dicróicas e refletores com lâmpadas halógenas. Não existem luminárias de sinalização de rota de fuga no sistema de iluminação de emergência.



**Figura 1.19** – equipamentos do sistema de iluminação do Ministério da Cultura

## 2.3 Bloco F – Ministério da Previdência Social

### a. Características construtivas gerais:

A edificação possui prédio anexo;

O prédio anexo é da década de 1980 e ocupa uma área de aproximadamente 45.000 m<sup>2</sup>, sendo 25.000 m<sup>2</sup> do prédio anexo e 20.000 m<sup>2</sup> do edifício sede;

A cobertura é de laje coberta por telha de fibrocimento no edifício sede e telhas metálicas no edifício anexo;

O prédio anexo é constituído de dois blocos com cinco pavimentos cada um deles;

A estrutura das esquadrias do prédio anexo é de alumínio e vidro fumê de 8 mm de espessura.



**Figura 1.20** – vista lateral do prédio Anexo



**Figura 1.21** – passarela utilizada para interligar o prédio sede e os anexos

### b. Características operacionais e perfis de ocupação:

O período de funcionamento é de 07 h 30 min às 21 h;

Trabalham no edifício sede e nos prédios anexos aproximadamente 3.000 pessoas;

O edifício sede é ocupado pelos Ministérios da Previdência Social (6° ao 9° andar) e do Trabalho e Emprego (sobrelaje ao 5° andar). Nos prédios anexos, o Ministério da Previdência Social ocupa a Ala A e o Ministério do Trabalho e Emprego a Ala B;

Para fins de faturamento de energia elétrica, estão enquadrados na tarifa horo sazonal verde;

Nos prédios anexos a climatização é realizada através de ar condicionado central com controle individualizado (estão trocando o equipamento por sistema hidráulico). O sistema funciona de 8 h 30 min às 18 h.

No prédio sede a climatização é realizada através de aparelhos de ar condicionado tipo janela e *splits*, nos seis primeiros pavimentos, e do sétimo em diante através de sistema hidráulico.





**Figura 1.22** – equipamento de climatização utilizado nos seis primeiros pavimentos do prédio sede



**Figura 1.23** – equipamento de climatização atual dos prédios dos anexos

As edificações possuem dois sistemas ininterruptos de energia elétrica, um para os prédios anexos e outro para o prédio sede, que suprem toda a carga. No prédio sede estão instalados três geradores de 750 kV·A e nos anexos dois geradores de 1.137 kV·A.

No prédio sede o *no-break* supre os equipamentos de informática e do CPD. Nos prédios anexos o *no-break* supre somente os equipamentos de informática.

A interligação entre os painéis localizados no subsolo e os quadros de distribuição nos pavimentos é realizada através de barramento blindado trifásico;

Nos pavimentos a distribuição de energia elétrica é realizada através de quadros de distribuição localizados nos setores: norte, centro e sul;

O sistema de iluminação do prédio do Ministério da Previdência Social e Ministério do Trabalho é um sistema de iluminação misto; percorrendo suas instalações observam-se luminárias eficientes com aspecto de baixa eficiência energética e luminárias ineficientes, compostas com uma ou duas lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 32 W e lâmpadas fluorescentes tubulares T12 de 40 W, respectivamente. Faz-se uso, também de luminárias eficientes com lâmpadas fluorescentes compactas. O prédio principal conta com um moderno sistema de controle de iluminação com tecnologia DALI® (*Digital Addressable Lighting Interface*) da empresa LUTRON. O prédio anexo do Ministério da Previdência Social encontra-se em fase de projeto para implantação de luminárias com tecnologia LED, em substituição às luminárias fluorescentes tubulares existentes.



**Figura 1.24** – equipamentos do sistema de iluminação do Ministério da Previdência Social



**Figura 1.25** – equipamentos do sistema de iluminação do Ministério do Trabalho

## 2.4 Advocacia-Geral da União – AGU

### a. Características construtivas gerais

A edificação tem aproximadamente três anos e não é tombada;

A edificação é composta por dois blocos, cada um com 14 pavimentos e quatro níveis de garagem no subsolo;

Ocupam uma área total de aproximadamente 34.000 m<sup>2</sup>, sendo 28.000 m<sup>2</sup> de área útil;

O prédio apresenta formato retangular com as duas maiores fachadas voltadas para oeste e leste;



**Figura 1.26** – vista da fachada lateral do prédio



**Figura 1.27** – vista da frente do prédio

#### **b. Características da envoltória da edificação**

A estrutura das esquadrias é de alumínio, com vidro duplo transparente e película espelhada;

Fazem uso de cortina;

A cobertura é de laje sem telha;



**Figura 1.28** – cortina e divisórias utilizadas



**Figura 1.29** – vista interna do prédio

#### **c. Características operacionais e perfis de ocupação**

A edificação possui oito elevadores em operação (seis sociais, um de serviço e um privativo);

O prédio é alugado;

O horário de funcionamento é das 08 h às 18 h;

Pessoal fixo de aproximadamente 1400 pessoas e 100 visitantes por dia;

A climatização é realizada através de quatro *chillers* de água gelada com acionamento manual. O horário de operação é das 08 h às 17 h 45 min;





**Figura 1.30** – fotos dos equipamentos do sistema de climatização instalados na cobertura

Não possuem sistema supervisorio de energia elétrica, nem medidores de energia elétrica para cada um dos sistemas (iluminação, climatização e informática);

Cada pavimento possui um medidor de energia elétrica, totalizando 28 equipamentos;

A interligação entre os painéis localizados no subsolo e os quadros de distribuição nos pavimentos é realizada através de barramento blindado trifásico;

Nos pavimentos, a distribuição de energia elétrica é realizada através de três quadros de distribuição (ar condicionado, iluminação e rede estabilizada);



**Figura 1.31** – saída do barramento blindado do painel de baixa tensão localizado próximo à subestação



**Figura 1.32** – conexão do barramento blindado aos medidores de energia elétrica

A subestação é de responsabilidade da concessionária de energia elétrica com tensão de entrada de 13.200 V e fica localizada no subsolo, junto aos painéis de distribuição de energia elétrica;

Possui um sistema ininterrupto de energia elétrica composto por um grupo motor gerador de 380 kV·A, com sistema automático de acionamento - USCA, conectado as cargas de emergência, elevadores, sistema de incêndio e iluminação de emergência;

O *no-break* fica localizado no subsolo e supre todos os equipamentos de informática;



**Figura 1.33** – *no-break* utilizado pelos equipamentos de informática



**Figura 1.34** – grupo motor gerador utilizado para suprir cargas essenciais

O sistema de iluminação do prédio da Advocacia Geral da União é um sistema de iluminação novo; percorrendo suas instalações observam-se luminárias eficientes com aspecto de alta eficiência luminosa, compostas com duas lâmpadas fluorescentes tubulares T5 de 28 W, faz-se uso, também, de luminárias eficientes com lâmpadas fluorescentes compactas. No subsolo do prédio observam-se luminárias eficientes com lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 32 W. O prédio não é provido de sistema de iluminação de emergência.



**Figura 1.35** – equipamentos do sistema de iluminação do prédio da Advocacia Geral da União

### 3 Conclusão

De uma forma geral, é possível observar que todos os prédios visitados já possuem equipamentos e sistemas com a finalidade de reduzir o consumo de energia elétrica.

Quanto à tarifa de energia elétrica, todos são classificados como Poder Público e são enquadrados em modalidades tarifárias distintas. Os Blocos C e F estão enquadrados na modalidade tarifária horossazonal verde, o Bloco B enquadrado na modalidade tarifária horossazonal azul e o prédio da Advocacia-Geral da União enquadrado na modalidade tarifária convencional monômnia.

No sistema de iluminação observa-se que existe uma diversificação do tipo de tecnologia utilizada. Enquanto alguns prédios (Ministério do Desenvolvimento Social e Combate a Fome e alguns ambientes do Ministério do meio ambiente e da Advocacia-Geral da União) utilizam lâmpadas muito eficientes (T8 de 16 W e T5 de 28 W), outros fazem uso de tecnologias menos eficientes (lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W e, em alguns ambientes com lâmpadas de 40W). O prédio principal do Ministério da Previdência Social faz uso de um moderno sistema de controle de iluminação com tecnologia DALI®. (*Digital Addressable Lighting Interface*), que é mais eficiente que os demais, uma vez que este sistema faz uso de sensores de presença para o gerenciamento dos equipamentos de iluminação com o aproveitamento da luz natural disponível no ambiente.

O sistema de climatização também é bastante diversificado. Os Blocos C e F fazem uso de mais de uma tecnologia (ar-condicionado de janela, *splits*, máquinas *self* – Bloco C e ar-condicionado de janela, *splits* e sistema hidrônico<sup>2</sup> – Bloco F). O Bloco B utiliza uma tecnologia eficiente através do sistema *variable refrigerant flow* (VRF), sendo este o mais eficiente de todos. O sistema opera na parte da manhã (8 h às 12 h) e da tarde (14 h às 18 h). Na edificação da Advocacia-Geral da União a climatização é realizada através de *chillers*, localizados na cobertura do prédio.

Todas as edificações possuem sistema ininterrupto de energia elétrica com grupos motor-gerador e *no-breaks*. Com exceção do Bloco F (Ministérios da Previdência Social e do Trabalho), onde todas as cargas estão conectadas ao grupo motor-gerador, as demais edificações fazem uso de grupo motor gerador para suprir somente as cargas essenciais. Quanto ao uso de *no-break*, todos os equipamentos de informática do Bloco F e da Advocacia-Geral da União estão conectados a *no-breaks*. Os Blocos B e C fazem uso de *no-breaks* somente para cargas essenciais (CPD e outras).

---

<sup>2</sup> Sistema hidrônico: sistema composto por uma unidade resfriadora de líquido (*chiller* quente e frio) e *fan-coils* de ambiente com controle individual de temperatura. Cada ambiente possui condicionamento local e individual por *fan-coils* de instalação na parede, teto ou no forro. Além disso, tal sistema é ecologicamente correto, por utilizar água quente ou fria como condutor de fluido entre os equipamentos, ao invés de CFC's.

Como pode ser observado existem diversas práticas adotadas nos diferentes prédios visitados. Há práticas eficientes e ineficientes sendo adotadas nos sistemas energéticos, havendo espaços para melhorias.

No que se refere às instalações elétricas dos prédios visitados, as condições observadas de todos pareceram razoáveis, não comprometendo o desempenho energético do prédio com perdas significativas que poderiam ser causadas por conexões mal feitas etc.

## Parte II – Noções gerais de eficiência energética em edificações e seus sistemas<sup>3</sup>

Esta parte busca prover o administrador da edificação dos conceitos básicos da eficiência energética de cada um de seus sistemas. Esta temática é também abordada no livro [Conservação de Energia – Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações](#) e no [Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica](#).

### 1. Instalações Elétricas–Caracterização Administrativa – Contratação de fornecimento de energia elétrica

#### 1.1 Introdução

A compreensão da forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas faturas de energia elétrica, emitidas mensalmente pelas concessionárias de energia elétrica, são fundamentais para a tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética.

O [Manual de Tarificação da Energia Elétrica](#), e o manual [Energia Elétrica: Conceitos, Qualidade, Tarificação](#) também abordam este tema.

Através da análise das faturas de energia elétrica por um período de no mínimo vinte e quatro meses, das informações de consumo (kW·h) e demanda kW, (esta última disponível somente para clientes que fazem uso da tarifa binômia), é possível estudar a relação entre hábitos e consumo de uma dada instalação: comercial, residencial ou industrial.

O resultado obtido neste estudo é importante também para verificar se a relação contratual entre o cliente e a empresa concessionária está adequada e obter uma base de dados para comparação futura do consumo de energia elétrica.

#### 1.2 Legislação vigente

A [Resolução 414 da Aneel](#) de 9 de setembro de 2010, que revoga a [Resolução 456 da Aneel](#) de 29 de novembro de 2000, é o documento que estabelece, de forma atualizada e consolidada, as condições gerais de fornecimento de energia elétrica.

---

<sup>3</sup> Neste documento, as unidades de medida foram inseridas conforme disposto no Quadro Geral de Unidades de Medida adotado pelo Brasil, conforme descrito na [Portaria nº 590, de 02 de dezembro de 2013](#).

### 1.3 Definições e Conceitos

Para a compreensão dos assuntos tratados neste Manual é necessário conhecer alguns conceitos e definições:

**Consumo de energia elétrica:** quantidade de potência elétrica (kW) consumida em um intervalo de tempo, expresso em quilowatt-hora (kW·h) ou em pacotes de 1000 unidades (MW·h). No caso de um equipamento elétrico o valor é obtido através do produto da potência do equipamento pelo seu período de utilização e, em uma instalação residencial, comercial ou industrial, através da soma do produto da demanda medida pelo período de integração.

**Demanda:** média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado.

**Demanda contratada:** demanda de potência ativa a ser obrigatoriamente e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

**Demanda de ultrapassagem:** parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW).

**Demanda faturável:** valor da demanda de potência ativa, identificada de acordo com os critérios estabelecidos e considerada para fins de faturamento, com aplicação da respectiva tarifa, expressa em quilowatts (kW).

**Demanda medida:** maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 (quinze) minutos durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

**Energia elétrica:** de forma simplificada, é o produto da potência elétrica pelo intervalo de tempo de utilização de um equipamento ou de funcionamento de uma instalação (residencial, comercial, ou industrial).

**Fatura de energia elétrica:** nota fiscal que apresenta a quantia total que deve ser paga pela prestação do serviço público de energia elétrica, referente a um período especificado, discriminando as parcelas correspondentes.

**Horário de ponta:** é o período de 3 (três) horas consecutivas exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária, em função das características de seu sistema elétrico. Em algumas modalidades tarifárias, nesse horário a demanda e o consumo de energia elétrica têm preços mais elevados.

**Horário fora de ponta:** corresponde às demais 21 horas do dia, que não sejam às referentes ao horário de ponta.

**Período seco:** período compreendido pelos meses de maio a novembro (7 meses). É, geralmente, um período com poucas chuvas. Em algumas modalidades, as tarifas deste período apresentam valores mais elevados.

**Período úmido:** período compreendido pelos meses de dezembro a abril (5 meses). É, geralmente, o período com mais chuvas.

**Potência:** quantidade de energia elétrica solicitada na unidade de tempo. A potência vem escrita nos manuais dos aparelhos, sendo expressa em watts (W) ou quilowatts (kW), que corresponde a 1.000 watts.

**Tarifa:** preço da unidade de energia elétrica (R\$/MW·h) e/ou da demanda de potência ativa (R\$/kW).

**Tarifa binômia:** conjunto de tarifas de fornecimento, constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa (kW·h) e à demanda faturável (kW). Esta modalidade é aplicada aos consumidores do Grupo A.

**Tarifa monômia:** tarifa de fornecimento de energia elétrica, constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (kW·h). Esta tarifa é aplicada aos consumidores do Grupo B (baixa tensão).

## 1.4 Grupos tarifários

No Brasil, as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: **grupo A**, que tem tarifa binômia e **grupo B**, que tem tarifa monômia. O agrupamento é definido, principalmente, em função do nível de tensão em que são atendidos e também, como consequência, em função da demanda (kW).

Os consumidores atendidos em alta tensão, acima de 2.300 volts, como indústrias, *shopping centers* e alguns edifícios comerciais, são classificados no grupo A.

Esse grupo é subdividido de acordo com a tensão de atendimento, como mostrado a seguir.

- ✦ Subgrupo A1 - para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- ✦ Subgrupo A2 - para o nível de tensão de 88 kV a 138 kV;
- ✦ Subgrupo A3 - para o nível de tensão de 69 kV;
- ✦ Subgrupo A3a - para o nível de tensão de 30 kV a 44 kV;
- ✦ Subgrupo A4 - para o nível de tensão de 2,3 kV a 25 kV;
- ✦ Subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Os poucos prédios públicos classificados no grupo A, em geral estão no subgrupo A4.

As unidades consumidoras atendidas em tensão abaixo de 2.300 volts são classificadas no grupo B (baixa tensão). Em geral, estão nesta classe as residências, lojas, agências bancárias, pequenas oficinas, edifícios residenciais,

grande parte dos edifícios comerciais e a maioria dos prédios públicos federais, uma vez que, na sua maioria são atendidos nas tensões de 127 ou 220 volts.

O grupo B é dividido em subgrupos, de acordo com a atividade do consumidor, conforme apresentados a seguir:

- ✦ Subgrupo B1 – residencial e residencial baixa renda;
- ✦ Subgrupo B2 – rural e cooperativa de eletrificação rural;
- ✦ Subgrupo B3 – demais classes;
- ✦ Subgrupo B4 – iluminação pública.

## 1.5 Modalidade tarifária

Define-se modalidade tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento.

No Brasil, as tarifas do grupo A são constituídas por três modalidades de fornecimento, relacionadas a seguir:

- ✦ Estrutura tarifária convencional;
- ✦ Estrutura tarifária horossazonal verde; ou,
- ✦ Estrutura tarifária horossazonal azul.

### 1.5.1 Estrutura Tarifária Convencional

O enquadramento na estrutura tarifária convencional exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua um único valor da demanda pretendida pelo consumidor (demanda contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) ou período do ano (seco ou úmido).

Os consumidores do grupo A, subgrupos A3a, A4 ou AS, podem ser enquadrados na estrutura tarifária Convencional quando a demanda contratada for inferior a 300 kW.

A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e, caso exista, demanda de ultrapassagem.

A parcela de consumo ( $P_{\text{consumo}}$ ) é calculada multiplicando-se o consumo medido pela tarifa de consumo, conforme apresentado na expressão 1.1:

$$P_{\text{consumo}} = \text{Tarifa de Consumo} \times \text{Consumo Medido} \quad (1.1)$$

A parcela de demanda ( $P_{\text{demanda}}$ ) é calculada multiplicando-se a tarifa de demanda pela demanda contratada ou pela demanda medida (a maior delas), caso esta não ultrapasse em 5% a demanda contratada, conforme apresentado na expressão 1.2:



$$P_{\text{demanda}} = \text{Tarifa de Demanda} \times \text{Demanda contratada} \quad (1.2)$$

A parcela de ultrapassagem ( $P_{\text{ultrapassagem}}$ ) é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa em mais de 5% a demanda contratada. Calcula-se multiplicando o valor da demanda medida que supera a demanda contratada pela tarifa de ultrapassagem (valor dobrado da tarifa de demanda contratada), conforme apresentado na expressão 1.3:

$$P_{\text{ULTRAPASSAGEM}} = [\text{Demanda Medida} - \text{Demanda contratada}] \times 2 \times \text{Tarifa de Demanda} \quad (1.3)$$

### 1.5.2 Estrutura tarifária horossazonal verde

A opção de enquadramento na estrutura tarifária verde somente é possível para as unidades consumidoras do grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS.

Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua a demanda pretendida pelo consumidor (demanda contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) e do período do ano (período seco ou úmido).

A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo (na ponta e fora dela), demanda e ultrapassagem.

A parcela de consumo ( $P_{\text{consumo}}$ ) é calculada através da expressão 1.4, observando-se, nas tarifas, o período do ano:

$$P_{\text{consumo}} = \text{Tarifa de Consumo na ponta} \times \text{Consumo Medido na Ponta} + \text{Tarifa de Consumo fora de Ponta} \times \text{Consumo Medido fora de Ponta} \quad (1.4)$$

No período seco (maio a novembro) as tarifas de consumo na ponta e fora de ponta são mais caras que no período úmido.

A parcela de demanda ( $P_{\text{demanda}}$ ) é calculada multiplicando-se a tarifa de demanda pela demanda contratada ou pela demanda medida (a maior delas), caso esta não ultrapasse em mais de 5% a demanda contratada, conforme apresentado na expressão 1.5:

$$P_{\text{demanda}} = \text{Tarifa de Demanda} \times \text{Demanda contratada} \quad (1.5)$$

A tarifa de demanda é única, independente da hora do dia ou período do ano.

A parcela de ultrapassagem ( $P_{ultrapassagem}$ ) é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa em mais de 5% a demanda contratada. Calcula-se multiplicando o valor da demanda medida que supera a demanda contratada pela a tarifa de ultrapassagem (valor dobrado da tarifa de demanda contratada) , conforme apresentado na expressão 1.6:

$$P_{ultrapassagem} = [Demanda Medida - Demanda contratada] \times 2 \times Tarifa \text{ de Demanda} \quad (1.6)$$

### 1.5.3 Estrutura tarifária horossazonal azul

Aos consumidores dos subgrupos A1, A2 ou A3, é obrigatório o enquadramento na estrutura tarifária horossazonal azul e opcional para os consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS.

Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta (demanda contratada na ponta) quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta (demanda contratada fora de ponta).

A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta pela soma de parcelas referentes ao consumo e demanda e, caso exista, ultrapassagem. Em todas as parcelas observa-se a diferenciação entre hora de ponta e hora fora de ponta.

A parcela de consumo ( $P_{consumo}$ ) é calculada a partir da expressão 1.7, observando-se, nas tarifas, o período do ano:

$$P_{consumo} = Tarifa \text{ de Consumo na ponta} \times Consumo \text{ Medido na Ponta} + Tarifa \text{ de Consumo fora de Ponta} \times Consumo \text{ Medido fora de Ponta} \quad (1.7)$$

As tarifas de consumo na ponta e fora de ponta são diferenciadas por período do ano, sendo mais caras no período seco (maio a novembro).

A parcela de demanda ( $P_{demanda}$ ) é calculada somando-se o produto da tarifa de demanda na ponta pela demanda contratada na ponta (ou pela demanda medida na ponta, de acordo com as tolerâncias de ultrapassagem) ao produto da tarifa de demanda fora da ponta pela demanda contratada fora de ponta (ou pela demanda medida fora de ponta, de acordo com as tolerâncias de ultrapassagem), conforme apresentado na expressão 1.8:

$$P_{\text{demanda}} = \text{Tarifa de Demanda na Ponta} \times \text{Demanda contratada na Ponta} + \text{Tarifa de Demanda fora de Ponta} \times \text{Demanda contratada fora de Ponta} \quad (1.8)$$

As tarifas de demanda não são diferenciadas por período do ano.

A parcela de ultrapassagem ( $P_{\text{ultrapassagem}}$ ) é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa em mais de 5 % a demanda contratada. Calcula-se multiplicando o valor da demanda medida que supera a demanda contratada pela a tarifa de ultrapassagem (valor dobrado da tarifa de demanda contratada), conforme apresentado na expressão 1.9:

$$P_{\text{ultrapassagem}} = \text{Tarifa de Demanda na Ponta} \times 2 \times (\text{Demanda Medida na Ponta} - \text{Demanda contratada na Ponta}) + \text{Tarifa de Demanda fora de Ponta} \times 2 \times (\text{Demanda Medida fora de Ponta} - \text{Demanda contratada fora de Ponta}) \quad (1.9)$$

## 1.6 A energia reativa e fator de potência

A energia elétrica é composta de duas parcelas distintas: energia reativa e energia ativa. A energia ativa é a energia que promove o funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos, enquanto que a energia reativa é a responsável pela formação de campos magnéticos, necessários ao funcionamento de alguns aparelhos que possuem motor (geladeira, freezer, ventilador, máquinas de lavar, sistemas de climatização, escada rolante, etc.) ou indutor (reator eletromagnético utilizado nas luminárias com lâmpadas fluorescentes).

A energia reativa, que é inerente ao processo de produção de energia elétrica, produz perdas por provocar aquecimento nos condutores. Ela circula entre a fonte e a carga, ocupando um “espaço” no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa. A energia reativa tem como unidades de medida usuais o V·A·h e o kV·A·h (que corresponde a 1.000 V·A·h) e a potência reativa a unidade de V·A ou kV·A.

O limite é indicado de forma indireta, através do parâmetro denominado **fator de potência**, que reflete a relação entre as energias ativa e reativa consumidas. De acordo com a Resolução Aneel 414 de 9 de setembro de 2010, as unidades consumidoras dos grupos A e B, devem ter um fator de potência não inferior a 0,92 (capacitivo ou indutivo).

Quando o fator de potência é inferior a 0,92, é cobrada a utilização de energia e demanda de potência reativa na fatura de energia elétrica, como consumo de energia reativa excedente e demanda reativa excedente.

A energia reativa capacitiva é medida em um período de 6 horas consecutivas a critério da distribuidora, entre 23 h 30 min e 06 h 30 min e a energia reativa indutiva no restante do dia.

O valor cobrado, para cada uma das tarifas, está descrito a seguir:

✍ Tarifa convencional

Os consumidores do grupo A, tarifa convencional, pagam tanto o consumo de energia reativa quanto a demanda reativa.

✍ Tarifa horossazonal verde

Os consumidores do grupo A, tarifa verde, pagam o consumo de energia reativa na ponta e fora de ponta e a demanda reativa.

✍ Tarifa horossazonal azul

Os consumidores do grupo A, tarifa azul, pagam tanto o consumo de energia reativa quanto da demanda reativa, para as horas de ponta e horas fora de ponta.

Existem fórmulas próprias para cálculo dos valores de energia elétrica reativa e demanda de potência reativa na Resolução Aneel 414 de 9 de setembro de 2010, porém apresentá-las e discuti-las foge aos objetivos deste Manual.

## 1.7 Reduzindo a conta de energia elétrica

A existência de alternativas de enquadramento tarifário permite alguns consumidores escolher o enquadramento e valor contratual de demanda que resultam em menor despesa com a energia elétrica. A decisão, porém, só deve ser tomada depois de adequada verificação dos padrões de consumo e demanda nos segmentos horários (ponta e fora de ponta).

Além de revelar relações entre hábitos e consumo de energia elétrica, úteis ao se estabelecer rotinas de combate ao desperdício, a análise da fatura de energia elétrica é a base para a avaliação econômica dos projetos de eficiência energética.

A análise pode ser dividida em duas partes:

- ✍ Enquadramento tarifário e determinação do valor da demanda contratual;
- ✍ Correção do fator de potência, caso haja necessidade.

Embora uma análise completa exija certa experiência e conhecimento técnico, com um exemplo servindo de guia e algum treino, qualquer pessoa pode identificar as oportunidades de redução de despesas com a energia elétrica.

## 1.8 Fatura de energia elétrica

Um exemplo de uma fatura de energia elétrica pode ser visualizado no site [www.ceb.com.br/index.php/conhecendo-sua-conta](http://www.ceb.com.br/index.php/conhecendo-sua-conta). No exemplo apresentado estão explicitados os itens que compõem uma fatura de energia elétrica.

## **1.9 Referências**

1. Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010 – Aneel.
2. Conservação de Energia – Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações – Eletrobras/Procel Educação e Universidade Federal de Itajuba – Unifei – 2006.
3. Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica – Eletrobras/Procel e Ibam – 2002.

## 2. Aspectos energéticos – Instalações elétricas

### 2.1 Introdução

Uma instalação elétrica é composta por um sistema constituído de transformadores, cabos elétricos, disjuntores, chaves seccionadoras, chaves fusíveis, contactoras, barramentos e conectores. Todos estes componentes que formam a rede de distribuição possuem resistências elétricas, fazendo com que a corrente que circula por eles cause perdas de energia na forma de calor.

Dentro do universo de perdas de energia em uma instalação elétrica, as perdas nos elementos de distribuição ocorrem, principalmente, por mau dimensionamento dos componentes, por acréscimo desordenado de cargas, por falhas no projeto, pelo estado precário das conexões e pela falta de um programa de manutenção preventiva.

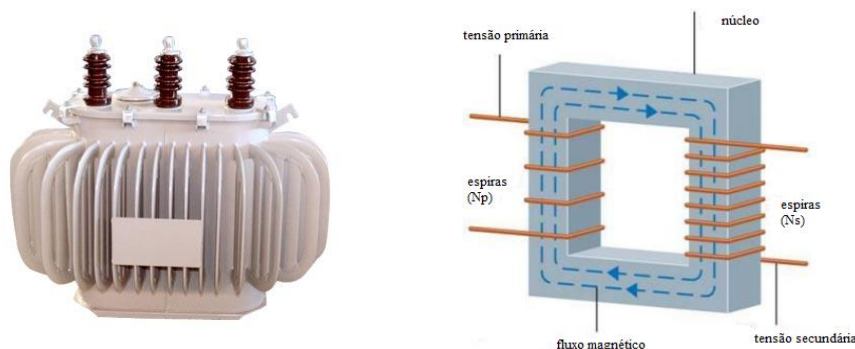
### 2.2 Equipamentos e materiais utilizados na distribuição

A seguir são apresentados os principais equipamentos e materiais utilizados em um sistema de distribuição predial e suas características técnicas.

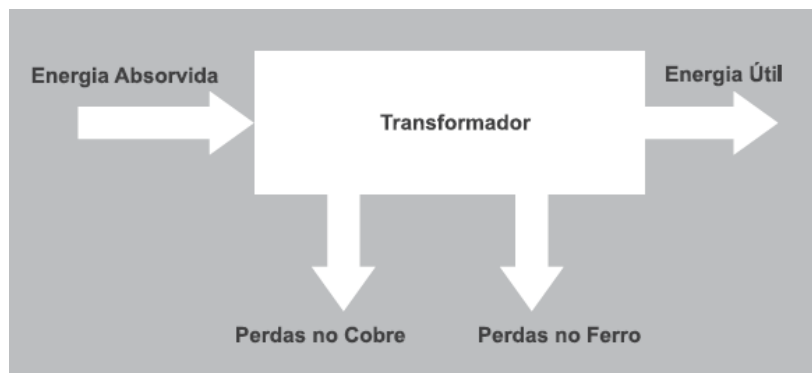
#### 2.2.1 Transformador

O transformador é um equipamento que transfere energia elétrica do seu circuito primário para o secundário, mantendo a mesma frequência e normalmente variando os valores de corrente e de tensão. Nesta transferência ocorrem perdas que são decorrentes da construção do transformador (perdas no ferro) e da forma e regime de operação (perdas no cobre).

Um transformador possui dois enrolamentos com as seguintes atribuições: o enrolamento do primário recebe a energia fornecida pela rede e o enrolamento do secundário, que repassa esta energia para o sistema de distribuição subtraindo as perdas. Nas figuras 2.1 e 2.2 são apresentados, respectivamente o circuito magnético simplificado e o diagrama de perdas de um transformador.



**Figura 2.1** – Foto e representação simplificada do circuito magnético de um transformador.



**Figura 2.2** – Diagrama de perdas de um transformador

### Perdas no transformador

São três os tipos de perdas associados aos transformadores:

**Perdas no ferro:** As perdas relacionadas à construção dos transformadores são conhecidas como perdas no ferro e independem da carga que está sendo demandada ao transformador. Ocorrem sempre que o equipamento é ligado. Estas perdas são constantes e cada transformador tem a sua em função das características construtivas do equipamento. Os valores limites das perdas devem obedecer à norma ABNT NBR 5440-2011 (Transformadores para redes aéreas de distribuição – Requisitos) e estão apresentadas na tabela 2.1.

**Tabela 2.1** – Valores limites de perdas no ferro para transformadores com tensões máximas de 15 kV.

| Potência do transformador [kVA] | Perdas no ferro [W] |
|---------------------------------|---------------------|
| 15                              | 85                  |
| 30                              | 150                 |
| 45                              | 195                 |
| 75                              | 295                 |
| 112,5                           | 390                 |
| 150                             | 485                 |
| 225                             | 650                 |
| 300                             | 810                 |

O desligamento do transformador nos períodos em que ele não esteja sendo solicitado seria uma forma de eliminar estas perdas, já que elas estão presentes a partir do momento em que ele é ligado. Em muitos casos, é possível tomar esta providência. Caso a unidade consumidora possua mais de

um transformador em suas instalações, pode-se concentrar as cargas de iluminação e outras que necessitam permanecer ligadas no período da noite e com isso desligar um transformador neste período.

Como forma de avaliar o potencial de economia de energia com a eliminação desta perda, torna-se necessário verificar o valor da potência nominal dos transformadores existentes na instalação. Esta informação está contida em uma placa no equipamento.

O potencial de economia pode ser obtido a partir da expressão 2.1:

$$E = P_1 * h / 1000 \quad (2.1)$$

onde:

E = potencial de economia de energia devido às perdas no ferro [kW·h/mês];

P<sub>1</sub> = perdas no ferro [W];

h = quantidade de horas mensais de desligamento do transformador [h/mês].

**Perdas no cobre:** As perdas referentes ao regime de operação dos transformadores são as perdas no cobre. Essas perdas são correspondentes à dissipação de energia por efeito Joule, que é estabelecida pelas correntes elétricas que circulam nos enrolamentos do transformador (primário e secundário) e dependem da solicitação de carga elétrica que o transformador está submetido. As perdas no cobre são proporcionais ao quadrado das correntes elétricas que circulam pelos enrolamentos.

Consequentemente transformadores operando com sobrecargas estarão com perdas elevadas. O carregamento ideal para um transformador está na faixa de 30 a 70 % de sua capacidade nominal.

Desta forma, se existe mais de um transformador em uma instalação, deve-se dividir as cargas instaladas de forma uniforme entre eles, a fim de se estabelecer níveis de carregamento adequados para ambos. Da mesma forma, se uma instalação está operando com um transformador com carregamento acima de sua capacidade nominal ou perto dela é aconselhável a substituição por um de maior capacidade.

Outra ação para se reduzir as perdas nos enrolamentos de um transformador é através do aumento do fator de potência do conjunto de cargas que o mesmo alimenta. A elevação do fator de potência reduz a componente indutiva da corrente, reduzindo o valor da corrente da carga.

A redução das perdas no núcleo do transformador através do aumento do fator de potência pode ser obtida através da expressão 2.2:



$$E(\%) = 1 - \left( \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2 * 100(2.2)$$

Onde  $\cos \varphi_1$  é o fator de potência antes da correção e  $\cos \varphi_2$  é o fator de potência depois da correção.

**Perdas em transformadores ligados em paralelo:** Em uma instalação com transformadores operando em paralelo pode ocorrer outro tipo de perda que é ocasionada pela diferença na relação de transformação dos equipamentos. Neste tipo de ligação, quando a diferença na relação de transformação dos equipamentos for significativa, ocorre uma circulação de corrente entre os transformadores causando perdas.

A utilização de transformadores ligados em paralelo é uma medida muito adotada em instalações. Os transformadores são ligados por um barramento no secundário. A fim de se evitar o surgimento de perdas por circulação de corrente entre os transformadores, devem-se tomar as seguintes precauções:

- ✎ Utilizar transformadores com potências próximas, preferencialmente iguais para melhor aproveitamento das mesmas.
- ✎ Utilizar transformadores com impedâncias internas iguais ou próximas.
- ✎ Ajustar no mesmo valor a relação de transformação dos transformadores.

#### **Localização dos transformadores**

As correntes elevadas acarretam um transporte de energia muito oneroso, quer seja pela necessidade da utilização de condutores com seções maiores, quer seja pelas perdas por efeito Joule. Desta forma, é recomendável a instalação dos transformadores próximos aos centros de carga das instalações. Esta medida visa proporcionar uma redução no custo dos condutores e a redução das perdas de energia pela dissipação de calor nos mesmos.

#### **Transformador com núcleo de material amorfo**

Frente à necessidade de conservar energia e preservar o meio ambiente, transformadores com núcleo de material amorfo vêm substituindo os transformadores tradicionais (com núcleo de material ferromagnético), pois se caracterizam por apresentar menores perdas que os atuais.

A substituição de transformadores com núcleos de materiais ferromagnéticos pode significar um potencial considerável de conservação de energia. É claro que aspectos econômicos devem ser levados em consideração antes de qualquer tentativa de substituição desses equipamentos.

A fim de reduzir as perdas associadas aos transformadores, é necessário estar atento para as seguintes recomendações:

- ✎ Anotar os dados de placa dos transformadores existentes na instalação e criar uma planilha contendo a relação das cargas existentes, visando concentrar as cargas de tal forma que os transformadores selecionados tenham carregamento máximo de cerca de 85 % da sua capacidade nominal.
- ✎ Nos casos de existência de mais de um transformador, criar uma planilha que contenha a relação das cargas que estão ligadas nos transformadores separadamente. Esta medida irá possibilitar uma análise de remanejamento de cargas entre eles.
- ✎ Efetuar medição de corrente nas fases do transformador para verificação do carregamento com que ele está trabalhando. O equilíbrio no carregamento das fases do transformador reduz a corrente que flui pelo neutro, o que representa redução das perdas.
- ✎ Caso seja possível, efetuar o monitoramento da instalação com a utilização de um analisador de energia por um período de 24 horas, a fim de verificar as variações de alguns parâmetros elétricos: tensão (V), corrente (A), potência ativa (kW) e fator de potência para possibilitar avaliações de desempenho e possibilidades de redução de custos e melhorias no funcionamento destes equipamentos.
- ✎ Avaliar os valores do fator de potência em cada transformador e efetuar a correção dos mesmos quando necessário. Esta medida alivia o carregamento do transformador, além de diminuir as perdas.

### **2.2.2 Cabos elétricos**

Os cabos elétricos são constituídos em sua maioria de cobre ou alumínio. O mais utilizado em instalações de baixa tensão e com a existência de isolamento é o de cobre.

O correto dimensionamento dos cabos de energia deve considerar seis critérios: a seção mínima; a capacidade de condução de corrente; a queda de tensão; a proteção contra sobrecargas; a proteção contra curtos-circuitos e a proteção contra contatos indiretos (aplicável apenas quando se usam dispositivos a sobrecorrente na função de seccionamento automático).

Desses seis critérios, são descritos a seguir os três principais a serem aplicados: seção mínima, capacidade de condução de corrente e queda de tensão.

## Seção mínima

A norma ABNT NBR 5410 (tabela 43, item 6.2.6) determina a seção mínima de cada condutor de acordo com a sua utilização. Na tabela 2.2 são apresentados os valores.

**Tabela 2.2 – Seção mínima dos condutores<sup>1)</sup>**

| Tipo de linha                       |                                                          | Utilização do circuito                           | Seção mínima do condutor mm <sup>2</sup> - material |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Instalações fixas em geral          | Condutores e cabos isolados                              | Circuitos de iluminação                          | 1,5 Cu<br>16 Al                                     |
|                                     |                                                          | Circuitos de força <sup>2)</sup>                 | 2,5 Cu<br>16 Al                                     |
|                                     |                                                          | Circuitos de sinalização e circuitos de controle | 0,5 Cu <sup>3)</sup>                                |
|                                     | Condutores nus                                           | Circuitos de força                               | 10Cu<br>16 Al                                       |
|                                     |                                                          | Circuitos de sinalização e circuitos de controle | 4 Cu                                                |
| Linhas flexíveis com cabos isolados | Para um equipamento específico                           | Como especificado na norma do equipamento        |                                                     |
|                                     | Para qualquer outra aplicação                            | 0,75 Cu <sup>4)</sup>                            |                                                     |
|                                     | Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais | 0,75 Cu                                          |                                                     |

<sup>1)</sup> Seções mínimas ditadas por razões mecânicas

<sup>2)</sup> Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.

<sup>3)</sup> Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm<sup>2</sup>.

<sup>4)</sup> Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm<sup>2</sup>.

## Capacidade de condução de corrente

Este critério leva em conta a capacidade de conduzir a corrente, em condições normais, sem que o efeito térmico provoque danos aos condutores e respectivos isolamentos.

O cálculo deste critério leva em consideração a corrente de projeto, o método de instalação e a aplicação dos fatores de correção.

Este critério de dimensionamento é tratado na seção 6.2.5 da NBR 5410, que apresenta tabelas para determinar as seções dos condutores em função da capacidade de condução de corrente.

## Queda de tensão

De acordo com a norma ABNT NBR 5410 (item 6.2.7, tabela 46), a queda de tensão em qualquer ponto da instalação, não deve ser superior aos valores apresentados abaixo, dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

- ✎ 7 %, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da unidade consumidora;
- ✎ 7 %, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;

- ✎ 5 %, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- ✎ 7 %, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.

O cálculo da queda de tensão considera o tipo de circuito, o comprimento do alimentador, a corrente, a seção do condutor, o tipo de linha e o fator de potência da carga.

### **Dimensionamento do condutor neutro**

O condutor neutro tem a sua seção dimensionada em função dos condutores fase.

O condutor neutro deve possuir, no mínimo, a mesma seção que os condutores fase nos seguintes casos:

- ✎ Em circuitos monofásicos e bifásicos;
- ✎ Em circuitos trifásicos, quando a seção do condutor fase for igual ou inferior a 25 mm<sup>2</sup>.
- ✎ Em circuitos trifásicos, quando for prevista a presença de harmônicas.

Nos casos de circuitos trifásicos cujos condutores fase tenham seção superior a 25 mm<sup>2</sup> a seção do condutor neutro pode ser inferior à dos condutores fase quando as três condições seguintes forem simultaneamente atendidas:

- ✎ O circuito for presumivelmente equilibrado, em serviço normal;
- ✎ A corrente das fases não contiver uma taxa de terceira harmônica e múltiplos superior a 15 %; e
- ✎ Quando o condutor neutro for protegido contra sobrecorrentes.

Na tabela 2.3 são apresentadas as seções mínimas do condutor neutro.

**Tabela 2.3 – Seção reduzida do condutor neutro.**

| Seção dos condutores de fase<br>mm <sup>2</sup> | Seção reduzida do condutor neutro<br>mm <sup>2</sup> |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| $S \leq 25$                                     | S                                                    |
| 35                                              | 25                                                   |
| 50                                              | 25                                                   |
| 70                                              | 35                                                   |
| 95                                              | 50                                                   |
| 120                                             | 70                                                   |
| 150                                             | 70                                                   |
| 185                                             | 95                                                   |
| 240                                             | 120                                                  |
| 300                                             | 150                                                  |
| 400                                             | 185                                                  |

Cabe ressaltar que o correto dimensionamento leva em consideração a distribuição das cargas em vários circuitos de forma uniforme entre as fases.

Uma instalação com cabos subdimensionados apresentará aquecimento nos circuitos, acarretando um desperdício de energia, além do risco de acidentes por incêndios. Assim, ao se adicionar novos equipamentos, torna-se necessária uma revisão na instalação a fim de verificar a capacidade de condução de corrente dos cabos e se os sistemas de proteção dos circuitos irão suportar esse acréscimo.

Deve-se evitar a utilização de cabos condutores de origem duvidosa, pois muitas das vezes esta economia pode resultar em prejuízos futuros. Devem ser utilizados cabos de marcas conhecidas em cuja qualidade se possa confiar e que tenham o “Símbolo de Identificação do Sistema Brasileiro de Certificação” colocado no produto e na sua embalagem, que deverá estar acompanhada do nome ou marca do Organismo de Certificação de Produto (OCP) credenciado pelo Inmetro. A utilização de materiais de baixa qualidade pode provocar o envelhecimento acelerado da isolação, dando origem a fugas de corrente e curtos-circuitos, causando desperdício de energia e riscos de acidentes.

As ligações, conexões e emendas de condutores devem ser realizadas com extremo cuidado. Esse procedimento visa a eficiência, no sentido de garantir um excelente contato entre as partes componentes e distâncias seguras entre os condutores e desses com as partes condutoras de eletricidade. Além disso, essa prática minimiza as perdas elétricas (por geração de calor, o chamado por “efeito Joule”). No que se refere à segurança, no caso particular das emendas, é fundamental atentar para o uso de materiais isolantes apropriados, tais como fitas isolantes específicas para essa finalidade, por exemplo. Além disso, nunca devem ser utilizados outros recursos, tais como fitas adesivas comuns, fitas crepe, esparadrapos etc.

### 2.2.3 Dispositivos de proteção

Os dispositivos de proteção utilizados em uma instalação elétrica são o disjuntor de baixa tensão, fabricado em caixa moldada e o dispositivo a corrente diferencial-residual (dispositivo DR). Estes equipamentos ficam instalados no interior de um quadro de distribuição de energia elétrica e têm por finalidade interromper a passagem de corrente no condutor, ao comando do operador ou automaticamente, quando percorridos por valores de corrente superiores à sua capacidade nominal.

#### Disjuntores

O disjuntor de baixa tensão opera quando por ele circula uma corrente maior que a nominal, provocada por uma sobrecarga ou um curto-circuito. A operação por sobrecarga ocorrerá devido a uma ação mecânica de lâminas bimetálicas, que dispostas em série como o circuito, se curvam fazendo com que o disjuntor desarme. Esta ação térmica interrompe correntes de pequena intensidade, porém acima do valor nominal, e de longa duração. O rearme do disjuntor depois da operação só pode ser realizado depois do esfriamento das lâminas bimetálicas. A operação por curto-circuito é resultante do campo magnético produzido pela corrente passante sobre as placas ferromagnéticas dispostas em posições adequadas.

#### Dispositivos a corrente diferencial-residual

Os dispositivos a corrente diferencial-residual (dispositivos DR) são utilizados para a proteção de pessoas e animais contra choque elétrico. O seu princípio de funcionamento está baseado na soma fasorial das corrente que percorrem os condutores energizados de um circuito em um determinado ponto da instalação. Quando a corrente diferencial-residual ( $I_{DR}$ ) ultrapassar um valor preestabelecido o dispositivo interromperá o circuito.

A norma ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão obriga a utilização de dispositivo diferencial-residual de alta sensibilidade (corrente diferencial-residual nominal igual ou inferior a 30 mA) como proteção adicional as tomadas de corrente até 32 A, nas seguintes situações:

- ✦ Circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em locais contendo chuveiro ou banheira;
- ✦ Circuitos que alimentem tomadas de corrente situadas em áreas externas à edificação;
- ✦ Circuitos de tomadas de corrente situadas em áreas internas que possam vir a alimentar equipamentos no exterior;
- ✦ Circuitos que, em locais de habitação, sirvam a pontos de utilização situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e demais dependências internas molhadas em uso normal ou

sujeitas a lavagens, exceção para pontos que alimentem aparelhos de iluminação posicionados a uma altura igual ou superior a 2,5 m;

- ✦ Circuitos que, em edificações não residenciais, sirvam a pontos de tomada situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, em áreas internas molhadas em uso normal ou sujeitas à lavagem.

Quando o risco de desligamento de congeladores por atuação intempestiva da proteção, associado à hipótese de ausência prolongada de pessoas, significar perdas e/ou consequências sanitárias relevantes, recomenda-se que as tomadas de corrente previstas para a alimentação de tais equipamentos sejam protegidas por dispositivo DR com característica de alta imunidade a perturbações transitórias, que o próprio circuito de alimentação do congelador seja, sempre que possível, independente e que, caso exista outro dispositivo DR a montante do que tem alta imunidade, seja garantida seletividade entre os dispositivos. Alternativamente, ao invés de dispositivo DR, a tomada destinada ao congelador pode ser protegida por separação elétrica individual, recomendando-se que também aí o circuito seja independente e que caso haja dispositivo DR a montante, este seja de um tipo imune a perturbações transitórias.

#### **2.2.4 Quadros de distribuição**

Os quadros de distribuição são os pontos onde a energia elétrica é distribuída para as cargas. Quanto a sua fabricação podem ser de PVC ou metálicos e sua instalação pode ser aparente ou embutida na parede. No interior dos quadros de distribuição ficam instalados os dispositivos de proteção e cinco barras de cobre. Uma para o condutor neutro, outra para o condutor terra e as três barras dos condutores fase (barramento trifásico).

A existência de quadros antigos com sistemas de proteção inadequados e ultrapassados, com cabos com emendas mal feitas, falta de elementos de proteção e conexões frouxas, proporciona a ocorrência de perdas pela formação de pontos quentes. Estas perdas se dão na forma de efeito Joule e muitas das vezes podem causar acidentes, apresentando riscos de segurança ao patrimônio e às pessoas.

#### **2.2.5 Capacitores**

A aplicação dos capacitores em instalações elétricas de pequeno e médio porte tem sido um fator importante para cumprimento do limite mínimo de fator de potência estabelecido pela legislação em vigor (Resolução Normativa nº 414 da Aneel de 9 de setembro de 2010), que é de 0,92. Sua instalação representa uma fonte geradora de energia reativa localizada, suprimindo parte da demanda de potência reativa requerida pelos equipamentos que possuem bobinas, tais

como motores de indução, reatores, transformadores etc. Este tipo de carga apresenta um fator de potência reativo indutivo.

**Fator de potência:** O fator de potência indica qual porcentagem da potência aparente total fornecida (kV·A) é efetivamente utilizada como potência ativa (kW).

Dessa forma, o fator de potência é a razão entre a potência ativa (kW) e a potência aparente (kV·A), sendo obtido a partir da expressão 2.3:

$$FP = \frac{kW}{kVA} = \cos \varphi (2.3)$$

O fator de potência mostra o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos. Valores altos de fator de potência (próximos de 1,0) indicam uso eficiente da energia elétrica, enquanto valores baixos evidenciam seu mau aproveitamento, além de representarem sobrecarga em todo sistema elétrico tanto do consumidor como da concessionária.

Os sistemas elétricos que operam com excesso de reativos (potência reativa) comprometem desnecessariamente a componente ativa, que representa a potência ativa do sistema, ou seja, aquela necessária à realização de trabalho. Nesta situação, torna-se necessário tomar medidas para a diminuição da potência reativa, para melhorar o sistema elétrico, possibilitando um aumento de potência ativa, sem a ampliação da capacidade dos equipamentos e circuitos elétricos.

Equipamentos elétricos como os motores, além de consumirem energia ativa, solicitam também energia reativa, necessária para criar o fluxo magnético que o seu funcionamento exige. Com a relação entre estes dois valores, determina-se o fator de potência médio indutivo (FP) num determinado período.

A potência ativa medida em kW é a que realiza o trabalho efetivamente, gerando calor, luz, movimento etc. A potência reativa medida em kV·A é necessária para criar e manter o campo eletromagnético necessário para o funcionamento das cargas indutivas (que possuem bobinas).

As principais causas do baixo fator de potência são:

- ✍ Motores operando em vazio ou superdimensionados;
- ✍ Transformadores operando em vazio ou com pequenas cargas;
- ✍ Nível de tensão acima da nominal;
- ✍ Reatores de lâmpadas de descarga com FP baixo;
- ✍ Grande quantidade de motores de pequena potência.

Os baixos valores de fator de potência provocam um aumento na corrente total que circula nos circuitos da unidade consumidora e nas redes de distribuição das concessionárias, sobrecarregando as linhas de distribuição,



transmissão e subestações, prejudicando a estabilidade e ocupando espaço nos sistemas elétricos.

Com o aumento da corrente circulante, crescem as perdas na forma de calor, uma vez que elas são proporcionais ao quadrado da corrente total circulante. Desta forma, como o baixo fator de potência provoca o aumento da corrente, estabelece-se uma relação com aumento das perdas provocado pela elevação da temperatura nos condutores e equipamentos. Este aumento da corrente provoca uma queda na tensão, podendo provocar sobrecargas em elementos da rede de distribuição, levando até em alguns casos a interrupções no fornecimento da energia. Nas instalações consumidoras, as quedas de tensão podem provocar diminuição da intensidade luminosa das lâmpadas e um aumento nas correntes dos motores.

Para a correção do fator de potência são utilizados grupos de capacitores. Sua instalação representa uma fonte geradora de energia reativa localizada, suprimindo parte da demanda de potência reativa requerida pelos equipamentos que possuem bobinas, tais como motores de indução, reatores, transformadores etc.

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel estabelece que o fator de potência, para as unidades consumidoras dos grupos A e B, deve ser superior a 0,92 capacitivo durante 6 horas consecutivas, compreendida, a critério da distribuidora, entre 23 h 30 min e 06 h 30 min, e 0,92 indutivo durante as outras 18 horas do dia. Esse limite é determinado pelo Artigo nº 95 da Resolução Normativa da Aneel nº 414 de 09 de setembro de 2010. Aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativos que excederem o limite permitido serão cobrados valores adicionais ao faturamento regular.

**Correção do fator de potência:** A correção do fator de potência de uma instalação pode ser realizada através de capacitores ou de motores síncronos.

Optando pelo uso de capacitores, estes podem ser fixos ou banco de capacitores automático. Quanto à instalação do equipamento, esta pode ser: próxima às cargas, no quadro geral de distribuição, na entrada de energia ou junto a um grupo de cargas indutivas.

#### **a. Instalação de banco de capacitores junto às cargas indutivas**

Neste tipo de instalação a circulação da energia reativa fica restrita a estes equipamentos.

Desta forma, o capacitor passa a fornecer a energia reativa necessária ao seu funcionamento e eles deixam de solicitá-la da rede. Assim, os reativos são gerados somente onde são necessários, melhorando o nível de tensão na instalação, diminuindo a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos e reduzindo as perdas por aumento de corrente da instalação. Convém

lembrar que a compra de muitos capacitores de pequena potência implica um custo mais elevado do que a compra de um capacitor de potência maior. Em geral, neste tipo de instalação são usados capacitores fixos.

**b. Instalação de bancos de capacitores junto ao quadro geral de distribuição**

Os capacitores são colocados no circuito geral da instalação na saída do transformador, ou no quadro geral se esta for de baixa tensão. O principal ponto crítico deste tipo de solução é que a rede de distribuição interna de alimentação dos equipamentos não será aliviada no transporte dos reativos. Neste tipo de instalação, podem ser utilizados tanto capacitores fixos quanto banco de capacitores automático.

**c. Instalação de bancos de capacitores na entrada da energia em alta tensão**

Este tipo de solução é o mais utilizado por instalações que possuam uma subestação principal e outras secundárias, uma vez que ao corrigir o fator de potência pelo lado de alta, os transformadores e toda linha de distribuição dentro da unidade consumidora ainda permaneceriam sobrecarregados pela utilização da energia reativa.

**d. Instalação de bancos de capacitores junto a grupos de cargas indutivas**

O banco de capacitores é instalado de forma a suprir a necessidade de energia reativa de um grupo de equipamentos pertencentes a determinado setor. A potência necessária total será menor que no caso da compensação individual, além de o custo do capacitor de maior potência também ser mais baixo. Neste tipo de instalação, podem ser utilizados tanto capacitores fixos quanto banco de capacitores automático.

A decisão da opção a ser utilizada para a correção do fator de potência (capacitores fixos ou banco de capacitores automático) deve levar em conta aspectos econômicos e técnicos.

## **2.3 Equilíbrio de fases**

A correta divisão dos circuitos de uma instalação elétrica permite que se eliminem as perdas por aquecimento em condutores sobrecarregados. Desta forma, recomenda-se que a divisão seja feita da forma que as fases possuam cargas compatíveis com a capacidade dos condutores e sistemas de proteção e que a carga seja distribuída de forma a manter as fases equilibradas.

## **2.4 Referências**

1. ABNT NBR 5440:2011 – Transformadores para redes aéreas de distribuição – Requisitos.
2. ABNT NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de baixa Tensão.
3. Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010 – Aneel.
4. Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica – Eletrobras/Procel e Ibam – 2002.

### 3. Ar-condicionado

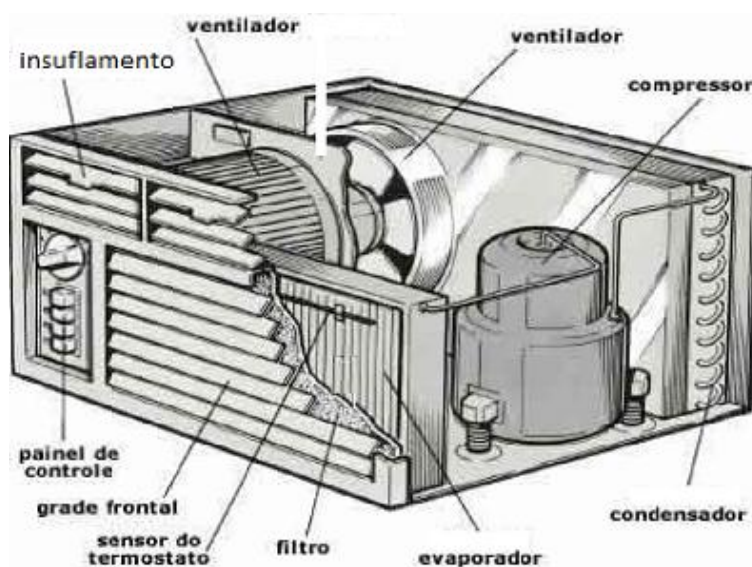
Este capítulo se destina a fornecer conceitos básicos ao gestor em relação a sistemas de ar-condicionado (AC), com respeito às tecnologias disponíveis no mercado local, tipologia dos equipamentos, suas aplicabilidades com respeito ao porte das instalações, principais componentes de um ciclo frigorífico por compressão, conceitos de eficiência dos equipamentos (performance), eficiências típicas, carga térmica de uma edificação e requisitos para seu cálculo (parâmetros de projeto, programas computacionais, etc.) e normas aplicáveis. Estes conceitos fornecerão ao gestor, **elementos básicos** para avaliar o **Diagnóstico Energético** e seus desdobramentos (economias, Projeto Básico, Projeto Executivo, etc.).

#### 3.1 Porte dos sistemas e sua aplicabilidade: pequeno/médio porte; grande porte

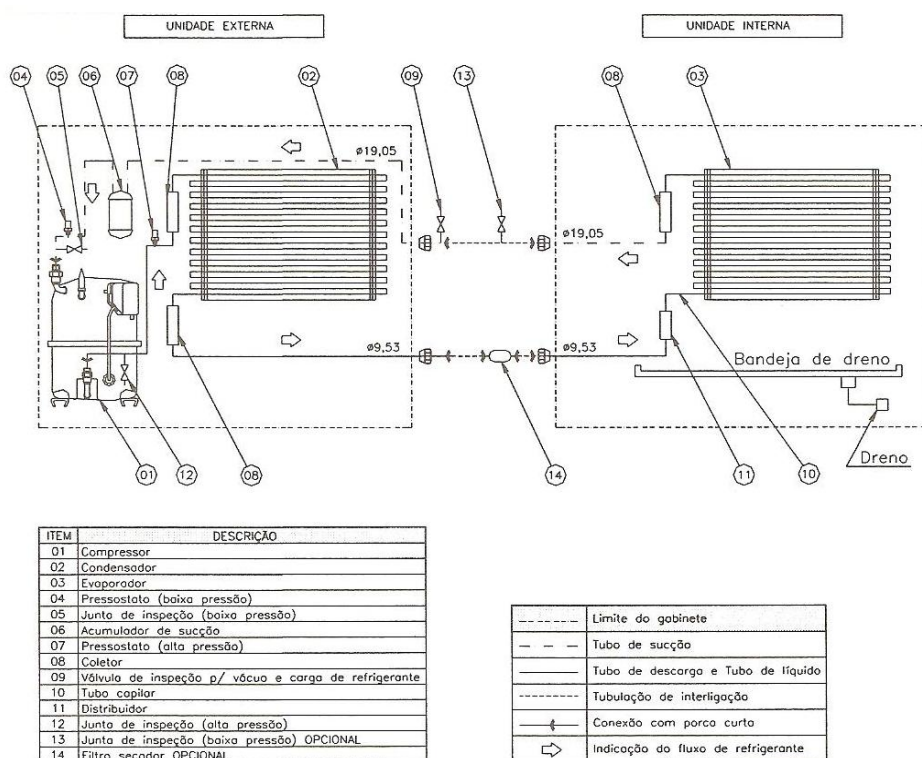
Uma forma de classificar a instalação de condicionamento de ar é quanto ao seu “porte”, ou seja, sua capacidade, que pode ser expressa em Toneladas de Refrigeração - TR (1 TR equivale a 12000 BTU/h).

##### 3.1.1 Instalação de pequeno/médio porte

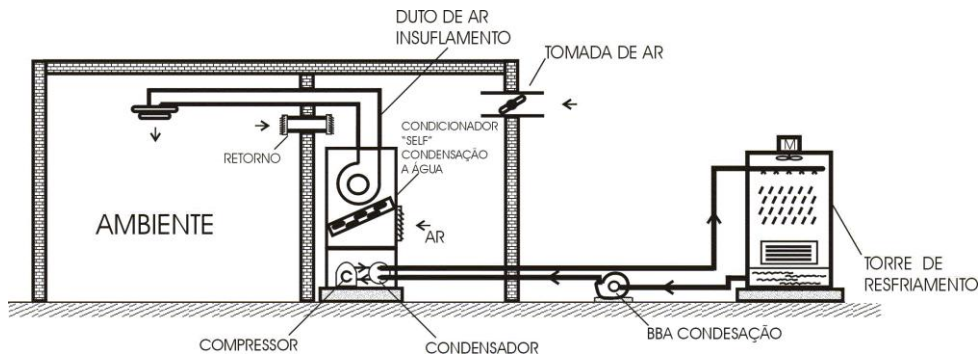
Instalações de até 100 TR são consideradas de pequeno ou médio porte. A instalação pode consistir no uso de um ou mais condicionadores unitários, tipo “janela”, conforme mostrado na figura 3.1, ou do tipo *split*, conforme mostrado na figura 3.2. Pode ainda consistir num sistema um pouco mais complexo, constituído de condicionadores tipo *self-contained* (compacto), podendo compor, ou não, rede de dutos para distribuição do ar e componentes conexos, conforme mostrado na figura 3.3.



**Figura 3.1** – Condicionador unitário tipo “janela”



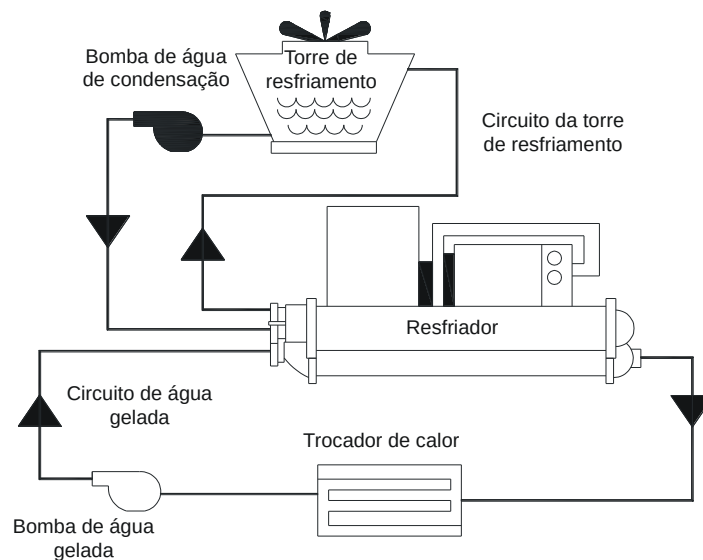
**Figura 3.2 – Condicionador tipo *split***



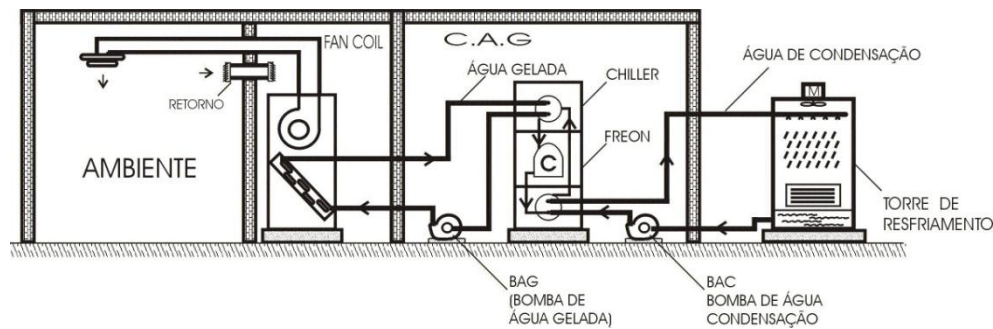
**Figura 3.3** – Instalação de condicionadores tipo *self-contained* (condensação a água)

### 3.1.2 Instalação de médio/grande porte

Instalações acima de 100 TR podem assumir diversas configurações, mas a título de ilustração, vamos apresentar os constituintes de um sistema típico de água gelada (expansão indireta), conforme mostrado nas figuras 3.4-A e 3.4-B.



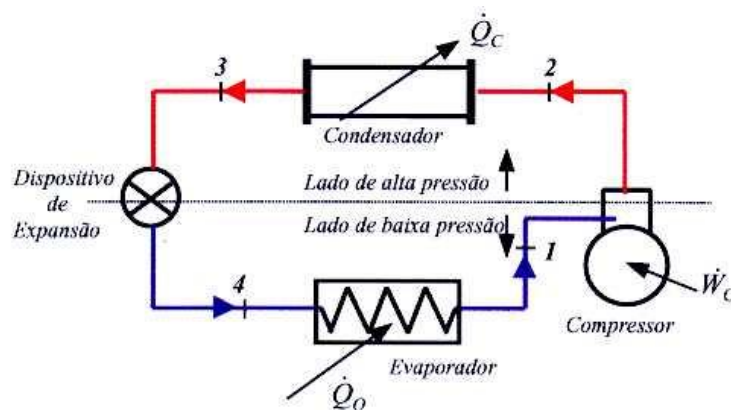
**Figura 3.4-A** – Sistema de “água gelada” (expansão indireta) – Equipamentos da Central de Água Gelada (CAG)



**Figura 3.4-B** – Sistema típico de Água Gelada (expansão indireta) e climatizador tipo *fan-coil*

### 3.2 Ciclo Frigorífico por Compressão

A evolução do fluido refrigerante, num ciclo fechado, e os principais componentes de um ciclo a compressão são mostrados na figura 3.5.



**Figura 3.5** – Ciclo frigorífico por compressão – Principais componentes

### 3.3 Parâmetros indicadores da eficiência de equipamentos de ar-condicionado: COP, EER, kW/TR

A eficiência dos equipamentos de ar-condicionado (AC), baseados nos ciclos por compressão, pode ser expressa de formas diversas dependendo da fonte dos dados (*internet*, literatura especializada, catálogos de fabricantes, normas técnicas). O indicador de eficiência relaciona o consumo de energia elétrica necessário para gerar o “frio” requerido (ou vice-versa). Esse indicador serve para orientar o projetista ou o consumidor quanto à forma econômica de seleção do equipamento.

### 3.3.1 Coeficiente de Performance (COP)

Este é um índice importante para avaliar o desempenho (eficiência) de um equipamento de climatização/refrigeração (*selfs, chillers*, etc.). Ele nos dá um valor que relaciona a capacidade de remoção de calor de um equipamento (potência útil ou Efeito Frigorífico) à potência requerida pelo compressor. Ele é adimensional e quanto maior o COP, melhor o rendimento do equipamento.

Observe-se que é um índice maior que um, sendo dado pela expressão 3.1:

$$COP = \frac{POTÊNCIA\ ÚTIL}{POTÊNCIA\ DEMANDADA} \quad (3.1)$$

### 3.3.2 Energy Efficiency Rating – EER (Relação de Eficiência Energética)

Esse é outro parâmetro usado para indicar a eficiência de uma máquina frigorífica, relacionando o Efeito Frigorífico (EF) produzido e o trabalho de compressão (w) realizado, sendo dado pela expressão 3.2:

$$EER = \frac{EF}{w} = \frac{BTU / h}{W} \quad (3.2)$$

### 3.3.3 Eficiência em kW/TR

Um forma bastante usual de indicar a eficiência de um equipamento frigorífico, principalmente de grande porte, é em kW/TR, sendo a TR (Tonelada de Refrigeração) equivalente a 12.000 BTU/h. Nesse caso, relaciona-se o trabalho de compressão (em kW), com o efeito frigorífico (em TR), sendo dado pela expressão 3.3.

$$kW / TR = \frac{w}{EF} = \frac{(kW)}{(TR)} \quad (3.3)$$

Existe uma correlação entre o indicador de eficiência EER e a eficiência expressa em kW/TR, conforme mostrado nas expressões 3.4 e 3.5:

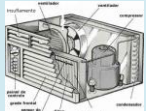
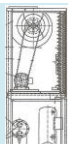
$$COP = \frac{3,53}{\frac{kW}{TR}} \quad (3.4)$$

$$kW / TR = \frac{12}{EER} \quad (3.5)$$



### 3.4 Indicadores de eficiência, aplicação, vantagens e desvantagens/limitações típicas (Tabela 3.1)

**Tabela 3.1** – Indicadores de eficiência, aplicação, vantagens e desvantagens/limitações típicas, por tipologia de equipamentos.

| EQUIPAMENTO                                                                                                                               | EFICIÊNCIA | COP*<br>(W/W)    | kW/TR*                                     | APLICAÇÃO (TAMANHO DA<br>INSTALAÇÃO) | VANTAGENS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | DESVANTAGENS/LIMITAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Condicionador de ar unitário tipo “janela” (CUJ)</p> |            | ≥2,82            | ≤1,25                                      | PEQUENA - MÉDIA                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>-menor custo inicial (investimento);</li> <li>-instalação simples;</li> <li>-manutenção: é requerida mão de obra menos especializada;</li> <li>- relativo controle sobre a temperatura de conforto (do ar) nas áreas cobertas;</li> <li>-aparelhos “eletrônicos” permitem ajuste mais preciso de temperatura;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-interfere na fachada do prédio;</li> <li>-requer ponto de drenagem para bandeja de condensado (externa);</li> <li>-pouco ou nenhum controle sobre vazão de ar de renovação (ventilação), podendo ter uso limitado a 36000 BTU/h para área delimitada - Ver Norma;</li> <li>- maior nível de ruído no ambiente;</li> <li>- aparelhos “mecânicos” não permitem ajuste preciso de temperatura;</li> </ul>                     |
|  <p>Condicionador de ar tipo <i>split</i></p>            |            | ≥3,2             | ≤1,10                                      | PEQUENA - MÉDIA                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>-menor custo inicial (investimento);</li> <li>-instalação simples;</li> <li>-manutenção: é requerida mão de obra menos especializada;</li> <li>- relativo controle sobre a temperatura de conforto (do ar) nas áreas cobertas;</li> <li>-funcionamento silencioso;</li> </ul>                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- interfere na fachada do prédio (unidade externa);</li> <li>- requer ponto de drenagem para bandeja de condensado (unidade interna);</li> <li>- pouco ou nenhum controle sobre vazão de ar de renovação (ventilação);</li> <li>- pode requerer caixa ventiladora auxiliar com filtragem. Ver Norma;</li> </ul>                                                                                                             |
|  <p>Condicionador de ar tipo <i>self @água/ar</i></p>   |            | 3,53<br><br>2,71 | 1,0 (Cond.-<br>água)<br>1,3 (Cond.-<br>ar) | PEQUENA - MÉDIA                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>-médio custo inicial (investimento);</li> <li>-manutenção: mão de obra medianamente especializada;</li> </ul>                                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>-instalação de média complexidade, podendo ser instalada no recinto (sem dutos) ou em sala de máquinas (com dutos para distribuição de ar, interferindo durante a obra);</li> <li>- requer tomada de ar de ventilação (renovação);</li> <li>- para condensação a água, requer torre de resfriamento (cobertura ou térreo), bomba, tubulações, etc.</li> <li>- para condensação a ar, requer tomar de ar externo;</li> </ul> |

| EQUIPAMENTO                                                                                                                        | EFICIÊNCIA/<br>COP*<br>(W/W) | kW/TR* | APLICAÇÃO (TAMANHO DA<br>INSTALAÇÃO) | VANTAGENS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | DESVANTAGENS/LIMITAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Unidade resfriadora<br/>(chiller) @água**</p> | 6,3                          | 0,56   | MÉDIA-GRANDE                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- maiores eficiências térmicas com maior economia no consumo energético;</li> <li>- manutenção: mão de obra bastante especializada, porém com baixa interferência no ambiente de trabalho (atuando na CAG e salas de máquinas dos pavimentos). Ver Fig. 6 e 9;</li> <li>- condições de conforto (térmico e acústico) podendo ser melhor controlada;</li> <li>- gestão energética e de parâmetros exequível por sistema computacional</li> </ul>                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>-altos custos de investimentos;</li> <li>-requer mão de obra altamente especializada;</li> <li>- sistemas associados complexos para distribuição de água e ar (Ver Figs. 6,7,8,9 e11);</li> <li>-instrumentação e controle relativamente complexa;</li> <li>- requer local para instalação da CAG e Salas de máquinas dos <i>fan coils</i>, nos pavimentos- Ver Figs. 6,7,8,9 e11;</li> <li>- a distribuição de água gelada requer “prumada” de tubulação e distribuição nos andares.</li> </ul> |
|  <p>Unidade resfriadora<br/>(chiller) @ar**</p>   | 3,4                          | 1,1    | MÉDIA-GRANDE                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- maiores eficiências térmicas com maior economia no consumo energético;</li> <li>- manutenção: mão de obra bastante especializada, porém com baixa interferência no ambiente de trabalho (atuando na CAG e salas de máquinas dos pavimentos)- Ver Fig. 6 e 9;</li> <li>- condições de conforto (térmico e acústico) podendo ser melhor controlada;</li> <li>- não requer torre de resfriamento e bombas de água de condensação;</li> <li>- gestão energética e de parâmetros exequível por sistema computacional</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-altos custos de investimentos;</li> <li>-requer mão de obra altamente especializada;</li> <li>- sistemas associados complexos para distribuição de água e ar ( Ver Fig. 4B);</li> <li>-instrumentação e controle relativamente complexos;</li> <li>- requer local para instalação da CAG e Salas de máquinas dos <i>fan coils</i>, nos pavimentos- Ver Fig.6 e 9;</li> <li>- a distribuição de água gelada requer “prumada” de tubulação e distribuição nos andares;</li> </ul>                 |

\* Bom lembrar que o índice COP, quanto maior mais eficiente o equipamento e, ao contrário, o índice kW/TR quanto menor mais eficiente é o equipamento.

Os valores de eficiência listados são apenas indicativos (COP e kW/TR). Para projetos, consultar valores do PBE ( Procel/INMETRO) e catálogos de fabricantes.

\*\*Cabe ressaltar que os valores de “eficiência” dos *chillers* não podem ser comparados de forma absoluta às instalações com ACJ’s, “Splits”, “selfs”, pois as instalações dotadas daqueles, teriam que contabilizar as potências (específicas, isto é, por TR) dos demais componentes do sistema, ou seja: bombas de água gelada e de condensação, torres de resfriamento e climatizadores (*fan coils*).

### 3.5 Parâmetros estabelecidos pelo Procel/Inmetro

O Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE do Procel/Inmetro (<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>) abrange equipamentos de climatização de pequeno porte. A classificação Procel/Inmetro, sumarizada nas tabelas 3.2a, 3.2b, 3.2c e 3.2d, deverá ser tomada como referência de eficiência energética (W/W). Serão, preferencialmente, especificados equipamentos Classe A.

**Tabela 3.2a – Coeficiente de eficiência energética - COP**

| CONDICIONADOR DE AR JANELA |                                                           |    |       |        |                |       |        |    |                 | Data atualização: |    |       |                             | 17/04/2013  |  |  |  |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------|----|-------|--------|----------------|-------|--------|----|-----------------|-------------------|----|-------|-----------------------------|-------------|--|--|--|
| Classes                    | Coeficiente de eficiência energética (W/W) <sup>(1)</sup> |    |       |        |                |       |        |    |                 |                   |    |       | Total de modelos por classe |             |  |  |  |
|                            | Categoria 1                                               |    |       |        | Categoria 2    |       |        |    | Categoria 3     |                   |    |       |                             | Categoria 4 |  |  |  |
|                            | ≤9.495 kJ/h                                               |    |       |        | 9.496 a 14.769 |       |        |    | 14.770 a 21.099 |                   |    |       |                             | ≥ 21.100    |  |  |  |
|                            | ≤9.000 BTU/h                                              |    |       |        | 9.001 a 13.999 |       |        |    | 14.000 a 19.999 |                   |    |       |                             | ≥ 20.000    |  |  |  |
| A                          | ≥ 2,91                                                    | 52 | 64,2% | ≥ 3,02 | 38             | 56,7% | ≥ 2,87 | 12 | 46,2%           | ≥ 2,82            | 9  | 34,6% | 111                         |             |  |  |  |
| B                          | ≥ 2,68                                                    | 18 | 22,2% | ≥ 2,78 | 20             | 29,9% | ≥ 2,70 | 7  | 26,9%           | ≥ 2,62            | 11 | 42,3% | 56                          |             |  |  |  |
| C                          | ≥ 2,47                                                    | 11 | 13,6% | ≥ 2,56 | 9              | 13,4% | ≥ 2,54 | 2  | 7,7%            | ≥ 2,44            | 1  | 3,8%  | 23                          |             |  |  |  |
| D                          | ≥ 2,27                                                    | 0  | 0,0%  | ≥ 2,35 | 0              | 0,0%  | ≥ 2,39 | 4  | 15,4%           | ≥ 2,27            | 0  | 0,0%  | 4                           |             |  |  |  |
| E                          | ≥ 2,08                                                    | 0  | 0,0%  | ≥ 2,16 | 0              | 0,0%  | ≥ 2,24 | 1  | 3,8%            | ≥ 2,11            | 5  | 19,2% | 6                           |             |  |  |  |

\*COP

**Tabela 3.2b – Coeficiente de eficiência energética - COP**

| CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL |                                            |            |               |       | Data atualização: 28/02/2013 |       |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|------------|---------------|-------|------------------------------|-------|
| Classes                             | Coeficiente de eficiência energética (W/W) |            | Split Hi-Wall |       |                              |       |
|                                     |                                            |            | Rotação Fixa  |       | Rotação Variável             |       |
| A                                   | 3,20                                       | <CEE       | 289           | 27,6% | 189                          | 87,9% |
| B                                   | 3,00                                       | <CEE≤ 3,20 | 212           | 20,2% | 17                           | 7,9%  |
| C                                   | 2,80                                       | <CEE≤ 3,00 | 335           | 32,0% | 9                            | 4,2%  |
| D                                   | 2,60                                       | <CEE≤ 2,80 | 181           | 17,3% | 0                            | 0,0%  |
| E                                   | 2,39                                       | ≤CEE≤ 2,60 | 31            | 3,0%  | 0                            | 0,0%  |

**Tabela 3.2c – Coeficiente de eficiência energética - COP**

| CONDICIONADORES DE AR SPLIT PISO-TETO |                                            |            |                 |       | Data atualização: 26/02/2013 |       |  |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|------------|-----------------|-------|------------------------------|-------|--|
| Classes                               | Coeficiente de eficiência energética (W/W) |            | Split Piso-Teto |       |                              |       |  |
|                                       |                                            |            | Rotação Fixa    |       | Rotação Variável             |       |  |
| A                                     | 3,20                                       | <CEE       | 24              | 6,6%  | 4                            | 40,0% |  |
| B                                     | 3,00                                       | <CEE≤ 3,20 | 38              | 10,4% | 6                            | 60,0% |  |
| C                                     | 2,80                                       | <CEE≤ 3,00 | 124             | 34,0% | 0                            | 0,0%  |  |
| D                                     | 2,60                                       | <CEE≤ 2,80 | 103             | 28,2% | 0                            | 0,0%  |  |
| E                                     | 2,39                                       | ≤CEE≤ 2,60 | 76              | 20,8% | 0                            | 0,0%  |  |

**Tabela 3.2d – Coeficiente de eficiência energética - COP**

| CONDICIONADORES DE AR SPLIT CASSETE |                                            |        |      | Data atualização: 14/03/2013 |       |                  |       |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|--------|------|------------------------------|-------|------------------|-------|
| Classes                             | Coeficiente de eficiência energética (W/W) |        |      | Split Cassete                |       |                  |       |
|                                     |                                            |        |      | Rotação Fixa                 |       | Rotação Variável |       |
| <b>A</b>                            | 3,20                                       | <CEE   |      | 3                            | 1,6%  | 8                | 57,1% |
| <b>B</b>                            | 3,00                                       | <CEE ≤ | 3,20 | 5                            | 2,7%  | 5                | 35,7% |
| <b>C</b>                            | 2,80                                       | <CEE ≤ | 3,00 | 70                           | 38,0% | 0                | 0,0%  |
| <b>D</b>                            | 2,60                                       | <CEE ≤ | 2,80 | 50                           | 27,2% | 1                | 7,1%  |
| <b>E</b>                            | 2,39                                       | ≤CEE ≤ | 2,60 | 56                           | 30,4% | 0                | 0,0%  |

### 3.6 Tipologia de Sistemas de ar condicionado – distribuição de água e ar – equipamentos – arranjos

Esse parágrafo dá ao gestor conhecimentos básicos sobre alguns arranjos possíveis na instalação de ar-condicionado, no que diz respeito aos seus equipamentos e formas de transporte dos fluidos envolvidos na remoção do calor (água, ar e refrigerantes em geral).

Uma maneira de classificar os sistemas de ar-condicionado é quanto à troca de calor com o ar ambiente de forma direta ou indireta, o transporte de fluidos portadores do calor/frio e arranjos dos principais equipamentos na instalação.

Uma classificação possível:

- ✎ expansão direta ;
- ✎ expansão indireta;
- ✎ “tudo água”;
- ✎ “ar água”;
- ✎ “tudo ar”.

#### 3.6.1 Sistema de expansão direta

É assim classificado quando o ar do recinto que deve ser resfriado troca calor diretamente com um fluido refrigerante (freon, por exemplo). Em geral, são mais aplicados em instalações de capacidades pequenas e médias (ver item 3.4).

Geralmente são utilizados:

- ✎ Aparelhos de “janela” (Fig. 3.1);
- ✎ *Splits* (Fig. 3.2);
- ✎ *Selfs* (compactos - Fig. 3.3).

#### 3.6.2 Sistema de expansão indireta

É assim classificado, quando o ar (do recinto) que deve ser resfriado troca calor com a água, que por sua vez irá trocar calor com um fluido refrigerante, de

forma indireta. Estes sistemas são comumente chamados de “sistemas de água gelada” e são utilizados, em geral, em instalações de capacidade média a grande.

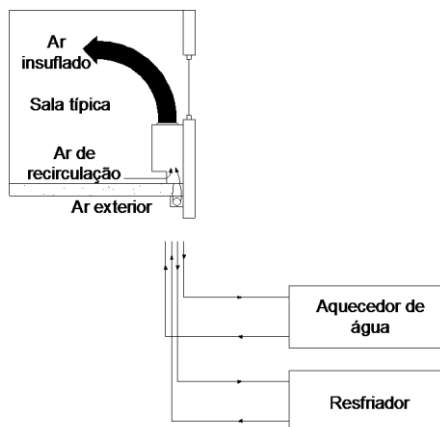
A água é resfriada num equipamento comumente chamado de *chiller*, dotado de um circuito de refrigeração (ver Fig. 3.4-A e 3.4-B e itens 3.2 e 3.4).

Os sistemas que utilizam a chamada “expansão indireta” podem por sua vez ser, também, reagrupados da seguinte forma:

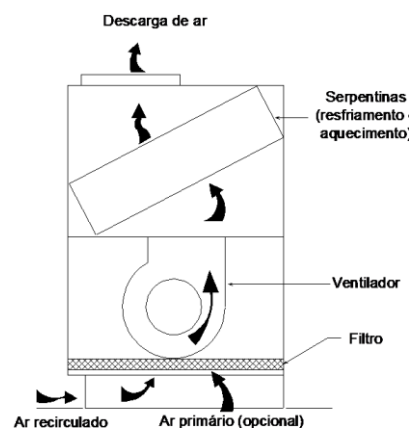
- ✎ “tudo água”;
- ✎ “ar- água”;
- ✎ “tudo ar”.

O sistema de expansão indireta é chamado “tudo-água”, quando a água gelada (ou quente) é levada para cada recinto (Figura 3.6), onde passa nos condicionadores de ar, sendo o ar lançado direto no recinto (sem rede de dutos). Estes condicionadores são chamados *fan-coils* e estão representados na figura 3.7.

**Aplicação:** prédios de salas onde a passagem de dutos é muito dificultada, de custo muito elevado ou grande número de recintos individuais. Como exemplo pode-se citar: hotéis, hospitais, escritórios com salas individualizadas, prédios de profissionais autônomos (clínicas, consultórios, etc.);



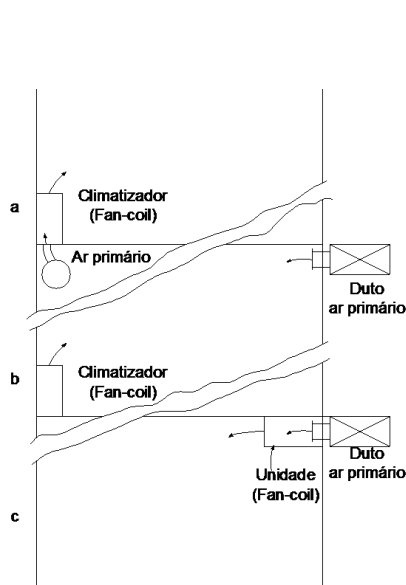
**Figura 3.6 – Distribuição “água- ar”**



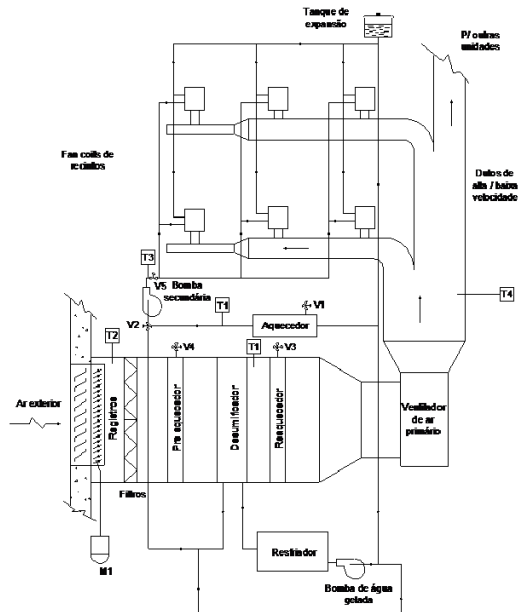
**Figura 3.7 – Fan-coil**

O sistema de expansão indireta é chamado “ar-água”, quando é distribuída tanto a água gelada quanto o ar primário requerido (de renovação) para os condicionadores dos recintos, conforme apresentado nas figuras 3.8 e 3.9.

**Aplicação:** Prédios com grande número de salas, sendo algumas “internas” (longe da fachada do prédio). Como exemplo pode-se citar: escritórios coletivos (grandes áreas) que requeiram ar de ventilação (renovação).



**Figura 3.8 – Distribuição de ar**



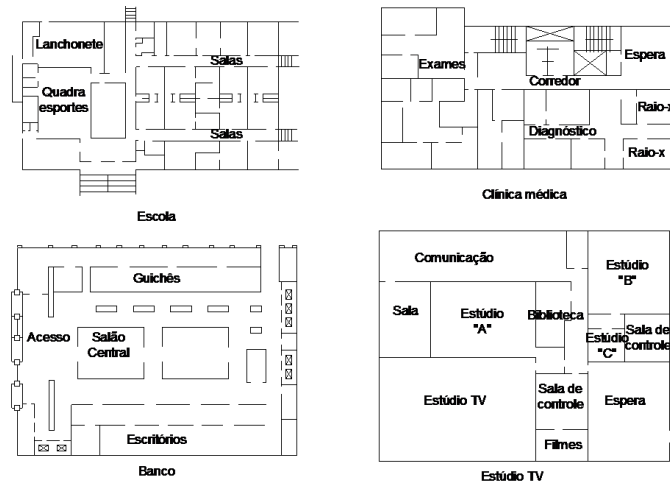
**Figura 3.9 – Distribuição de água e ar primário**

O sistema de expansão indireta é chamado “tudo ar”, quando o ar é o meio direto de remoção de calor dos recintos, sendo distribuído diretamente para estes ambientes. Climatizadores “centrais” (por pavimento) distribuem o ar através de redes de dutos ao longo de todo um andar. O volume de ar fornecido pode ser constante ou variável. No primeiro caso, a temperatura do recinto vai ser controlada através da regulação da vazão de água gelada nos *fan-coils*. No segundo caso, o controle se faz através variação da vazão do ar insuflado, e é denominado “volume de ar variável” (VAV).

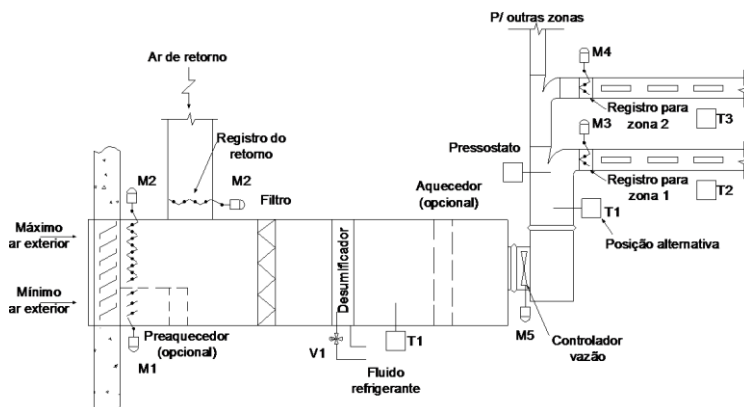
#### **Aplicações típicas:**

- ✦ Sistema de vazão constante: escritórios com ambientes com cargas bastante homogêneas e numa mesma fachada (mesma condição de insolação);
- ✦ Sistema de vazão variável (VAV): edificações com ambientes com cargas bastante heterogêneas (ambientes com diferentes aplicações), climatizadores que atendem fachadas distintas simultaneamente (diferentes condições de insolação), etc. Como exemplo, pode-se citar:

escolas, clínicas médicas, bancos, estúdios de TV e escritórios que podem estar situados em ambiente individualizado, ou em fachadas diversas, sendo atendidos por um mesmo *fan-coil*, conforme pode apresentado nas figuras 3.10 e 3.11.



**Figura 3.10 – Instalações típicas para aplicar “VAV”**



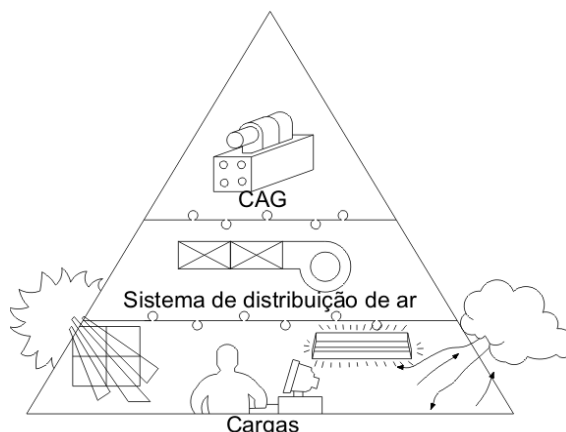
**Figura 3.11 – Controle de vazão por “zona”-“VAV”**

### 3.7 Noções de carga térmica de uma edificação com vistas ao diagnóstico energético, projeto básico e executivo e atingimento às exigências de normas

Neste item são apresentadas informações que permitem que o gestor compreenda os elementos do projeto de ar-condicionado e fenômenos térmicos que influem no cálculo das cargas térmicas que vão influenciar no dimensionamento dos sistemas e equipamentos de climatização da edificação. Estes conhecimentos são desejáveis tanto na fase de diagnóstico energético, quanto nos projetos básico e executivo.

Na Figura 3.12 são apresentadas, de forma esquemática, algumas cargas térmicas que incidem sobre um ambiente e que vão influenciar em suas condições termo-

higrométricas, isto é, em alterações de temperatura e umidade. Algumas destas cargas são de origem externa e outras internas, isto quanto à sua geração.



**Figura 3.12** – Esquema de cargas térmicas internas e externas

A seguir, são mostrados alguns exemplos das situações ilustradas na Figura 3.12.

#### **Cargas externas:**

- ✦ A radiação solar direta que penetra através das janelas e que irá incidir sobre piso e paredes, irradiando em seguida, e aquecendo o ambiente;
- ✦ Ganhos por condução das paredes externas, ou seja, devido ao diferencial de temperatura exterior e interior (ambas de projeto, fixadas por Norma);
- ✦ Infiltração de ar externo, através frestas na construção (aberturas, frestas em esquadrias de janelas, etc.);
- ✦ Ar de ventilação, isto é, aquela fração de ar introduzida no sistema visando à renovação do ar;

#### **Cargas internas:**

- ✦ Transmissão de calor entre áreas internas à edificação e adjacentes, com diferenciais de temperaturas (paredes internas, pisos, tetos, etc.);
- ✦ Pessoas - calor dissipado por pessoas, em função da “queima metabólica”, que é proporcional à intensidade da atividade desenvolvida (trabalho sentado, em movimento, atividades muito intensas, etc.);
- ✦ Iluminação e equipamentos - lâmpadas, reatores, equipamentos que dissipem calor, etc.;
- ✦ Perdas por dutos - dutos não isolados ou mal isolados e que passam em áreas não condicionadas, gerando um diferencial de temperatura.

De posse de plantas da edificação, o projetista deverá fazer um levantamento detalhado das seguintes condições de projeto:

- ✦ Temperaturas (interna e externa) de projeto fixadas por norma para a zona bioclimática;



- ✎ orientação geográfica das fachadas (N, S, L, O, etc.);
- ✎ condições operacionais da instalação (horários, número de pessoas, intensidade do trabalho);
- ✎ arranjo físico de pessoas em seus postos de trabalho (*layout*);
- ✎ distribuição, arranjo, potências e quantitativo de luminárias, equipamentos de escritório e outros equipamentos que dissipem calor ;
- ✎ especificação dos materiais construtivos da edificação (paredes, lajes, vidros, tipos e materiais de esquadrias, elementos de sombreamento, portas externas, etc.).

A escolha do tipo de sistema (tipologia do sistema) que será adotado poderá ser feita *a priori*, antes do cálculo da carga térmica, uma vez que no cálculo computacional o grupamento de vários recintos poderá ser feito visando o dimensionamento das unidades climatizadoras.

De posse dos elementos citados acima, e com a utilização de programa computacional adequado, o projetista irá efetuar o cálculo da carga térmica de cada recinto (ou grupos de recintos) e da edificação como um todo. Após esses cálculos, ele estará apto a fazer a seleção dos equipamentos responsáveis pela climatização dos ambientes.

É importante atentar para o fato de que o programa computacional escolhido deverá ser um programa de uso corrente, compatível com a metodologia desenvolvida pela *Association of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* – ASHRAE, ou de nível equivalente, utilizado por profissionais devidamente qualificados e capazes de não só realizar os cálculos, mas interpretar resultados e fazer correções quando necessário.

Do referido cálculo poderemos obter, dentre outros resultados:

- ✎ Cargas térmicas máximas e horárias (ao longo do ano), de cada ambiente, grupos destes ou toda a edificação;
- ✎ capacidades térmicas dos equipamentos requeridos por ambientes ou grupos destes;
- ✎ vazões de ar insuflado e de renovação por equipamento (ambiente);
- ✎ consumos energéticos (kW·h) de climatizadores de determinada tipologia e eficiência, grupos destes, equipamentos associados ou toda a instalação; diferenciais e comparativos de consumos para diferentes tecnologias, arranjos e eficiências;
- ✎ despesas com energia elétrica no sistema de climatização.

### **3.8 Normas a serem atendidas em um projeto de sistemas de AC**

ABNT NBR 16401-1 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários  
- Parte 1: Projeto das Instalações;

ABNT NBR 16401-2 - Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários - Parte 2-Parâmetros de conforto térmico;

ABNT NBR 16401-3 - Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários- Parte 3-Qualidade do ar interior

### 3.9 Referências

1. ABNT NBR 16401-1 - Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projeto das Instalações;
2. ABNT NBR 16401-2 - Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários - Parte 2 - Parâmetros de conforto térmico;
3. ABNT NBR 16401-3 - Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários - Parte 3 - Qualidade do ar interior
4. [Manual Prático PROCEL - Manual de Ar-Condicionado - Procel- Eletrobrás - 2011](#)
5. [Eficiência Energética – Teoria e Prática - Eletrobrás- Procel - Unifei - FUPA - 2007](#)
6. [Guia Técnico Procel - Gestão Energética - Eletrobrás- Procel – EFFICIENTIA - FUPAI - 2005](#)
7. [Metodologia de Realização de Diagnóstico Energético - Eletrobrás – Procel - 2004](#)
8. [Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial – Eletrobrás - 2005](#)
9. [Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial – Manual Prático - Eletrobrás Procel](#)

## **4. Iluminação**

Neste capítulo serão apresentados conceitos básicos e dados, necessários, para compreensão e avaliação, em termos de eficiência energética, da qualidade do serviço de iluminação e dos equipamentos usualmente utilizados nos novos projetos luminotécnicos e nos projetos de revitalização de sistemas de iluminação ineficientes.

A partir do conteúdo apresentado, espera-se que o gestor tenha elementos para avaliar a qualidade ou adequação do projeto luminotécnico básico e respectivo projeto executivo, tendo como referências os manuais técnicos de equipamentos luminotécnicos, as normas técnicas de iluminação vigentes e as especificações descritas no diagnóstico energético elaborado para a instalação.

### **4.1 Conceitos Básicos de Projetos Luminotécnicos**

#### **4.1.1 Iluminação Natural**

O uso da luz natural em edificações usadas principalmente de dia pode, pela substituição ou combinação da luz artificial, contribuir de forma significativa para a redução do consumo de energia elétrica, a melhoria do conforto visual e o bem-estar dos ocupantes. Aberturas, em geral, proporcionam aos ocupantes de uma edificação o contato visual com o mundo exterior, permitindo também o relaxamento do sistema visual pela mudança das distâncias focais. A presença da luz natural pode garantir uma sensação de bem-estar e um relacionamento com o ambiente maior no qual estamos inseridos.

Os projetos de Iluminação Natural devem estar em conformidade com as Normas NBR 15215-1, NBR 15215-2, NBR 15215-3, NBR 15215-4: 2005.

#### **4.1.2 Iluminação Artificial**

O primeiro objetivo da iluminação é a obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente. Este objetivo está intimamente associado às atividades laborativas e produtivas (escritórios, escolas, bibliotecas, bancos, indústrias, etc.). Para este objetivo, os Sistemas de Iluminação podem ser classificados quanto à forma como as luminárias são distribuídas no ambiente e quanto à forma pela qual o fluxo luminoso é distribuído pela luminária, ou seja, de acordo com a quantidade do fluxo luminoso emitido para cima e para baixo do plano horizontal da luminária ou lâmpada.

O segundo objetivo da iluminação é a utilização da luz como principal instrumento de ambientação do espaço - na criação de efeitos especiais com a própria luz - ou no destaque de objetos e superfícies ou do próprio espaço. Este objetivo está intimamente associado às atividades não laborativas e não produtivas (restaurantes, museus e galerias, residências, etc.). Para este

objetivo, os Sistemas de Iluminação podem ser classificados quanto à forma de luz de ambientação adequada ao espaço e podem operar, secundariamente, com os Sistemas de Iluminação associados às atividades laborativas e produtivas.

Maiores detalhes acerca de sistemas de iluminação artificial podem ser vistos no informativo [Características de Sistemas de Iluminação Artificial](#) (Cepel\Cate, 2013).

Os projetos de Iluminação Artificial devem estar em conformidade com a Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 - Iluminação de Ambientes de Trabalho – Parte 1: Interior; 2013.

## **4.2 Especificações técnicas de equipamentos e tecnologias utilizadas em sistemas de iluminação**

### **4.2.1 Lâmpadas**

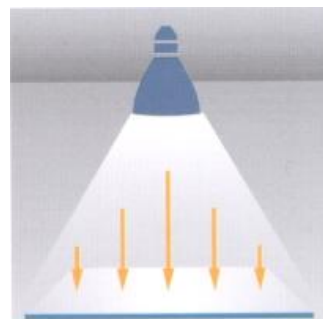
#### **a. Fluxo Luminoso**

O conceito de fluxo luminoso é de grande importância para os estudos de iluminação. Ele representa uma potência luminosa emitida ou observada, ou ainda, representa a energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções, sob a forma de luz. Sua unidade é o lúmen (lm).



#### **b. Iluminância**

Por definição pode-se dizer que iluminância é o fluxo luminoso (lúmen) incidente numa superfície por unidade de área ( $m^2$ ). Sua unidade é o lux. Um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de 1 metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen.



### c. Temperatura de Cor ou Temperatura de Cor Correlata (T<sub>cp</sub>)

É a grandeza que expressa à aparência de cor da luz, sendo sua unidade o kelvin (K). Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a luz. A “luz quente” é a que tem aparência amarelada e temperatura de cor baixa: 3000 K ou menos. A “luz fria”, ao contrário, tem

aparência azul-violeta, com temperatura de cor elevada: 6000 K ou mais. A “luz branca natural” é aquela emitida pelo sol em céu aberto ao meio-dia, cuja temperatura de cor é 5800 K.

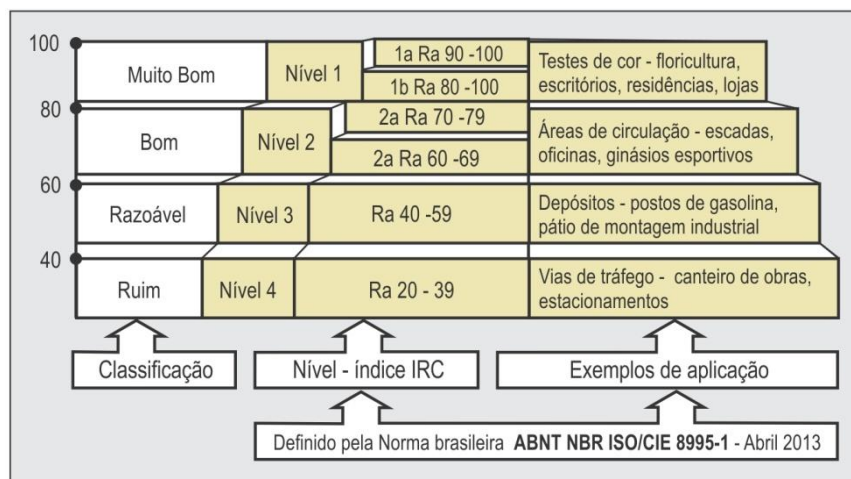


### d. Índice de Reprodução de Cor (Ra<sup>4</sup>)

É a medida da correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência diante uma determinada fonte de luz. A luz artificial, como regra, deve permitir ao olho humano perceber as cores corretamente ou o mais próximo possível da luz natural do dia (luz do sol). Lâmpadas com índice de 100% apresentam as cores com total fidelidade e precisão. Quanto mais baixo o índice, mais deficiente é a reprodução de cores. Os índices variam conforme a natureza da luz e são indicados de acordo com o uso de cada ambiente. É importante lembrar que o índice de reprodução de cor não pode ser confundido com Temperatura de Cor ou Temperatura de Cor Correlata (TCC), pois a capacidade das lâmpadas de reproduzirem bem as cores (Ra) independe de sua temperatura de cor (K). Existem tipos de lâmpadas com temperaturas de cor diferentes e o mesmo Ra.

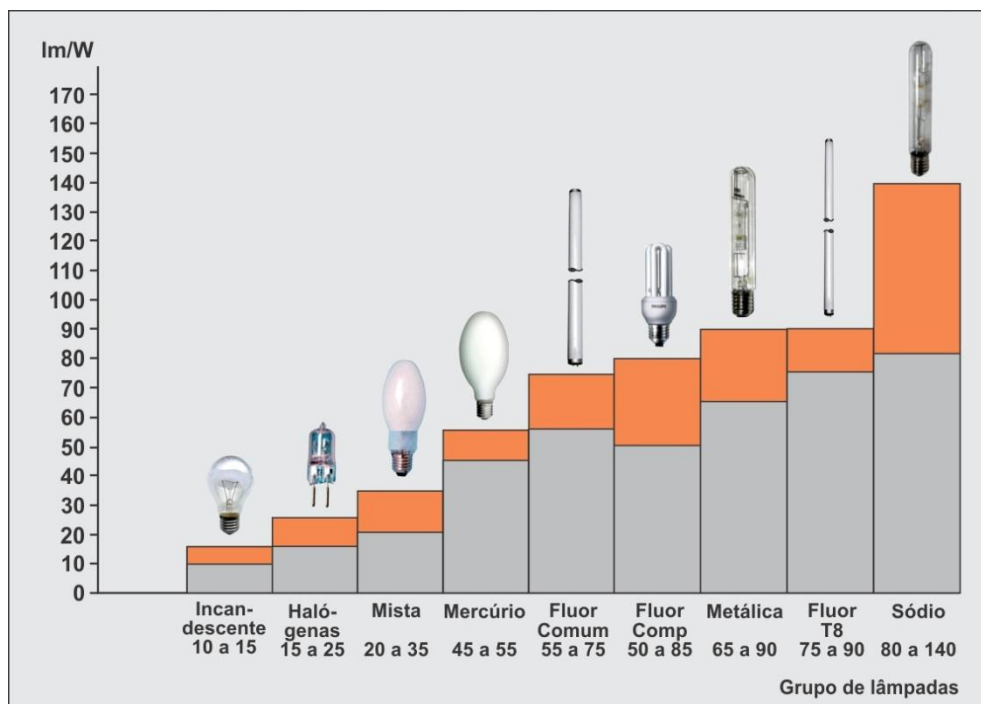
---

<sup>4</sup> O índice de reprodução de cor geral (Ra) de uma lâmpada é obtido através da média aritmética do índice de reprodução de cor das oito primeiras amostras de cores, conforme determinado pela Commission Internationale de l’Eclairage – CIE 013.3-1995 - Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources ([http://www.cie.co.at/index.php/Publications/index.php?i\\_ca\\_id=303](http://www.cie.co.at/index.php/Publications/index.php?i_ca_id=303)) e varia de 0 a 100.



### e. Eficiência Luminosa

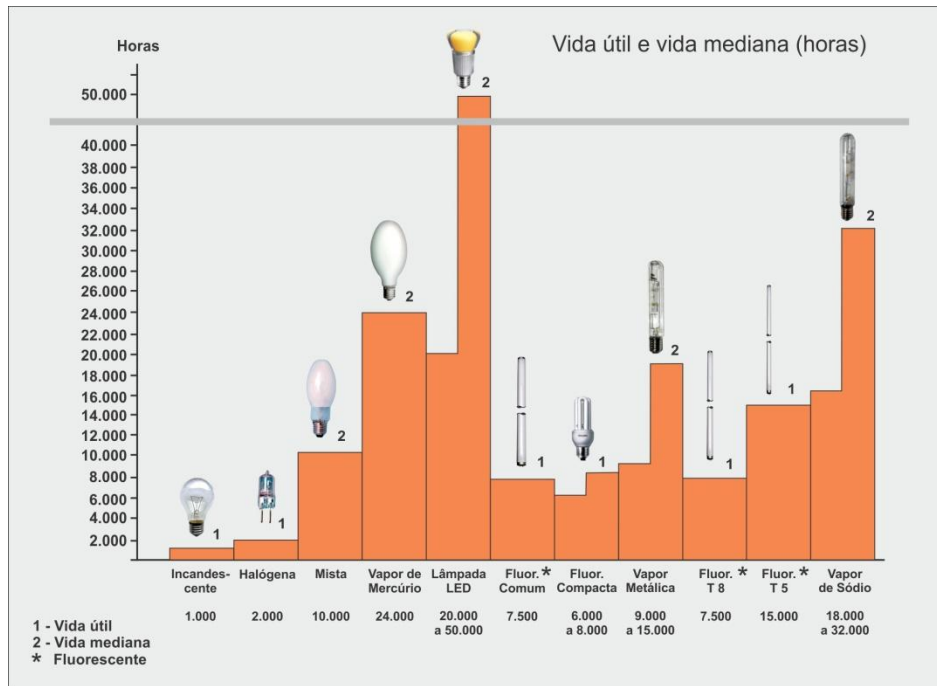
Podemos dizer que eficiência luminosa de uma fonte de luz é o quociente entre o fluxo luminoso emitido em lúmens, pela potência consumida em Watts. Em outras palavras, esta grandeza retrata a quantidade de “luz” que uma fonte luminosa pode produzir a partir da potência elétrica de 1 Watt. Quanto maior o valor da eficiência luminosa de uma determinada lâmpada, maior será a quantidade de luz produzida com o mesmo consumo. No conjunto das lâmpadas comercialmente disponíveis no mercado nacional, pode-se classificá-las de acordo com a sua eficiência luminosa.



#### f. Vida Útil e Vida Mediana

**Vida Útil:** Número de horas decorrido quando se atinge 30 % de redução na quantidade de luz inicial, no conjunto de lâmpadas ensaiadas.

**Vida Mediana:** Número de horas decorrido quando ainda 50 % das lâmpadas ensaiadas permanecem acesas.



#### g. Lâmpadas Ineficientes

##### ⚡ Lâmpadas Incandescentes



Incandescente Comum



Halógena Compacta



Halógena Palito



Halógena Ditróica



Halógena Par

Este grupo é composto pelas lâmpadas incandescentes comuns e pelas lâmpadas incandescentes halógenas, que se distinguem das anteriores por operarem em conjunto com um gás halogênio (por ex.: iodo, cloro e bromo).



Através desta composição, as moléculas do filamento de tungstênio, que se desprendem com o uso, são regeneradas e, com isto, possibilita-se uma redução da área do bulbo da lâmpada, uma maior vida útil e uma maior eficiência luminosa, respectivamente às mesmas características da incandescente comum. As lâmpadas halógenas podem ser configuradas como halógena compacta, halógena Palito, Dicroica (halógena compacta com refletor dicroico) e Par (halógena compacta com refletor parabólico). O funcionamento dessas lâmpadas incandescentes ocorre pela passagem de corrente elétrica por um fio (filamento da lâmpada), com alta resistência elétrica, produzindo luz e calor, com eficiência Luminosa de 10 a 25 lm/W.

#### ✈ Lâmpadas Fluorescentes



Fluorescente Tubular - T12  
20 W – 40 W



Fluorescente Tubular  
Circular T9  
22 W – 32 W



Fluorescente Tubular - T10  
20 W – 40 W

Estas lâmpadas são a clássica forma para uma iluminação econômica. A descarga elétrica em seu interior emite quase que totalmente radiação ultravioleta (invisível ao olho humano), gerada pelo vapor de mercúrio, que, por sua vez será convertida em luz visível pelo pó fluorescente que reveste a superfície interna do bulbo. É da composição deste pó fluorescente que resultam o Índice de Reprodução de Cor (Ra), a Eficiência Luminosa e as diversas tonalidades da luz emitida ou Temperatura de Cor Correlata (Tcp). Sua eficiência Luminosa é de 55 a 75 lm/W.

Quanto ao diâmetro, que é expresso em oitavas de polegadas, as versões tradicionais das lâmpadas fluorescentes tubulares são produzidas em T12 (Tubular com diâmetro de doze oitavas de polegadas, ou 38 mm) e T10 (33 mm), ambas ineficientes.

#### ✈ Lâmpadas de Vapor de Mercúrio



Lâmpada de Vapor de Mercúrio  
80 W - 125 W - 250 W - 400 W

Nas lâmpadas de vapor de mercúrio a luz é produzida pela combinação de excitação e fluorescência. A descarga de mercúrio no tubo de arco produz uma energia visível na região do azul e do ultravioleta. O fósforo, que reveste o bulbo, converte o ultravioleta em luz visível na região do vermelho. O resultado é uma luz de razoável Índice de Reprodução de Cor (Ra) (40-59) e eficiência luminosa de 45 a 55 lm/W.

#### ✈ Lâmpadas de Luz Mista



Lâmpada de Luz Mista  
160 W - 250 W

As lâmpadas de luz mista, como o próprio nome já diz, são uma combinação de uma lâmpada vapor de mercúrio com uma lâmpada incandescente, ou seja, um tubo de descarga de mercúrio ligado em série com um filamento incandescente. O filamento controla a corrente no tubo de arco e ao mesmo tempo contribui com a produção de 20 % do total do fluxo luminoso produzido. A combinação da radiação do mercúrio com a radiação do fósforo e a radiação do filamento incandescente, produz uma agradável luz branca, com eficiência Luminosa de 20 a 35 lm/W.

#### h. Lâmpadas Eficientes



O Selo Procel<sup>5</sup> 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 conta de energia elétrica. Também estimula a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes. Para equipamentos de sistemas de iluminação, fazem parte da etiquetagem do Selo Procel, as lâmpadas fluorescentes compactas, as lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão, os reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes tubulares e os reatores eletromagnéticos para lâmpadas de vapor de sódio. Os níveis de eficiência energética dos equipamentos que fazem parte da etiquetagem do Selo Procel podem ser obtidos no sítio do Procel, no tópico “Equipamentos com selo” (<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?view=%7bB70B5A3C-19EF-499D-B7BC-D6FF3BAB>)

<sup>5</sup> Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

## ⚡ Lâmpadas Fluorescentes Compactas



Compactas integradas



Compacta Não Integrada

As Lâmpadas Fluorescentes Compactas são classificadas em dois grupos distintos, para ambos os grupos, são apresentados apenas alguns exemplos acima, dentre as suas várias configurações existentes no mercado; as três primeiras figuras, a saber: lâmpada *Twister*, *Universal* e *Bullet*, são ditas fluorescentes compactas com reator integrado, as três últimas: *Biax* (2 pinos), *Double Biax* (4 pinos) e *Triple Biax* (4 pinos) são ditas fluorescentes compactas não integradas. As lâmpadas fluorescentes compactas com reator integrado são ideais para a substituição das lâmpadas incandescentes, pela sua praticidade, uma vez que, o equipamento auxiliar (reator), já vem incorporado na lâmpada, o que permite a troca e o manuseio da lâmpada de maneira fácil e segura. Já as lâmpadas fluorescentes compactas não integradas são recomendadas para áreas comerciais, onde a iluminação fica ligada por períodos longos. A vantagem em relação às integradas é que, assim que a lâmpada necessitar ser trocada, apenas é substituído a lâmpada. O reator permanece em operação por longo tempo, o que torna o sistema mais econômico. A eficiência luminosa está na faixa de 50 a 85 lm/W.

### ✈ Família de Lâmpadas Fluorescentes Tubulares



Fluorescente Tubular - T8  
16 W - 32 W



Fluorescente Tubular - T5  
14 W - 28 W



Fluorescente Tubular  
Circular - T5  
22 W - 28 W - 55 W

A grande revolução das lâmpadas fluorescentes ao longo dos anos é decorrente das melhorias das composições do pó fluorescente e a consequente redução do diâmetro da lâmpada. Nas versões mais eficientes e modernas, com pó fluorescente trifósforo, são produzidas lâmpadas fluorescentes de diâmetros com tecnologia T8 (26 mm), T5 (16 mm) e T2 (<7 mm). Para as tecnologias T8 (com potências de 16 W e 32 W) e T5 (com potências de 14 W e 28 W), além das lâmpadas no formato tubular padrão, são produzidas lâmpadas fluorescentes tubulares no formato circular, com potências de 22 W, 28 W, 55 W, dentre outras. A eficiência luminosa está na faixa de 70 a 125 lm/W.

### ✈ Lâmpadas de Multivapor Metálico



V.M. Ovoide



V.M. Duplo Contato



V.M. Refletora (PAR)



V.M. Tubular

A lâmpada vapor metálico, além de ter uma excelente reprodução de cores, é atualmente a fonte de luz branca de maior eficiência disponível no mercado, para locais onde exija demanda de alto fluxo luminoso. A luz é produzida pela excitação de átomos de aditivos metálicos em um tubo de arco de quartzo. Devido à excelente qualidade de luz produzida pelas lâmpadas de vapores metálicos, novos modelos de baixa potência foram desenvolvidos para utilização em interiores. Atualmente as lâmpadas vapor metálico estão disponíveis nos formatos: Ovoide, Duplo Contato, Refletora e Tubular. A eficiência luminosa está na faixa de 75 a 90 lm/W.

### ✈ Lâmpadas de Vapor de Sódio em Alta Pressão



V.S. Elipsoidal



V.S. Tubular

A lâmpada vapor de sódio em alta pressão é a mais eficiente do grupo de lâmpadas de alta intensidade de descarga. A luz é produzida pela excitação de átomos de sódio aliados a um complexo processo de absorção e reirradiação em diferentes comprimentos de onda. Este tipo de lâmpada apresenta-se nas versões elipsoidais e tubulares e é indicada para iluminação de locais onde a reprodução de cor não é um fator importante. Amplamente utilizada na iluminação externa, em avenidas, estradas, viadutos, complexos viários etc., tem seu uso ampliado para áreas industriais, siderúrgicas e ainda para locais específicos como aeroportos, estaleiros, portos, ferrovias, pátios e estacionamentos. Sua eficiência luminosa é de 80 a 140 lm/W.

### ✈ Lâmpadas Led



Lâmpada Led comum:

- Substitui lâmpada incandescente;



Lâmpadas Led spot:

- Substitui lâmpada halógena dicróica;



Lâmpadas Led par:

- Substitui lâmpada halógena par;



Lâmpadas Led tubular:

- Substitui lâmpada fluorescente tubular T12;



#### Refletores de Led:

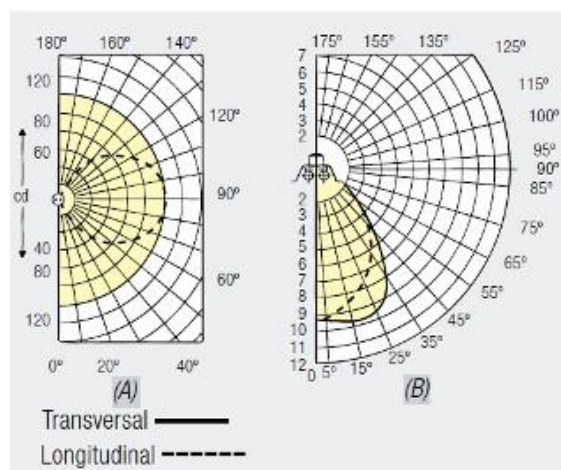
- Substitui lâmpadas Incandescente, mista e fluorescente tubular na iluminação de áreas externas.

Led é a sigla em inglês para Light Emitting Diode, (Diodos Emissores de Luz). O Led é um semicondutor emissor de luz que utiliza a mesma tecnologia empregada nos *chips* de computadores. Esse processo de emissão de luz pela aplicação de uma fonte elétrica de energia é chamado eletroluminescência. Sua eficiência luminosa é de 45 a 75 lm/W.

### 4.2.2 Luminárias

Curva de Distribuição Luminosa (CDL): É a representação da Intensidade Luminosa da fonte de luz em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano. A distribuição espacial da intensidade luminosa de uma lâmpada refletora ou de uma luminária é definida como a distribuição luminosa na superfície. Conhecida como curva de distribuição luminosa é apresentada em coordenadas polares (cd/1000 lm) para diferentes planos. São estas curvas que indicam se a lâmpada ou luminária têm uma distribuição de luz concentrada, difusa, simétrica, assimétrica, etc.. Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm. Nesse caso, é necessário multiplicar o valor encontrado na CDL pelo fluxo luminoso da lâmpada em questão e dividir o resultado por 1000 lm.

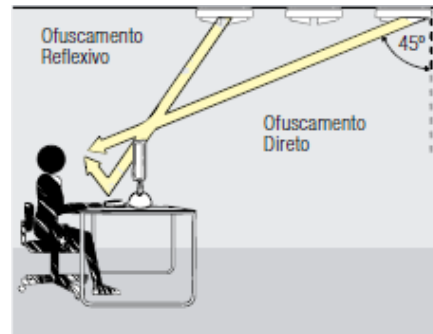
Curva de Distribuição de Intensidades Luminosas (CDL) no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a uma luminária(B).



**Eficiência Luminosa da Luminária:** Geralmente a lâmpada é instalada dentro de uma luminária, portanto o fluxo luminoso final apresentado é menor do que o irradiado pela lâmpada, devido à absorção, à reflexão e à transmissão da luz pelos materiais utilizados em sua confecção. O fluxo luminoso emitido é avaliado através do rendimento da luminária. Isto é, o fluxo luminoso da luminária em serviço dividido pelo fluxo luminoso da(s) lâmpada(s).

**Fator de Utilização da Luminária (Fu):** É o percentual do fluxo luminoso emitido pela luminária e que efetivamente incide no plano de trabalho.

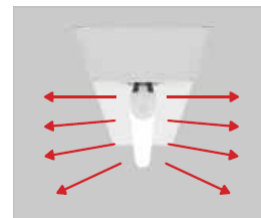
**Ofuscamento<sup>6</sup>:** É o efeito de uma luz intensa no campo de visão do olho humano. Pode provocar sensação de desconforto e prejudicar o desempenho das atividades realizadas no local. Duas formas de ofuscamento podem gerar incômodos:



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

#### a. Luminárias Ineficientes

Sem refletor, o fecho luminoso difunde, não convergindo para o plano de trabalho.

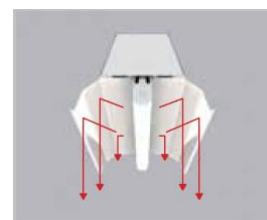


Com refletor em chapa pintada, o material absorve a poeira e impurezas existentes no ambiente, reduzindo sua capacidade reflexiva e seu rendimento com o passar do tempo.



#### b. Luminárias Eficientes

Com refletor em alumínio anodizado, de alta pureza, o fecho luminoso concentra-se convergindo para o plano de trabalho, melhorando a eficiência luminosa do serviço de iluminação no ambiente, a propriedade reflexiva do material é preservada, e com o passar do tempo o rendimento não sofre perdas significativas.



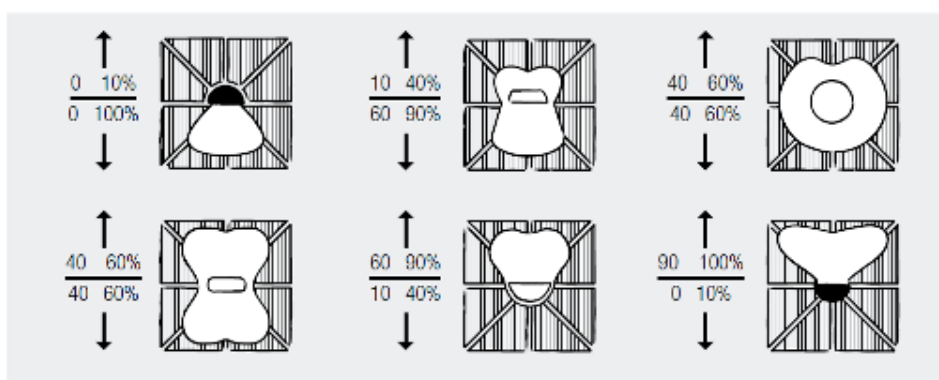
<sup>6</sup> Os valores do Índice limite de desconforto por ofuscamento (UGRL) estão descritos na Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 - Iluminação de Ambientes de Trabalho – Parte 1: Interior; 2013.

A opção pelo uso desta tecnologia aumenta a eficiência energética do sistema de iluminação.

As luminárias eficientes se diferenciam das luminárias ineficientes por possuírem refletores em alumínio de alta pureza, alta refletância e maior Fator de Utilização. Sua classificação é dada por:

- ✦ Tecnologia da lâmpada utilizada: T8, T5, Led;
- ✦ Quantidade de lâmpadas que comporta: Geralmente 1, 2 ou 4 lâmpadas;
- ✦ Potência da lâmpada: Depende da tecnologia da lâmpada utilizada;
- ✦ Proteção ou não contra ofuscamento direto: Com aletas\Sem Aletas;
- ✦ Modo de sua fixação no teto: Embutir, Sobrepor ou Pendente;

Para o grupo das luminárias pendentes, existe uma subclassificação segundo a radiação do fluxo luminoso pela luminária, como mostra a figura a seguir;



- ✦ Grau de proteção proporcionado contra a entrada de corpos estranhos, poeira e umidade:

**Observação:** A designação é feita pelas letras “IP” seguidas de dois algarismos, indicando sua conformidade com as condições mencionadas na tabela abaixo. O primeiro algarismo indica a proteção contra a entrada de corpos estranhos e poeira. O segundo algarismo indica o grau de vedação contra água.



| Proteção contra poeira |                                                    | Proteção contra umidade |                                                                  |
|------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Primeiro algarismo     | Grau de proteção                                   | Segundo algarismo       | Grau de proteção                                                 |
| 0                      | Sem proteção                                       | 0                       | Sem proteção                                                     |
| 1                      | Proteção contra objetos sólidos maiores que 50 mm  | 1                       | Proteção contra gotejamento d'água                               |
| 2                      | Proteção contra objetos sólidos maiores que 12 mm  | 2                       | Proteção contra gotejamento d'água quando inclinada acima de 15° |
| 3                      | Proteção contra objetos sólidos maiores que 2,5 mm | 3                       | Proteção contra água pulverizada                                 |
| 4                      | Proteção contra objetos sólidos maiores que 1,0 mm | 4                       | Proteção contra água borrifada                                   |
| 5                      | Proteção contra poeira                             | 5                       | Proteção contra jatos d'água                                     |
| 6                      | Hermética                                          | 6                       | Proteção contra jatos d'água em alta pressão                     |
|                        |                                                    | 7                       | Proteção contra efeitos de imersão                               |
|                        |                                                    | 8                       | Proteção contra imersão                                          |

A seguir serão apresentados alguns exemplos de luminárias para tecnologias T8, T5 e Led. Para todos os exemplos da tecnologia T8, apresentados, estão disponíveis no mercado luminárias similares para a tecnologia T5 (para lâmpadas de 28 W e 14 W).

Luminárias para Tecnologia T8: 32 W ou 16 W; para embutir; com aletas



Para 1 ou 2 Lâmpadas de 32 W



Para 4 Lâmpadas de 16 W

Luminárias para Tecnologia T8; 32 W ou 16 W; para sobrepor; com aletas



Para 1 ou 2 Lâmpadas de 32 W



Para 4 Lâmpadas de 16 W

Luminárias para Tecnologia T8: 32 W ou 16 W; para embutir; sem aletas



Para 1 ou 2 Lâmpadas de 32 W



Para 4 Lâmpadas de 16 W

Luminárias para Tecnologia T8: 32 W ou 16 W; para sobrepor; sem aletas



Para 1 ou 2 Lâmpadas de 32 W



Para 4 Lâmpadas de 16 W

Luminárias para Tecnologia T5: 28 W ou 14 W; pendente; com aletas



Para 4 Lâmpadas de 14 W



Para 2 Lâmpadas de 28 W

Luminária hermética para Tecnologia T8; IP-65; com aletas

**Para embutir**



**Para sobrepor**



Para 1 ou 2 Lâmpadas de 32 W

Para 4 Lâmpadas de 16 W

Luminária hermética para Tecnologia T8; IP-65; sem aletas

**Para embutir**



**Para sobrepor**



Para 1 ou 2 Lâmpadas de 32 W

Para 4 Lâmpadas de 16 W

Luminárias Led – Substituem luminárias ineficientes para tecnologia T12; sem controle de ofuscamento; 4 lâmpadas de 20 W



Luminária para sobrepor



Luminária para embutir

Luminárias Led – substituem luminárias ineficientes para tecnologia T12; com controle de ofuscamento; para embutir



Substitui luminária  
para 2 Lâmpadas de 20 W



Substitui luminária  
para 2 Lâmpadas de 40 W



Substitui luminária  
para 4 Lâmpadas de 20 W

#### 4.2.3 Reatores

Reatores são equipamentos auxiliares para o acendimento das lâmpadas de descarga. Servem para limitar a corrente e adequar as tensões para o perfeito funcionamento das lâmpadas. Os tipos de reatores encontrados no mercado são: eletromagnéticos e eletrônicos.

A correta aplicação dos reatores garante um melhor desempenho para projetos elétricos e luminotécnicos, contribuindo diretamente para a manutenção do fluxo luminoso e a vida útil da lâmpada.

**Fator de Potência (FP):** Indica o grau de defasagem entre a tensão e a corrente proporcionada pelo reator no circuito. Esse valor é fornecido pelo fabricante do reator e consta em catálogos e na etiqueta do produto.

**Distorção Harmônica Total (THD):** Trata-se de correntes alternadas que causam poluição ou interferência na rede, geradas por equipamentos eletrônicos de alta frequência.

A referência adotada pela norma internacional IEC é que os reatores eletrônicos com filtro possuam THD < 32 %. Pode-se encontrar no mercado reatores com baixo THD, na faixa de 10 % a 15%.

**Fator de Fluxo Luminoso (FFL) ou Fator de Reator (FR):** Este fator determina qual será o fluxo luminoso emitido pela lâmpada. Por exemplo, se uma lâmpada fluorescente de 32 W com fluxo luminoso de 2700 lúmens for utilizada com um reator eletrônico cujo fator de fluxo seja 1,10, o fluxo emitido será 2970 lúmens. Se a mesma lâmpada for utilizada com um reator que apresente fator de fluxo 0,90, seu fluxo será de 2430 lúmens. É bom lembrar que quanto maior for o fluxo luminoso do reator maior será a potência consumida pelo mesmo.

**Perdas do Reator:** São as perdas existentes nos reatores. Essas perdas são informadas pelo fabricante e devem ser somadas à potência consumida pelas lâmpadas para calcular o consumo em Watts do conjunto (lâmpada + reator).

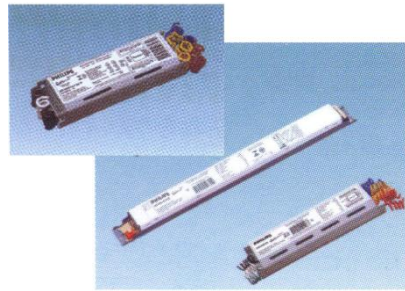
**a. Reator eletromagnético:**

São aqueles constituídos por um núcleo laminado de aço silício e bobinas de fio de cobre esmaltado. São impregnados com resina de poliéster, tendo um grande poder de isolamento e dissipação térmica. Opera na frequência da rede (60 Hz).



#### **b. Reator eletrônico:**

São aqueles constituídos por capacitores e indutores para alta frequência, resistores, circuitos integrados e outros componentes eletrônicos. Operam em alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz), essa faixa de operação proporciona maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, transformando assim os reatores eletrônicos em produtos economizadores de energia e com maior eficiência que os reatores eletromagnéticos.



#### **4.2.4 Controle Digital de Sistemas de Iluminação<sup>7</sup> – Sistemas Dali - *Digital Addressable Lighting Interface***

Um grande potencial para Eficiência Energética é a utilização de sensores de luz e presença Dali em conjunto com uma interface inteligente para gerenciamento de equipamentos de iluminação. Estes possibilitam que a luz natural disponível no ambiente seja complementada pela luz artificial proveniente das luminárias equipadas com reatores eletrônicos com ajuste de nível de iluminação (*dimmer*) Dali, além de permitir o acionamento da iluminação apenas quando haja pessoas no ambiente.

Os sensores de luz Dali detectam o nível de iluminação, considerando a luz artificial e a natural. Assim, os grupos de luminárias podem ser controlados de acordo com sua posição no ambiente e a quantidade de luz disponível, permitindo que um nível de iluminação predefinido (de 500 lux, por exemplo) seja mantido. Os usuários ainda podem ajustar a iluminação a qualquer momento para um nível que satisfaça suas necessidades específicas.

Até agora, oito partes da Norma IEC – 62386 foram desenvolvidas de modo a se obter um padrão que leva em consideração as diferentes características das fontes de luz, como lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de descarga de alta pressão, lâmpadas halógenas de baixa tensão e Led. Esta Norma também contempla o controle da iluminação de emergência, bem como a cor e o controle de fontes de luz Led (por exemplo para controle do sistema de iluminação de fachadas e monumentos), dentre outros.

Uma sub-rede Dali é tipicamente composta de 64 dispositivos de iluminação endereçáveis. Cada sub-rede Dali pode ser programada para ter 16 grupos de iluminação, definidos livremente, com 16 cenas (ou estados de operação) por dispositivo. Os reatores eletrônicos Dali podem ser controlados com um

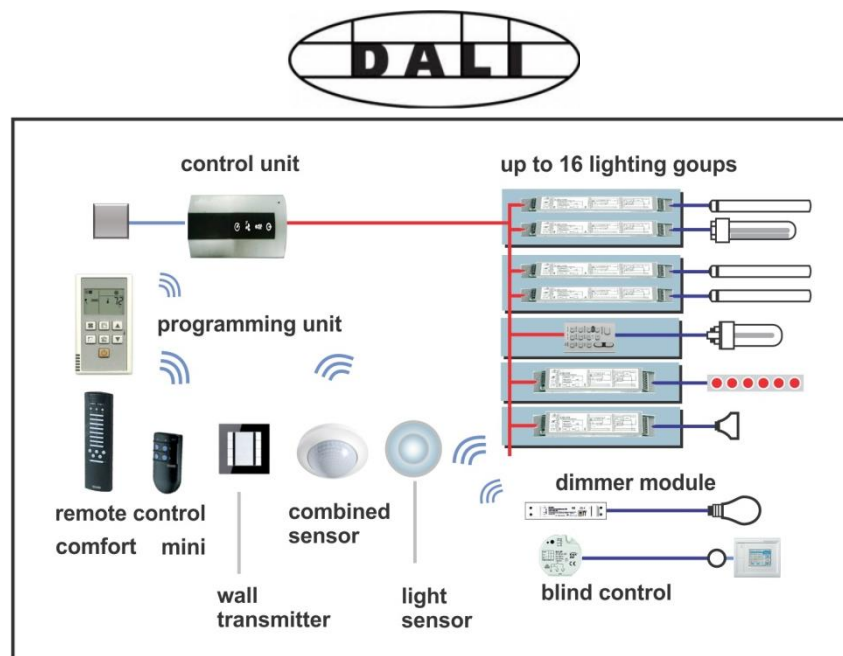
---

<sup>7</sup> O controle digital de sistemas de iluminação é baseado no padrão internacional descrito na norma IEC 62386, que define os requisitos técnicos que são a base para a [Interface de Iluminação Endereçável Digital \(DALI\)](#).

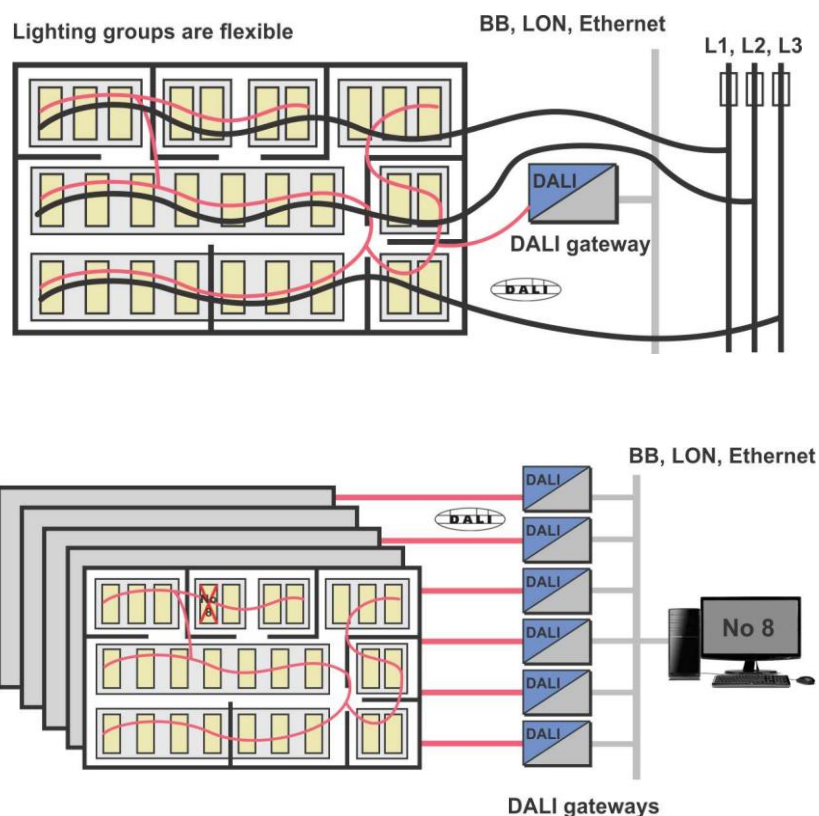
elevado grau de flexibilidade através de um sinal em 2 fios, individualmente ou em grupos e a iluminação é ligada e o seu nível de iluminação é ajustado, através do sinal de controle

Todas as alterações desejadas para os grupos e para as cenas são totalmente digitais, de forma que as instalações físicas permanecem inalteradas. Em instalações mais avançadas, dispositivos Dali também podem ser consultados para fornecer informações como o estado de potência da lâmpada e seu tempo de uso.

Uma sub-rede com 64 dispositivos Dali endereçáveis é, na prática, suficiente para soluções da iluminação de ambientes isolados, por exemplo: auditório, sala de reunião e pequeno grupo de salas de escritórios. No entanto, em instalações maiores, pode haver uma necessidade de integração de centenas ou mesmo milhares de dispositivos Dali. Nesse caso, diversos fabricantes oferecem os chamados *Dali gateways* que pode integrar várias sub-redes Dali.



Alguns exemplos de *Dali gateways* incluem: Ethernet (TCP / IP), BACNET, EIB / KNX e LON *gateways*. Este conjunto de redes oferece uma estrutura, para o sistema central de monitoração da edificação, que permite integrar, por exemplo, controles de ar condicionado e iluminação.



### 4.3 Projeto luminotécnico

O [Manual de Iluminação – Procel\EPP –AGOSTO 2011](#), na página 31, apresenta de uma forma simplificada, um exemplo de projeto luminotécnico.

### 4.4 Normas Técnicas Brasileiras para projetos luminotécnicos

**ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação de Ambientes de Trabalho\ Parte 1: Interior; Abril 2013:** Nesta Norma foi levado em consideração não somente a iluminância, tal como na Norma ABNT NBR 5413 - Iluminância de Interiores, mas também o limite de desconforto por ofuscamento ( $UGR_L$ ) e o índice de reprodução de cor ( $R_a$ ) mínimo da fonte para especificar os vários locais de trabalho e tipos de tarefas. Os valores recomendados foram considerados, a fim de representar um balanço razoável, respeitando os requisitos de segurança, saúde e um desempenho eficiente do trabalho. Os valores podem ser atingidos com a utilização de soluções energeticamente eficientes.

A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 2013 cancela e substitui a ABNT NBR 5413 - Iluminância de Interiores: 1992 e a ABNT NBR 5382 - Verificação de Iluminância de Interiores:1985, ela é uma adoção idêntica, em conteúdo técnico, estrutura e redação, à ISO/CIE 8995-1:2002 e Cor 1:2005, que foi elaborada conjuntamente pelo CIE-TC 3-21 e ISO/TC 159, *Technical Committee Ergonomics, Subcommittee SC 5, Ergonomics of Physical Environment*, conforme ISO/IEC Guide 21-1:2005.



A Norma ABNT NBR – ISO/CIE – 8995-1 é utilizada para o planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades da iluminação, limitação de ofuscamento e qualidade da cor.

NORMA  
BRASILEIRA

ABNT NBR  
ISO/CIE  
8995-1

Primeira edição  
21.03.2013

Válida a partir de  
21.04.2013

## Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior

*Lighting of work places  
Part 1: Indoor*

### Requisitos para o planejamento da iluminação

Os requisitos de iluminação recomendados para diversos ambientes e atividades estão estabelecidos nas tabelas desta seção da seguinte maneira:

Coluna 1: Lista de ambientes (áreas), tarefas ou atividades

A coluna 1 lista aqueles ambientes, tarefas ou atividades para os quais os requisitos específicos são dados. Se um ambiente em particular, tarefa ou atividade não estiverem listados, convém que sejam adotados os valores dados para uma situação similar.

Coluna 2: Iluminância mantida ( $E_m$ , lux)

A coluna 2 estabelece a iluminância mantida na superfície de referência para um ambiente, tarefa ou atividade estabelecidos na coluna 1 (ver 4.3).

Coluna 3: Índice limite de ofuscamento unificado ( $UGR_L$ )

A coluna 3 estabelece o  $UGR$  limite aplicável para a situação listada na coluna 1, (ver 4.4).

Coluna 4: Índice de reprodução de cor mínimo ( $R_a$ )

A coluna 4 estabelece o índice de reprodução de cor mínimo para a situação listada na coluna 1 (ver 4.6.2).

Coluna 5: Observações

Recomendações e notas de rodapé são dadas para as exceções e aplicações especiais referentes às situações listadas na coluna 1.

Para aplicações VDT, ver 4.10.



| Tipo de ambiente, tarefa ou atividades                                      | $\bar{E}_m$<br>lux | $UGR_L$ | $R_a$ | Observações                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Áreas</b>                                                             |                    |         |       |                                                                                             |
|                                                                             | 100                | 22      | 60    |                                                                                             |
|                                                                             | 200                | 22      | 80    |                                                                                             |
| Áreas de circulação e corredores                                            |                    |         |       | Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de transição, a fim de evitar mudanças bruscas. |
| Escadas, escadas rolantes e esteiras rolantes                               |                    |         |       |                                                                                             |
| Rampas de carregamento                                                      |                    |         |       |                                                                                             |
| Refeitório / Cantinas                                                       |                    |         |       |                                                                                             |
| Salas de descanso                                                           |                    |         |       |                                                                                             |
| Salas para exercícios físicos                                               |                    |         |       |                                                                                             |
| Vestiários, banheiros, toaletes                                             |                    |         |       |                                                                                             |
|                                                                             | 500                | 19      | 80    |                                                                                             |
|                                                                             | 500                | 16      | 90    | $T_{cp}$ no mínimo 4.000 K.                                                                 |
| Estufas, sala dos disjuntores                                               |                    |         |       |                                                                                             |
| Correios, quadros de distribuição                                           |                    |         |       |                                                                                             |
|                                                                             | 100                | 25      | 60    |                                                                                             |
|                                                                             | 300                | 25      | 60    |                                                                                             |
|                                                                             | 150                | 22      | 60    | 200 lux se forem continuamente ocupadas                                                     |
| <b>2. Edificações na agricultura</b>                                        |                    |         |       |                                                                                             |
| Carregamento e operação de mercadorias, equipamentos de manuseio e máquinas |                    |         |       |                                                                                             |
| Estábulo                                                                    |                    |         |       |                                                                                             |

**ABNT NBR 10898 – iluminação de Emergência: Abril 2013:** Esta Norma fixa as características mínimas exigíveis para as funções a que se destina o sistema de iluminação de emergência a ser instalado em edificações, ou em outras áreas fechadas sem iluminação natural.

**ABNT NBR 15215 - Iluminação Natural – 2005:** Essa norma subdivide-se em quatro partes, a saber:

- ✦ ABNT NBR 15215-1: Conceitos Básicos e Definições.
- ✦ ABNT NBR 15215-2: Procedimentos de Cálculo Para Estimativa da Disponibilidade de Luz Natural.
- ✦ ABNT NBR 15215-3: Procedimentos de Cálculo Para a Determinação da Luz Natural em Ambientes Internos.
- ✦ ABNT NBR 15215-4: Verificação. Experimental das Condições de Iluminação Interna de Edificações.

## **4.5 Economia nos sistemas de iluminação**

Equipamentos eficientes de iluminação com controles consomem menos energia e requerem um menor orçamento anual para seu funcionamento, mas os seus custos de implantação são normalmente mais elevados. O projeto de iluminação eficiente também pode fazer uso de lâmpadas com vida útil mais longa, acarretando uma menor frequência de suas substituições, resultando na redução do custo de manutenção.

Como correlacionar todos os custos e benefícios (alguns benefícios ocorrerão no futuro) e comparar um com o outro? A economia de energia, a redução de suas correspondentes despesas e os menores custos de manutenção dos equipamentos de iluminação compensam o investimento extra com equipamentos e controles eficientes de iluminação?

Este tópico sobre economia em sistemas de iluminação mostra como estimar a economia de energia que pode ser obtida como resultado da implantação de sistemas de iluminação eficientes e como calcular os benefícios resultantes das reduções no orçamento anual com a sua implantação. Também mostra como considerar diferentes esquemas de manutenção ou de substituição de lâmpadas. Em seguida, apresenta várias medidas de desempenho econômico que considera todos os custos envolvidos de forma a habilitar o gestor para comparar as alternativas.

### **4.5.1 Estimativa de custos de energia**

Uma tarefa essencial para avaliar se a implantação de um sistema de iluminação eficiente compensa seu custo adicional é a de estimar o consumo anual de energia em projetos alternativos. Estimativas mais sofisticadas considerarão também a economia de energia, consequente, no sistema de ar condicionado e outros benefícios indiretos.

O horário de funcionamento pode ser razoavelmente estimado através de entrevistas com os responsáveis pela manutenção ou com os usuários. Histórico de medição de consumo pode ser também útil para este respeito, especialmente, se o sistema iluminação é submedido. Instrumentações específicas podem ser utilizadas para estimativas mais precisas da energia consumida pelos sistemas de iluminação existentes.

### **4.5.2 Potência Instalada de Iluminação**

Na avaliação de um sistema de iluminação existente, a potência instalada de iluminação pode ser determinada através de uma auditoria (percorrendo o edifício, contando as luminárias por tipo, e determinando a sua potência consumida).

A potência instalada do sistema de iluminação é determinada pela soma de todas as potências instaladas de cada luminária no edifício. O valor da potência instalada da luminária é único para determinada combinação lâmpada-reator e é influenciada pelo tipo de lâmpada e tipo de reator (eletrônico ou eletromagnético).

#### **4.5.3 Horário de Funcionamento**

O total de horas de uso do sistema de iluminação de edifícios existentes pode ser estimado através de entrevistas com os responsáveis pela manutenção ou usuários, por projeções a partir das medições de curto prazo, ou por meio de uma análise do histórico de contas de consumo de energia elétrica. Modernas técnicas de monitoramento e verificação melhoraram dramaticamente a capacidade de estimar o total de horas de operação para o sistema de iluminação.

#### **4.5.4 Controles de Iluminação Automática**

Os benefícios dos controles automáticos de iluminação tais como sensores de presença, controles de iluminação natural, calibradores automáticos de nível iluminamento e, temporizadores podem ser aproximados pela realização de um ajuste da potência instalada do sistema de iluminação no edifício. Quando for o caso, esses ajustes devem ser feitos na avaliação das alternativas de projeto, especialmente quando as alternativas têm controles automáticos.

#### **4.5.5 Energia Consumida**

Para os sistemas de iluminação, a energia consumida é simplesmente a potência de iluminação instalada multiplicada pelas horas anuais de operação.

#### **4.5.6 Ajustes para o Consumo de Energia no Sistema de Ar Condicionado**

Os sistemas de iluminação adicionam calor aos edifícios que devem ser removidos pelo sistema de ar condicionado. Portanto, os sistemas de iluminação eficientes têm o benefício adicional de reduzir a carga térmica do sistema de ar condicionado. Dependendo da eficiência do equipamento do sistema de ar, do tipo de construção, e do clima, a redução de energia nos sistemas de iluminação dos ambientes fornece para o sistema de ar condicionado, uma economia adicional equivalente de 10 a 30 % desta economia de energia.

#### **4.5.7 Tarifas para Fornecimento de Energia Elétrica**

Para alguns tipos de tarifas para fornecimento de energia elétrica, a estimativa do custo anual com energia elétrica é uma simples tarefa de multiplicação do consumo anual estimado de energia (kW·h) pelo custo por kW·h de eletricidade. A maioria das tarifas para fornecimento de energia elétrica para edifícios comerciais são mais complexas e exige cálculos mais detalhados para obter uma estimativa do custo anual. Uma abordagem de tarifas, com mais detalhes, pode ser vista no capítulo 1. Os custos médios por kW·h em geral podem ser utilizados, para a obtenção de estimativas aproximadas dos custos operacionais. Sistemas de iluminação em edifícios públicos podem funcionar durante o período de pico, de modo que um kW de potência reduzida na iluminação é também um kW de redução da demanda de pico. Uma vez que o sistema de ar condicionado, geralmente, também opera no período de pico, e um sistema iluminação mais eficiente acarreta uma redução da carga de ar condicionado, uma redução da demanda adicional, no sistema de ar condicionado, também, será obtida. A redução adicional dependerá da eficiência do aparelho de ar condicionado, mas variará entre 30% e 50% da redução da demanda da iluminação. Para as tarifas para fornecimento de energia elétrica com contratação de demanda de carga, a economia monetária de um sistema de iluminação eficiente é a soma da economia com despesas de energia e a economia, devido à redução das demandas do sistema de iluminação eficientes e a da redução, consequente, no sistema de ar condicionado.

#### **4.5.8 Outros Custos Operacionais**

Na comparação entre projetos de iluminação alternativos, outros custos operacionais, como o de substituição e de manutenção de lâmpada e de reatores, devem também ser considerados. Estimativas dos custos de manutenção e substituição podem ser obtidas com empresas de manutenção e fabricantes de lâmpadas. O fator mais crítico é geralmente a vida útil da lâmpada. Isto pode variar de 750 horas para as lâmpadas incandescentes para mais de 20 mil horas para lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID). As lâmpadas fluorescentes compactas normalmente tem uma vida útil de cerca de 8000 horas. Os dados de vida útil da lâmpada são fornecidos pelos fabricantes baseados em ensaios laboratoriais de três horas de funcionamento para cada acendimento da lâmpada, para a maioria das lâmpadas (10 horas de funcionamento para lâmpadas de descarga de alta intensidade).

## **4.6 Requisitos básicos em projetos de sistemas de iluminação**

A prática de uma boa iluminação para locais de trabalho deve fornecer uma boa visualização da tarefa para que elas sejam realizadas facilmente, com conforto visual e atendendo aos requisitos de segurança. A fim de satisfazer isto é necessário que seja dada atenção a todos os parâmetros que contribuem para o ambiente luminoso. Os principais requisitos são:

### **4.6.1 Iluminância**

Os valores de Iluminância recomendadas na área de tarefa devem ser obtidos a partir dos valores dados para as “Em (lux) – Iluminância Mantida”, relacionadas na Seção 5 da Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: 2013.

### **4.6.2 Uniformidade**

A uniformidade da iluminância é a razão entre o valor mínimo e o valor médio. A iluminância deve alterar gradualmente. A área da tarefa deve ser iluminada o mais uniforme possível. A uniformidade da iluminância na tarefa não pode ser inferior a 0,7. E a uniformidade da iluminância no entorno imediato não pode ser inferior a 0,5.

### **4.6.3 Ofuscamento**

É conveniente que o ofuscamento seja evitado, por exemplo, através de proteção contra a visão direta das lâmpadas com o uso de luminárias eficientes com aletas para o caso de ofuscamento causado por luz artificial ou através de escurecimento nas janelas a partir da utilização de anteparos, para o caso de ofuscamento causado por luz natural.

### **4.6.4 Reprodução de cor**

As cores para segurança, de acordo com a Norma ISO 3864, devem sempre ser reconhecíveis e claramente discriminadas. Para fornecer uma indicação objetiva das propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz foi introduzido o índice geral de reprodução de cor (Ra). O valor máximo de Ra é 100. Não se recomenda a utilização de lâmpadas com Ra inferior a 80, em interiores onde as pessoas trabalham ou ali permanecem por longos períodos.

Os valores mínimos recomendados do índice geral de reprodução de cor, de diferentes tipos de ambientes internos, tarefas ou atividades estão estabelecidos na Seção 5 da Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: 2013.

#### **4.6.5 Cintilação e efeito estroboscópico**

A cintilação causa distração e pode provocar efeitos fisiológicos como dores de cabeça. Convém que o sistema de iluminação seja projetado para evitar cintilação e os efeitos estroboscópicos. Isto pode ser alcançado pela utilização de reatores eficientes, eletrônicos de alta frequência (aproximadamente 30 kHz).

#### **4.6.6 Luz natural**

A luz natural pode fornecer parte ou toda a iluminação para execução de tarefas visuais, aumentando consideravelmente a eficiência energética dos sistemas de iluminação. Porém, deve-se evitar o contraste excessivo e o desconforto térmico causados pela exposição direta da luz do sol em áreas de trabalho. Uma vez que a disponibilidade de luz natural diminui rapidamente com o distanciamento da janela, recomenda-se que uma iluminação suplementar, artificial, seja fornecida para garantir a iluminância requerida no local de trabalho e o balanceamento da distribuição da luz no interior do ambiente.

O método mais apropriado e moderno para garantir uma integração entre a luz artificial e a luz natural é o controle digital de sistemas de iluminação através dos Sistemas Dali.

#### **4.6.7 Manutenção**

Os níveis de iluminação recomendados para cada tarefa são fornecidos como iluminância mantida “Em” (relacionadas na Seção 5 da Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: 2013). A iluminância mantida depende das características de manutenção da lâmpada, da luminária, do ambiente e do programa de manutenção.

Convém que o projeto de iluminação seja desenvolvido com fator de manutenção total calculado para o equipamento de iluminação selecionado, para o tipo de ambiente e para o cronograma de manutenção especificado. Não se recomenda que o fator de manutenção calculado seja inferior a 0,70.

### **4.7 Iluminação de emergência**

A iluminação de emergência deve ser instalada; nos casos onde já existe deve ser reavaliada segundo norma específica atualizada, Norma ABNT NBR 10898/set 1999 – Sistema de Iluminação de Emergência.

A iluminação de emergência deve atender aos objetivos de iluminação de ambiente, de modo proporcionar uma circulação, segura, vertical ou horizontal de

saídas para o exterior da edificação e proporcionar uma iluminação de sinalização de forma assinalar todas as mudanças de direção, obstáculos, saídas, escadas, etc.

#### **4.8 Iluminação de estações de trabalho com monitores VDT – *Visual display terminals* - também conhecido como monitores de vídeo)**

A iluminação para estações de trabalho VDT deve ser apropriada para todas as tarefas realizadas na estação de trabalho, por exemplo: leitura de telas, textos impressos, escritas no papel, uso do teclado, etc.

Os monitores VDT e, em algumas circunstâncias, o teclado podem sofrer, através de reflexos, ofuscamento. Por esta razão é necessário selecionar, localizar e gerenciar as luminárias, a fim de evitar desconforto por reflexão de alto brilho.

#### **4.9 Considerações sobre energia**

Convém que a instalação do sistema de iluminação atenda aos requisitos de iluminação de um ambiente específico, de uma tarefa ou atividade com **eficiência energética**. Entretanto, é importante não comprometer os aspectos visuais de uma instalação de iluminação simplesmente para reduzir o consumo de energia.

Isto requer que se considere em um sistema de iluminação, o uso de equipamentos com a mais alta eficiência energética possível, o uso de controles apropriados para a prática de eficiência energética e a utilização da luz natural disponível.

#### 4.10 Referências

1. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 - Iluminação de Ambientes de Trabalho\ Parte 1: Interior; Abril 2013;
2. Norma ABNT NBR 10898 - Sistema de Iluminação de Emergência; set 1999;
3. Norma ABNT NBR 15215-1 – Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições, 2005;
4. Norma ABNT NBR 15215-2 – Iluminação Natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural, 2005;
5. Norma ABNT NBR 15215-3 – Iluminação Natural – Parte 3: Procedimentos de cálculo para a determinação da luz natural em ambientes internos, 2005;
6. Norma ABNT NBR 15215-4 – Iluminação Natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificação, 2005;
7. [Manual de Iluminação – Procel\EPP – agosto 2011;](#)
8. Informativo [\*Características de Sistemas de Iluminação Artificial – Cepel\Cate, 2013;\*](#)
9. Informativo [INTERFACE DE ILUMINAÇÃO ENDEREÇÁVEL DIGITAL \(Dali\).](#)



## **5. Envoltória e Aspectos Construtivos**

A envoltória de uma edificação exerce uma grande influência em seu consumo de energia, principalmente por estar sujeita a fenômenos térmicos que ocorrem em seu entorno. Neste item, são apresentadas as características e definições básicas relativas aos aspectos construtivos de uma edificação, e como estes podem influenciar no desempenho energético dos sistemas prediais como um todo. O objetivo é proporcionar, ao gestor de utilidades da edificação, uma melhor compreensão da terminologia, dos fenômenos térmicos relacionados à envoltória da edificação e como esses aspectos podem influenciar no consumo de energia. A utilização de algumas ferramentas computacionais para cálculo do uso de energia em edificações também exige um mínimo de conhecimento de algumas das definições abordadas neste item.

### **5.1 Envoltória**

A envoltória pode ser entendida como a pele do edifício. Isto é, o conjunto de elementos do edifício que estão em contato com o meio exterior e compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo. Em geral, piso e paredes em contato com o solo, no caso de ambientes no subsolo (garagens e depósitos, por exemplo) são considerados parte da envoltória.

Os elementos que compõem a envoltória delimitam espaços e fronteiras através dos quais a energia térmica pode ser transferida. Há economia de energia quando a troca de calor entre a edificação e ambiente exterior é reduzida e os ganhos de calor solar e de fontes internas são controlados.

### **5.2 Aspectos construtivos**

#### **5.2.1 Forma**

A forma arquitetônica afeta o conforto ambiental em uma edificação e o seu consumo de energia, pois interfere diretamente nos fluxos de ar no interior e no exterior, bem como nas quantidades de luz e calor solar recebidos pelo edifício.

A quantidade de radiação solar que incide em cada superfície externa de uma edificação é variável conforme a orientação e a época do ano. Volumes interiores idênticos podem ter comportamentos térmicos e visuais distintos, dependendo das formas adotadas no projeto arquitetônico. A distribuição das aberturas em diferentes fachadas pode proporcionar resultados favoráveis ao conforto térmico e visual, sem acrescentar consumo energético aos sistemas de climatização artificial. Formas mais alongadas ou mais compactas, mais verticalizadas ou horizontais, terão influência direta na exposição das fachadas à radiação solar. O conhecimento dessas variáveis pode ajudar na seleção de medidas para minimização do consumo energético mesmo em edificações já

construídas, através da adoção de elementos de proteção ou isolamento adequados.

### 5.2.2 Orientação da edificação

Esta variável, que somente pode ser alterada na fase de projeto, define o comportamento térmico devido à influência de radiação solar e dos ventos predominantes, basicamente. Em edificações comerciais e de serviços com climatização artificial, como no caso da Esplanada dos Ministérios, em geral não se faz uso de ventilação natural. Os projetos de *retrofit*<sup>8</sup> podem considerar, dada a orientação da edificação, quais as melhores alternativas de proteção contra a radiação solar nas épocas mais críticas do ano. Por exemplo, fachadas orientadas para o norte geográfico, na latitude de Brasília, recebem carga térmica significativa ao longo do ano, na direção vertical. As fachadas Leste e Oeste ficam sujeitas à radiação solar no início e no final do dia, respectivamente, com incidência mais horizontal. Desta forma, proteções solares devem ser projetadas de acordo com essas características de orientação das fachadas.

### 5.2.3 Zonas de climatização ou zonas térmicas

Este conceito é importante quando se utilizam ferramentas de cálculo de carga térmica ou simuladores de uso de energia em edificações climatizadas artificialmente. Uma zona térmica é uma divisão interna de um edifício. Da mesma forma que o conceito de ambiente é a base do cálculo de eficiência dos sistemas de iluminação, a zona térmica é uma das bases do cálculo de eficiência dos sistemas de condicionamento de ar. No caso de simulações com ambientes condicionados, ambientes contíguos de um mesmo piso e com a mesma orientação costumam fazer parte de uma mesma zona térmica.

### 5.2.4 Características de paredes e cobertura da edificação

Numa edificação, os fechamentos - paredes e coberturas - têm entre suas principais funções adequar as condições térmicas interiores de forma independente das exteriores. De um modo geral, isto é obtido através da redução das trocas de calor, que ocorrem permanentemente entre esses meios.

Basicamente, as principais grandezas que caracterizam esses elementos construtivos, do ponto de vista de conforto ambiental, são:

**isolamento térmico:** medido pela transmitância térmica do conjunto dos materiais utilizados;

---

<sup>8</sup> Revitalização, reforma.

**absortividade:** medida por parâmetros como a absortância da pintura ou dos revestimentos empregados.

### 5.2.5 Fechamentos

As trocas de energia radiante entre o interior e o exterior de uma edificação ocorrem no chamado “envelope construtivo”. Este envelope normalmente é dividido em dois tipos de fechamentos, os opacos e os transparentes, de acordo com sua capacidade de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

**Fechamentos opacos:** Nos fechamentos opacos, em geral paredes, a transmissão de calor se dá em três fases:

- ✈ **Fase 1:** troca de calor com o meio exterior – a superfície recebe calor do meio exterior por convecção e por radiação. A parcela de transmissão de calor por convecção é definida pela resistência superficial externa ( $R_{se}$ ), que também é função da velocidade do vento. Na transferência de calor por radiação, destaca-se a importância do parâmetro absortância ( $\alpha$ ) do material. Paredes claras possuem, em geral, baixa absortância, resultando em menores ganhos de calor por absorção da radiação solar.

Na tabela 5.1 são mostrados alguns valores de  $\alpha$  para cores usuais em arquitetura (tinta de referência: acrílica fosca)

**Tabela 5.1 – Cores e absortâncias médias**

| Cor         | Absortância ( $\alpha$ ) |
|-------------|--------------------------|
| Branco Neve | 19,4                     |
| Marfim      | 32,4                     |
| Amarelo     | 56,1                     |
| Azul        | 66,8                     |
| Concreto    | 75,1                     |
| Tabaco      | 78,6                     |

- ✈ **Fase 2:** condução através do fechamento – quando há elevação da temperatura externa, o diferencial criado para a temperatura interior cria um fluxo de calor entre as superfícies externa e interna do fechamento. Nesta fase a troca térmica ocorrerá por condução e o fluxo de calor terá intensidade proporcional à condutividade térmica ( $\lambda$ ) do material.

Na tabela 5.2 são mostrados alguns valores de  $\lambda^9$ , a título de ilustração.

<sup>9</sup> Expressos em watts por metro por Kelvin

**Tabela 5.2** – Materiais construtivos e condutividades térmicas típicas

| Material | $\lambda$ (W/m.K) |
|----------|-------------------|
| Concreto | 1,50              |
| Tijolo   | 0,65              |
| Madeira  | 0,14              |
| Isopor   | 0,03              |

✈ **Fase 3:** Troca de calor com o meio interior – nesta fase, como na primeira, as trocas térmicas voltam a ser por convecção e por radiação. Neste caso específico, a parede aquecida **emite** calor para o interior e o parâmetro que regula esta transmissão é a emissividade superficial do material ( $\epsilon$ ). A parcela de transferência de calor por convecção depende da resistência superficial, neste caso, interna ( $R_{si}$ ).

**Fechamentos Transparentes:** Estes elementos são responsáveis pela maior parte das trocas térmicas em edificações, em geral. Janelas e vãos envidraçados, inclusive claraboias, se enquadram neste tipo de fechamento. À semelhança dos demais fechamentos, as trocas de calor podem ocorrer por condução, convecção e radiação, sendo que neste caso as trocas por radiação ganham destaque, pela parcela diretamente transmitida ao interior. Esta parcela adicional em relação aos fechamentos opacos depende da transmissividade ( $\tau$ ) do elemento transparente.

**Orientação e tamanho:** esses parâmetros definem a exposição à radiação solar. Aberturas voltadas para a trajetória solar tendem a receber mais calor que aquelas que possuam orientação contrária. No caso de latitudes ao sul do equador, aberturas voltadas para o norte geográfico recebem maior parcela de radiação que as da fachada sul. Em relação ao tamanho, naturalmente, quanto maiores as aberturas envidraçadas, maiores serão as parcelas de calor transmitidas ao interior da edificação.

**Tipos de vidros:** os diferentes tipos de vidro possuem capacidades distintas de absorção, transmissão e reflexão da radiação solar, dependendo de suas características ópticas. Em geral existem opções tais como: vidro simples (transparente), fumê, verde, reflexivos etc. Películas protetoras podem dar características adicionais de reflexão e de absorção de calor sem a necessidade de substituição dos vidros. Para redução da transmissão de calor por condução, existem conjuntos de vidros duplos, que além do isolamento térmico proporcionam melhoria do isolamento acústico.

**Proteções solares:** A aplicação de proteções solares em aberturas permite reduzir os ganhos de calor nas edificações, sendo de grande importância para o consumo de energia em prédios climatizados artificialmente. Por outro lado, sua adoção está geralmente associada à redução da disponibilidade de luz natural nas aberturas em questão, sendo, portanto, recomendada atenção no uso desse recurso no projeto ou no *retrofit* de edificações. As proteções podem ser basicamente divididas em dois tipos – internas e externas.

**Proteções Internas:** em geral são cortinas ou persianas. Têm como vantagem a facilidade de operação pelos usuários, sendo abertas ou fechadas de forma gradual, conforme a necessidade. Apresentam o inconveniente de não impedirem a passagem da radiação solar através do fechamento transparente, causando um “efeito estufa” no ambiente.

**Proteções Externas:** neste caso, a proteção bloqueia a radiação direta, antes que esta atinja o fechamento transparente, evitando tanto a absorção de calor radiante pelo material (vidro, por exemplo) quanto a sua transmissão ao interior do edifício. Os tipos mais comuns de proteções externas são: toldo, *brise-soleil* (horizontal ou vertical), veneziana e *light shelf*<sup>10</sup>. Para melhor aproveitamento do efeito de sombreamento e permitir o controle da entrada de luz natural, essas proteções externas também podem ser móveis, com acionamento manual ou automático.

### 5.2.6 Fator solar

Este parâmetro ( $F_s$ , variável de zero a um) define a parcela de calor que irá atravessar a abertura, sendo calculado pela razão entre a radiação que penetra pela janela, por exemplo, e a radiação incidente na mesma. É característico para cada tipo de abertura e varia de acordo com o ângulo de incidência. Apenas como ilustração de valores típicos, são apresentados na tabela 5.3 os fatores solares de alguns tipos de vidro.

---

<sup>10</sup> Este tipo de proteção, se projetada adequadamente, pode refletir de maneira controlada a luz natural para o interior do ambiente, reduzindo o conteúdo de radiação infravermelha, ou seja, do calor incidente.

**Tabela 5.3** – Fator solar de vidros normalmente encontrados em aberturas de edificações

| Material               | Fs          |
|------------------------|-------------|
| Vidro transparente 3mm | 0,87        |
| Vidro transparente 6mm | 0,83        |
| Vidro verde 3mm        | 0,72        |
| Vidro verde 6mm        | 0,60        |
| Vidro reflexivo 3mm    | 0,26 a 0,37 |

### 5.3 Localização: Zonas Bioclimáticas

Zona bioclimática é uma região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. A definição de zonas bioclimáticas tem por objetivo determinar as estratégias que um edifício deve seguir para obter o conforto térmico dos seus ocupantes. Há 8 zonas bioclimáticas no Brasil, definidas segundo dados climáticos (de temperatura e umidade) e estabelecidas em norma (NBR 15220-3 - ABNT, 2005). A cidade de Brasília está localizada na Zona Bioclimática 4.

### 5.4 Leitura adicional

Para maiores detalhes sobre aspectos construtivos e sobre os principais conceitos relativos ao manejo e controle do consumo de energia em edificações, ver o livro [Eficiência Energética na Arquitetura](#).

## 5.5 Referências

1. Procel/Eletronbras e Labeee/UFSC - Manual de Uso da Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – 2009
2. Roberto Lamberts, Luciano Dutra e Fernando Pereira – Eficiência Energética na Arquitetura PW Editores, 1997
3. Thumann and Younger - Handbook of Energy Audits, 6th edition, Fairmont Press, 2005.
4. Dornelles, K. A. ; Roriz, Maurício - Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações: X Congresso Internacional de Tintas, 2007, São Paulo. Anais do X Congresso Internacional de Tintas. São Paulo : ABRAFATI, 2007

## 6. Aquecimento solar de água para prédios públicos

### 6.1 Introdução

A energia solar, captada através de coletores solares, substitui a energia elétrica ou o combustível utilizado no sistema de aquecimento de água, resguardando o ambiente do impacto que seria causado pela queima deste combustível ou pelo uso da energia; este impacto pode envolver desde o efeito de aquecimento global, provocado pela queima de combustíveis fósseis, até o desenvolvimento econômico que passa a ser viabilizado pela disponibilização de energia.

O uso da energia solar para promover o aquecimento de água representa uma resposta eficaz ao problema da demanda energética em prédios públicos. O setor de serviços (comercial e público) responde por 9% da área total de coletores solares instalados no Brasil.

Este capítulo tem como objetivos reunir e sintetizar informações que permitam ao gestor de utilidades em prédios públicos compreender a terminologia e o funcionamento básico de um sistema solar para aquecimento de água, identificar seus componentes principais e os parâmetros e variáveis envolvidas. Na lista de referências deste manual encontram-se sugestões de publicações para consulta com um maior nível de detalhamento.

### 6.2 Fundamentos do Aquecimento Solar de Água – conceitos e definições

**Radiação Solar:** A quantidade de energia solar que chega, por unidade de tempo e por unidade de área, a uma superfície perpendicular aos raios solares, à distância média Terra-Sol, se chama **constante solar**, e vale  $1.367 \text{ W/m}^2$ . Esse valor é medido por satélites logo acima da atmosfera terrestre.

A quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo que chega em um determinado local da superfície da Terra, se denomina **insolação** do lugar. A insolação varia de acordo com a localização, com a hora do dia e com a época do ano.

#### 6.2.1 Ângulos solares

- $\phi$  **Latitude** – a localização angular ao norte ou ao sul do equador, sendo positiva ao Norte e negativa ao Sul;  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ .
- $\delta$  **Declinação** – a localização angular do sol ao meio-dia solar (ou seja, quando o sol está sobre o meridiano local), em relação ao plano do equador, sendo positiva para o norte e negativa para o Sul;  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ .



- $\beta$      **Inclinação** – ângulo entre o plano da superfície e a horizontal;  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$  ( $\beta > 90^\circ$  significa que a superfície está voltada para baixo).
- $\gamma$      **Azimute da superfície** – o desvio da projeção horizontal da direção normal à superfície em relação ao meridiano local, com zero para o Sul, negativo para o Leste e positivo para o Oeste;  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ .
- $\omega$      **Ângulo horário** – o deslocamento angular do sol, a leste ou oeste do meridiano local, devido ao movimento de rotação da terra em torno de seu eixo, a  $15^\circ$  por hora, negativo para a manhã e positivo para a tarde.
- $\theta$      **Ângulo de incidência** – o ângulo entre a radiação direta sobre uma superfície e a direção normal à superfície.
- $\theta_z$     **Zênite** – o ângulo entre a vertical e a posição do sol, ou seja, o ângulo de incidência da radiação direta numa superfície horizontal.
- $\alpha_s$     **Altitude solar** – o ângulo entre a horizontal e a posição do sol, ou seja, o ângulo complementar ao zênite.
- $\gamma_s$     **Azimute solar** – o desvio angular a partir do Sul da projeção horizontal da direção de incidência da radiação direta em relação ao meridiano local, negativo para o Leste e positivo para o Oeste.

### 6.2.2 Radiação: Global, Difusa e Direta

- ✎ Radiação solar direta – A radiação recebida diretamente do sol, sem ter sido dispersa pela atmosfera.
- ✎ Radiação solar difusa – A radiação solar recebida após ter sua trajetória mudada pela refração atmosférica.
- ✎ Radiação solar total – A soma das radiações direta e difusa sobre uma superfície, também citada como radiação global.

## 6.3 Componentes de um sistema de aquecimento solar

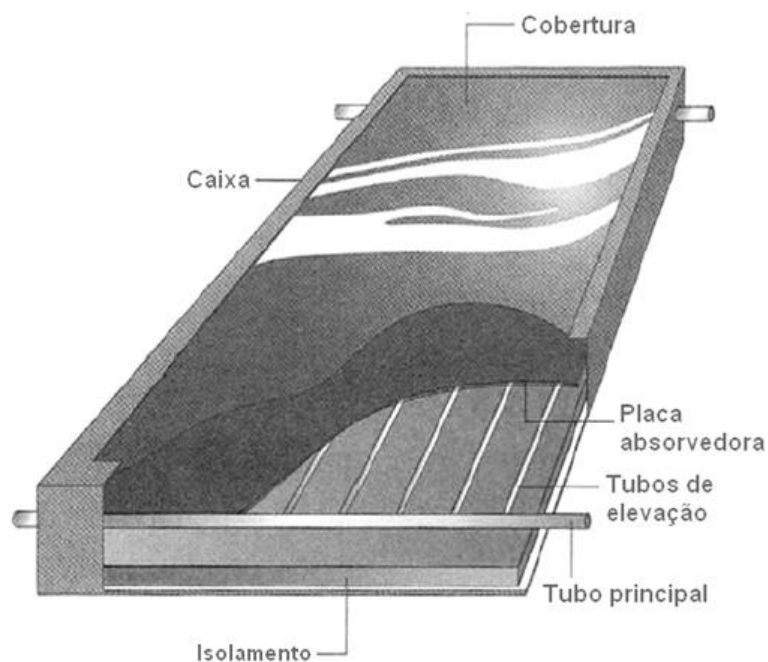
Um sistema eficaz de aquecimento solar de água funciona a partir do exercício de quatro funções básicas: A **captação** da energia solar, a **transferência** desta energia para a água aquecida, o **armazenamento** eficiente da água quente e o **controle** do seu funcionamento.

A captação e a transferência de energia ocorrem no coletor solar, que pode transferir a energia diretamente à água a ser aquecida ou por meio de um fluido intermediário. O uso de um fluido intermediário só é recomendado para regiões onde exista o risco de congelamento da água dentro do coletor, situação em que é utilizado um fluido anti-congelante como vetor para a energia captada pelo coletor até o armazenamento.

A energia solar é coletada pelas placas absorvedoras dos coletores solares. Frequentemente são aplicadas superfícies seletivas às placas para aumentar a eficiência global do coletor.

Existem vários tipos de coletores solares para aquecer líquidos. A escolha do tipo de coletor vai depender da temperatura da água desejada para a aplicação e da estação do ano (ou clima) em que se deseja utilizar. Os tipos mais comuns de coletores utilizados são os de superfície plana, com ou sem cobertura (vidro), sendo os sem cobertura, utilizados em sistemas que operam com temperaturas menores, como aquecimento de piscinas, e os com cobertura em sistemas onde se deseja temperatura da água mais elevada.

Os coletores planos, conforme apresentado na figura 6.1, são normalmente projetados para aplicações que requeiram transferência de energia a temperaturas moderadas, até cerca de 100°C. Estes coletores aproveitam tanto a radiação solar direta quanto a difusa, não necessitam de rastreamento solar e exigem pouca manutenção. Eles são mecanicamente mais simples que os coletores concentradores, e tem sua principal aplicação no aquecimento solar de água, na climatização de ambientes frios e no fornecimento de calor para processos industriais.



**Figura 6.1** – Coletor solar plano

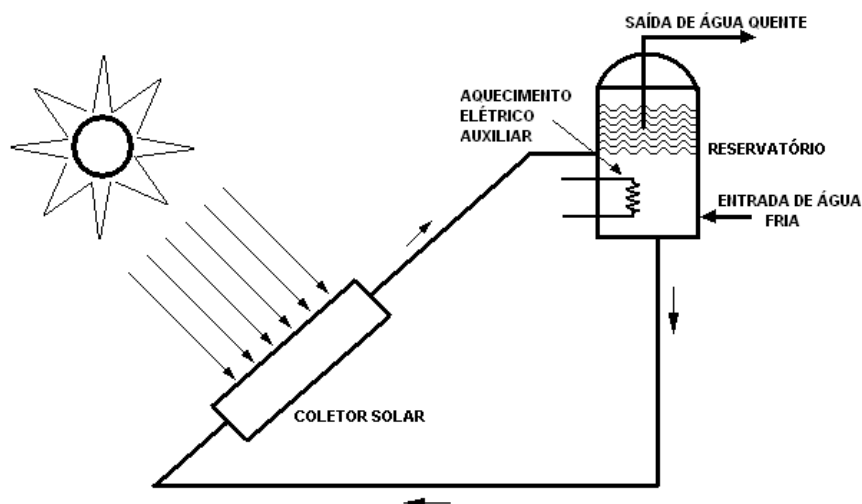
O armazenamento de água quente, por sua vez, ocorre no tanque de armazenamento, que é um reservatório termicamente isolado de modo a minimizar as perdas térmicas. Este reservatório deve ter sua capacidade dimensionada para armazenar entre 1,2 a 2 vezes o consumo diário, devido ao caráter intermitente da radiação solar, o que torna necessário que o sistema seja capaz de, em curtos períodos do dia, armazenar a energia que será utilizada durante todo o dia ou além.

Normalmente projeta-se um sistema de modo que a maior parte da demanda seja atendida pela energia solar, e um percentual entre 15 e 40 %, seja fornecido por um sistema auxiliar, utilizando alguma forma convencional de energia. Em pequenas e médias instalações, recomenda-se a utilização de um sistema auxiliar de energia elétrica, por ser esta forma de energia a de maior disponibilidade e de menor preço a médio e longo prazo.

O controle do sistema de aquecimento é normalmente realizado por um conjunto de sensores de temperatura que acionam as bombas de circulação, as válvulas e o sistema auxiliar de aquecimento.

#### 6.4 Sistemas por Termossifão

Os sistemas com circulação por termossifão, conforme apresentado na figura 6.2, têm o menor custo por metro quadrado de coletor instalado e são os que requerem menores cuidados de operação e manutenção, sendo especialmente recomendados para instalações de pequeno porte. Neste tipo de sistema a circulação do líquido entre o tanque e os coletores ocorre sem o auxílio de bombas, por meio da diferença de densidade que ocorre no líquido em função da diferença de temperatura.



**Figura 6.2** – Sistema Termossifão

A radiação solar incidente sobre o coletor provoca o aumento da temperatura (e consequente redução da densidade) do líquido dentro dos tubos, que tendem a subir, dando lugar à água mais fria (mais pesada) que vem do reservatório. Esta circulação vai ocorrer sempre que houver radiação solar suficiente para elevar a temperatura da água no coletor acima da temperatura da água no reservatório.

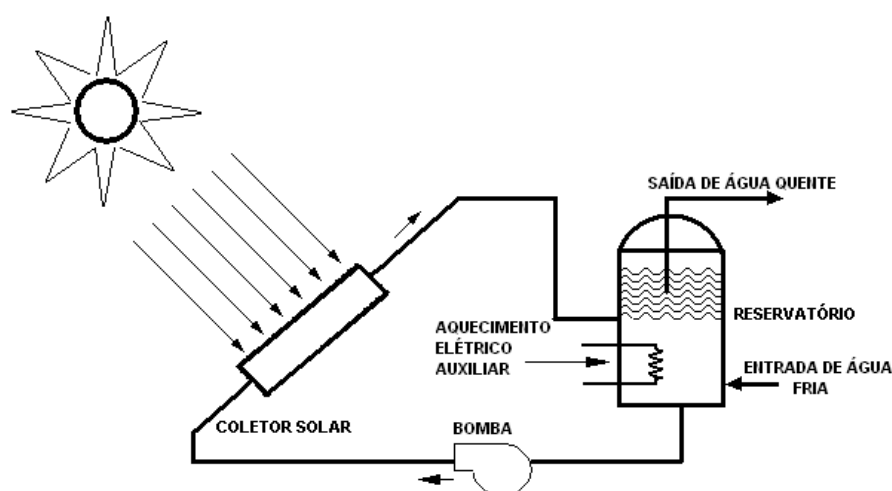
Para que se evite a circulação inversa nos períodos sem insolação, a distância entre o fundo do reservatório e a saída do coletor (tubo superior) deve ser da ordem de 10 cm. A caixa d'água para alimentação de água fria deve estar a, pelo menos, 50 cm acima do reservatório, para que haja pressão suficiente no sistema.

Esse tipo de sistema necessita de controle apenas no sistema de aquecimento auxiliar, onde um termostato regulável comanda o funcionamento da resistência de aquecimento.

## 6.5 Sistemas de circulação forçada

Este tipo de sistema, mostrado na figura 6.3, apresenta um rendimento térmico maior em relação ao termossifão, permitindo o uso de uma área de captação menor para a mesma demanda de energia. Outra vantagem da circulação forçada é a liberdade de localização do tanque de armazenamento, que poderá estar acima ou abaixo do coletor.

Para a operação da bomba do circuito, utiliza-se um termostato diferencial ligado a sensores de temperatura, que ficam instalados na placa coletora e no tanque de armazenamento. Quando a diferença de temperatura entre a água na placa e a do tanque for próxima de 5°C, o termostato ativa a bomba hidráulica, para conduzir a água quente do coletor para o reservatório e puxar a água fria do fundo do reservatório para o coletor. Quando a diferença de temperatura entre a placa e o coletor se torna negativa (com a água do tanque cerca de 1°C acima da água no coletor), o termostato desliga a bomba e a água deixa de circular.



**Figura 6.3** – Sistema c/ Circulação Forçada

## 6.6 Dimensionamento do sistema de aquecimento solar

O dimensionamento de um sistema de aquecimento de água por energia solar é função de uma série de variáveis tais como: a) carga térmica do sistema; b) disponibilidade do recurso solar; c) eficiência do coletor solar; d) fração da demanda de energia a ser atendida pelo sistema de aquecimento solar.

### a. Cálculo da Carga Térmica

A fim de se estimar a energia necessária para o aquecimento de água para as aplicações diversas em prédios públicos, é necessário que se estime a quantidade de água utilizada em cada aplicação<sup>11</sup>. Na tabela 6.1 estão contidos dados de consumo médio de água quente, que podem servir de referência no dimensionamento do sistema de aquecimento.

**Tabela 6.1** – Consumo diário de água quente

|                                          |     |                             |
|------------------------------------------|-----|-----------------------------|
| Alojamento provisório de Obra            | 24  | litros por indivíduo        |
| Casa Popular ou rural                    | 36  | litros por indivíduo        |
| Residência                               | 45  | litros por indivíduo        |
| Apartamento                              | 60  | litros por indivíduo        |
| Quartel                                  | 45  | litros por indivíduo        |
| Escola (Internato)                       | 45  | litros por indivíduo        |
| Hotel (sem incluir cozinha e lavanderia) | 36  | litros por indivíduo        |
| Hospital                                 | 125 | litros por leito            |
| Restaurante e Similares                  | 12  | litros por refeição         |
| Lavanderia                               | 15  | litros por kg de roupa seca |

Fonte: ABNT NB 128 – Tabela I

Outra forma de estimativa da demanda de água quente se baseia em valores médios por uso final, como ilustrado na tabela 6.2:

<sup>11</sup> Para este dimensionamento, são sugeridos: normas de instalações prediais de água quente, como NB128 e NBR7198, pesquisas de hábitos de uso de água quente no local, senso crítico sobre particularidades dos usuários e das instalações.

**Tabela 6.2 – Vazão de água quente de equipamentos**

| <b>Peças de Utilização</b> | <b>Vazão total por peça<br/>(litros/minuto)</b> |
|----------------------------|-------------------------------------------------|
| Bidê                       | 3,6                                             |
| Chuveiro                   | 7,2                                             |
| Lavabo                     | 7,2                                             |
| Tanque (lavanderia)        | 18                                              |
| Pia cozinha                | 15                                              |

Para a avaliação do consumo de energia para aquecimento de água, as seguintes hipóteses podem ser adotadas: a água na temperatura adequada para seu uso final, deve ser obtida através da mistura da água quente (armazenada no reservatório a uma temperatura de cerca de 60°C) com a água do manancial (água de entrada).

A temperatura da água no manancial varia ao longo do ano, e para efeitos práticos pode ser considerada, de forma conservadora, como sendo igual a três graus Celsius abaixo da temperatura ambiente (bulbo seco). Esta temperatura, tomada a partir de uma média mensal, permite calcular a carga térmica necessária para cada mês do ano e a quantidade de água quente (água a 60°C) que deve ser misturada à água de entrada a fim de se obter a condição de saída desejada.

#### **b. Disponibilidade do recurso solar**

Os valores médios mensais de radiação solar utilizados no dimensionamento de um sistema solar de aquecimento podem ser obtidos, para várias regiões do Brasil e do mundo, a partir dos bancos de dados e de programas desenvolvidos para esta finalidade. Existem programas disponibilizados na internet que permitem avaliar diversos tipos de sistemas de aquecimento solar de água com armazenamento térmico (ver item 6.8, 3a e 3b).

Estes programas dispõem de metodologia para avaliar a incidência de radiação solar sobre um coletor instalado, combinando um banco de dados meteorológicos com a insolação nas principais cidades do mundo, com uma metodologia para estender os dados de insolação às superfícies inclinadas, bastando para isso que sejam conhecidas a inclinação e o azimute do coletor.

### c. Eficiência do coletor solar

A eficiência do coletor é dada pela proporção de três parcelas de energia (absorvida, transmitida e refletida) em relação à quantidade total de energia incidente. Dessa forma, o coletor será mais eficiente quanto maior for a quantidade de energia transmitida para a água.

Os coletores também podem ser avaliados pela quantidade média mensal de energia fornecida, por unidade coletora ou por metro quadrado, conforme a metodologia adotada no Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE. Tabelas com esses valores podem ser obtidas na página do Inmetro/PBE na internet (ver item 6.8, 4).

Na tabela 6.3, extraída da página do PBE na internet, são apresentadas as faixas de eficiência para coletores e o número de modelos classificados em cada faixa. Os valores de PME (produção média mensal de energia) estão em kW·h por mês por metro quadrado.

**Tabela 6.3** – Produção média mensal de energia em coletores solares de água para banho (kW·h/m<sup>2</sup>.mês) e número de modelos classificados em cada faixa.

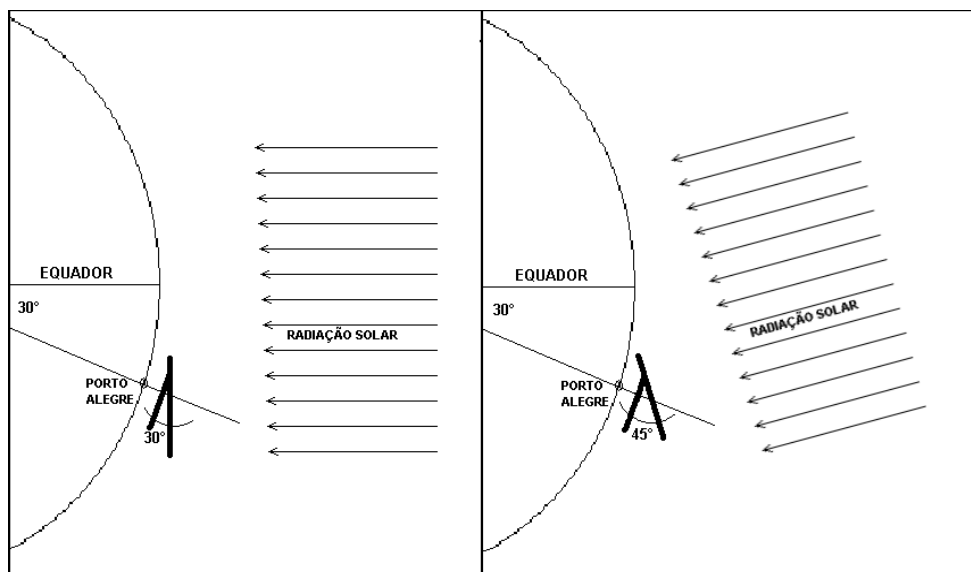
| CLASSES | INDICE BANHO              | BANHO |      |
|---------|---------------------------|-------|------|
|         |                           | TOTAL | %    |
| A       | $P_{me} > 77,0$           | 134,0 | 62,9 |
| B       | $77,0 \geq P_{me} > 71,0$ | 53,0  | 24,9 |
| C       | $71,0 \geq P_{me} > 61,0$ | 26,0  | 12,2 |
| D       | $61,0 \geq P_{me} > 51,0$ | 0,0   | 0,0  |
| E       | $51,0 \geq P_{me} > 41,0$ | 0,0   | 0,0  |
|         |                           | 213,0 |      |

Fonte PBE/Inmetro, 2013.

### d. Inclinação dos coletores

Os coletores solares têm seu funcionamento otimizado quando recebem a radiação solar diretamente, por isso são instalados com sua face absorvedora inclinada em relação ao horizonte; isto deve ser feito para (1) corrigir o efeito da latitude local na incidência dos raios solares e (2) otimizar a captação durante os meses de inverno, quando o sol se encontra relativamente mais voltado para o hemisfério norte. Na figura 6.4 é apresentado o exemplo de um coletor solar instalado em Porto Alegre (latitude 30°), com sua face voltada para o norte, com duas configurações: com inclinação igual à latitude local (30°) e com inclinação igual à latitude local mais quinze graus (45°). A primeira configuração coloca o coletor exatamente perpendicular à posição média dos raios solares durante o ano (paralelo ao equador, que é a posição do sol no equinócio); a segunda, por sua vez, coloca o coletor em posição aproximadamente perpendicular aos raios solares durante o inverno (no

solstício de inverno, o sol chega a se afastar  $23,5^\circ$  para o norte do plano do equador).



**Figura 6.4 – Inclinação do coletor solar**

Apesar da primeira configuração mostrada resultar em maior captação anual total de energia, a segunda configuração é preferível na maioria das aplicações, porque apresenta valores de captação de energia maiores para o período de inverno, quando a demanda por água quente é maior.

#### **e. Fração da demanda de energia a ser atendida pelo sistema de aquecimento solar**

Para a avaliação da economia de energia elétrica obtida com a utilização do aquecimento solar, nas condições específicas de cada obra, utiliza-se, internacionalmente, o Método da Carta F (*F-Chart*). Este método avalia a contribuição da energia solar na demanda total de energia elétrica para aquecimento de água, conhecida como fração solar. O método permite o cálculo da quantidade mensal de energia entregue por um sistema solar de aquecimento de água com armazenamento, dados os valores mensais de radiação solar incidente, temperatura ambiente e carga térmica. Este valor é fundamental para as análises de custo-benefício dos sistemas a serem instalados, bem como para os cálculos de tempo de retorno do investimento a ser feito.

Devido ao número de parâmetros envolvidos, utilizam-se programas computacionais para obtenção do fator solar (ver item 6.8, 3a e 3b).

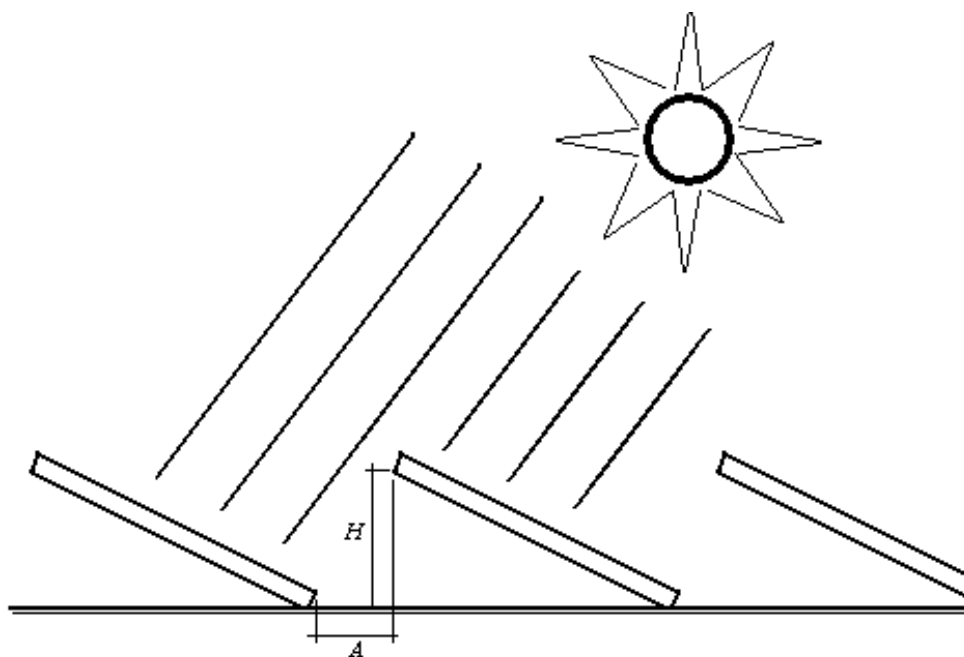


## 6.7 Considerações Finais

### 6.7.1 Instalação dos Coletores

**Distância entre os coletores:** O local onde forem instalados os coletores deve estar isento de sombra pelo menos no período entre 8 h e 17 h, lembrando que a posição da sombra varia durante o ano.

Quando são utilizados coletores em fila como indicado na figura 6.5, deve ser assegurado que o coletor da frente não projete sombra sobre o posterior. A distância  $A$  deve ser igual ou superior à altura  $H$  multiplicada pela tangente do ângulo de inclinação dos coletores em relação à horizontal.



**Figura 6.5** – Distância entre coletores

**Previsão de carga (peso) na estrutura:** No local onde forem instalados os coletores, deve ser prevista uma carga na estrutura de sustentação para os coletores, que é da ordem de  $45 \text{ kg/m}^2$ , já incluídos coletores, suportes e tubulações.

**Orientação:** Embora a orientação ideal para o coletor seja a norte, uma variação para Leste ou Oeste da ordem de  $20^\circ$  não altera significativamente a eficiência do sistema.

A correta instalação de coletores solares depende de uma série de cuidados de ordem prática, que devem ser acompanhados pelo gestor do

empreendimento. O manual [Qualidade em Instalações de Aquecimento Solar](#) apresenta a maioria dos procedimentos recomendados para instalação.

### **6.7.2 Normas a serem consideradas**

**ABNT NBR 7198/NB 128:** Projeto e execução de instalações prediais de água quente.

**Objetivo:** Esta Norma fixa as exigências técnicas mínimas quanto à higiene, à segurança, à economia e ao conforto dos usuários, pelas quais devem ser projetadas e executadas as instalações prediais de água quente.

**NBR 15569:** Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação.

**Objetivo:** Esta Norma estabelece os requisitos para o sistema de aquecimento solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção, onde o fluido de transporte é a água.

### **6.7.3 Leitura adicional**

Para maiores detalhes sobre o projeto, dimensionamento e instalação de sistemas de aquecimento solar para água, recomenda-se a leitura das referências (ver item 6.8, 5 e 6).

## 6.8 Referências

1. Eletrobras/Procel – Energia Solar para Aquecimento de Água no Brasil – Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros – 2012
2. Duffie, J.A. e Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, Segunda Edição, John Wiley & Sons, 1991.
3. (a) <http://www.retscreen.net/pt/home.php>;  
(b) <http://www.fchart.com/fchart/>;  
(c) <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>
4. Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar – ABRAVA – 2008
5. Manual de Qualidade em Instalações de Aquecimento Solar – Boas práticas – Procobre/Abrava/GTZ - 2009

## 7. Transporte vertical (Elevadores)

Elevadores são importantes sistemas que compõem praticamente todos os edifícios atuais. Em particular nos edifícios comerciais, estes têm grande importância e representam uma parte significativa das despesas de manutenção dos edifícios.

Além do custo com a energia elétrica para sua operação, são sistemas de elevado custo inicial e também exigem manutenções periódicas, tanto preventivas como corretivas, que devem ser prestadas por empresas especializadas. Estas manutenções em geral têm custos elevados que incluem serviços e peças de reposição.

Com a evolução da tecnologia estão constantemente sendo incorporados novos sistemas e funcionalidades que melhoram o seu desempenho e aumentam a sua confiabilidade, além de disponibilizarem funções de gerenciamento que podem reduzir o número de operações diárias, resultando em menor desgaste do equipamento e redução do consumo de energia.

Existe uma gama considerável de modelos com capacidades de carga (nº de passageiros) diversos e funcionalidades distintas. Ao longo dos anos muitos elevadores antigos foram sendo atualizados ou substituídos por modelos mais eficientes, contudo ainda preservam uma característica em comum com os primeiros modelos: têm motores elétricos como fonte de tração mecânica e em geral representam uma importante parcela do consumo de energia das edificações.

A potência de um elevador médio de 10 HP, equivale a 75 lâmpadas de 100 W. Considerando este valor médio e uma estimativa de 200 mil elevadores em atividade no país, o consumo relativo a esses equipamentos pode representar uma parcela significativa da energia consumida no país inteiro.

Como ilustração, num edifício típico, os gastos com a energia elétrica consumida pelos elevadores podem chegar a 6 % do custo total do prédio.

O cálculo exato do consumo de um elevador não é uma tarefa simples, pois existe uma diversidade de variáveis envolvidas, tais como:

- ✎ Modelo e características técnicas;
- ✎ Tipo de utilização;
- ✎ Carga transportada (nº de passageiros);
- ✎ Quantidade de viagens por dia.

Porém, o consumo se deve principalmente à energia utilizada na máquina de tração, com uma menor participação da luz da cabina, do ventilador, do operador da porta e do quadro de comando.

O sistema de elevadores em um prédio pode apresentar um bom potencial de economia de energia, principalmente em casos de idade avançada, através de investimentos na sua modernização. Outras medidas de menor custo também são passíveis de aplicação, como será mostrado adiante.

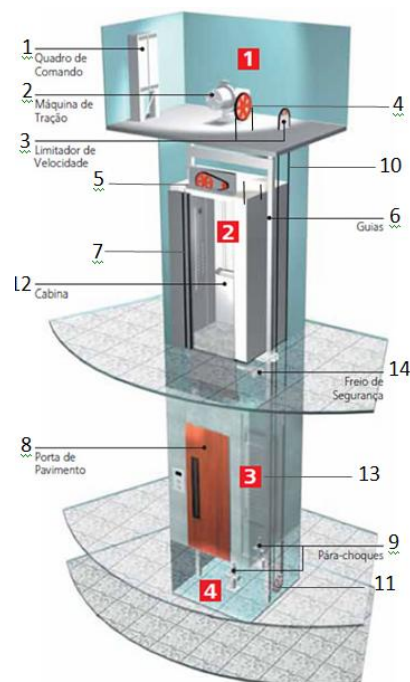
## 7.1 Princípio básico de funcionamento

Num sistema de tração, a cabina do elevador é sustentada no poço por vários cabos de aço, usando-se normalmente duas polias e um contrapeso. Os pesos do próprio elevador e do contrapeso fazem com que exista uma tração entre as polias e os cabos de aço. Assim, as polias movem os cabos de aço sem deslizamento excessivo.

Além disso, a cabina e o contrapeso correm em guias verticais, usadas para evitar as oscilações.

A casa de máquinas fica normalmente situada acima do poço do elevador e utiliza motores elétricos para movimentar o sistema. Existem também elevadores hidráulicos normalmente utilizados em pequenos percursos.

- 1- Quadro de Comando
- 2- Máquina de Tração
- 3- Limitador de Velocidade
- 4- Cabos de Tração
- 5- Operador de Porta
- 6- Guias da cabina
- 7- Porta de Pavimento - Abertura Lateral
- 8- Porta de Pavimento - Eixo Vertical
- 9- Para-choque da Cabina
- 10- Cabo do Limitador de Velocidade
- 11- Polia Tensora do Limitador de Velocidade
- 12- Cabina
- 13- Contrapeso
- 14- Freios de segurança



As máquinas de tração podem ser classificadas quanto ao tipo de acionamento da seguinte forma:

- ✦ Acionamento em corrente contínua – motor de corrente alternada acionando um gerador síncrono de corrente contínua que alimenta um motor de corrente contínua, ligado ao redutor de velocidade.
- ✦ Acionamento em corrente alternada – motor assíncrono ligado direto no redutor de velocidade.

## 7.2 Cálculo do consumo

Em transportes verticais podem ser encontradas basicamente três faixas de correntes. A mais alta, quando os elevadores estão descendo com sua cabina vazia, pois terão que arrastar seu contrapeso para cima e este é sempre dimensionado para equilibrar-se com a cabina em sua capacidade máxima.

A segunda corrente seria uma média dos elevadores descendo e subindo com pessoas na cabina.

E finalmente a terceira, a menor delas, quando o elevador sobe sem nenhuma carga no interior da cabina. Através de uma análise de fluxo de tráfego de passageiros por andar e horário e com essas noções de consumo apresentadas, é possível criar planos de zoneamento e uso racional de elevadores durante seus períodos de uso.

Existe uma metodologia de cálculo para encontrar folgas (período de possibilidade de desligamento), cálculos de zoneamento (atendimento diferenciado por andares) e uso racional destes transportes.

A Agência para Aplicação de Energia de São Paulo apresentou esta metodologia em uma de suas publicações de título Auto-Avaliação dos pontos de desperdício de energia elétrica no setor comercial.

## 7.3 Recomendações de economia de energia

Muitas são as sugestões de medidas que podem ser tomadas com objetivo de reduzir o consumo de energia de elevadores. Muitas delas envolvem investimento de capital para a modernização do equipamento, devendo ser analisadas com o objetivo de se verificar o tempo de recuperação do capital (tempo de retorno) em função da possível economia de energia.

A modernização do elevador tem se mostrado como uma boa opção para prédios mais antigos, visando melhorar as condições de funcionamento do equipamento existente, sem a necessidade de altos investimentos em um novo equipamento. A vida média de um elevador é de 20 anos.

Neste caso podemos citar as seguintes possibilidades:

- ✦ Reforma total do aparelho, na qual podem ser trocados itens mais importantes, como o quadro de comando e a máquina de tração. Para equipamentos muito antigos, esse tipo de intervenção pode gerar economias de energia na ordem de 40 %.
- ✦ Em sistemas antigos com excitatriz girante (gerador de corrente contínua – CC), fazer uma revitalização (*retrofit*) com a troca para um sistema com excitatriz estática, elimina o desperdício do motor de corrente alternada (CA) que fica permanentemente ligado, girando o gerador de CC. Mais informações sobre acionamentos eletrônicos de motores CA podem ser encontradas no manual [Acionamento Eletrônico](#).

- ✦ Analisar a possibilidade da instalação de sistemas mais eficientes para o acionamento dos elevadores, consultando os fabricantes ou firmas especializadas. Existem comandos eletrônicos que ligam a iluminação e a ventilação da cabina apenas quando os elevadores estiverem sendo utilizados, promovendo uma economia de energia.
- ✦ Analisar a possibilidade de instalar controladores de tráfego para evitar que uma mesma chamada desloque mais de um elevador.
- ✦ O uso de quadro de comandos computadorizados, em substituição aos antigos quadros eletromecânicos, reduz o consumo de energia, facilita a manutenção e elimina paralisações constantes.
- ✦ Existem sistemas que registram as chamadas apenas para o elevador mais próximo do andar solicitante, evitando a duplicidade de chamadas. Se um usuário prender o elevador em um andar, com a porta aberta, um dispositivo sinalizador toca após 15 ou 30 segundos. Pode ser inconveniente em casos mais esporádicos como mudanças, mas no dia-a-dia ajuda a agilizar o trabalho do aparelho, diminuindo a duplicidade de chamadas (um usuário chamar dois elevadores). Se uma criança acionou vários botões, o sistema identifica automaticamente se existe lógica no procedimento. Se não houver lógica, o elevador cancela as paradas.

Existem ainda algumas medidas adicionais, relacionadas à racionalização do uso do elevador, que têm custo baixo ou nulo e em conjunto podem resultar em significativa redução do consumo de energia.

Neste sentido é possível sugerir as seguintes medidas:

- ✦ Elevadores mais modernos podem estar programados para retornar ao térreo quando ficam parados por mais de 60 segundos. Essa função pode ser desabilitada no sentido de economizar energia.
- ✦ Respeitar a capacidade máxima de transporte do elevador. A sobrecarga do sistema causa fadiga no motor elétrico, podendo reduzir a sua vida útil, além de provocar aumento no consumo de energia.
- ✦ Verificar a possibilidade de deixar um dos elevadores completamente desligado entre 22 h e 6 h. Mesmo parado no térreo, o equipamento gasta energia com sua iluminação. Essa medida ainda evita que o usuário chame dois elevadores neste período.
- ✦ Quando existirem dois elevadores, estudar a possibilidade de atender andares pares com um e andares ímpares com o outro.
- ✦ Estudar a possibilidade de desligar diariamente e de maneira alternada um dos elevadores no horário de menor movimento e menor utilização. Para tanto, recomendamos esclarecer aos usuários sobre os benefícios e objetivos a serem atingidos.
- ✦ Utilizar o menor número possível de elevadores fora do horário de maior movimento.
- ✦ Situar as áreas de atendimento ao público no andar térreo, evitando o uso de elevadores. Identificar com clareza as diversas seções, explicitando suas atividades, para evitar transportes desnecessários.

- ✦ Implantar medidas de conscientização dos usuários mediante cartazes explicativos, inclusive sugerindo que é mais prático utilizar a escada para chegar a andares próximos.
- ✦ Afixar avisos aos usuários, sugerindo que utilizem as escadas para subir um andar ou descer dois.
- ✦ Em caso de botoeiras com dois botões, acionar apenas o botão do sentido desejado, evitando paradas desnecessárias.
- ✦ Portas de elevador com vidro fumê são muito apreciadas esteticamente, mas podem trazer um problema prático. O usuário chama, o aparelho chega no andar, e a pessoa não percebe. Então, chama o outro elevador, gastando mais energia elétrica.

## **7.4 Conclusão**

O uso correto e a automação são as medidas que podem ser tomadas para proporcionar economia de energia com transporte vertical (elevadores).



## 8. Sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados

Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados, também chamados SCADA (proveniente do seu nome em inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*) ou mais simplesmente Sistemas de Supervisão e Controle (SSC), são sistemas computacionais que em associação com um conjunto de sensores e atuadores permitem supervisionar e controlar as variáveis e os equipamentos de sistemas elétricos, hidráulicos, ou outro tipo de sistema através de controladores (*drivers*) específicos.

São largamente empregados na indústria para automação de processos de produção, contudo também tem papel importante no setor comercial, principalmente para as instalações de maior porte ou que integrem grande número de serviços (*Shoppings Centers*, Aeroportos, Complexos Esportivos, Edifícios Comerciais de Escritórios, etc.).

### 8.1 Conceitos básicos

Os SSC's geralmente podem ser divididos em 2 módulos básicos:

**Módulo desenvolvedor:** voltado ao projeto e a construção do sistema, ou seja, programação das funções que o mesmo irá executar e do banco de dados que será utilizado pelo sistema.

**Módulo executável (*run-time*):** programa que estará sendo executado no computador para por em funcionamento as funções que foram programadas.

Os nomes e a metodologia de desenvolvimento variam um pouco de fabricante para fabricante, mas sempre são bem parecidos.

Estes sistemas podem assumir topologia mono-posto, cliente-servidor ou múltiplos servidores-clientes. Atualmente tendem a migrar de protocolos de comunicação proprietários, como os dispositivos Controladores Programáveis para Automação (PACs), módulos de Entradas/Saídas remotas, Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), registradores, etc, para assumirem arquiteturas cliente-servidor do tipo OPC (*Object Linking and Embedding (OLE) for Process Control*).

Para desenvolver projetos de SSC's não é necessário o conhecimento de nenhuma linguagem de programação em específico. A maioria dos passos de programação é automatizada, suprimindo a maior parte das necessidades de um projeto. Em casos mais complexos e específicos, onde os passos não estão automatizados, alguns SSC's incorporam módulos de programação em VBA (*Visual Basic For Applications*) ou VBS (*Visual Basic Script*).

Em alguns casos encontram-se linguagem próprias, mas sempre parecidas com linguagens comerciais que já são bem conhecidas.

## 8.2 Principais aplicações

Os SSC's têm aplicação bastante difundida na indústria para o controle de processos de produção, manutenção da qualidade, redução de custos, aumento da eficiência entre outras finalidades.

Nos ambientes comerciais como *Shopping Centers*, serviços públicos, escritórios entre outros ambientes não industriais, estes sistemas podem disponibilizar informações sobre diversos sistemas como: consumo de energia, água, refrigeração, telecomunicações, entre outros insumos, que são importantes para o acompanhamento de desempenho e o planejamento estratégico de ações para melhoria da eficiência e redução dos gastos para a prestação dos serviços ofertados.

Quanto mais complexos e mais diversificados forem os serviços a serem disponibilizados, maior a importância de se ter um sistema de supervisão. Atualmente quase todas as instalações e prédios comerciais já dispõem de sistemas de supervisão para a segurança patrimonial, contudo somente os estabelecimentos de maior porte como *shoppings* e prédios inteligentes de escritórios possuem sistemas para supervisão do sistema elétrico, água, abastecimento de gás, refrigeração, fluxo de veículos no estacionamento entre outros serviços presentes na operação da instalação.

Com a implantação de SSC's busca-se, portanto, aumento da qualidade do serviço prestado, redução dos custos operacionais, melhor desempenho dos sistemas e equipamentos monitorados e o estabelecimento de uma base de dados que pode ser utilizada por outros sistemas, visando o acompanhamento do funcionamento e desempenho da instalação, bem como o planejamento estratégico de futuras melhorias.

**Qualidade:** Através do monitoramento das variáveis de um processo produtivo, (pressão, temperatura, vazão, etc.) é possível determinar níveis ótimos de trabalho. Caso estes níveis saiam da faixa aceitável o SSC pode gerar um alarme na tela, alertando o operador do processo para um eventual problema. Desta forma, as intervenções no processo são feitas rapidamente, garantindo que o produto final sempre tenha as mesmas características. No caso de instalações comerciais a supervisão do funcionamento de equipamentos e sistemas como ar condicionado, distribuição de água e consumo de energia elétrica podem indicar anormalidades que sendo corrigidas resultem em melhor funcionamento do sistema e consequentemente melhoria da qualidade do serviço ofertado.

**Redução dos custos operacionais:** Imagine um processo produtivo ou a prestação de serviço envolvendo vários instrumentos de medição. Quanto tempo e quantos funcionários especializados seriam necessários para percorrer todo o processo a fim de realizar a leitura de todos os instrumentos? Quantas planilhas seriam necessárias e qual a probabilidade de erros humanos? Com um SSC é possível centralizar toda a leitura dos instrumentos remotos, gerar gráficos de tendência e gráficos históricos das variáveis do processo. São necessários poucos funcionários

especializados e com poucos “cliques” de mouse é possível realizar a leitura de todos os instrumentos envolvidos.

**Maior desempenho de produção:** Através da rapidez da leitura dos instrumentos de campo, as intervenções necessárias podem ser feitas mais rapidamente. Problemas de paradas de máquinas e equipamentos por defeitos podem ser diagnosticados mais pontualmente e os *setup's* de máquina também são agilizados.

**Base para outros sistemas:** Os SSC's podem coletar os dados do processo e armazená-los em banco de dados. Desta forma estes poderão ser utilizados para gerar informações importantes, sendo integrados com sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*), ERP, SAP, etc. Podem também fornecer dados em tempo real, para sistemas que realizam cálculos de OEE – *Overall Equipment Effectiveness*, sistemas SFC – *Shop Floor Control*, sistemas de PCP – Planejamento e Controle de Produção, ou similares.

### 8.3 Principais funções

#### 8.3.1 Sinóticos

Através das telas de sinóticos é que um processo ou serviço pode ser monitorado. Estas telas são “projetadas e desenhadas” através de um desenvolvedor (conforme dito anteriormente) e depois executadas através do módulo executável (*run-time*).

#### 8.3.2 Alarmes

Os SSC's podem ser configurados para gerar alarmes, ou seja, avisar ao usuário do sistema quando uma variável ou condição do processo de produção está fora dos valores previstos. Os alarmes são mostrados na tela em formato de planilhas e/ou animações na tela.

O gerenciamento de alarmes em um SSC é um vasto tema de estudos. A principal questão está no fato de que a grande maioria dos SSC's não possui ferramentas adequadas para o tratamento de grande quantidade de alarmes. Dessa forma, os operadores de sistemas, como seres humanos, possuem um limite de processamento de mensagens a cada intervalo de tempo. Em situações de estresse contínuo ou mesmo de “avalanches”, o excesso de mensagens geradas pode fazer com que os operadores passem a desprezá-las.

Nesse contexto, os sistemas de supervisão deveriam fornecer mais ferramentas que pudessem auxiliar os operadores nesses momentos, como por exemplo, distinguindo quais as ações são mais importantes e devem ter uma resposta mais imediata, e quais têm prioridade mais baixa, por ser apenas consequência de outros eventos.

## 8.4 Relatórios

Atualmente, os SSC's do mercado possuem ferramentas para a geração de relatórios na própria estação de trabalho.

Os relatórios mais comuns que são utilizados são:

- ✦ Relatório de alarmes: Lista um histórico com os alarmes ocorridos durante uma faixa de tempo escolhida pelo operador do sistema.
- ✦ Relatório de Acesso: Lista quais foram os usuários que acessaram o SSC ou modificaram algum parâmetro do processo.
- ✦ Relatório de variáveis: Lista a alteração de variáveis ao decorrer do tempo/lote/período.

Os relatórios dependem da imaginação do desenvolvedor e das necessidades do cliente. Lógico que deve se observar as limitações de cada SSC para a geração de relatórios. Geralmente não são executados relatórios “pesados” (com muitos cálculos e relacionamentos) dentro do SSC, pois podem afetar drasticamente o desempenho do sistema (que geralmente é vital para o processo industrial). Relatórios complexos devem ser processados por outros sistemas de informação.

## 8.5 Gráficos Históricos

Uma das mais interessantes funcionalidades dos SSC's é a possibilidade de geração de gráficos históricos. Gráficos históricos ajudam a avaliar valores de variáveis ao longo do tempo de forma rápida.

## 8.6 Tipos de comunicação e protocolos

Meio físico: Os SSC's necessitam de um meio físico para que seja possível a aquisição de dados no controlador de campo (PLC). Este meio físico geralmente utiliza o padrão elétrico RS232, RS485 ou *ethernet*. O padrão RS232 pode ser utilizado até uma distância máxima de 12 metros. Já o padrão RS485 pode chegar a uma distância de até 1200 m sem repetidores.

Atualmente, utiliza-se em maior parte, o padrão *ethernet*. Chega à distância de até 100 m entre segmentos com cabeamento do tipo 10BaseT. Para distância elevadas, utiliza-se fibra óptica.

Protocolos: Para que haja comunicação entre o controlador de campo e o SSC não basta apenas o meio físico. Os dois sistemas devem utilizar o mesmo protocolo de comunicação. Cada fabricante de PLC tem o seu protocolo de comunicação proprietário. Logo, os SSC's possuem vários *drivers* de comunicação, para que possam ser compatíveis com os protocolos adotados pela maioria dos fabricantes.

Existem protocolos de comunicação abertos, como por exemplo, o MODBUS. Existe nas versões RTU (Padrão serial RS232/RS485) e TCP (Padrão *Ethernet*). A maioria dos fabricantes de PLC já implementa este protocolo de forma nativa.

### 8.6.1 OPC (OLE for process control)

OPC (*OLE for Process Control*) é um padrão industrial publicado para interconectividade de sistema. As especificações deste padrão são mantidas pela Fundação OPC. A Fundação OPC é uma organização dedicada ao desenvolvimento de tecnologias aplicadas a interoperabilidade na automação, a fim de criar e gerenciar especificações que padronizam a comunicação das arquiteturas de acesso a dados *on line*, alarmes, registros de eventos, comandos e bancos de dados de diferentes equipamentos, de vários fabricantes que se comunicam em diferentes protocolos. Seu funcionamento é baseado no OLE – *Object Linking and Embedding* de componentes orientados a objeto, por meio das tecnologias COM e DCOM da Microsoft permitindo que aplicações troquem dados que podem ser acessados por um ou mais computadores que usam uma arquitetura cliente/servidor, mesmo que essas aplicações trabalhem sobre sistemas que utilizem protocolos diferentes.

O OPC funciona utilizando os serviços das tecnologias OLE COM da Microsoft (modelo objeto/componente) e DCOM (modelo objeto/componente distribuído); a especificação define o formato padrão de objetos, interfaces e métodos para uso em sistemas de automação e controle que facilitam a interoperabilidade. As tecnologias de COM/DCOM proveram o procedimento padrão para criação de *softwares* que objetivam a integração de equipamentos. Com base nessa tecnologia foram criadas centenas de OPC de acesso a dados tanto em servidores quanto em clientes. O OPC propõe a interface amigável entre sistemas que trabalham usando protocolos diferentes. Assim, diversas aplicações recebem dados no mesmo formato da sua base de dados, embora a fonte desses dados possa trabalhar com um padrão diferente de formatação e comunicação de dados. O OPC unifica o padrão de comunicação de dados de controle de processo e permite que diferentes produtos sejam interfaceados com uma única tecnologia, promovendo interações dos sistemas de operação e integração de vários processos em um só sistema, isso com custo e tempo de implementação reduzidos [1].

O OPC permite também a “integração vertical” entre os diferentes sistemas dentro de uma organização. Basicamente consiste em um programa servidor, geralmente disponibilizado pelo próprio fabricante do PLC, que se comunica com o PLC através do protocolo proprietário e disponibiliza os dados no padrão OPC.

O cliente, ao invés de precisar ter um *driver* do protocolo proprietário, necessita ter apenas o *driver* OPC *client* instalado. O servidor OPC pode estar instalado na mesma máquina que o OPC *client*.

Quando o servidor e o cliente estão instalados no mesmo computador, o OPC utiliza o COM para estabelecer a comunicação. O COM é de fácil configuração

e relativamente rápido. Em aplicações distribuídas, o servidor e o cliente OPC serão instalados em computadores diferentes. Neste caso, o OPC passa a utilizar o DCOM. O DCOM é de configuração complicada, difícil de trabalhar em WAN's, tem *timeout* elevado e exige configurações avançadas no *firewall*.

Tipos de OPC:

- ✎ OPC DA – 'Qual o valor da variável "x" AGORA?';
- ✎ OPC HDA – 'Qual o valor da variável "x" ONTEM?';
- ✎ OPC A&E – 'A variável "x" MUDOU!' - Trata de alarmes e eventos;
- ✎ OPC UA: - Independe de Plataforma.

OPC UA é a ultima evolução do OPC, que pretende unificar todas as especificações anteriores do OPC e não se baseia mais nas tecnologias COM e DCOM, ou seja, liberta-se das amarras da MicroSoft podendo basear-se em sistemas UNIX.

Trabalha com tecnologia orientada para *web*, como SOAP, XML etc. Promete ser o padrão dominante nos próximos 10 anos.

### 8.6.2 Sistema Cliente/Servidor

Quando se deseja visualizar e controlar diferentes processos em mais de um local dentro de uma planta industrial, com a mesma confiabilidade e precisão do sistema Scada local, é necessária a implantação de um protocolo que possibilite a coleta de dados e o envio de informações de controle a partir de um sistema central.

Assim é necessária a implantação de uma arquitetura em rede onde o SSC central passa ser Cliente dos sistemas Scada locais, responsáveis pelo controle local dos diferentes processos. Desta forma os sistemas locais passam a serem servidores dessa rede, permitindo que Clientes remotos se conectem a ele e colem dados, alarmes e históricos dos eventos ou enviem informações de controle.

O processamento dos dados do sistema que está sendo controlado fica a cargo do sistema Scada local, garantindo que não haverá incertezas e que o tráfego de rede será reduzido. Neste caso o Servidor Scada local, pode ou não ter uma interface gráfica já que é possível a visualização de todas as suas informações no SSC central.

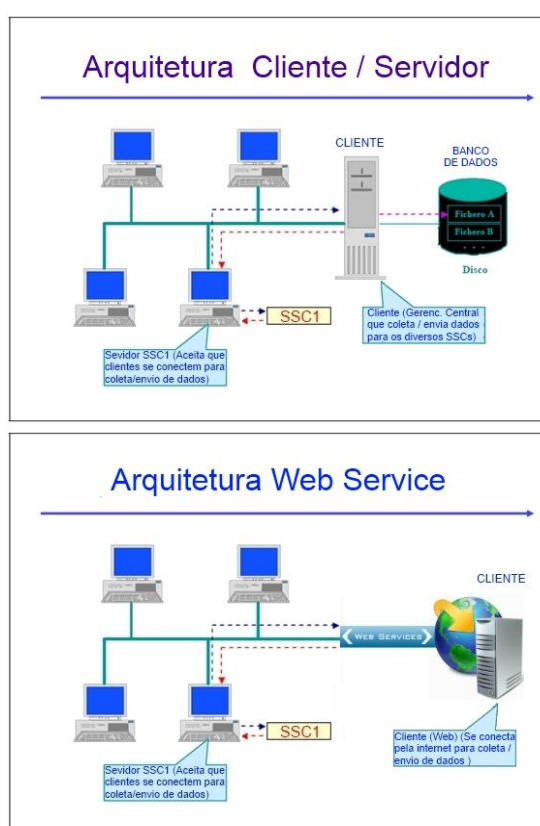
### 8.6.3 Sistema Web Server

De forma análoga ao sistema Cliente/Servidor, o *Web Server* visa disponibilizar os dados do processo através da rede. Porém os Clientes ao invés de acessarem os dados através de um software instalado na máquina, acessam o Servidor Scada local via *browser* de internet.

Geralmente é baseado no serviço IIS do Windows e através de um *activeX* instalado no PC Cliente, pode-se visualizar as telas do processo, gerar relatórios e até realizar comandos no processo. Tem como vantagem a não necessidade de instalação de softwares adicionais no micro Cliente e pode-se acessar o SSC através da internet de forma fácil e segura. Permite o fácil acesso através de *palms* e celulares mais avançados.

A principal desvantagem é a relativa perda de robustez do sistema. A tendência é a substituição dos Clientes normais por sistemas *web*. Os custos são menores, há menor investimento em infraestrutura e gera ótimos resultados.

A figura 8.1 ilustra a diferença entre o protocolo Cliente / Servidor local e o Web Server.



**Figura 8.1** – Protocolo Cliente / Servidor local e o Web Server

## 8.7 Confiabilidade e redundância

Existem processos industriais que não podem parar. A parada destes processos pode causar prejuízos financeiros imensos ou até mesmo riscos à vida. Desta forma, alguns dos sistemas Scada podem ser configurados de forma redundante. (depende do fabricante)

Existem inúmeros métodos de arquitetura de redundância de dados, variando de fabricante a fabricante de SSC. O mais utilizado é comumente chamado de *hot standby*. Existem 2 servidores, um chamado primário e outro secundário ou

*backup*. Os dois sistemas possuem base de dados idênticas (planilhas de comunicação com o PLC).

Quando o servidor primário está em funcionamento, os clientes requisitam dados deste servidor. O próprio servidor secundário também requisita os dados do servidor primário e deixa a sua base de dados inativa. Quando o servidor primário não está mais ativo, os clientes automaticamente começam a requisitar dados do servidor secundário (*failover* automático). O servidor secundário, por sua vez, ativa a sua base de dados local e inicia a leitura das variáveis no PLC.

Quando o servidor primário volta à ativa, o sistema chaveia-se automaticamente, ou seja, volta à condição inicial.

## 8.8 Componentes principais

### 8.8.1 Banco de Dados

Os SSC's têm plena capacidade de armazenamento em banco de dados relacionais. Podem ser armazenados:

- ✍ Dados históricos.
- ✍ Informações Logísticas.
- ✍ Dados de *logon/logoff*.
- ✍ Outros.

Os dados podem ser utilizados para gerar relatórios, gráficos, entre outras opções. Os bancos de dados mais utilizados são o *SQL Server*, *Oracle* e *MySQL*. Em alguns casos que exijam menor complexidade pode-se utilizar o *MS Access* (porém não recomendado). Geralmente os SSC's e DB's encontram-se instalados em máquinas separadas. Porém há casos em que se utiliza o DB instalado localmente.

### 8.8.2 Controlador de informações do processo (PIMS)

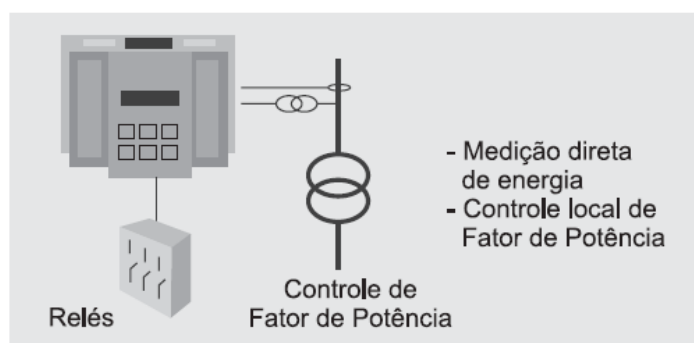
Basicamente, PIMS (do inglês *Process Information Management System*) é um *software* que contém um repositório, onde são concentradas todas as informações relevantes das células de produção, diretamente ligadas aos sistemas de supervisão e controle. O PIMS coleta informações dos sistemas de supervisão, CLPs, SDCDs e as armazena em uma base de dados de tempo real.

Tal base tem características não encontradas nos bancos de dados convencionais, como grande capacidade de compactação (tipicamente de 10:1) e alta velocidade de resposta a consultas em sua base histórica. Devido a isto, é capaz de armazenar um grande volume de dados com recursos mínimos, se comparada às soluções convencionais.



## 8.9 Aplicação: controladores de demanda

O controle de variação da demanda em uma instalação possibilita a redução dos custos com a energia, uma vez que em muitos casos os picos de demanda poderiam ser evitados, sem prejuízo ao bom funcionamento da instalação. Conforme apresentado na figura 8.2, para a execução desse controle existem equipamentos e sistemas de monitoramento que permitem ao administrador da instalação acompanhar e intervir no funcionamento das cargas em tempo real.



**Figura 8.2** – Controladores CCK – [www.cck.com.br](http://www.cck.com.br)

Os sistemas de gerenciamento da energia possuem controladores de demanda ligados às principais cargas da instalação, prioritariamente àquelas que não representam imediata alteração na operação usual do sistema, como, por exemplo, sistemas de ar-condicionado, bombas compensadoras de nível e bombas de esgoto, manobrando suas entradas e saídas de forma equilibrada a fim de se evitar os picos nos valores da demanda a ser medida pela concessionária de energia.

A concessionária de energia cobra mensalmente, em sua fatura de energia, pelo maior valor de demanda registrada ao longo dos intervalos de medição de 15 min em 15 min. Os valores de demanda tendem a se manter em uma média de acordo com a forma de operação da instalação.

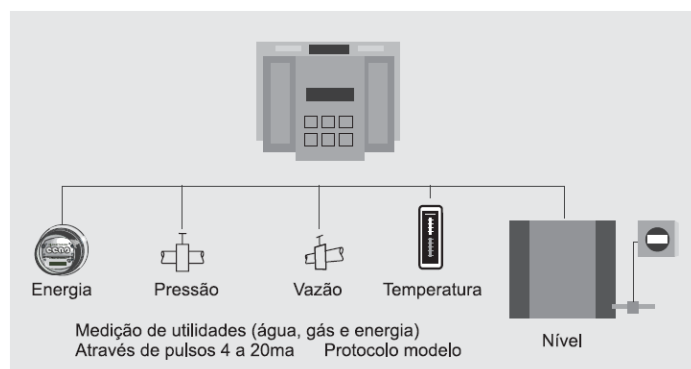
A curva de carga permite ao administrador da instalação verificar o perfil de sua demanda ao longo do dia, identificando os períodos de maior e menor valor e o momento onde ocorrem os picos de demanda. Para formação dessa base estatística da variação da demanda pode-se solicitar à concessionária de energia uma memória de massa do medidor. Os equipamentos controladores de demanda também efetuam medições e possibilitam a extração dos dados monitorados e a confecção de gráficos e planilhas de acompanhamento.



**Figura 8.3** – Gráficos com dados de medição.

Uma vez estabelecida a variação da demanda, em função do regime operacional da instalação, é então informado ao controlador de demanda o valor máximo estabelecido e as cargas que poderão ser desligadas momentaneamente sem prejudicar o andamento do regime de operação da instalação, porém evitando que a demanda máxima estabelecida seja ultrapassada.

A instalação destes equipamentos de controle de demanda oferece ainda outras possibilidades, tais como o controle automático dos bancos de capacitores (mantendo sempre o fator de potência da instalação dentro do valor mínimo estabelecido de 0,92), medições de parâmetros elétricos em pontos estabelecidos, elaboração de gráficos etc. Alguns destes equipamentos possuem entradas de pulsos, que podem ser utilizadas para receber pulsos proporcionais, além do consumo de energia elétrica, para variação de vazão, de pressão, de temperatura etc.



**Figura 8.4** – Sistemas de controle com CCK 6500.

## 8.10 Estimativa de custo

O custo de um SSC é determinado a partir de uma análise de fatores como: número de pontos monitorados e controlados; complexidade das funções a serem executadas; grau de confiabilidade e redundância desejado; tamanho e tipo dos dados que deverão ser armazenados pelo banco de dados; requisitos e projeto adotado para a camada física (*hardware*).

Dentre estes componentes, um dos mais difíceis de serem mensurados para a determinação de custo é sem dúvida o sistema computacional que deverá lidar

com a complexidade das funções a serem executadas. Isto porque em termos de custo é muito mais simples determinar a parte física, ou seja, preço dos equipamentos e serviço de instalação dos mesmos, do que avaliar o esforço de desenvolvimento e programação das funções computacionais que implementarão de fato o sistema de supervisão e controle.

Conforme indicado pela própria definição, a essência de um sistema de supervisão está na parte computacional, ou seja, na parte do *software* que irá executar as funções desejadas. Portanto, para se determinar o custo de um SSC primeiramente deve-se quantificar a sua complexidade, o que nem sempre é simples e objetivo, levando à necessidade de se aplicar uma metodologia padronizada que possa permitir a quantificação da complexidade de um determinado sistema.

A partir de estudos para a criação de uma metodologia para se determinar a complexidade de determinado sistema computacional, chegou-se a uma proposta conhecida como Análise por Ponto de Função (APF) e que atualmente tem sido bastante difundida.

### **8.11 Análise de Pontos de Função (APF)**

A Análise de Pontos de Função (APF) é uma medida de tamanho de claro significado ao nível do negócio. A APF foi divulgada pela primeira vez por Allan Albrecht da IBM em 1979. A APF quantifica as funções contidas no *software* em termos significativos para os respectivos usuários. A medida relaciona-se diretamente aos requisitos do negócio que o *software* pretende tratar. Dessa forma, a APF é imediatamente aplicável a um amplo espectro de ambientes e ao longo da vida de um projeto de desenvolvimento, desde a definição inicial dos requisitos até a fase de plena utilização operacional. Também podem ser derivadas outras medidas úteis ao negócio, tais como a produtividade do processo de desenvolvimento e o custo unitário de suporte ao *software*.

A própria medida em pontos de função é derivada segundo um certo número de etapas. De acordo com um conjunto de critérios padronizados, é atribuído um índice numérico a cada uma das funções do negócio, conforme os respectivos tipo e complexidade. Tais índices são totalizados, de modo a fornecer uma medida inicial de tamanho, a qual é então normalizada, através da incorporação de um conjunto de fatores relacionados ao *software* como um todo. O resultado final é um único número, chamado o índice de Pontos de Função, que mede o tamanho e complexidade do produto de *software*.

Em resumo, Análise de Pontos de Função (APF) é uma técnica para a medição de projetos de desenvolvimento de *software*, visando estabelecer uma medida de tamanho, em Pontos de Função (PF), considerando a funcionalidade implementada, sob o ponto de vista do usuário. A medida é independente da linguagem de programação ou da tecnologia que será usada para implementação. Portanto, a técnica de pontos de função fornece uma medida objetiva e

comparável que auxilia a avaliação, planejamento, gerência e controle da produção de *software*.

Sob esse contexto, os objetivos da APF são:

- ✦ Medir a funcionalidade solicitada pelo usuário, antes do projeto de *software*, de forma a estimar seu tamanho e seu custo;
- ✦ Medir projetos de desenvolvimento e manutenção de *software*, independentemente da tecnologia utilizada na implementação, de forma a acompanhar sua evolução;
- ✦ Medir a funcionalidade recebida pelo usuário, após o projeto de *software*, de forma a verificar seu tamanho e custo, comparando-os com o que foi originalmente estimado.

As organizações podem aplicar a Análise de Pontos por Função como:

- ✦ Uma ferramenta para determinar o tamanho de pacotes de *software* adquiridos, através da contagem de todos os Pontos por Função incluídos no pacote;
- ✦ Uma ferramenta para apoiar a análise da qualidade e da produtividade;
- ✦ Um mecanismo para estimar custos e recursos envolvidos em projetos de desenvolvimento e manutenção de *software*;
- ✦ Um fator de normalização para comparação de *software*.

## **8.12 Referências**

1. **Iwanitz F., Lange J. (2006).** OPC - Fundamentals, Implementation and Application. 3rd ed.. Hüthig Fachverlag. Germany.

## 9. Plano de medição e verificação

### 9.1 Introdução

Um plano de Medição e Verificação (M&V) tem por objetivo determinar de modo seguro a economia real de energia obtida dentro de uma instalação após a implementação das Ações de Eficiência Energética<sup>12</sup> – AEEs. A metodologia para a determinação da economia obtida deve estar baseada no Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP (Fontes de consulta: [Efficiency Valuation Organization - EVO](#); [Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel](#)).

A economia de energia não pode ser medida diretamente, uma vez que a economia representa a ausência do consumo de energia, deve ser calculada comparando-se o consumo de energia medido antes e depois da implementação das AEEs, com ajustes adequados, tendo em conta alterações nas condições de uso da energia.

### 9.2 Limites de Medição

O limite de medição estabelece uma fronteira fictícia, onde todos os consumos de energia dos equipamentos ou sistemas em análise devem ser medidos ou estimados. Desta forma é perceptível que a economia pode ser determinada para toda uma instalação ou simplesmente para parte dela, dependendo do objetivo.

Se o objetivo for determinar a economia global de uma instalação, os medidores que medem o fornecimento de energia da instalação poderão ser utilizados para avaliar o desempenho energético e a economia. Neste caso o limite de medição engloba toda a instalação.

Se a medição for apenas de sistemas ou equipamentos específicos, deverá ser estabelecido um limite de medição em torno destes. Esta situação representa uma medição isolada.

Em situações onde os dados dos períodos antes ou após as AEEs não são de confiança ou não estão disponíveis, dados energéticos de um programa de simulação calibrada podem substituir os dados em falta, para toda ou apenas parte da instalação.

### 9.3 Períodos de medição

Os períodos de medição de energia antes e após as AEEs, denominados respectivamente de *período de referência* e *período de determinação da economia*, devem ser selecionados cuidadosamente.

---

<sup>12</sup> Esta expressão é normalmente utilizada para significar: medidas que melhoram a eficiência, conservam energia ou água, ou gerenciam a demanda.

**Período de referência:** Este período deve representar relativamente bem, todas as condições de funcionamento de uma instalação, cobrindo um ciclo completo de funcionamento (consumo máximo e mínimo de energia). Devem ser utilizados apenas períodos de tempo para os quais sejam conhecidos todos os fatores relativos à instalação, fixos e variáveis, que regem a economia.

É importante que este período coincida com o período imediatamente anterior ao compromisso de implantação das AEEs. Períodos distantes podem não representar as condições existentes antes da reforma, e, por conseguinte, poderiam não fornecer um período de referência adequado.

- ✈ **Período de determinação da economia:** O período de determinação da economia deve englobar no mínimo um ciclo completo de funcionamento normal do sistema ou equipamento, para caracterizar completamente a eficácia da economia em todos os modos de funcionamento normais. Este período pode ter duração fixa ou indeterminada e a medição poderá ser desde instantânea a contínua.

## 9.4 Cálculo da economia

A economia obtida com as AEEs é obtida utilizando-se a equação 10.1:

$$\text{Economia} = (\text{consumo ou demanda durante o período de referência} - \text{consumo ou demanda durante o período de determinação da economia}) \pm \text{ajustes de rotina} \pm \text{ajustes não de rotina} \quad (10.1)$$

Onde:

**Ajustes de rotina:** fatores que interferem no consumo da energia, os quais se espera que mudem periodicamente durante o período de determinação de economia (clima, quantidade de pessoas trabalhando, etc.).

**Ajustes não de rotina:** fatores que interferem no consumo de energia, os quais não existem expectativa de que mudem habitualmente (tamanho da instalação, quantidade de pessoas trabalhando, etc.).

## 9.5 Opções de medição para um Plano de M&V

O PIMVP apresenta quatro opções sobre como pode ser realizada a Medição e Verificação. A seguir, são apresentadas, resumidamente, cada uma delas:

**Opção A – Medição isolada da AEE (medição dos parâmetros-chave):** Com a Opção A, os consumos de energia podem ser derivados de um cálculo, usando-se uma combinação de medições de alguns parâmetros e estimativas dos outros. Tais estimativas devem apenas ser usadas onde se possa mostrar que a incerteza combinada de todas não afetará significativamente a economia global. As estimativas podem ser baseadas em dados históricos, tais como as horas de

funcionamento registradas do período de referência, dados publicados dos fabricantes dos equipamentos, testes laboratoriais, ou dados típicos do clima.

O uso desta opção pode ser menos dispendiosa do que nas outras opções, uma vez que o custo de estimar um parâmetro é muitas vezes significativamente menor do que o custo da medição. No entanto, em algumas situações em que a estimativa é a única possibilidade, uma boa estimativa pode ser mais dispendiosa do que a medição direta.

- ✦ **Aplicações típicas:** Um exemplo de aplicação típica é a revitalização de um sistema de iluminação onde a potência requerida, medida periodicamente, é o parâmetro-chave de desempenho energético. As horas de funcionamento da iluminação são calculadas com base nos horários de funcionamento do edifício e no comportamento dos ocupantes.

**Opção B – Medição isolada da AEE (medição de todos os parâmetros):** Esta opção requer a medição de todos os parâmetros necessários para calcular a energia, ou de todos os consumos de energia.

A economia proporcionada pela maior parte dos tipos de AEEs pode ser determinada com a Opção B. No entanto, o grau de dificuldade e os custos aumentam em função do aumento da complexidade da medição. Os métodos da Opção B serão geralmente mais difíceis e dispendiosos do que os da Opção A. Todavia, a Opção B produzirá resultados mais precisos.

- ✦ **Aplicações típicas:** Um exemplo de aplicação típica é a aplicação de variador de frequência e controle de motor para ajustar o fluxo da bomba. Deve-se medir o consumo de energia elétrica através de um analisador de energia tanto no período de referência quanto no período de determinação da economia.

**Opção C – Toda a instalação:** A Opção C implica a utilização de medidores da concessionária, medidores de toda a instalação, ou submedidores, para avaliar o desempenho energético de toda a instalação. A fronteira de medição inclui toda a instalação ou parte desta. Esta Opção determina a economia coletiva de todas as AEEs aplicadas à parte da instalação monitorada pelo medidor de energia.

- ✦ **Aplicações típicas:** A Opção C aplica-se melhor onde: existem muitos tipos de AEEs em uma instalação, as técnicas de medição isoladas de AEE (Opção A ou B) são excessivamente complexas e a utilização de programa de gestão de energia multifacetado, afetando muitos sistemas em uma instalação.

**Opção D – Simulação calibrada:** A economia é determinada através da utilização de um *software* de simulação computadorizada a fim de prever o consumo de energia da instalação para um ou ambos os termos da equação utilizada para



determinar a economia. Esta opção requer bastante conhecimento de simulações calibradas.

- ✈ **Aplicações típicas:** Uma aplicação típica ocorre quando da instalação de um sistema múltiplo de gerenciamento de energia em uma instalação, do qual não se podem obter dados consistentes para a geração de uma base. Neste caso o consumo do período de determinação de economia é determinado através dos medidores da concessionária, por exemplo, e o consumo do período de referência é calibrado com base nestes dados após a implementação das medidas.

## 9.6 Seleção da melhor opção

A escolha da Opção a ser utilizada, dentre as quatro existentes no PIMVP, é uma decisão tomada pelo técnico responsável pela elaboração do plano de M&V, com base em todo o conjunto de condições de projeto, análises, orçamentos, e avaliação profissional.

É impossível generalizar acerca da melhor opção apresentada no PIMVP para qualquer tipo de situação. No entanto, algumas características chaves do projeto sugerem opções frequentes mais favorecidas, mostradas na tabela 9.1.

**Tabela 9.1** – Características chave das Opções existentes no PIMVP

| Caraterísticas da AEE do projeto                                                                                  | Opção sugerida |   |   |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|---|---|
|                                                                                                                   | A              | B | C | D |
| Necessidade de avaliar individualmente as AEEs                                                                    | X              | X |   | X |
| Necessidade de avaliar apenas o desempenho energético de toda a instalação                                        |                |   | X | X |
| Economia prevista inferior a 10% do medidor da concessionária                                                     | X              | X |   | X |
| Múltiplas AEEs                                                                                                    | X              |   | X | X |
| A importância de algumas variáveis determinantes do padrão de uso da energia não é clara                          |                | X | X | X |
| Os efeitos interativos da AEE são significativos ou não podem ser medidos                                         |                |   | X | X |
| Muitas alterações futuras previstas dentro da fronteira de medição                                                | X              |   |   | X |
| É necessária uma avaliação do desempenho energético a longo prazo                                                 | X              |   | X |   |
| Dados do período de referência indisponíveis                                                                      |                |   |   | X |
| Pessoal sem formação técnica deve compreender os relatórios                                                       | X              | X | X |   |
| Competência de medição disponíveis                                                                                | X              | X |   |   |
| Competências de simulação por computador disponíveis                                                              |                |   |   | X |
| Experiência de leitura das faturas de energia de concessionárias e realização de análise de regressão disponíveis |                |   | X |   |

## **9.7 Referências**

1. Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP, Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água – Volume 1, setembro de 2010.

## 10. Análise Econômica em Conservação de Energia

Qualquer que seja a decisão de investimento em alternativas e projetos de economia e uso eficiente de energia elétrica é necessário submeter as alternativas possíveis à análise de viabilidade técnica e econômica.

Os índices que melhor expressam a atratividade, ou não, do investimento em eficiência energética são: o valor presente líquido, o valor anual líquido, a taxa interna de retorno e o tempo de retorno do capital (*payback*).

No capítulo 6 do livro [Conservação de Energia – Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações](#) a forma de utilização destes índices para análise da viabilidade econômica do projeto de eficiência energética é mostrada detalhadamente.

## Parte III – Procedimentos para Contratações

### 1. Introdução

A realização de reformas em edificações da administração pública requer atenção para diversos aspectos, entre os quais destaca-se o fiel cumprimento da legislação em vigor. As contratações para fins de aumento da eficiência energética em prédios públicos não se excluem desses procedimentos, porém, por suas especificidades, merecem considerações adicionais por parte do gestor público, para que o efeito desejado seja plenamente obtido. O sucesso de uma revitalização energética (processo de *retrofit*) depende da correta especificação, contratação e acompanhamento de diversas etapas, desde o diagnóstico energético até a medição e verificação dos resultados. Nesta parte do manual, pretende-se alertar os gestores (tanto o profissional responsável pelos editais para contratação de serviços de engenharia quanto o encarregado da manutenção e operação da edificação) para alguns aspectos básicos da contratação de serviços de conservação de energia, procurando fornecer critérios e sugestões de procedimentos que propiciem o melhor resultado final.

Partindo-se do pressuposto de que a legislação básica de contratação de serviços é de amplo conhecimento dos gestores públicos em geral, neste manual será dado destaque a procedimentos e técnicas relativas à seleção de métodos, equipamentos e sistemas que devem, sempre que possível, ser incluídos nos editais ou chamadas públicas para contratação de serviços de eficiência energética.

### 2. Formas de contratação

Neste item, são abordadas as principais etapas a serem contratadas em projetos de revitalização típicos em edificações públicas.

Em geral, identificam-se cinco etapas distintas em ciclo completo de revitalização para fins de aumento da eficiência energética. São elas:

1. Diagnóstico energético
2. Elaboração de projeto básico
3. Elaboração de projeto executivo
4. Execução das obras
5. Fiscalização e acompanhamento dos resultados

Existem várias possibilidades de agrupamento nas contratações das etapas 1 a 5, além, é claro, da realização de 5 contratações individuais. Contudo, a experiência

de trabalhos anteriores do Cepel e de outras instituições tem indicado que uma boa abordagem seria o seguinte agrupamento:

- ✦ Contratação conjunta do diagnóstico energético e da elaboração do projeto básico, podendo incluir ainda a posterior fiscalização;
- ✦ Contratação do projeto executivo;
- ✦ Contratação da execução das obras.

As razões para este procedimento são:

- ✦ Reduzir o número de editais ou chamadas para serviços, preservando, no entanto, a necessária independência entre a concepção do projeto, detalhamento e execução.
- ✦ Permitir flexibilidade de opções na execução das obras, através da contratação em separado e modular do projeto executivo.
- ✦ Delegar a fiscalização e o acompanhamento a quem concebeu o projeto, permitindo o fechamento do ciclo concepção-realização-verificação sem perda de qualidade. Embora seja possível a contratação de uma quarta parte independente para a fiscalização, entende-se que este agente pode não deter todo o conhecimento técnico e o nível de detalhamento necessário ao acompanhamento das soluções propostas desde a etapa do diagnóstico. Também são reduzidos os problemas de comunicação entre as partes, falhas de documentação e os atrasos decorrentes da seleção de uma entidade adicional somente para fiscalização, entre outras vantagens.

### **3. Características importantes e recomendações relativas às principais etapas**

#### **3.1 Diagnóstico energético e projeto básico**

O diagnóstico energético deve ser tão abrangente quanto possível, considerando o melhor da técnica disponível, tanto para identificação de oportunidades de economia, quanto para a elaboração de um “leque de opções” de procedimentos e tecnologias para redução do consumo energético. No Quadro 1 apresenta-se o sumário de um relatório de diagnóstico energético típico, referente ao trabalho realizado pelo Cepel em uma edificação pública.

**Quadro 1 – Exemplo de itemização (sumário) de um relatório de diagnóstico energético.**

|                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. RESUMO EXECUTIVO</b>                                                                           |
| 1.1 INTRODUÇÃO                                                                                       |
| 1.1.1 Contextualização                                                                               |
| 1.1.2 Descrição da Edificação                                                                        |
| 1.1.3 Localização                                                                                    |
| 1.1.3.1 Características construtivas                                                                 |
| 1.1.3.2 Operação                                                                                     |
| 1.2 SISTEMAS ESTUDADOS                                                                               |
| 1.3 METODOLOGIA                                                                                      |
| 1.4 RESULTADOS                                                                                       |
| 1.4.1 Sistema de ar condicionado                                                                     |
| 1.4.2 Sistema de Iluminação                                                                          |
| 1.4.3 Análise energética e tarifária                                                                 |
| 1.4.4 Análise do uso da água                                                                         |
| <b>2. GERENCIAMENTO ENERGÉTICO</b>                                                                   |
| 2.1 CONCEITUAÇÃO                                                                                     |
| 2.2 ESPECIFICIDADES DA EDIFICAÇÃO                                                                    |
| <b>3. SISTEMA DE AR CONDICIONADO</b>                                                                 |
| 3.1 INTRODUÇÃO                                                                                       |
| 3.2 OBJETIVO                                                                                         |
| 3.3 METODOLOGIA                                                                                      |
| 3.3.1 Estimativa da carga térmica global do prédio                                                   |
| 3.3.2 Testes em vidros das janelas                                                                   |
| 3.4 ALTERNATIVAS ESTUDADAS                                                                           |
| 3.5 SISTEMAS CENTRAIS DE CLIMATIZAÇÃO                                                                |
| 3.6 SISTEMAS UNITÁRIOS OTIMIZADOS                                                                    |
| 3.6.1 Estimativa da carga térmica global do prédio                                                   |
| 3.6.2 Redução nos custos de investimentos com a compra de equipamentos de ar condicionado otimizados |
| 3.7 TROCA DOS EQUIPAMENTOS CONSIDERADOS OBSOLETOS POR EQUIPAMENTOS OTIMIZADOS E EFICIENTES           |
| 3.8 APLICAÇÕES DE PINTURA DE COR CLARA NAS EMPENAS CEGAS DO PRÉDIO                                   |
| 3.9 OUTRAS RECOMENDAÇÕES                                                                             |
| 3.10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES                                                                      |
| <b>4. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO</b>                                                                      |
| 4.1 INTRODUÇÃO                                                                                       |
| 4.2 METODOLOGIA ADOTADA                                                                              |
| 4.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EFICIENTE EXISTENTE NA EDIFICAÇÃO               |
| 4.4 ESTUDO DE REVITALIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COM LUMINÁRIAS PARA LÂMPADAS MODELO T5 DE 28W   |
| 4.5 COMENTÁRIOS E SUGESTÕES                                                                          |
| <b>5. ANÁLISE DE ENERGIA E TARIFAÇÃO</b>                                                             |
| 5.1 INTRODUÇÃO                                                                                       |
| 5.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ANALISADO                                                                   |
| 5.2.1 Enquadramento tarifário                                                                        |
| 5.2.2 Sistemas de medição e de distribuição                                                          |
| 5.2.3 Resumo das contas de energia elétrica                                                          |
| 5.2.4 Perfil de consumo de energia elétrica                                                          |
| 5.3 ESTUDO DA DEMANDA ÓTIMA                                                                          |
| 5.3.1 Medições realizadas                                                                            |
| 5.3.2 Simulações                                                                                     |
| 5.4 ANÁLISE DOS DADOS                                                                                |
| 5.5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES                                                                       |
| <b>6. USO DA ÁGUA</b>                                                                                |
| 6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO                                                                                 |
| 6.2 ANÁLISES DAS INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS                                                             |
| 6.3 INFORMAÇÕES IMPORTANTES                                                                          |
| 6.3.1 Uso de torneiras                                                                               |
| 6.3.1.1 Outras informações relevantes                                                                |
| 6.3.2 Uso de descarga sanitária                                                                      |
| 6.3.2.1 Outras informações relevantes                                                                |
| 6.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES                                                                       |

**ANEXOS**

O diagnóstico deve ser realizado considerando ainda os limites explicitados na contratação, tais como:

- ✦ Definição prévia das áreas a serem abordadas (por exemplo: identificar oportunidades de economia de energia na envoltória da edificação, nos sistemas de iluminação, no ar-condicionado, equipamentos de escritório, transporte vertical, sistemas de bombeamento etc);
- ✦ Exclusão de áreas sensíveis (segurança), de uso específico ou que já tenham sido objeto de revitalização recente;
- ✦ Limites operacionais (horários para realização das medições e acesso aos ambientes de trabalho);
- ✦ Limites orçamentários ou de prazos para execução.

Cada alternativa técnica e economicamente viável<sup>13</sup> deve ser apresentada no relatório do diagnóstico, com seus custos/benefícios associados, prazos estimados para execução e tempo de retorno do investimento para cada opção.

No relatório do diagnóstico energético também deverão ser apontados os procedimentos para medição e verificação dos resultados previstos. Por exemplo, devem ser mencionados os pontos de medição, os tipos de instrumentos recomendados, os períodos de medição e as variáveis a serem acompanhadas, entre outros parâmetros. Recomenda-se a adoção, sempre que possível, do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP/2012 (Fontes de consulta: [Efficiency Valuation Organization - EVO](#); [Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel](#)).

Na contratação do diagnóstico energético é recomendável que seja solicitada a classificação da edificação segundo os critérios do sistema de etiquetagem de edificações comerciais e de serviços do PBE<sup>14</sup>- Procel/Inmetro. É desejável que seja fornecida a classificação obtida nas condições originais (antes da revitalização) e as classificações decorrentes das medidas de revitalização propostas, individualmente e no conjunto. Assim, poderíamos ter, entre os resultados esperados do diagnóstico, uma tabela com um resumo de classificações semelhante ao apresentado na Tabela 1. Nesse resumo, a cada linha da tabela inclui-se uma melhoria na classificação (iluminação, ar-condicionado ou envoltória), de forma que na última linha seja apresentada a melhor classificação possível para a edificação.

---

<sup>13</sup> Devem ser levadas em conta, na seleção de alternativas, as recomendações da [Instrução Normativa Nº 2, de 4 de junho de 2014](#), do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.

<sup>14</sup> Programa Brasileiro de Etiquetagem

**Tabela 1** – Exemplo de resumo das classificações segundo o regulamento da etiquetagem de edificações

|                                                                        | Classificação geral da edificação | Classificação da envoltória | Classificação do sistema de iluminação | Classificação do sistema de ar-condicionado |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| Classificação original (pré-revitalização)                             | C                                 | C                           | D                                      | C                                           |
| Classificação com reforma da iluminação e envoltória                   | B                                 | B                           | C                                      | C                                           |
| Classificação com reforma do ar-condicionado e envoltória              | B                                 | B                           | D                                      | B                                           |
| Classificação com reforma da iluminação, ar-condicionado e envoltória* | A                                 | B                           | B                                      | B                                           |

\*Utilizando pontuação adicional por bonificação

**Fonte:** relatório de etiquetagem do nível de eficiência energética do prédio do Ministério de Minas e Energia – UnB/LACAM – Autor: Amorim, Cláudia *et al.*

No exemplo da Tabela 1, observa-se que a classificação geral máxima foi “A”. Isto nem sempre é possível nos casos de reformas de edificações antigas, em que algumas soluções necessárias à classificação na nota máxima podem ser inviáveis do ponto de vista técnico ou simplesmente antieconômicas nos prazos esperados. Há casos de instalações que apresentam limitações físicas para a instalação de determinados sistemas de ar-condicionado, assim como podem existir impedimentos incontornáveis de ordem arquitetônica em fachadas, ou de materiais construtivos da envoltória, por exemplo. Podem ocorrer também impedimentos legais por força de tombamento como patrimônio histórico. Todos esses fatores podem reduzir o “leque de opções” para redução de consumo energético, limitando a nota máxima a ser obtida pela edificação.

O projeto básico deve refletir fielmente as economias de energia identificadas no diagnóstico energético. Deve fornecer elementos para a contratação do projeto executivo, preferencialmente de forma modular, evitando o atrelamento de propostas entre si.

A elaboração do projeto básico só deve ocorrer após a aprovação, pela administração da edificação, das medidas consideradas convenientes dentre as sugeridas no relatório do diagnóstico energético. Desta forma, restringe-se a



elaboração de cálculos e especificações adicionais àquelas medidas de real interesse da administração.

**Quadro 2** – Exemplo de tabela com opções de *retrofit* em relatório de diagnóstico energético – sistemas de iluminação

| Local      | Potencial de redução (%) | Potencial de redução (MW·h/ano) | Investimento necessário (1000 R\$) | Tempo de retorno estimado (anos) |
|------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Ambiente 1 | 4,4                      | 8,95                            | 55,4                               | > 10                             |
| Ambiente 2 | 38,6                     | 148,18                          | 173,6                              | 4,7                              |
| Ambiente 3 | 36,6                     | 149,45                          | 145,3                              | 3,9                              |
| Ambiente 4 | 31,5                     | 45,88                           | 60,7                               | 5,3                              |
| Ambiente 5 | 47,6                     | 52,78                           | 56,4                               | 4,3                              |
| Ambiente 6 | 28,2                     | 3,25                            | 6,2                                | 7,7                              |
| Ambiente 7 | 60,2                     | 189,43                          | 84,9                               | 1,8                              |
| Ambiente 8 | 52,8                     | 6,02                            | 2,1                                | 1,4                              |
| Ambiente 9 | 24,3                     | 4,87                            | 15,0                               | > 10                             |

**Quadro 3** – Exemplo de tabela com opções de *retrofit* em relatório de diagnóstico energético – sistemas de ar condicionado

| Medida                                              | Investimento (x 1000 R\$) | Economia anual (x 1000 R\$) | Payback (meses) |
|-----------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|
| A - Elevação do <i>set point</i> nos fins de semana | 0,00                      | 28,6                        | Imediato        |
| B - Substituição do <i>chiller</i> X                | 100,0                     | 21,3                        | 57              |
| C - Troca de bombas para o <i>chiller</i> X         | 2,5                       | 8,7                         | 4               |

A administração ou o coordenador do projeto de revitalização pode estabelecer critérios de atratividade para inclusão das medidas de eficiência energética no projeto básico. Estes critérios podem ser baseados no tempo máximo aceitável de retorno do investimento, em uma taxa interna de retorno limite, em um capital máximo a ser investido etc. No caso do Quadro 2, por exemplo, se houvesse uma determinação de tempo máximo de retorno de 2 anos, apenas os ambientes 7 e 8 seriam incluídos na elaboração de um projeto básico de revitalização da edificação em questão.

Existem também as medidas com retorno imediato, sem investimentos, como é o caso da medida “A” (elevação de *setpoint*) apresentada no exemplo do Quadro 3.

### 3.2 Projeto executivo

O projeto executivo consiste no detalhamento das opções definidas no projeto básico, considerando as condições de implementação, interferências entre sistemas, detalhes operacionais da obra, especificações completas de equipamentos, componentes, acessórios e sistemas. Deve também contemplar os cronogramas de execução e de desembolsos e estar de acordo com as normas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Deve ser dedicada especial atenção, nesta etapa, à documentação de cada projeto, inclusive com as memórias de cálculo correspondentes. Esta documentação será de fundamental importância para a manutenção e possíveis alterações futuras na edificação.

Também nesta etapa é importante manter a modularidade das opções apresentadas, uma vez que, por questões orçamentárias, pode não ser possível implementar todas as medidas previstas no projeto básico de uma só vez. Por outro lado, é preciso cuidado na postergação da implementação de determinadas medidas, pois estas podem perder sentido com o passar do tempo. Isto pode ocorrer tanto pela obsolescência das tecnologias propostas (por exemplo: iluminação fluorescente *versus* iluminação a LED) quanto pela modificação das condições de contorno encontradas no diagnóstico e consideradas no projeto básico.

### 3.3 Principais requisitos considerados nos projetos básicos e nos projetos executivos de obras e serviços

Nos projetos básicos e projetos executivos de obras e serviços serão considerados principalmente os seguintes requisitos:

- ✍ Segurança;
- ✍ Funcionalidade e adequação ao interesse público;
- ✍ Economia na execução, conservação e operação;
- ✍ Possibilidade de emprego de mão de obra, materiais, tecnologia e matérias-primas existentes no local para execução, conservação e operação;
- ✍ Facilidade na execução, conservação e operação, sem prejuízo da durabilidade da obra ou do serviço;
- ✍ Adoção das normas técnicas, de saúde e de segurança do trabalho adequadas;
- ✍ Impacto ambiental.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art.12.

### 3.4 Execução das obras

A modalidade preferencial para contratação da execução das obras é do tipo *turnkey*, com total responsabilidade da empresa contratada sobre:

- ✍ Aquisições dos equipamentos;
- ✍ Instalação;
- ✍ Compatibilidade entre sistemas;
- ✍ Partida dos equipamentos e ajustes;
- ✍ Garantia de operação correta.

Utilizando-se a modalidade *turnkey* reduz-se a probabilidade de fracionamento ou diluição de responsabilidades e também os riscos de incompatibilidade entre equipamentos e sistemas. Esta modalidade é especialmente recomendada em edificações públicas com equipes técnicas reduzidas ou carentes de profissionais em áreas de conhecimento específicas.

Embora a correta elaboração do projeto executivo minimize as chances de alterações deste ao longo da execução das obras, algumas situações inesperadas podem ocorrer, principalmente quando se trata da reforma de edificações antigas. Neste caso, é de extrema importância o cuidado no registro das modificações exigidas durante a execução dos serviços, detalhando-as em documentação conhecida como *as built* (expressão do idioma inglês que significa “como construído”). O gestor das obras deve estar particularmente atento a este aspecto da documentação, muitas vezes negligenciado ou sub-priorizado pela empresa contratada em função de razões diversas, tais como esgotamento do prazo para execução, realocação de pessoal para outros serviços, prioridade no atendimento de solicitações urgentes por parte do contratante, entre outros motivos.

## 4. Definições básicas

**Projeto Básico:** Conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, ou complexo de obras ou serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução, devendo conter os seguintes elementos:

Os itens relacionados abaixo são elementos obrigatórios do Projeto Básico, exigidos pela lei 8.666/93, nas alíneas do inciso IX do art. 6º:

- ✍ Desenvolvimento da solução escolhida de forma a fornecer visão global da obra e identificar todos os seus elementos constitutivos com clareza;

- ✍ Soluções técnicas globais e localizadas, suficientemente detalhadas, de forma a minimizar a necessidade de reformulação ou de variantes durante as fases de elaboração do projeto executivo e de realização das obras e montagem;
- ✍ Identificação dos tipos de serviços a executar e de materiais e equipamentos a incorporar à obra, bem como suas especificações que assegurem os melhores resultados para o empreendimento, sem frustrar o caráter competitivo para a sua execução;
- ✍ Informações que possibilitem o estudo e a dedução de métodos construtivos, instalações provisórias e condições organizacionais para a obra, sem frustrar o caráter competitivo para a sua execução;
- ✍ Subsídios para montagem do plano de licitação e gestão da obra, compreendendo a sua programação, a estratégia de suprimentos, as normas de fiscalização e outros dados necessários em cada caso;
- ✍ Orçamento detalhado do custo global da obra, fundamentado em quantitativos de serviços e fornecimentos propriamente avaliados.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art.6º, inciso IX.

**Projeto Executivo:** O conjunto de elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, de acordo com as normas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art.6º, inciso X.

**Memorial Descritivo:** É a exposição descritiva dos projetos, das partes que os compõem e dos princípios em que se basearam, de modo que se evidencie a compatibilidade entre as soluções apresentadas com o projeto básico e/ou executivo.

**Orçamento Estimado:** É o levantamento das quantidades e preços dos serviços expressos em planilhas, elaborado com base no projeto básico.

**Cronograma físico-financeiro:** É a definição de como a obra será executada por etapas, compatibilizando o valor a ser desembolsado pela contratante ao estágio em que se encontra a obra.

**Execução direta:** A execução da obra é feita pelos órgãos e entidades da Administração, pelos próprios meios.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art.6º, inciso VII.

**Execução indireta:** O órgão ou entidade contrata com terceiros para a execução da obra, sob qualquer dos seguintes regimes:

- ✦ Empreitada por preço global – quando se contrata a execução da obra ou do serviço por preço certo e total;
- ✦ Empreitada por preço unitário – quando se contrata a execução da obra ou do serviço por preço certo de unidades determinadas;
- ✦ Tarefa – quando se ajusta mão de obra para pequenos trabalhos por preço certo, com ou sem fornecimento de materiais;
- ✦ Empreitada integral – quando se contrata um empreendimento em sua integralidade, compreendendo todas as etapas da obra, serviços e instalações necessárias, sob inteira responsabilidade da contratada até a sua entrega ao contratante em condições de entrada em operação, atendidos os requisitos técnicos e legais para sua utilização em condições de segurança estrutural e operacional e com as características adequadas às finalidades para as quais foi contratada.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art.6º, inciso VIII.

### **Sequência para Execução de Obras Públicas**

“Art. 7º As licitações para a execução de obras e para a prestação de serviços obedecerão ao disposto neste artigo e, em particular, à seguinte sequência”:

- ✦ Projeto básico;
- ✦ Projeto executivo;
- ✦ Execução das obras e serviços.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art. 7º.

### **Tipos de Licitação**

- ✦ **Menor Preço:** É utilizado para serviços cujo preço representa o fator de maior relevância, como critério de seleção da proposta mais vantajosa.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art.45 § 1º, inciso I.

- ✦ **Melhor Técnica ou Técnica e Preço:** São utilizados, exclusivamente para serviços de natureza predominantemente intelectual, em especial na elaboração de projetos, cálculos, fiscalização, supervisão e gerenciamento e de engenharia consultiva em geral, e em particular, para a elaboração e estudos técnicos preliminares e projetos básicos e executivos.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art.46

**Proibição de participação da licitação ou da execução de obra:** O autor do projeto básico ou executivo ou empresa responsável pela elaboração do projeto,

ou empresa da qual o autor do projeto seja dirigente, gerente, acionista ou detentor de mais de 5% do capital com direito a voto ou controlador, responsável técnico ou subcontratado, não pode participar direta ou indiretamente da licitação ou da execução da obra ou serviço e do fornecimento de bens a eles necessários.

É permitida a participação do autor do projeto ou da empresa a que se refere acima na licitação de obra ou serviço, ou na execução, como consultor ou técnico, nas funções de fiscalização, supervisão ou gerenciamento, exclusivamente a serviço da Administração interessada.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art.9º

**Qualificação técnica:** As exigências nos editais para fins de comprovação de qualificação técnica da licitante devem se ater aos limites da documentação prevista no art. 30 da Lei 8.666/93, vedada a exigência de comprovação de atividade ou de aptidão com limitações de tempo ou de época ou ainda em locais específicos, evitando se exigências excessivas e desnecessárias a ponto de comprometer o caráter competitivo do certame licitatório.

Os requisitos técnicos previstos no projeto básico, anexo do edital de licitação, devem ser avaliados caso a caso, pois é a complexidade do objeto licitado que permite definir as condições técnicas necessárias para a comprovação da qualificação técnica da licitante em executar o objeto. A avaliação destes requisitos deve ser feita por profissional dotado de conhecimentos técnicos específicos.

**Fonte:** Lei 8.666/93, art.30.

## **Anexo**

### **Simulação Energética do Prédio do Ministério de Minas e Energia em Brasília – DF**

## Sumário Executivo

A simulação energética do prédio do MME teve por objetivo avaliar o potencial de transformá-lo em um edifício de energia zero.

Esta atividade foi dividida em três etapas:

**Etapla 01:** Simulação da situação atual da edificação;

**Etapla 02:** Calibração<sup>15</sup> do modelo computacional e simulação das alternativas de revitalização;

**Etapla 03:** Verificação da viabilidade de implantação de cada alternativa de revitalização.

A edificação foi modelada utilizando-se o programa de simulação computacional EnergyPlus.

A partir das plantas do projeto arquitetônico e do projeto do sistema de condicionamento de ar foram estabelecidas as zonas térmicas<sup>16</sup> de cada pavimento do edifício.

Para cada zona térmica foram definidos os valores de carga interna, incluindo: sistema de iluminação e equipamentos elétricos. As cargas do sistema de iluminação, equipamentos, cargas de emergência e cargas nominais, assim como a potência média do sistema de condicionamento de ar foram estabelecidas de acordo com as medições realizadas.

O sistema de condicionamento de ar foi modelado de acordo com o observado in loco, procurando-se representar a mesma condição de funcionamento quando o prédio estiver em uso.

A calibração do modelo computacional foi baseada nas contas de energia elétrica referentes ao ano de 2012.

As diferenças encontradas entre o consumo de energia elétrica total real e do modelo base podem ser observados na Tabela 1.

Analizando-se os resultados obtidos, nota-se que a maior diferença encontrada é para o mês de Março. Para os outros meses, a diferença encontrada é próxima ou inferior a 10% e o valor do consumo anual é inferior a 10%, portanto, o modelo computacional é considerado satisfatório.

---

<sup>15</sup> Calibração é uma etapa necessária e importante, pois consiste em comparar dados de desempenho real com os de simulação, com o objetivo de corrigir as variáveis de entrada para melhorar a fidelidade do modelo.

<sup>16</sup> Zona térmica é definida como um volume de ar com temperatura uniforme.



**Tabela 1** – Comparação entre o consumo do sistema real e do modelo base.

|                  | Consumo (kW(kW.h)) |                  | Diferença<br>(kWh(kW.h)) | Diferença<br>(%) |
|------------------|--------------------|------------------|--------------------------|------------------|
|                  | Real               | Modelo Base      |                          |                  |
| <b>Janeiro</b>   | 209.847            | 181.302          | 28.545                   | 13,60            |
| <b>Fevereiro</b> | 186.238            | 165.806          | 20.432                   | 10,97            |
| <b>Março</b>     | 220.045            | 174.113          | 45.932                   | 20,87            |
| <b>Abril</b>     | 214.530            | 204.415          | 10.115                   | 4,71             |
| <b>Mai</b>       | 181.996            | 182.036          | -40                      | -0,02            |
| <b>Junho</b>     | 191.867            | 173.758          | 18.109                   | 9,44             |
| <b>Julho</b>     | 192.479            | 181.073          | 11.406                   | 5,93             |
| <b>Agosto</b>    | 187.953            | 187.137          | 816                      | 0,43             |
| <b>Setembro</b>  | 239.144            | 208.778          | 30.366                   | 12,70            |
| <b>Outubro</b>   | 236.364            | 210.537          | 25.827                   | 10,93            |
| <b>Novembro</b>  | 218.428            | 206.965          | 11.463                   | 5,25             |
| <b>Dezembro</b>  | 228.979            | 216.850          | 12.129                   | 5,30             |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.507.870</b>   | <b>2.292.770</b> | <b>215.100</b>           | <b>8,58</b>      |

Após a calibração do modelo base foram simuladas as seguintes alternativas de revitalização:

- ✍ **Desempenho dos vidros:** utilização de vidros de alto desempenho;
- ✍ **Sistema de condicionamento de ar:** uso de sistemas de condicionamento de ar mais eficientes, destacando entre os sistemas o do tipo VRF;
- ✍ **Painel fotovoltaico:** Uso de painéis fotovoltaicos.

Na tabela 2 são apresentados o investimento, a estimativa de economia anual de energia e o tempo de retorno para as alternativas simuladas.

Para o cálculo do tempo de retorno dos investimentos, foram calculados o *payback* simples e o composto para uma taxa anual de 10,75 % (taxa Selic do dia 17/03/2014). A análise da viabilidade de implantação de cada uma das alternativas foi considerada para um tempo de retorno de investimento de 10 anos. Ressalta-se que o tempo de retorno de investimento leva em consideração o custo da mão de obra.

Pode-se observar que somente a alternativa do sistema de condicionamento de ar do tipo inverter Nível A apresentou tempo de retorno do investimento inferior a 10 anos, para o cálculo do *payback* simples. Todas as outras alternativas apresentaram um tempo de retorno do investimento superior a 10 anos.

**Tabela 2 – Resumo das alternativas simuladas**

| <b>Intervenção</b>                                                                                                  | <b>Custo de implantação (R\$)</b>                                                                            | <b>Economia de energia elétrica (R\$)</b> | <b>Tempo de retorno do investimento (<i>Payback</i> simples)</b> | <b>Tempo de retorno do investimento (<i>Payback</i> composto)</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| VRF condensação a ar                                                                                                | Sistema: R\$ 1.092.000,00<br>Mão de obra: R\$ 468.000,00                                                     | 123.330,36                                | Superior a 10 anos                                               | Superior a 10 anos                                                |
| Inverter Nível A                                                                                                    | Sistema: R\$ 624.000,00<br>Mão de obra: R\$ 156.000,00                                                       | 88.137,84                                 | 9 anos                                                           | Superior a 10 anos                                                |
| Vidro Duplo<br>(controle solar + ar + laminado incolor)                                                             | Sistema: R\$ 1.318.200,00<br>Mão de obra: R\$ 1.500,00 (por peça)<br>R\$ 600 o m <sup>2</sup> (fachada nova) | 31.959,14                                 | Superior a 10 anos                                               | Superior a 10 anos                                                |
| Vidro Duplo<br>(LowE + ar + monolítico incolor)                                                                     | Sistema: R\$ 1.240.200,00<br>Mão de obra: R\$ 1.500,00 (por peça)<br>R\$ 600 o m <sup>2</sup> (fachada nova) | 23.468,57                                 | Superior a 10 anos                                               | Superior a 10 anos                                                |
| Modelo proposto 01:<br>- Vidro: controle solar + ar + laminado incolor<br>- HVAC: VRF<br>- Paineis fotovoltaicos    | R\$ 4.397.200,00 (sem mão de obra)                                                                           | 141.994,60                                | Superior a 10 anos                                               | Superior a 10 anos                                                |
| Modelo proposto 02:<br>- Vidro: LowE + ar + laminado incolor<br>- HVAC: Inverter Nível A<br>- Paineis fotovoltaicos | R\$ 3.617.200,00 (sem mão de obra)                                                                           | 110.434,15                                | Superior a 10 anos                                               | Superior a 10 anos                                                |



**Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**

<http://www.labeee.ufsc.br>

# **SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DO PRÉDIO DO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA EM BRASÍLIA - DF**

## **ETAPA 01 – SIMULAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL DA EDIFICAÇÃO**

**Roberto Lamberts, PhD**

**Ana Paula Melo, Dra**

**Maurício Nath Lopes, Msc**

**Miguel Pacheco, Msc**

Florianópolis, Outubro 2013.

## SUMÁRIO

|                                                     |          |
|-----------------------------------------------------|----------|
| <b>1. O PROJETO</b>                                 | <b>2</b> |
| <b>2. O PRÉDIO DO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA</b> | <b>2</b> |
| <b>3. O MODELO BASE</b>                             | <b>3</b> |
| <b>4. PRÓXIMA ETAPA – ETAPA 02</b>                  | <b>8</b> |

## 1. O PROJETO

O projeto tem por objetivo a simulação energética do prédio do Ministério de Minas e Energia, localizado em Brasília – DF. Este objetivo visa avaliar o potencial de transformar o prédio do Ministério de Minas e Energia em um edifício de energia zero.

Dentre as atividades que compõem este estudo, contemplam:

- **Etapas 01:** Simulação da situação atual da edificação;
- **Etapas 02:** Calibração do modelo computacional e simulação das alternativas de revitalização (*retrofit*);
- **Etapas 03:** Verificação da viabilidade de implantação de cada alternativa de *retrofit*.

Ressalta-se que neste relatório serão apresentadas as atividades referentes à Etapa 01.

## 2. O PRÉDIO DO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

O prédio do Ministério de Minas e Energia está localizado na capital do Brasil, em Brasília, na denominada Esplanada dos Ministérios. O prédio em questão, construído em 1979, apresenta formato retangular com as maiores fachadas voltadas para Leste (Figura 1) e Oeste (Figura 2).



Figura 1 – Fachada Leste do prédio do Ministério de Minas e Energia.

Fonte: Nicoletti (2009)



Figura 2 – Fachada Oeste do prédio do Ministério de Minas e Energia.

Fonte: Nicoletti (2009)

O prédio é composto por dez pavimentos e dois subsolos. Nos pavimentos tipo, encontram-se escritórios e gabinetes. No segundo subsolo, encontram-se depósitos e salas para arquivamento de processo. No primeiro subsolo, além de áreas administrativas e depósito, está localizado um restaurante.

As plantas do prédio do Ministério de Minas e Energia foram fornecidas pelo o Sr. Alvanir da Silva Carvalho e pelo Sr. Júnior Brandão.

### 3. O MODELO BASE

A edificação foi modelada de acordo com o código de interpretação do programa de simulação computacional EnergyPlus. A partir das plantas do projeto arquitetônico e do projeto do sistema de condicionamento de ar foram estabelecidas as zonas térmicas de cada pavimento do edifício.

Para cada zona térmica foram definidos os valores de carga interna, incluindo: sistema de iluminação e equipamentos elétricos. As cargas do sistema de iluminação, equipamentos, cargas de emergência e cargas nominais, assim como a potência média do sistema de condicionamento de ar foram estabelecidas de acordo com as medições realizadas pelo Sr. José Carlos Guedes.

Estas medições foram realizadas em três períodos distintos, utilizando seis analisadores de energia elétrica de fabricação Yokogawa, modelo CW 240. As datas das medições realizadas são: 05/02/2013 a 20/02/2013; 20/02/2013 a 08/03/2013; e 11/04/2013 a 27/04/2013.

O sistema de condicionamento de ar foi modelado de acordo com o observado in loco, procurando-se representar a mesma condição de funcionamento quando o prédio estiver em uso. Observou-se que o sistema de condicionamento de ar é composto por aparelhos do tipo *split*, com Nível C de eficiência energética de acordo com a Tabela de Eficiência Energética para os sistemas de condicionamento de ar do tipo *split* do INMETRO.

Foram realizadas visitas técnicas ao prédio do Ministério de Minas e Energia, onde se observou as rotinas de ocupação dos usuários e o uso dos sistemas do edifício. Com base nestas observações, elaborou-se *schedules* de ocupação e funcionamento dos sistemas no programa EnergyPlus. O padrão de uso adotado para o sistema de iluminação e ocupação podem ser observados na Figura 3 e na Figura 4.

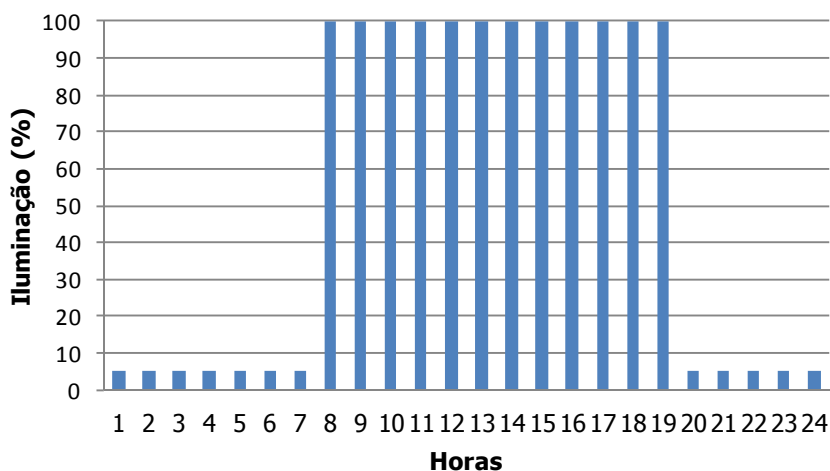


Figura 3 – Padrão de uso do sistema de iluminação.

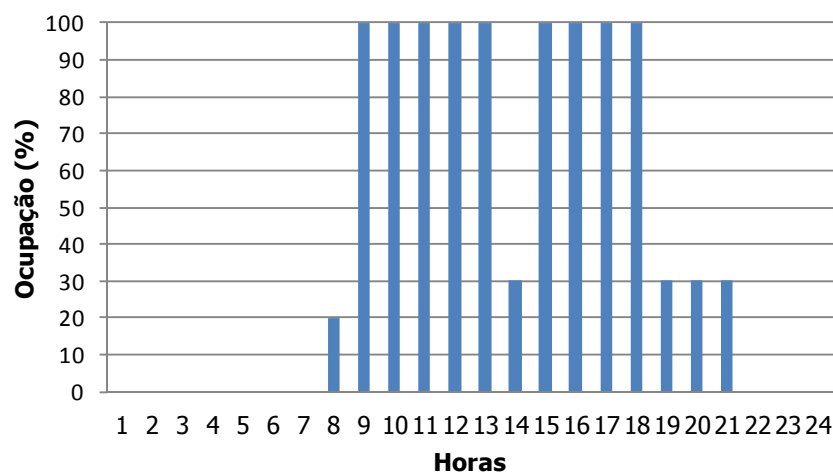


Figura 4 – Padrão de uso de ocupação.

Foram também observadas as características construtivas da edificação, observando o dimensionamento das aberturas, uso do dispositivo de sombreamento, construção das paredes externas e internas, piso e cobertura. Informações sobre a construção dos elementos construtivos também foram obtidas através de informações fornecidas pelo Sr. Júnior Brandão.

Observou-se que as aberturas da fachada Leste e Oeste são vedadas com vidro laminado incolor 6 mm. Na fachada Leste, foi instalada uma película prata espelhada da marca Intercontrol nos vidros. Na fachada Oeste estão incorporados *brises* verticais, conforme apresentado na Figura 5.



Figura 5 – *Brises* verticais instalados na fachada Oeste.



Com relação à construção das paredes internas, observou-se que estas são compostas por divisórias de compensado de piso a teto. Já as paredes externas da fachada Norte e Sul são compostas por alvenaria de bloco cerâmico, emboço e reboco interno e externo. As lajes intermediárias são compostas por laje maciça de concreto de 15 cm. A cobertura também é composta por laje maciça de concreto, mas com 20 cm de espessura, impermeabilizada com betume asfáltico e sobreposta com placa de concreto (Figura 6).



Figura 6 - Imagem da cobertura do prédio do Ministério de Minas e Energia.

Com base nas condições reais da edificação em estudo foi realizada a simulação da situação atual. Os dez pavimentos e os dois subsolos foram distribuídos em um total de 122 zonas térmicas. A fachada Leste e Oeste do modelo podem ser observadas na Figura 7 e na Figura 8.

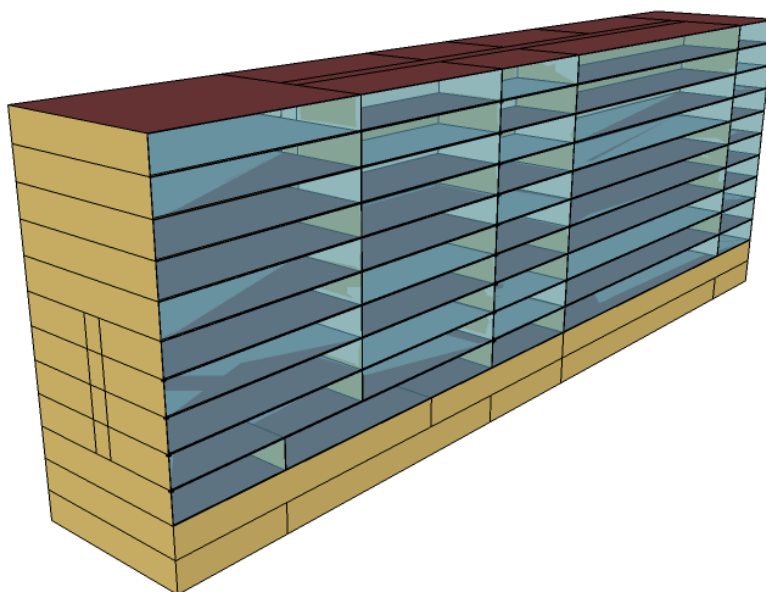


Figura 7 – Fachada Leste do prédio do Ministério de Minas e Energia.

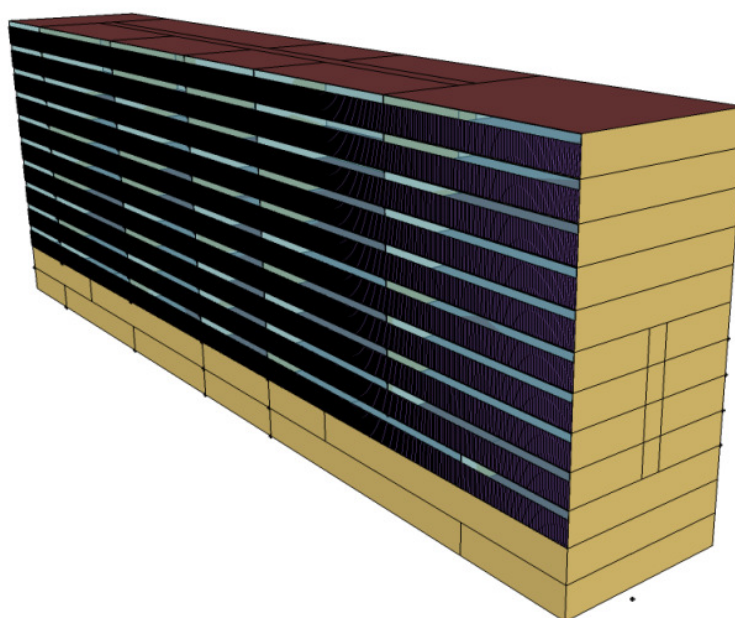


Figura 8 – Fachada Oeste do Ministério de Minas e Energia.

O arquivo climático utilizado para a simulação do prédio do Ministério de Minas e Energia foi o TRY da cidade de Brasília. Os resultados da simulação apresentaram um valor de transmitância térmica das paredes externas de  $1,64 \text{ W/m}^2\text{K}$ , e de  $1,76 \text{ W/m}^2\text{K}$  para a cobertura.

A densidade de potência do sistema de iluminação variou em torno de  $6$  a  $9 \text{ W/m}^2$  nas 122 zonas térmicas, considerando o sistema de emergência. Com relação à carga de ocupação, considerou-se uma densidade de  $5 \text{ m}^2/\text{pessoa}$  para as zonas que contemplam os gabinetes e uma densidade de  $3 \text{ m}^2/\text{pessoa}$  para as outras zonas dos pavimentos tipo.

#### 4. PRÓXIMA ETAPA – ETAPA 02

Para a próxima etapa do trabalho será realizada a calibração do modelo computacional e a simulação das alternativas de revitalização (*retrofit*).

A elaboração de um modelo de simulação energética requer a sua calibração, que no caso de edificações existentes consiste em ajustar parâmetros do modelo para uma adequada representação da realidade. Nessa calibração, os resultados estimados pela ferramenta de simulação são comparados com os dados de desempenho registrados no prédio.

Após a calibração do modelo, serão analisadas alternativas de *retrofit* visando o aumento da eficiência energética da edificação.



**Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**

<http://www.labeee.ufsc.br>

# **SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DO PRÉDIO DO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA EM BRASÍLIA - DF**

## **ETAPA 02 – CALIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL E SIMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE REVITALIZAÇÃO (*RETROFIT*)**

**Roberto Lamberts, PhD**

**Ana Paula Melo, Dra**

**Maurício Nath Lopes, Msc**

**Miguel Pacheco, Msc**

Florianópolis, Dezembro 2013.

## SUMÁRIO

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. O PROJETO</b>                                                     | <b>2</b>  |
| <b>2. CALIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL</b>                            | <b>2</b>  |
| 2.1 CONTAS DE ENERGIA                                                   | 2         |
| 2.2 CARGAS INTERNAS                                                     | 3         |
| 2.2.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS                              | 4         |
| 2.2.2 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR                                  | 6         |
| 2.2.3 OCUPAÇÃO                                                          | 7         |
| 2.3 CONSUMO DO MODELO BASE                                              | 9         |
| <b>3. SIMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE REVITALIZAÇÃO (<i>retrofit</i>)</b> | <b>12</b> |
| 3.1 DESEMPENHO DOS VIDROS                                               | 13        |
| 3.2 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR                                    | 15        |
| 3.2.1 COEFICIENTE DE PERFORMANCE DO SISTEMA SPLIT                       | 15        |
| 3.2.2 RENOVAÇÃO DO AR PARA SISTEMA SPLIT                                | 16        |
| 3.2.3 SISTEMA INVERTER COM COEFICIENTE DE PERFORMANCE NÍVEL A           | 18        |
| 3.2.4 SISTEMA VAV COM CHILLER A ÁGUA                                    | 19        |
| 3.2.5 SISTEMA VAV COM CHILLER A ÁGUA + CICLO ECONOMIZADOR               | 20        |
| 3.2.6 SISTEMA FANCOIL AMBIENTE COM CHILLER A AR                         | 22        |
| 3.2.7 SISTEMA VRF                                                       | 24        |
| 3.2.8 RESUMO DOS SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR ANALISADOS           | 25        |
| 3.3 PAINEL FOTOVOLTAICO                                                 | 26        |
| 3.4 RESUMO DAS ALTERNATIVAS ANALISADAS                                  | 36        |
| 3.5 MODELOS PROPOSTOS                                                   | 37        |
| <b>ANEXO 01</b>                                                         | <b>40</b> |
| <b>ANEXO 02</b>                                                         | <b>47</b> |

## 1. O PROJETO

O projeto tem por objetivo a simulação energética do prédio do Ministério de Minas e Energia, localizado em Brasília – DF. Este objetivo visa avaliar o potencial de transformar o prédio do Ministério de Minas e Energia em um edifício de energia zero.

Dentre as atividades que compõem este estudo, contemplam:

- **Etapa 01:** Simulação da situação real da edificação;
- **Etapa 02:** Calibração do modelo computacional e simulação das alternativas de revitalização (*retrofit*);
- **Etapa 03:** Verificação da viabilidade de implantação de cada alternativa de *retrofit*.

Ressalta-se que neste relatório serão apresentadas as atividades referentes à Etapa 02.

## 2. CALIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

A elaboração de um modelo de simulação energética requer a sua calibração, que no caso de edificações existentes consiste em ajustar parâmetros do modelo para uma adequada representação da realidade. Nessa calibração, os resultados estimados pela ferramenta de simulação são comparados com os dados de desempenho registrados no prédio.

### 2.1 CONTAS DE ENERGIA

As contas de energia elétrica referente ao ano de 2012 do prédio do Ministério de Minas e Energia foram encaminhadas pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL. No prédio em estudo existem dois medidores de energia elétrica: um para o sistema de condicionamento de ar e outro para sistema de iluminação e equipamentos existentes no prédio. O resumo dos valores de consumo (kWh) de ambas as contas de energia elétrica podem ser observados através da Tabela 1.

Ressalta-se que os consumos de energia elétrica fornecidos na conta referem-se ao mês anterior da cobrança (a leitura foi realizada no início do mês da cobrança).

Tabela 1. Consumo do prédio do MME para o ano de 2012.

|                  | <b>CONSUMO (kWh)</b>             |                                         |
|------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|
|                  | <b>Iluminação + Equipamentos</b> | <b>Sistema de condicionamento de ar</b> |
| <b>Janeiro</b>   | 151.632                          | 58.215                                  |
| <b>Fevereiro</b> | 127.644                          | 58.594                                  |
| <b>Março</b>     | 151.815                          | 68.230                                  |
| <b>Abril</b>     | 150.079                          | 64.451                                  |
| <b>Maio</b>      | 146.537                          | 35.459                                  |
| <b>Junho</b>     | 151.330                          | 40.537                                  |
| <b>Julho</b>     | 154.649                          | 37.830                                  |
| <b>Agosto</b>    | 147.483                          | 40.470                                  |
| <b>Setembro</b>  | 152.376                          | 86.768                                  |
| <b>Outubro</b>   | 149.888                          | 86.476                                  |
| <b>Novembro</b>  | 146.924                          | 71.504                                  |
| <b>Dezembro</b>  | 142.768                          | 86.211                                  |

Pode-se observar que o consumo com relação ao sistema de iluminação e equipamentos é praticamente constante durante o ano de 2012, apresentando uma média de 147.760 kWh. Somente o mês de Fevereiro apresentou um consumo inferior aos outros meses, com uma diferença de 20.116 kWh (14%) com relação à média do consumo calculada para o ano de 2012.

Com relação ao sistema de condicionamento de ar, pode-se observar que os maiores consumos de energia são referentes aos meses de Setembro a Dezembro. Nota-se que os meses de Maio a Agosto (período de inverno) apresentam a metade do consumo observado para os meses de Setembro a Dezembro. Os meses de Janeiro e Fevereiro (período de verão) também apresentam baixo consumo com relação ao consumo dos meses de Setembro a Dezembro. Este fato foi justificado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, ressaltando que entre os meses de Janeiro e Fevereiro a maioria dos funcionários tira férias neste período.

## 2.2 CARGAS INTERNAS

Foram realizadas visitas técnicas ao prédio do Ministério de Minas e Energia, onde se observou as rotinas de ocupação dos usuários e o uso dos sistemas existentes em cada pavimento do edifício.

As cargas do sistema de iluminação, equipamentos, cargas de emergência e cargas nominais, assim como a potência média do sistema de condicionamento de ar foram estabelecidas de acordo com as medições realizadas pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, conforme apresentado no relatório da Etapa 01. Estas medições foram realizadas em três períodos distintos, utilizando seis analisadores de energia elétrica de fabricação Yokogawa, modelo CW 240. As datas das medições realizadas são: 05/02/2013 a 20/02/2013; 20/02/2013 a 08/03/2013; e 11/04/2013 a 27/04/2013. Ressalta-se que as medições do sistema de iluminação foram realizadas no 6º pavimento do prédio do MME.

O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL informou sobre a existência de cargas permanentemente ligadas no prédio do MME, como: o sistema de condicionamento de ar da sala dos *no-breaks*, sala do arquivo central, sala plenária, restaurante, *Data Center* da Sala Cofre e Iluminação ornamental. Destacou também que os equipamentos de informática, exceto as impressoras, são supridos pelo *no-break* (através de três quadros de cargas essenciais existentes em cada um dos pavimentos). Com relação às cargas permanentes, foi informado que o prédio do Ministério de Minas e Energia possui uma demanda praticamente constante de 125 kW (80 kW de cargas de emergência, 20 kW de cargas normais e 25 kW do sistema de condicionamento de ar).

### 2.2.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL instalou três analisadores de energia elétrica no sexto pavimento do prédio do Ministério de Minas e Energia: um no setor denominado como Norte, outro no setor Sul e no setor Centro. Os analisadores instalados no setor Norte e Centro monitoraram o perfil de carga do sistema de iluminação. No setor Sul, o analisador instalado monitorou os perfis de carga das tomadas de uso comum e também do sistema de iluminação. Observou-se que existem duas copas localizadas nas extremidades do sexto pavimento (uma no setor Norte e outra no setor Sul), sendo que em cada uma delas estão instalados uma cafeteira, uma geladeira e um micro-ondas.

O sistema de iluminação dos ambientes analisados possui iluminação artificial através de conjunto de lâmpadas fluorescentes T5. Através das medições realizadas e da visita in loco observou-se que o sistema de iluminação permanece ligado das 7h00 às 21h00 para os dias de semana (Figura 1). Após a instalação do novo sistema de gerenciamento do sistema de iluminação, nota-se a existência de uma carga residual da ordem de 37 W a qual permanece ligada durante 24h00 para todos os dias da semana.



A densidade de potência do sistema de iluminação variou em torno de 6 a 9 W/m<sup>2</sup> nas 122 zonas térmicas, considerando o sistema de emergência.

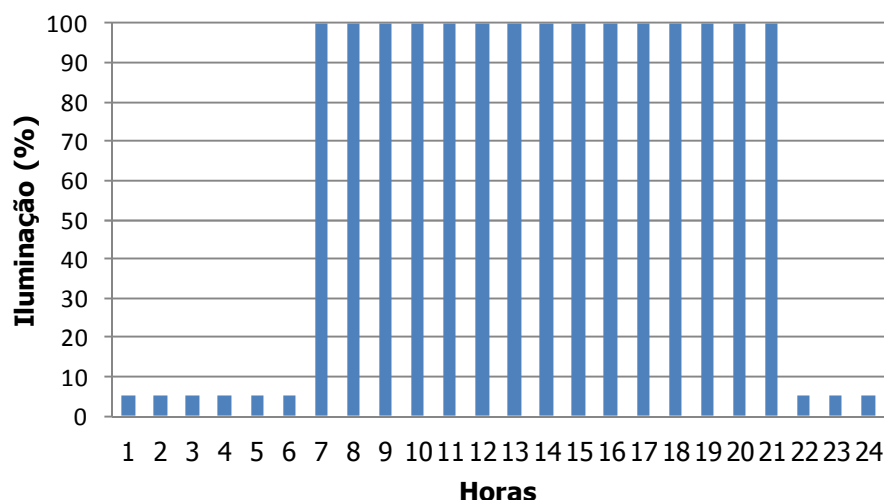


Figura 1 – Padrão de uso do sistema de iluminação – dia de semana.

Com relação aos equipamentos instalados, observou-se através da visita in loco que as pessoas que trabalham nos escritórios possuem um computador na sua respectiva bancada de trabalho. Para cada computador foi estipulado uma potência de 150 W.

Através das medições realizadas pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL no setor Sul do sexto pavimento foi possível estimar os perfis de carga das tomadas de uso comum, e os equipamentos presentes nos ambientes da copa.

Estabeleceu-se um padrão de uso para o funcionamento dos computadores das 7h00 às 18h00 para os dias de semana, com uma carga residual inferior a 10% no restante das horas. Para os finais de semana, considerou-se um funcionamento de 5% dos equipamentos durante 24h00. A densidade de potência do sistema de equipamentos variou em torno de 10 a 25 W/m<sup>2</sup> nas 122 zonas térmicas.

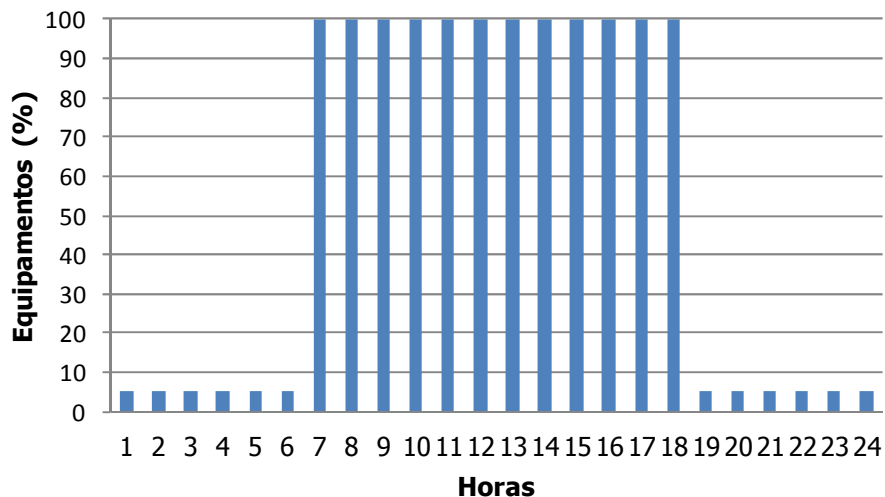


Figura 2 – Padrão de uso dos equipamentos – dia de semana.

### 2.2.2 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

O sistema de condicionamento de ar presente no Ministério de Minas e Energia é composto por sistemas *splits*. Durante a visita in loco foi observado que a capacidade (Btu/h) dos sistemas de condicionamento de ar varia de 12.000 Btu/h a 48.000 Btu/h. Analisando o nível de eficiência, observou-se que a maioria dos equipamentos apresenta Nível C de acordo com a Tabela do Inmetro para condicionadores de ar do tipo split (Figura 3). Ou seja, um Coeficiente de Performance (COP) entre o valor de 2,80 a 3,0.

#### ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

Selo PROCEL de Economia de Energia

#### CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL

Data atualização: 31/10/2013

| Classes | Coeficiente de eficiência energética (W/W) |             | Split Hi-Wall |       |                  |       |
|---------|--------------------------------------------|-------------|---------------|-------|------------------|-------|
|         |                                            |             | Rotação Fixa  |       | Rotação Variável |       |
| A       | 3,20                                       | <CEE        | 309           | 28,9% | 204              | 88,7% |
| B       | 3,00                                       | <CEE ≤ 3,20 | 218           | 20,4% | 17               | 7,4%  |
| C       | 2,80                                       | <CEE ≤ 3,00 | 337           | 31,5% | 9                | 3,9%  |
| D       | 2,60                                       | <CEE ≤ 2,80 | 180           | 16,8% | 0                | 0,0%  |
| E       | 2,39                                       | ≤CEE ≤ 2,60 | 25            | 2,3%  | 0                | 0,0%  |

Figura 3 – Tabela do nível de eficiência dos condicionadores de ar do tipo *split*.  
Fonte: Inmetro.

A potência média do uso dos sistemas de condicionamento de ar instalados no prédio do Ministério de Minas e Energia foi obtida através das medições realizadas pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, conforme mencionado anteriormente. Um dos equipamentos de analisadores de energia foi instalado no alimentador trifásico geral do painel

de distribuição dedicado aos aparelhos de ar condicionado, localizado no subsolo do prédio. Com base nestas medições, também foi possível observar o padrão de uso dos sistemas de condicionamento de ar.

Para os sistemas de condicionamento de ar presentes nos ambientes de escritórios, adotou-se um padrão de uso das 8h00 às 22h00 para os dias de semana, conforme apresentado na Figura 4. Para os finais de semana não foi considerado o uso do sistema de condicionamento de ar. Nota-se que o padrão de uso do sistema de condicionamento de ar não é contínuo, variando durante as horas do dia. Este padrão de uso foi adotado para representar as medições realizadas pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Para os ambientes do arquivo central, sala plenária e sala do *Data Center* da sala cofre foi considerado um padrão de uso contínuo de 24h00 para todos os dias da semana.

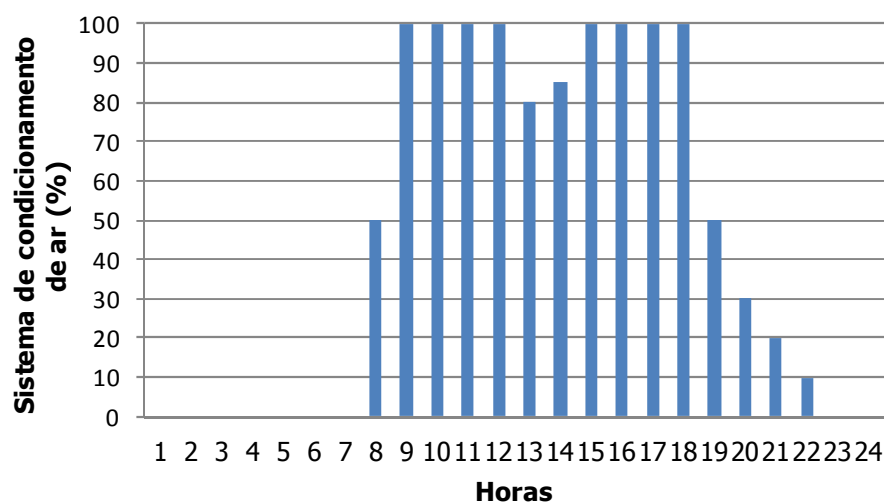


Figura 4 – Padrão de uso dos sistemas de condicionamento de ar nos escritórios – dia de semana.

Para representar o sistema de condicionamento de ar presente no prédio do Ministério de Minas e Energia, foi modelado no programa EnergyPlus um sistema de condicionamento de ar do tipo *split*, sem renovação de ar. O sistema foi modelado somente para resfriamento do ambiente, considerando uma temperatura de *setpoint* de 24°C. O valor do Coeficiente de Performance adotado foi de 2,8.

### 2.2.3 OCUPAÇÃO

Através da visita in loco e das plantas arquitetônicas, também foi possível observar a ocupação dos ambientes do prédio do Ministério de Minas e Energia. O programa EnergyPlus permite que seja definida uma carga de ocupação através de m<sup>2</sup>/pessoa. Onde, considerou-se uma densidade de 5 m<sup>2</sup>/pessoa para as zonas que contemplam os gabinetes e uma

densidade de 3 m<sup>2</sup>/pessoa para as zonas dos escritórios. O padrão de ocupação destas zonas variou das 8h00 às 21h00 para os dias de semana, como pode ser observado na Figura 5. Para os finais de semana não foi considerada a ocupação destas zonas.

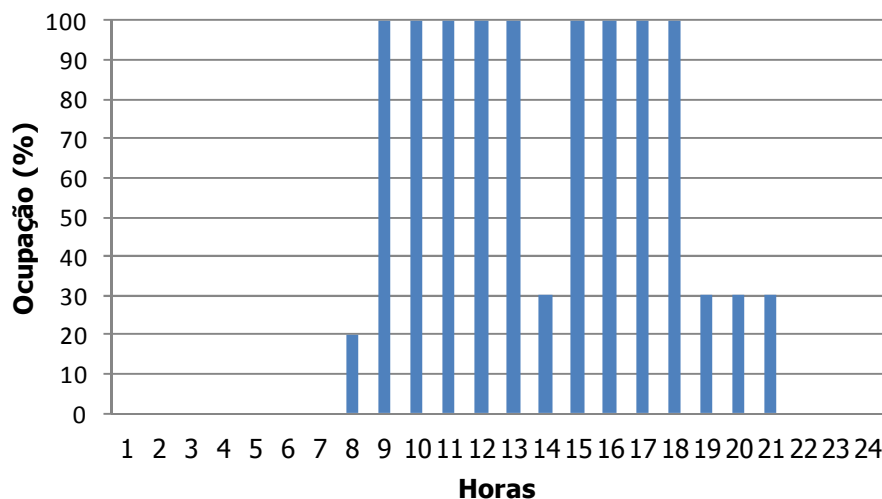


Figura 5 – Padrão de uso da ocupação nos gabinetes e escritórios – dia de semana.

Para determinar a carga interna total gerada por cada pessoa ao ambiente, deve-se determinar no programa EnergyPlus os valores de taxa de metabolismo. Esta taxa de metabolismo corresponde a atividade que cada pessoa está exercendo dentro do ambiente. Para os gabinetes e os escritórios, determinou-se uma taxa de 120 W/pessoa. Este valor foi determinado de acordo com a Tabela 11 do documento *Input/Output Reference* do programa EnergyPlus (*Table 11. Metabolic Rates for Various Activities*).

Para o restaurante, considerou-se uma densidade de 2 m<sup>2</sup>/pessoa de ocupação. O padrão de ocupação desta zona variou das 8h00 às 16h00 para os dias de semana, como pode ser observado na Figura 6. Para os finais de semana não foi considerada a ocupação destas zonas.

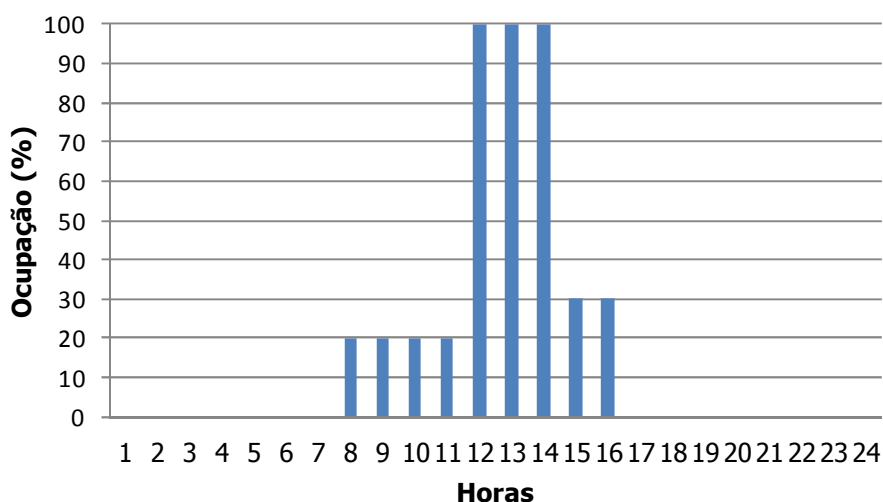


Figura 6 – Padrão de uso da ocupação no restaurante – dia de semana.

Ressalta-se que foi elaborado um padrão de uso com menor percentagem de ocupação para os meses de Janeiro a Março pela razão da maioria dos funcionários estar em período de férias.

### 2.3 CONSUMO DO MODELO BASE

A etapa da calibração tem a função de ajustar as variáveis de entrada do modelo base, para que este tenha um desempenho semelhante ao do caso real. A calibração é uma etapa necessária e importante a qual tem como principal objetivo o de aumentar a precisão e fidelidade do modelo.

Uma vez que o prédio do Ministério de Minas e Energia apresenta a existência de dois medidores de energia elétrica: um para o sistema de condicionamento de ar e outro para sistema de iluminação e equipamentos, foi possível observar o consumo destes sistemas separadamente.

Através da Figura 7 pode-se observar a comparação de consumo de energia mensal do sistema de iluminação, equipamentos e cargas de emergência entre os dados de desempenho registrados no prédio (Real) com o consumo estimado pela ferramenta de simulação computacional (Modelo base). Nota-se a presença de uma carga fixa durante todo o ano para estimar o consumo constante de aproximadamente 80 kW de cargas de emergência e 20 kW de cargas nominais e 25 kW do sistema de condicionamento de ar, presentes no prédio do Ministério de Minas e Energia.

A comparação entre o consumo de energia mensal do sistema de condicionamento de ar entre os dados de desempenho registrados no prédio (Real) com o consumo estimado pela ferramenta de simulação computacional (Modelo base) pode ser observada através da Figura 8.

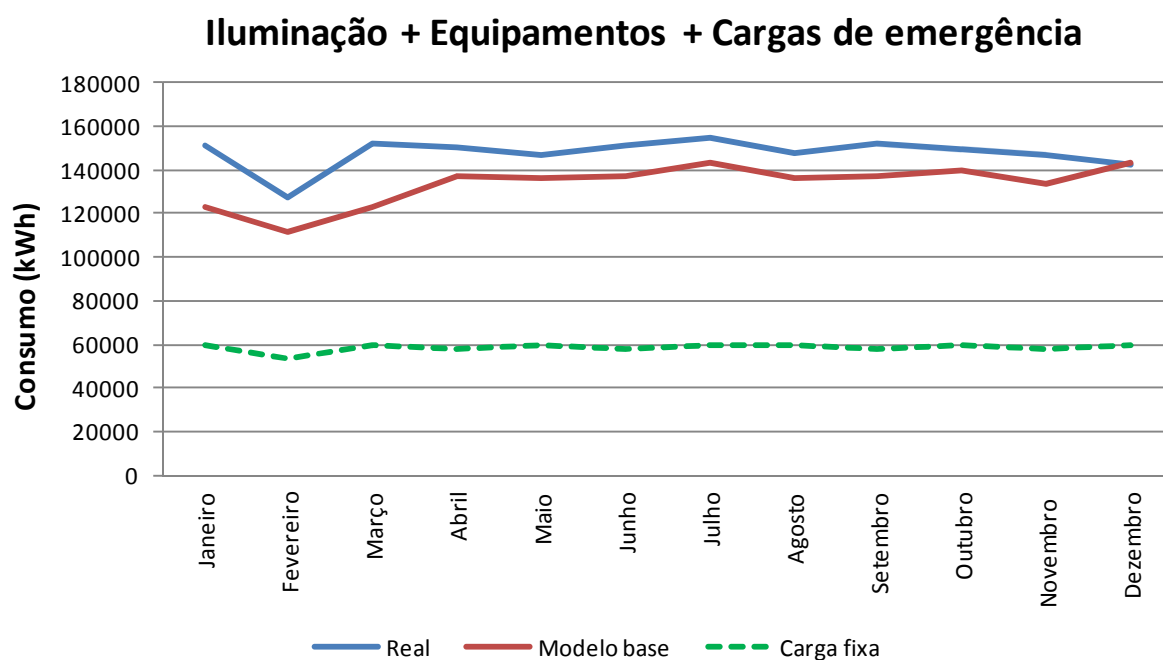


Figura 7 – Consumo do sistema de iluminação, equipamentos e carga de emergência do modelo base.

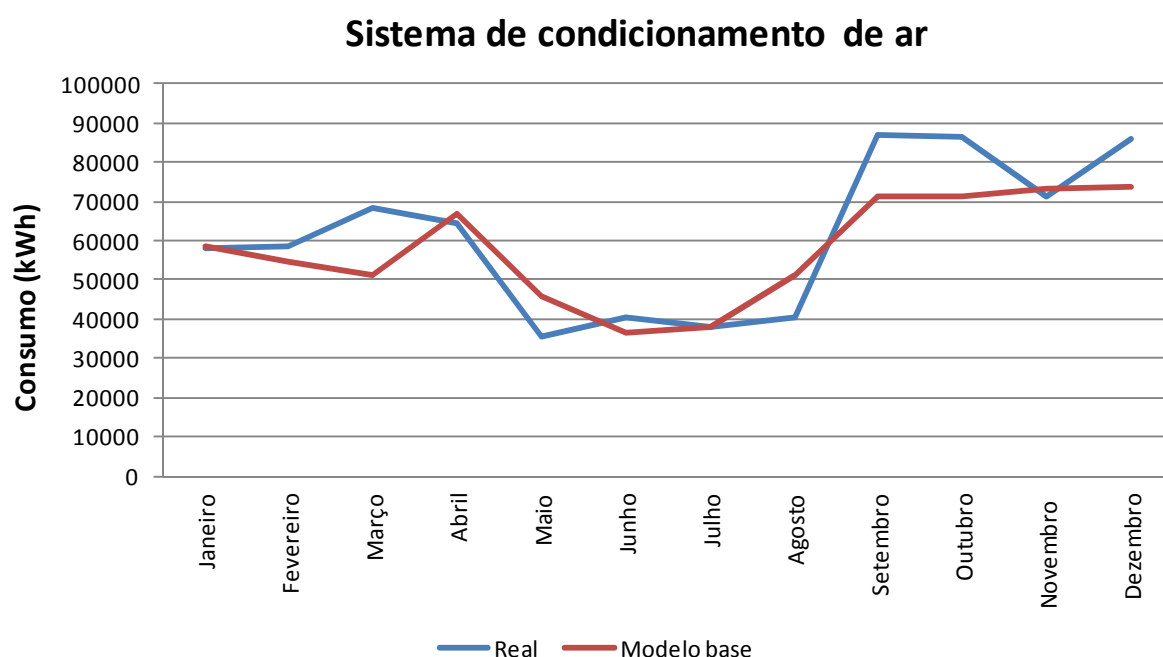


Figura 8 – Consumo do sistema de condicionamento de ar do modelo base.

Os valores encontrados entre o consumo de energia total dos dados de desempenho registrados no prédio (Real) com o consumo estimado pela ferramenta de simulação computacional (Modelo base) podem ser observados através da Figura 9.

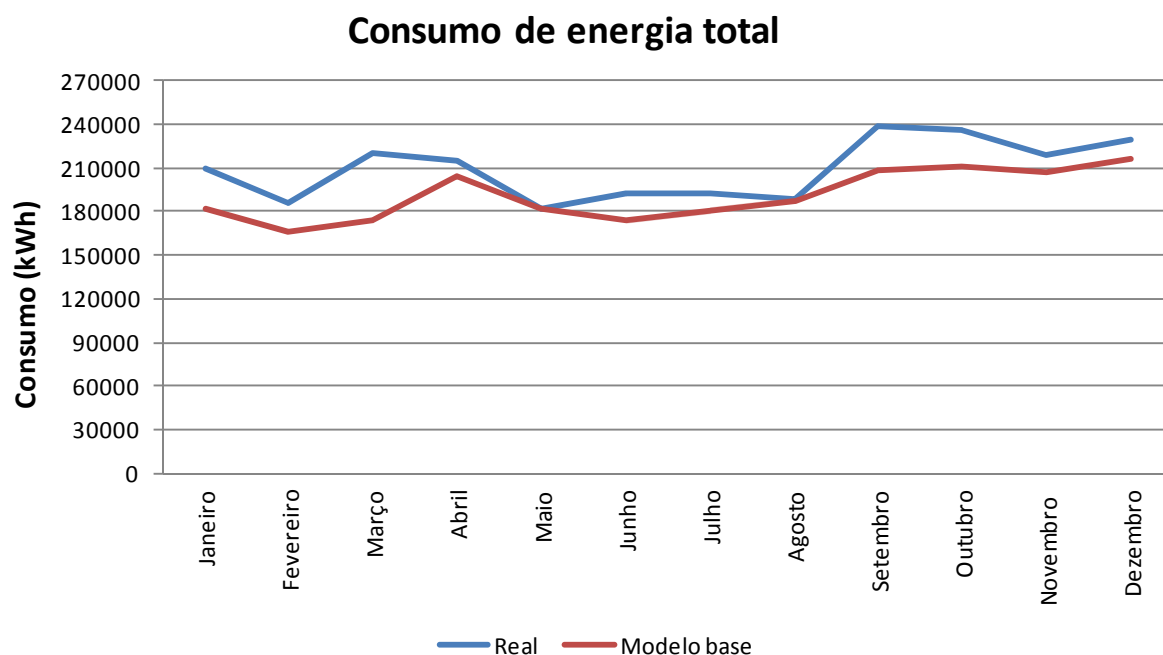


Figura 9 – Consumo de energia total do modelo base.

Os valores da diferença encontrada do consumo de energia total entre o registro do prédio Real e do Modelo base podem ser observados na Tabela 2. Nota-se que a maior diferença encontrada é para o mês de Março. Para os outros meses analisados, a diferença encontrada é de próxima ou inferior a 10%. Para todos os meses, o consumo mensal do registro do prédio Real é superior ao consumo do Modelo Base, exceto para o mês de Maio.

Portanto, frente às diferenças encontradas e a incerteza dos valores levantados em razão da limitação de tempo e recursos, considera-se o modelo calibrado.

Tabela 2 – Comparação entre o consumo do sistema de iluminação, equipamentos e carga de emergência do Real e do Modelo base.

|                  | Consumo (kWh)    |                  | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|
|                  | Real             | Modelo Base      |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 209.847          | 181.302          | 28.545          | 13,60         |
| <b>Fevereiro</b> | 186.238          | 165.806          | 20.432          | 10,97         |
| <b>Março</b>     | 220.045          | 174.113          | 45.932          | 20,87         |
| <b>Abril</b>     | 214.530          | 204.415          | 10.115          | 4,71          |
| <b>Maio</b>      | 181.996          | 182.036          | -40             | -0,02         |
| <b>Junho</b>     | 191.867          | 173.758          | 18.109          | 9,44          |
| <b>Julho</b>     | 192.479          | 181.073          | 11.406          | 5,93          |
| <b>Agosto</b>    | 187.953          | 187.137          | 816             | 0,43          |
| <b>Setembro</b>  | 239.144          | 208.778          | 30.366          | 12,70         |
| <b>Outubro</b>   | 236.364          | 210.537          | 25.827          | 10,93         |
| <b>Novembro</b>  | 218.428          | 206.965          | 11.463          | 5,25          |
| <b>Dezembro</b>  | 228.979          | 216.850          | 12.129          | 5,30          |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.507.870</b> | <b>2.292.770</b> | <b>215.100</b>  | <b>8,58</b>   |

### 3. SIMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE REVITALIZAÇÃO (*RETROFIT*)

Após a calibração do modelo, foram analisadas alternativas de *retrofit* visando o aumento da eficiência energética da edificação. Dentre as alternativas consideradas, destacam-se:

- Desempenho dos vidros: será analisada a utilização de vidros de alto desempenho;
- Sistema de condicionamento de ar: será analisado o uso de sistemas de condicionamento de ar mais eficientes, destacando entre os sistemas o do tipo VRF;
- Painel fotovoltaico: simular a edificação com o uso de um painel fotovoltaico.

Cada uma das alternativas de *retrofit* foi inserida uma a uma no Modelo base para analisar a influência de cada alternativa isoladamente no consumo de energia total do prédio do Ministério de Minas e Energia. No final da análise, todas as alternativas que apresentam uma redução no consumo total da edificação foram consideradas no modelo base. Esta consideração permitiu observar a percentagem máxima de redução de consumo total obtida de acordo com as alternativas consideradas.



Com relação ao sistema de iluminação artificial, pode-se observar que o prédio do Ministério de Minas e Energia apresenta Nível de eficiência A de acordo com o RTQ-C. Portanto, considerando que a edificação em estudo apresenta um sistema de iluminação artificial eficiente, optou-se em não analisar a substituição deste sistema.

### 3.1 DESEMPENHO DOS VIDROS

Para analisar o desempenho dos vidros do prédio do Ministério de Minas e Energia, optou-se em substituir na fachada Leste o vidro laminado incolor 6 mm com a película prata espelhada (marca Intercontrol) por um vidro duplo controle solar prata, e também por um vidro duplo LowE. Os valores de transmitância térmica dos tipos de vidro utilizados na simulação computacional podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades dos vidros utilizados na simulação computacional.

| <b>Alternativas</b> | <b>Tipo de Vidro</b>                           | <b>U-Factor<br/>(W/m<sup>2</sup>K)</b> |
|---------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Modelo base         | Laminado incolor + película prata              | 5,778                                  |
| Vidro 01            | Duplo (controle solar + ar + laminado incolor) | 2,695                                  |
| Vidro 02            | Duplo (LowE + ar + monolítico incolor)         | 1,592                                  |

Os resultados do consumo final adotando as alternativas Vidro 01 (controle solar + ar + laminado incolor) e Vidro 02 (LowE + ar + laminado monolítico incolor) podem ser observados na Tabela 4 e na Tabela 5, respectivamente.

Tabela 4 – Consumo do Modelo base considerando a alternativa Vidro 01.

|                  | Consumo (kWh)    |                        | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|------------------------|-----------------|---------------|
|                  | Modelo base      | Modelo Base + Vidro 01 |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 181.302          | 172.851                | 8.451           | 4,66          |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806          | 157.769                | 8.037           | 4,85          |
| <b>Março</b>     | 174.113          | 166.848                | 7.265           | 4,17          |
| <b>Abril</b>     | 204.415          | 197.201                | 7.214           | 3,53          |
| <b>Maio</b>      | 182.036          | 178.147                | 3.889           | 2,14          |
| <b>Junho</b>     | 173.758          | 171.168                | 2.590           | 1,49          |
| <b>Julho</b>     | 181.073          | 177.920                | 3.153           | 1,74          |
| <b>Agosto</b>    | 187.137          | 181.222                | 5.915           | 3,16          |
| <b>Setembro</b>  | 208.778          | 199.726                | 9.052           | 4,34          |
| <b>Outubro</b>   | 210.537          | 202.313                | 8.224           | 3,91          |
| <b>Novembro</b>  | 206.965          | 197.968                | 8.997           | 4,35          |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850          | 209.376                | 7.474           | 3,45          |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.292.770</b> | <b>2.212.509</b>       | <b>80.261</b>   | <b>3,50</b>   |

Tabela 5 – Consumo do Modelo base considerando a alternativa Vidro 02.

|                  | Consumo (kWh)    |                        | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|------------------------|-----------------|---------------|
|                  | Modelo base      | Modelo Base + Vidro 02 |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 181.302          | 174.311                | 6.991           | 3,86          |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806          | 159.006                | 6.800           | 4,10          |
| <b>Março</b>     | 174.113          | 168.402                | 5.711           | 3,28          |
| <b>Abril</b>     | 204.415          | 198.633                | 5.782           | 2,83          |
| <b>Maio</b>      | 182.036          | 179.959                | 2.077           | 1,14          |
| <b>Junho</b>     | 173.758          | 173.335                | 423             | 0,24          |
| <b>Julho</b>     | 181.073          | 180.080                | 993             | 0,55          |
| <b>Agosto</b>    | 187.137          | 182.761                | 4.376           | 2,34          |
| <b>Setembro</b>  | 208.778          | 200.846                | 7.932           | 3,80          |
| <b>Outubro</b>   | 210.537          | 203.845                | 6.692           | 3,18          |
| <b>Novembro</b>  | 206.965          | 199.181                | 7.784           | 3,76          |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850          | 211.246                | 5.604           | 2,58          |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.292.770</b> | <b>2.231.605</b>       | <b>61.165</b>   | <b>2,67</b>   |

Nota-se que a substituição dos vidros na fachada leste do prédio do Ministério de Minas e Energia pelo Vidro 01 apresentou diferença significativa no consumo total de energia. A diferença encontrada foi praticamente superior a 4% para os meses de Setembro a Março, com uma diferença média anual encontrada foi de 3,48%.

Com a substituição do vidro da fachada leste do prédio do Ministério de Minas e Energia para o Vidro 02, nota-se o mesmo comportamento apresentado pelo Vidro 01: a maior diferença encontrada foi para os meses de Setembro a Março. Porém, a diferença média anual encontrada foi de 2,64%.

### **3.2 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR**

Foram analisadas diferentes alternativas com relação ao sistema de condicionamento de ar, substituindo desde o coeficiente de performance do sistema de condicionamento *split* existente até a substituição por outro sistema, como o VAV e VRF.

#### ***3.2.1 COEFICIENTE DE PERFORMANCE DO SISTEMA SPLIT***

O sistema de condicionamento de ar presente no prédio do Ministério de Minas e Energia é um sistema de condicionamento de ar do tipo *split*, com valor de Coeficiente de Performance (COP) de 2,8. Conforme mencionado anteriormente, este valor representa um sistema de condicionamento de ar com Nível de Eficiência C.

Primeiramente, antes de analisar qualquer alteração do tipo de sistema de condicionamento de ar no prédio do Ministério de Minas e Energia optou-se em alterar somente o COP do sistema real para 3,20. Segundo o Inmetro, este valor representa um Nível de Eficiência A.

Através da Tabela 6 pode-se observar o consumo do Modelo base com a utilização de um Coeficiente de Performance mais eficiente para o sistema de condicionamento de ar do tipo *split*. Observa-se que as diferenças foram superiores a 5% para todos os meses do ano. Nos meses de Setembro a Dezembro a diferença encontrada foi próxima de 10%.

Tabela 6 – Consumo do Modelo base considerando o sistema de condicionamento de ar *split* com COP A.

|                  | Consumo (kWh)    |                  | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|
|                  | Split Nível C    | Split Nível A    |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 181.302          | 166.377          | 14.925          | 8,23          |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806          | 151.867          | 13.939          | 8,41          |
| <b>Março</b>     | 174.113          | 161.091          | 13.022          | 7,48          |
| <b>Abril</b>     | 204.415          | 187.227          | 17.188          | 8,41          |
| <b>Mai</b>       | 182.036          | 170.371          | 11.665          | 6,41          |
| <b>Junho</b>     | 173.758          | 164.684          | 9.074           | 5,22          |
| <b>Julho</b>     | 181.073          | 171.544          | 9.529           | 5,26          |
| <b>Agosto</b>    | 187.137          | 174.121          | 13.016          | 6,96          |
| <b>Setembro</b>  | 208.778          | 190.435          | 18.343          | 8,79          |
| <b>Outubro</b>   | 210.537          | 192.269          | 18.268          | 8,68          |
| <b>Novembro</b>  | 206.965          | 188.161          | 18.804          | 9,09          |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850          | 197.851          | 18.999          | 8,76          |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.292.770</b> | <b>2.115.998</b> | <b>176.772</b>  | <b>7,70</b>   |

### 3.2.2 RENOVAÇÃO DO AR PARA SISTEMA SPLIT

Esta alternativa considera a renovação do ar do sistema de condicionamento de ar instalado no prédio do Ministério de Minas e Energia, levando em consideração o mesmo Coeficiente de Performance de 2,8.

A renovação do ar garante a qualidade do ar do ambiente interno, controlando também a umidade para situações mais complexas. Portanto, os projetos de instalação do sistema de condicionamento de ar devem prever as condições termo-higrotérmicas do ar e das áreas internas, assim como o número de pessoas que irão ocupar o ambiente analisado. Estes parâmetros definem a vazão de ar necessária para a renovação adequada do ar. Ressalta-se que sem a renovação de ar, os ambientes se tornam insalubres, podendo acarretar diversas reações nos ocupantes destes ambientes.

Em 2008 entrou em vigor a norma NBR 16401 sob o título geral "Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários". Esta norma é dividida em três partes: Parte 1 – Projeto das Instalações; Parte 2 – Parâmetros de Conforto Térmico; e Parte 3 – Qualidade do Ar interior. A Parte 3 especifica os parâmetros básicos para obter uma qualidade do ar interior

em um ambiente climatizado, determinando a vazão de ar externo necessária por ocupante, mais a vazão do ar externo por metro quadrado do ambiente.

No Brasil, poucas instalações seguem as exigências da NBR 16401 (2008). As instalações dos sistemas de condicionamento de ar do tipo *split* não incluem sistemas de renovação de ar.

Através da Tabela 7 pode-se observar o consumo do Modelo base com a utilização da renovação do ar, atendendo aos requisitos mínimos da NBR 16401 (2008). Adotou-se uma renovação por pessoa de 0,0031 m<sup>3</sup>/s e uma renovação de área de piso de 0,004 m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>. Observa-se que a consideração da renovação do ar apresentou um aumento no consumo da edificação para os meses de Setembro a Abril. Ressalta-se que com a renovação do ar há o ingresso de ar externo (quente e úmido), gerando uma carga térmica adicional, e portanto apresentando um aumento no consumo de energia.

Tabela 7 – Consumo do Modelo base considerando o sistema de condicionamento de ar *split* com renovação de ar.

|                  | Consumo (kWh)    |                              | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|------------------------------|-----------------|---------------|
|                  | Split Nível C    | Split Nível C + renovação ar |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 181.302          | 192.996                      | -11.694         | -6,45         |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806          | 177.015                      | -11.209         | -6,76         |
| <b>Março</b>     | 174.113          | 183.024                      | -8.911          | -5,12         |
| <b>Abril</b>     | 204.415          | 210.646                      | -6.231          | -3,05         |
| <b>Mai</b>       | 182.036          | 180.864                      | 1.172           | 0,64          |
| <b>Junho</b>     | 173.758          | 167.364                      | 6.394           | 3,68          |
| <b>Julho</b>     | 181.073          | 174.087                      | 6.986           | 3,86          |
| <b>Agosto</b>    | 187.137          | 186.538                      | 599             | 0,32          |
| <b>Setembro</b>  | 208.778          | 213.877                      | -5.099          | -2,44         |
| <b>Outubro</b>   | 210.537          | 216.498                      | -5.961          | -2,83         |
| <b>Novembro</b>  | 206.965          | 214.223                      | -7.258          | -3,51         |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850          | 224.247                      | -7.397          | -3,41         |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.292.770</b> | <b>2.341.379</b>             | <b>-48.609</b>  | <b>-2,10</b>  |

### 3.2.3 SISTEMA INVERTER COM COEFICIENTE DE PERFORMANCE NÍVEL A

O sistema inverter funciona com um inversor de frequência que controla a velocidade de compressão do sistema de condicionamento de ar. O compressor inverter tem um dispositivo interno que ajusta a frequência do motor ficando sempre em funcionamento, mas executando seu trabalho gradualmente de acordo com a temperatura do ambiente. Este sistema apresenta uma economia de energia em relação ao ar condicionado convencional, com uma eficiência melhor de resposta.

Para esta alternativa, considerou-se a utilização de um sistema inverter com Nível de eficiência A (COP de 3,20) em todas as zonas condicionadas do prédio do Ministério de Minas e Energia. Para a simulação computacional do sistema adotou-se uma renovação por pessoa de 0,0031 m<sup>3</sup>/s e uma renovação de área de piso de 0,004 m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>. O sistema foi modelado somente para resfriamento do ambiente, considerando uma temperatura de *setpoint* de 24°C.

A Tabela 8 apresenta a comparação entre os resultados de consumo da utilização de um sistema de condicionamento de ar *split* Nível C com um sistema de condicionamento de ar inverter com Nível A.

Tabela 8 – Consumo do Modelo base considerando o sistema de condicionamento de ar *split* com renovação de ar.

|                  | Consumo (kWh)    |                  | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|
|                  | Split Nível C    | Inverter Nível A |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 181.302          | 164.270          | 17.032          | 9,39          |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806          | 150.814          | 14.992          | 9,04          |
| <b>Março</b>     | 174.113          | 158.747          | 15.366          | 8,83          |
| <b>Abril</b>     | 204.415          | 182.210          | 22.205          | 10,86         |
| <b>Mai</b>       | 182.036          | 163.829          | 18.207          | 10,00         |
| <b>Junho</b>     | 173.758          | 158.119          | 15.639          | 9,00          |
| <b>Julho</b>     | 181.073          | 164.789          | 16.284          | 8,99          |
| <b>Agosto</b>    | 187.137          | 166.900          | 20.237          | 10,81         |
| <b>Setembro</b>  | 208.778          | 186.165          | 22.613          | 10,83         |
| <b>Outubro</b>   | 210.537          | 187.627          | 22.910          | 10,88         |
| <b>Novembro</b>  | 206.965          | 186.060          | 20.905          | 10,10         |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850          | 192.352          | 24.498          | 11,30         |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.292.770</b> | <b>2.061.882</b> | <b>230.888</b>  | <b>10,00</b>  |

Os resultados mostram que com a utilização de um sistema de condicionamento de ar inverter com Nível A o consumo da edificação foi reduzido em torno de 10% para todos os meses do ano. Este tipo de sistema apresentou níveis de consumo final mais eficiente quando comparados ao sistema do tipo *split* nível A.

#### 3.2.4 SISTEMA VAV COM CHILLER A ÁGUA

Este tipo de sistema central consiste no emprego de um resfriador de líquidos (*chiller*) no qual a dissipação do calor do ciclo de refrigeração é realizada para um circuito de água (água de condensação), que posteriormente rejeita este calor em uma torre de resfriamento. O emprego da água de condensação permite que o ciclo de refrigeração opere com menores temperaturas de condensação, resultando no aumento significativo da eficiência deste equipamento (*chiller*).

O *chiller* resfria outro circuito fechado de água (água gelada) que é distribuída através de canalizações pela edificação. Em cada ambiente há um climatizador (*fancoil* ambiente) que recebe esta água gelada. Sendo que, através de um trocador de calor resfria o ar, sem a necessidade de rede de dutos de distribuição de ar.

O controle de temperatura é realizado através do emprego de válvulas de controle de vazão de água gelada em cada climatizador. Estas válvulas são de duas vias, de tal forma que a bomba de água gelada deverá apresentar vazão variável (inversor de frequência nos motores) para adequar a vazão conforme a demanda.

O sistema de bombeamento de água gelada possui dois circuitos: circuito primário e circuito secundário. O circuito primário circula a água gelada através do *chiller* e possui vazão constante, o circuito secundário circula a água gelada através dos climatizadores e possui vazão variável.

Para a simulação computacional do sistema de condicionamento de ar VAV com *chiller* a água adotou-se uma renovação por pessoa de  $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$  e uma renovação de área de piso de  $0,004 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$ . O sistema foi modelado somente para resfriamento do ambiente, considerando uma temperatura de *setpoint* de  $24^\circ\text{C}$ . Considerou-se um *chiller* parafuso com o COP nominal de 5,9 W/W.

Ressalta-se que o sistema de condicionamento de ar VAV com *chiller* a água foi adotado para todas as zonas, exceto para os ambientes onde foi considerado um funcionamento de 24h00 do sistema de condicionamento de ar (sala do arquivo central, sala plenária e sala do *Data Center* da sala cofre).

A comparação entre o consumo do Modelo base com a utilização de um sistema VAV com *chiller* a água pode ser observado na Tabela 9. Nota-se uma diferença significativa no consumo de energia com a consideração desta alternativa.

Todos os meses do ano apresentaram uma redução no consumo de energia, sendo a mais significativa para os meses de Abril, e de Setembro a Dezembro. A média anual da diferença entre o uso do sistema real e do proposto é de aproximadamente 10%.

Tabela 9 – Consumo do Modelo base considerando o sistema de condicionamento de ar VAV com *chiller* a água.

|                  | Consumo (kWh)    |                           | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|---------------------------|-----------------|---------------|
|                  | Split Nível C    | VAV <i>chiller</i> a água |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 181.302          | 165.770                   | 15.532          | 8,57          |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806          | 151.156                   | 14.650          | 8,84          |
| <b>Março</b>     | 174.113          | 161.483                   | 12.630          | 7,25          |
| <b>Abril</b>     | 204.415          | 181.738                   | 22.677          | 11,09         |
| <b>Mai</b>       | 182.036          | 167.774                   | 14.262          | 7,83          |
| <b>Junho</b>     | 173.758          | 163.401                   | 10.357          | 5,96          |
| <b>Julho</b>     | 181.073          | 170.782                   | 10.291          | 5,68          |
| <b>Agosto</b>    | 187.137          | 170.207                   | 16.930          | 9,05          |
| <b>Setembro</b>  | 208.778          | 182.888                   | 25.890          | 12,40         |
| <b>Outubro</b>   | 210.537          | 185.771                   | 24.766          | 11,76         |
| <b>Novembro</b>  | 206.965          | 181.867                   | 25.098          | 12,13         |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850          | 192.246                   | 24.604          | 11,35         |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.292.770</b> | <b>2.075.083</b>          | <b>217.687</b>  | <b>9,50</b>   |

### 3.2.5 SISTEMA VAV COM CHILLER A ÁGUA + CICLO ECONOMIZADOR

Este tipo de sistema central consiste no emprego de um resfriador de líquidos (*chiller*) no qual a dissipação do calor do ciclo de refrigeração é realizada para um circuito de água (água de condensação), que posteriormente rejeita este calor em uma torre de resfriamento. O emprego da água de condensação permite que o ciclo de refrigeração opere com menores temperaturas de condensação, resultando no aumento significativo da eficiência deste equipamento (*chiller*).

O *chiller* resfria outro circuito fechado de água (água gelada) que é distribuída através de tubos através da edificação. Em cada pavimento da edificação há uma casa de máquinas com um grande climatizador (*fancoil*) que recebe esta água gelada; e através de um trocador



de calor resfria o ar, que é distribuído através de rede de dutos e grelhas em todos os ambientes condicionados do respectivo pavimento. O termostato localizado em cada ambiente controla a quantidade de ar a ser insuflado no respectivo ambiente (sistema VAV).

Em cada casa de máquinas é instalado um sistema denominado ciclo economizador. O ciclo economizador consiste em monitorar as condições do ar de retorno e o ar externo, e selecionar qual das duas condições está mais favoráveis do ponto de vista energético. O ciclo economizador permite proporcionar uma economia de energia nos dias de temperaturas mais amenas.

Nos climatizadores, as válvulas de controle de fluxo de água gelada são de duas vias, de tal forma que a bomba de água gelada apresente vazão variável (inversor de frequência nos motores) para adequar a vazão conforme a demanda.

O sistema de bombeamento de água gelada possui dois circuitos: circuito primário e circuito secundário. O circuito primário circula a água gelada através do *chiller* e possui vazão constante, o circuito secundário circula a água gelada através dos climatizadores e possui vazão variável.

Ressalta-se que a simulação deste sistema adotou os mesmos parâmetros adotados para a simulação do modelo anterior (VAV com *chiller* a água), porém com a presença de um ciclo economizador. A comparação entre o consumo do Modelo base com a utilização de um sistema VAV com *chiller* a água + ciclo economizador pode ser observado na Tabela 10.

A utilização de um sistema VAV com *chiller* a água + ciclo economizador apresenta uma redução do consumo de energia quando comparado com o consumo do Modelo base. As maiores diferenças observadas são para os meses de Setembro a Novembro. Porém, pode-se observar que a redução do sistema de condicionamento de ar anterior apresentou diferenças mais significativas.

Porém, ressalta-se que os sistemas com a utilização do *chiller* a água não são iguais. O *chiller* a água utiliza fancoletes nos ambientes (sem rede de dutos de distribuição de ar), refletindo em um baixo consumo dos ventiladores. Já o sistema com ciclo economizador adota *fancoils* e rede de dutos, refletindo no aumento do consumo dos ventiladores.

Tabela 10 – Consumo do Modelo base considerando o sistema de condicionamento de ar VAV com *chiller* a água + ciclo economizador.

|                  | Consumo (kWh)    |                                         | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|-----------------------------------------|-----------------|---------------|
|                  | Split Nível C    | VAV chiller a água + ciclo economizador |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 181.302          | 175.042                                 | 6.260           | 3,45          |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806          | 159.585                                 | 6.221           | 3,75          |
| <b>Março</b>     | 174.113          | 169.857                                 | 4.256           | 2,44          |
| <b>Abril</b>     | 204.415          | 190.627                                 | 13.788          | 6,75          |
| <b>Mai</b>       | 182.036          | 174.920                                 | 7.116           | 3,91          |
| <b>Junho</b>     | 173.758          | 170.692                                 | 3.066           | 1,76          |
| <b>Julho</b>     | 181.073          | 176.510                                 | 4.563           | 2,52          |
| <b>Agosto</b>    | 187.137          | 175.016                                 | 12.121          | 6,48          |
| <b>Setembro</b>  | 208.778          | 190.748                                 | 18.030          | 8,64          |
| <b>Outubro</b>   | 210.537          | 195.535                                 | 15.002          | 7,13          |
| <b>Novembro</b>  | 206.965          | 190.977                                 | 15.988          | 7,72          |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850          | 203.713                                 | 13.137          | 6,06          |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.292.770</b> | <b>2.173.222</b>                        | <b>119.548</b>  | <b>5,20</b>   |

### 3.2.6 SISTEMA FANCOIL AMBIENTE COM CHILLER A AR

Este tipo de sistema central consiste no emprego de um resfriador de líquidos (*chiller*) no qual a dissipação do calor do ciclo de refrigeração é realizada diretamente para o ar externo.

O chiller resfria um circuito fechado de água (água gelada) que é distribuída através de canalizações através da edificação. E em cada ambiente há um climatizador (*fancoil* ambiente) que recebe esta água gelada; e através de um trocador de calor resfria o ar, sem a necessidade de rede de dutos de distribuição de ar.

O controle de temperatura é realizado através do emprego de válvulas de controle de vazão de água gelada em cada climatizador. Estas válvulas são de duas vias, de tal forma que a bomba de água gelada deverá apresentar vazão variável (inversor de frequência nos motores) para adequar a vazão conforme a demanda.

O sistema de bombeamento de água gelada possui dois circuitos: circuito primário e circuito secundário. O circuito primário circula a água gelada através do *chiller* e possui vazão

constante, o circuito secundário circula a água gelada através dos climatizadores e possui vazão variável.

Para a simulação computacional do sistema de condicionamento de ar VAV com *chiller* a ar também adotou-se uma renovação por pessoa de 0,0031 m<sup>3</sup>/s e uma renovação de área de piso de 0,004 m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>. O sistema foi modelado somente para resfriamento do ambiente, considerando uma temperatura de *setpoint* de 24°C. Considerou-se um *chiller* parafuso com o COP nominal de 3,1 W/W.

Ressalta-se que o sistema de condicionamento de ar VAV com *chiller* a ar foi adotado para todas as zonas, exceto para os ambientes onde foi considerado um funcionamento de 24h00 do sistema de condicionamento de ar (sala do arquivo central, sala plenária e sala do *Data Center* da sala cofre).

A comparação entre o consumo do Modelo base com a utilização de um sistema VAV com *chiller* a ar pode ser observado na Tabela 11. Nota-se uma pequena diferença no consumo de energia com a consideração desta alternativa. A média da diferença anual foi de aproximadamente 4%.

Tabela 11 – Consumo do Modelo base considerando o sistema de condicionamento de ar VAV com *chiller* a ar.

|                  | Consumo (kWh)    |                      | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|----------------------|-----------------|---------------|
|                  | Split Nível C    | VAV com chiller a ar |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 181.302          | 178.749              | 2.553           | 1,41          |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806          | 163.853              | 1.953           | 1,18          |
| <b>Março</b>     | 174.113          | 171.052              | 3.061           | 1,76          |
| <b>Abril</b>     | 204.415          | 196.043              | 8.372           | 4,10          |
| <b>Maio</b>      | 182.036          | 173.447              | 8.589           | 4,72          |
| <b>Junho</b>     | 173.758          | 164.952              | 8.806           | 5,07          |
| <b>Julho</b>     | 181.073          | 172.665              | 8.408           | 4,64          |
| <b>Agosto</b>    | 187.137          | 178.339              | 8.798           | 4,70          |
| <b>Setembro</b>  | 208.778          | 200.012              | 8.766           | 4,20          |
| <b>Outubro</b>   | 210.537          | 202.034              | 8.503           | 4,04          |
| <b>Novembro</b>  | 206.965          | 200.195              | 6.770           | 3,27          |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850          | 208.557              | 8.293           | 3,82          |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.292.770</b> | <b>2.209.898</b>     | <b>82.872</b>   | <b>3,60</b>   |

### 3.2.7 SISTEMA VRF

O sistema VRF (Fluxo Refrigerante Variável) consiste no emprego de uma ou mais unidades condensadoras que distribuem gás refrigerante para as diversas unidades evaporadoras (climatizadores).

O climatizador de cada ambiente recebe gás refrigerante e através de um trocador de calor resfria o ar, sem a necessidade de rede de dutos de distribuição de ar. O controle de temperatura é realizado através do emprego de válvulas de controle de fluxo de refrigerante em cada climatizador.

As unidades condensadoras possuem compressor com rotação variável para adequar a vazão de gás refrigerante conforme a demanda. Este tipo de sistema apresenta aumento da eficiência quando opera em cargas parciais.

Para a simulação computacional do sistema de condicionamento de ar VRF com condensação a ar adotou-se uma renovação por pessoa de  $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$  e uma renovação de área de piso de  $0,004 \text{ m}^3/\text{s.m}^2$ . O sistema foi modelado somente para resfriamento do ambiente, considerando uma temperatura de *setpoint* de  $24^\circ\text{C}$ , considerando um Coeficiente de Performance de  $3,9 \text{ W/W}$ .

Ressalta-se que o sistema de condicionamento de ar VRF com condensação a ar foi adotado para todas as zonas, considerando também os ambientes onde foi considerado um funcionamento de 24h00 do sistema de condicionamento de ar.

A Tabela 12 apresenta a comparação do consumo final entre o Modelo base e o Modelo base + VRF. Nota-se que o sistema VRF apresentou uma redução de consumo significativa para todos os meses do ano, com uma média anual de aproximadamente 14%.

Comparando o sistema VRF com as alternativas de sistema de condicionamento de ar simuladas, nota-se que este sistema foi o que apresentou a maior redução no consumo de energia do prédio do Ministério de Minas e Energia.

Tabela 12 – Consumo do Modelo base considerando o sistema de condicionamento de ar VRF com condensação a ar.

|                  | Consumo (kWh)    |                  | Diferença (kWh) | Diferença (%) |
|------------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|
|                  | Split Nível C    | VRF              |                 |               |
| <b>Janeiro</b>   | 181.302          | 156.623          | 24.679          | 13,61         |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806          | 143.517          | 22.289          | 13,44         |
| <b>Março</b>     | 174.113          | 152.215          | 21.898          | 12,58         |
| <b>Abril</b>     | 204.415          | 173.904          | 30.511          | 14,93         |
| <b>Mai</b>       | 182.036          | 158.489          | 23.547          | 12,94         |
| <b>Junho</b>     | 173.758          | 154.436          | 19.322          | 11,12         |
| <b>Julho</b>     | 181.073          | 160.998          | 20.075          | 11,09         |
| <b>Agosto</b>    | 187.137          | 161.117          | 26.020          | 13,90         |
| <b>Setembro</b>  | 208.778          | 176.850          | 31.928          | 15,29         |
| <b>Outubro</b>   | 210.537          | 178.494          | 32.043          | 15,22         |
| <b>Novembro</b>  | 206.965          | 176.312          | 30.653          | 14,81         |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850          | 183.175          | 33.675          | 15,53         |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2.292.770</b> | <b>1.976.130</b> | <b>316.640</b>  | <b>13,80</b>  |

### 3.2.8 RESUMO DOS SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR ANALISADOS

O resumo do consumo dos diferentes sistemas de condicionamento de ar analisados pode ser observado através da Tabela 13. Nota-se que todos os sistemas analisados apresentaram redução no consumo quando comparados com o sistema de condicionamento de ar presente no Modelo base (sistema *split* nível C).

A substituição do sistema de condicionamento de ar real (sistema Split com Nível de eficiência C) por um sistema de condicionamento de ar do tipo VRF foi a alternativa que apresentou a maior diferença no consumo (13,80%). A alternativa de um sistema Inverter com Nível de eficiência A apresentou uma redução de 10% do consumo da edificação.

Tabela 13 – Consumo dos sistemas de condicionamento de ar analisados.

|                                                | <b>Consumo<br/>(kWh)</b> | <b>Diferença<br/>(kWh)</b> | <b>Diferença<br/>(%)</b> |
|------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Split Nível C (Modelo base)</b>             | 2.292.770                | -                          | -                        |
| <b>Split Nível A</b>                           | 2.115.998                | 176.772                    | 7,70                     |
| <b>Split Nível C + renovação de ar</b>         | 2.341.379                | -48.609                    | - 2,10                   |
| <b>Inverter Nível A</b>                        | 2.061.882                | 230.888                    | 10,00                    |
| <b>VAV chiller a água</b>                      | 2.075.083                | 217.687                    | 9,50                     |
| <b>VAV chiller a água + ciclo economizador</b> | 2.173.222                | 11.9548                    | 5,20                     |
| <b>VAV chiller a ar</b>                        | 2.209.898                | 82.872                     | 3,60                     |
| <b>VRF</b>                                     | 1.976.130                | 316.640                    | 13,80                    |

### 3.3 PAINEL FOTOVOLTAICO

Como alternativa de *retrofit*, considerou-se o uso de um painel fotovoltaico para geração de energia no prédio do Ministério de Minas e Energia.

Adotou-se um sistema que utiliza células de silício monocristalino que representam uma tecnologia de alta eficiência para geração fotovoltaica. O módulo escolhido foi o SunPower SPR WHT 230.

Optou-se em instalar o sistema na área da cobertura do prédio. Na cobertura há a presença de uma platibanda em todo o contorno da edificação com altura de 2,20 m, conforme apresentado na Figura 10. Nota-se também a presença de volumes projetando-se do piso da cobertura até à altura máxima da platibanda e tubulações acima do piso da cobertura. Uma consequência deste contexto é um elevado potencial de sombreamento dos módulos fotovoltaicos caso os mesmos fossem instalados perto do nível da cobertura.



(a)

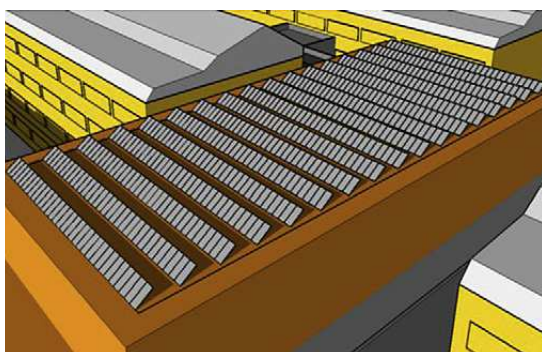


(b)

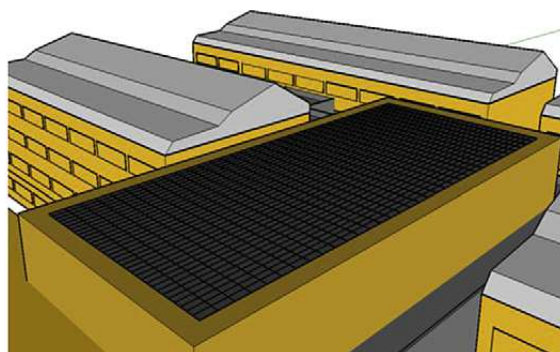
Figura 10 - Cobertura do prédio do MME. Fonte: Nicolleti (2009)

Dessa forma, adotou-se um sistema de painel fotovoltaico onde os módulos são instalados 20 cm acima do nível do topo da platibanda presente na cobertura. Este arranjo elimina o sombreamento indesejado dos módulos, permitindo o aproveitamento total da área de cobertura.

Para maximizar a geração fotovoltaica, os módulos foram organizados em fileiras alternadamente orientadas a Norte (azimute  $0^\circ$ ) e a Sul (azimute  $180^\circ$ ), adotando uma inclinação de  $15^\circ$ . Este tipo de arranjo é uma alternativa ao arranjo tradicionalmente utilizado, o qual é composto somente por módulos orientados a Norte com inclinação igual à latitude do local. Apesar do arranjo tradicionalmente utilizado garantir uma boa geração, este implica em um afastamento significativo entre as fileiras para evitar o sombreamento, resultando em um desperdício da área da cobertura. A Figura 11a ilustra um sistema fotovoltaico com módulos inclinados (arranjo tradicional), e a Figura 11b um sistema com módulos de inclinação  $15^\circ$  (arranjo proposto).



(a)



(b)

Figura 11 - Ilustração de sistemas com (a) arranjo tradicional e (b) arranjo proposto.

No sistema simulado (arranjo proposto) as fileiras de módulos estão afastadas 0,05 m nos topos dos módulos para permitir o escoamento da água da chuva e reduzir a carga de vento. A Figura 12 apresenta as fileiras de módulos orientados de Norte a Sul, representando o total de 10 fileiras graficamente.



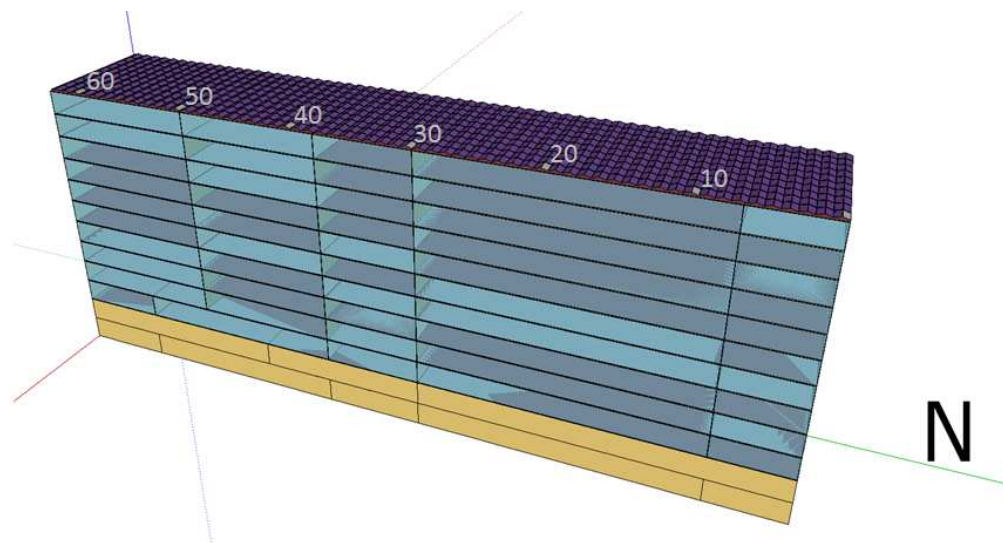


Figura 12 - Ilustração do arranjo dos módulos fotovoltaicos proposto.

Portanto, foi simulado um sistema fixo e heterogêneo com duas orientações: a Norte (azimute  $0^\circ$ ) e a Sul (azimute  $180^\circ$ ), com  $15^\circ$  de inclinação. Os módulos SunPower 230 apresentam dimensões de 1,6m X 0,8 m. Totalizando, foram consideradas 62 filas de 10 módulos orientadas a Norte (142.600 Wp) e 62 filas de 10 módulos orientadas a Sul (142.600 Wp).

A geração de energia será assimétrica, onde o sistema Sul tem uma geração de energia inferior ao sistema Norte. Porém, adotou-se a utilização de dois inversores PVI Central 100 (110 kWp de potência pico): um inversor é ligado aos módulos orientados a Norte, e o outro para os módulos orientados a Sul. Os inversores foram determinados através do programa PVsyst, onde determinou-se que este modelo apresenta o melhor ajuste para o sistema adotado. O PVsyst tem uma base de dados que inclui módulos e inversores comercialmente disponíveis, permitindo determinar as melhores combinações.

A simulação do desempenho dos módulos adotados para o prédio do Ministério de Minas e Energia foi realizada através do modelo SANDIA. O modelo SANDIA foi desenvolvido pelo *Sandia National Laboratory*. Este modelo contabiliza os efeitos da temperatura da célula na geração fotovoltaica, e prevê o desempenho dos módulos através de um conjunto de coeficientes determinados empiricamente para cada modelo específico.

Os inversores foram simulados adotando o modelo simples. Este modelo aplica aos valores de geração uma taxa constante de eficiência. A taxa de eficiência determinada foi de 95%, estabelecendo uma taxa média de eficiência com base nos dados da *California Energy Commission*.

Ressalta-se que a simulação do modelo de geração no programa Energyplus não contabiliza diversos fatores, como: perdas ôhmicas, qualidade dos módulos, desacertos entre



os módulos do sistema, entre outras. Dessa forma, os valores da geração fotovoltaica apresentados pelo programa de simulação computacional Energyplus representam o limite máximo possível de geração do sistema. A geração do modelo real será possivelmente menor. No entanto, o programa EnergyPlus têm precisão suficiente para as análises iniciais e para a opção de tecnologias.

Adicionalmente, as estimativas de geração fotovoltaica estão diretamente conectadas aos dados de irradiação solar presente no arquivo climático utilizado. A análise dos arquivos climáticos TRY, SWERA e INMET (2012) disponíveis para o clima de Brasília apresentam uma variação considerável nos valores de radiação solar horizontal. A Figura 13, Figura 14 e Figura 15 apresentam as características de temperatura, umidade, radiação direta e difusa, presentes nos arquivos climáticos TRY, SWERA e INMET (2012), respectivamente. A legenda para análise das características dos arquivos climáticos pode ser observada na Figura 16.

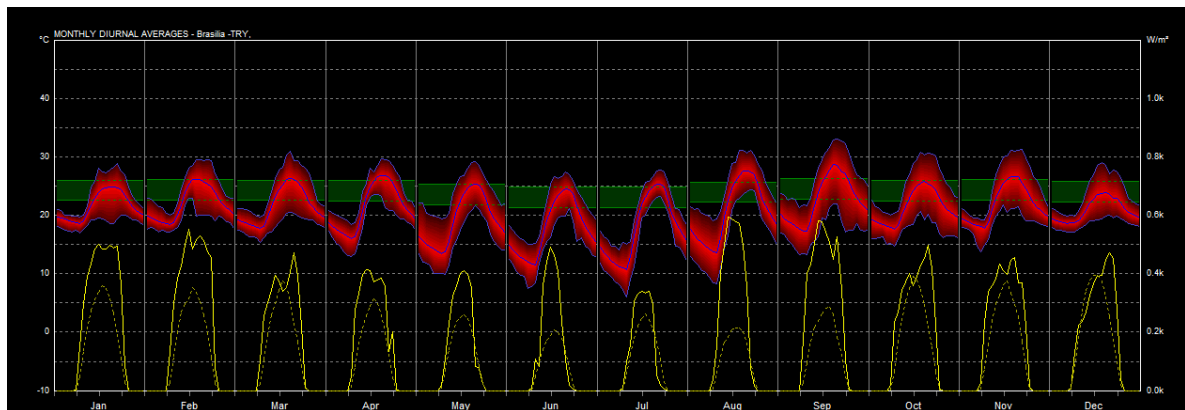


Figura 13 – Arquivo climático TRY para o clima de Brasília.

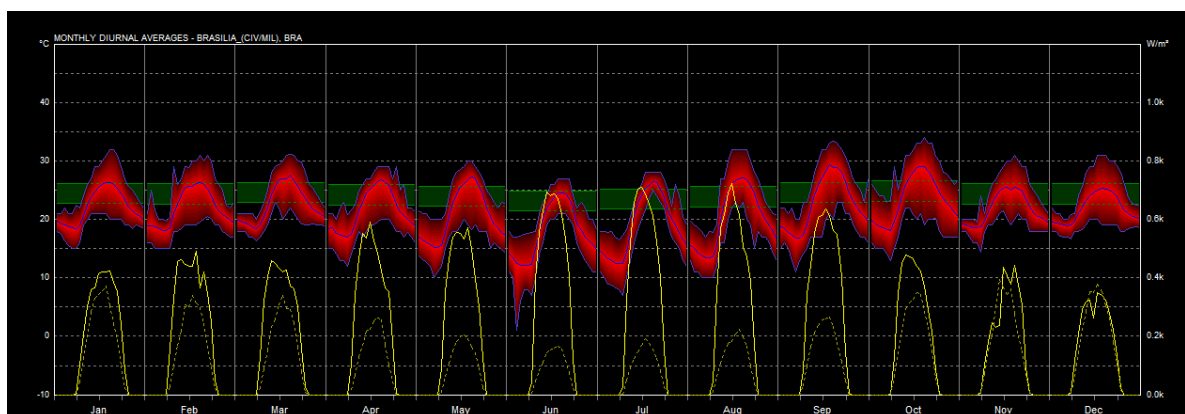


Figura 14 - Arquivo climático SWERA para o clima de Brasília.

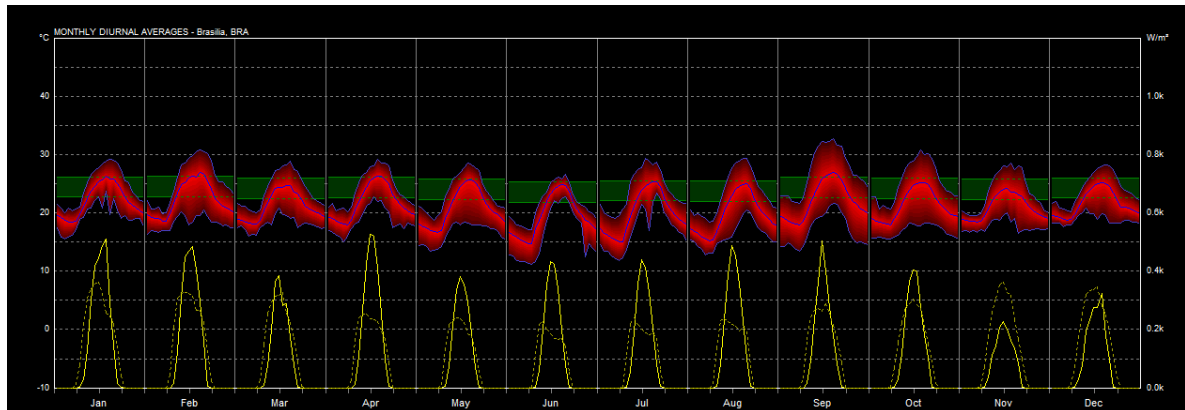


Figura 15 - Arquivo climático INMET (2012) para o clima de Brasília.

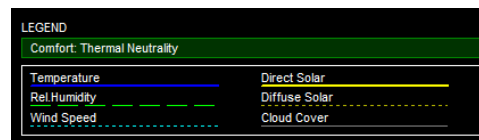


Figura 16 – Legenda para análise das características dos arquivos climáticos.

Para as simulações considerando o uso do painel fotovoltaico, adotou-se o arquivo climático de Brasília com os dados de radiação SWERA. Optou-se em adotar este arquivo, pois o SWERA possui um programa para estimar o potencial de geração fotovoltaica e eólica no planeta. Os dados específicos do Brasil foram apurados através do INPE através de medições de satélite.

A Tabela 14 apresenta o total de consumo de energia no prédio do Ministério de Minas e Energia (MME), a geração fotovoltaica na saída do inversor, a energia importada da rede e o saldo de energia entre geração própria e energia importada da rede.

Os valores de consumo de energia mensais do edifício são obtidos através da variável de saída *Electricity:Facility*, solicitada no programa *EnergyPlus*. Esta variável representa a soma de todos os consumos elétricos da edificação que foram inseridos no programa de simulação.

Os valores de energia referentes à geração elétrica na saída do inversor são obtidos através da solicitação da variável de saída no programa de simulação *EnergyPlus Load Center Electric Energy Produced*. Esta variável representa a soma da energia elétrica e da energia produzida pelo sistema fotovoltaico adotado.

O total de energia elétrica importada da rede é obtido através da solicitação da variável de saída no programa de simulação *Total Electric Energy Purchased*. Esta variável representa o total de energia importada pela edificação.

O saldo de energia entre importação e exportação de energia da rede é definido através da variável de saída *Total Electric Energy Surplus*, solicitada no programa de simulação. Esta variável representa o excesso de energia produzida e enviada para a rede de energia elétrica.

Tabela 14 - Balanço energético mensal.

|                  | <b>Consumo total de energia do MME (kWh)</b> | <b>Energia elétrica na saída do inversor (kWh)</b> | <b>Total de energia elétrica importada da rede (kWh)</b> | <b>Saldo de energia entre importação e exportação de energia da rede (kWh)</b> |
|------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Janeiro</b>   | 181.302                                      | 44.042                                             | 134.997                                                  | 4.590                                                                          |
| <b>Fevereiro</b> | 165.806                                      | 40.387                                             | 126.106                                                  | 4.098                                                                          |
| <b>Março</b>     | 174.113                                      | 40.703                                             | 139.912                                                  | 4.209                                                                          |
| <b>Abril</b>     | 204.415                                      | 37.369                                             | 172.156                                                  | 3.992                                                                          |
| <b>Maiο</b>      | 182.036                                      | 33.935                                             | 162.860                                                  | 3.675                                                                          |
| <b>Junho</b>     | 173.758                                      | 34.201                                             | 151.961                                                  | 3.140                                                                          |
| <b>Julho</b>     | 181.073                                      | 36.876                                             | 160.889                                                  | 3.878                                                                          |
| <b>Agosto</b>    | 187.137                                      | 40.346                                             | 153.715                                                  | 5.534                                                                          |
| <b>Setembro</b>  | 208.778                                      | 42.947                                             | 166.666                                                  | 5.110                                                                          |
| <b>Outubro</b>   | 210.537                                      | 44.285                                             | 175.717                                                  | 4.953                                                                          |
| <b>Novembro</b>  | 206.965                                      | 39.987                                             | 164.417                                                  | 5.040                                                                          |
| <b>Dezembro</b>  | 216.850                                      | 41.009                                             | 179.072                                                  | 3.442                                                                          |

O resumo do desempenho anual estimado segundo a simulação do Modelo base com a utilização de painel fotovoltaico pode ser observado na Tabela 15. Nota-se que a geração fotovoltaica é capaz de atender 20,58% do consumo anual do prédio do Ministério de Minas e Energia. Observa-se que em alguns períodos durante o ano a geração do prédio é superior ao seu consumo, permitindo exportar 2,23 % da energia gerada para a rede de energia elétrica.

Ressalta-se que é importante esclarecer que o balanço de energia não pode ser obtido subtraindo o valor da eletricidade exportada e importada para a rede de energia elétrica. A eletricidade gerada deve ser diretamente utilizada para atender as demandas internas de energia. A simulação computacional no programa *EnergyPlus* estabelece que a edificação analisada deve utilizar primeiramente toda a geração de energia para atender as demandas internas, e posteriormente exportar para a rede o excedente somente se as demandas internas forem totalmente atendidas.

Tabela 15 - Resumo do desempenho anual simulado do edifício.

|                                                                     | <b>Energia<br/>(kWh)</b> | <b>Energia<br/>(%)</b> |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| <b>Geração fotovoltaica do edifício</b>                             | 476.088                  | 20,58                  |
| <b>Energia importada da rede</b>                                    | 1.888.468                | 81,65                  |
| <b>Energia excedente exportada<br/>para a rede</b>                  | 51.661                   | 2,23                   |
| <b>Energia líquida importada da rede</b>                            | 1.836.807                | 79,42                  |
| <b>Total de geração própria e<br/>importação de energia da rede</b> | 2.312.895                | 100                    |
| <b>Consumo total de energia do edifício</b>                         | 2.312.895                | 100                    |

É possível observar uma diferença significativa entre o consumo total de energia e a geração fotovoltaica em todos os meses do ano. Dessa forma, conclui-se que o sistema de geração fotovoltaica não foi capaz de atender a demanda total do prédio do Ministério de Minas e Energia em nenhum dos meses analisados.

Ressalta-se que o programa Energyplus tende a superestimar a geração de energia do sistema de painel fotovoltaico, uma vez que este desconsidera algumas perdas do sistema conforme mencionado anteriormente. Portanto, realizou-se o cálculo da geração de energia do sistema de painel fotovoltaico com o programa PVSyst para poder comparar os resultados obtidos entre os dois programas. A comparação da geração de energia do sistema Norte pode ser observada através da Tabela 16.

Observa-se que para todos os meses do ano o programa EnergyPlus apresentou resultados de geração de energia superiores ao programa PVSyst. As maiores diferenças foram observadas para os meses de Setembro a Abril. O mês que apresentou a maior diferença foi o de Outubro, com um total de 30,69%. Entre os meses de Maio a Agosto, a diferença da geração de energia encontrada entre os programas foi inferior a 10%.

A comparação da geração de energia do sistema Sul pode ser observada através da Tabela 17. Nota-se o mesmo comportamento apresentado para o sistema Norte, ou seja, os meses que apresentaram a maior diferença de geração de energia foram de Setembro a Abril. Para os outros meses a diferença foi inferior a 10%.

O relatório de saída fornecido pelo programa PVSyst para o Sistema Norte e Sul podem ser observados no ANEXO 01.

Tabela 16 – Geração de energia do Sistema Norte.

| <b>Geração de energia – Sistema Norte</b> |                             |                         |                            |                          |
|-------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
|                                           | <b>EnergyPlus<br/>(kWh)</b> | <b>PVSyst<br/>(kWh)</b> | <b>Diferença<br/>(kWh)</b> | <b>Diferença<br/>(%)</b> |
| <b>Janeiro</b>                            | 21.200                      | 15.116                  | 6.084                      | 28,70                    |
| <b>Fevereiro</b>                          | 19.939                      | 16.231                  | 3.708                      | 18,60                    |
| <b>Março</b>                              | 21.354                      | 15.970                  | 5.384                      | 25,21                    |
| <b>Abril</b>                              | 20.873                      | 17.826                  | 3.047                      | 14,60                    |
| <b>Mai</b>                                | 20.186                      | 18.849                  | 1.337                      | 6,62                     |
| <b>Junho</b>                              | 21.218                      | 19.244                  | 1.974                      | 9,30                     |
| <b>Julho</b>                              | 22.467                      | 20.499                  | 1.968                      | 8,76                     |
| <b>Agosto</b>                             | 23.339                      | 21.360                  | 1.979                      | 8,48                     |
| <b>Setembro</b>                           | 23.181                      | 18.209                  | 4.972                      | 21,45                    |
| <b>Outubro</b>                            | 22.528                      | 15.614                  | 6.914                      | 30,69                    |
| <b>Novembro</b>                           | 19.475                      | 14.941                  | 4.534                      | 23,28                    |
| <b>Dezembro</b>                           | 19.550                      | 15.122                  | 4.428                      | 22,65                    |
| <b>TOTAL</b>                              | <b>255.309</b>              | <b>208.981</b>          | <b>46.328</b>              | <b>18,15</b>             |

Tabela 17 – Geração de energia do Sistema Sul.

| <b>Geração de energia – Sistema Sul</b> |                             |                         |                            |                          |
|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
|                                         | <b>EnergyPlus<br/>(kWh)</b> | <b>PVSyst<br/>(kWh)</b> | <b>Diferença<br/>(kWh)</b> | <b>Diferença<br/>(%)</b> |
| <b>Janeiro</b>                          | 22.843                      | 16.308                  | 6.535                      | 28,61                    |
| <b>Fevereiro</b>                        | 20.448                      | 16.679                  | 3.769                      | 18,43                    |
| <b>Março</b>                            | 19.349                      | 14.760                  | 4.589                      | 23,72                    |
| <b>Abril</b>                            | 16.497                      | 14.386                  | 2.111                      | 12,79                    |
| <b>Mai</b>                              | 13.749                      | 13.252                  | 497                        | 3,61                     |
| <b>Junho</b>                            | 12.983                      | 12.020                  | 963                        | 7,42                     |
| <b>Julho</b>                            | 14.410                      | 13.323                  | 1.087                      | 7,54                     |
| <b>Agosto</b>                           | 17.007                      | 15.840                  | 1.167                      | 6,86                     |
| <b>Setembro</b>                         | 19.765                      | 15.988                  | 3.777                      | 19,11                    |
| <b>Outubro</b>                          | 21.757                      | 15.610                  | 6.147                      | 28,25                    |
| <b>Novembro</b>                         | 20.512                      | 15.811                  | 4.701                      | 22,92                    |
| <b>Dezembro</b>                         | 21.460                      | 16.643                  | 4.817                      | 22,45                    |
| <b>TOTAL</b>                            | <b>220.779</b>              | <b>180.620</b>          | <b>40.159</b>              | <b>18,19</b>             |

Segundo o IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, este tem o trabalho de promover e coordenar o processo de preservação do Patrimônio Cultural Brasileiro para fortalecer identidades, garantir o direito à memória e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do país. Frente a isso, optou-se em verificar a instalação do sistema de painel fotovoltaico abaixo no nível da cobertura (abaixo da platibanda) para não modificar a fachada do prédio do Ministério de Minas e Energia.

Com base na planta da cobertura do prédio do Ministério de Minas e Energia, as obstruções foram observadas e modeladas no programa PVSyst (Figura 17). Os módulos foram dispostos para a orientação Norte e Sul, considerando a mesma metodologia adotada anteriormente. Ressalta-se que a instalação do sistema de painel fotovoltaico no nível da cobertura não elimina o sombreamento indesejado dos módulos em razão da platibanda de 2,20 cm e das obstruções presentes na cobertura.

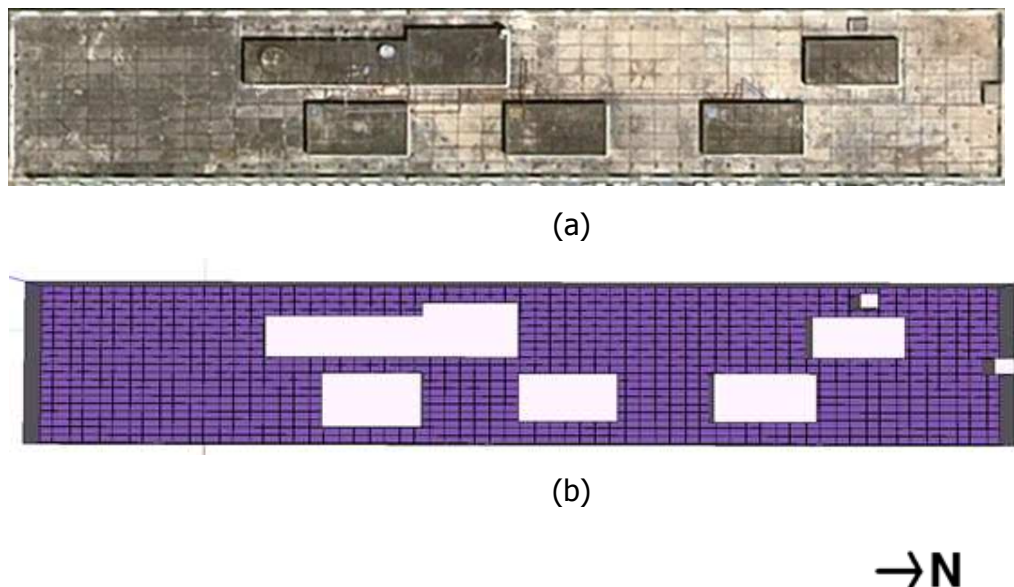


Figura 17 – Planta da cobertura do MME (a) com obstruções e (b) com obstruções e arranjo proposto.

Com base nos resultados desta simulação, foi possível observar e comparar a diferença da geração de energia obtida com a utilização de um sistema acima e abaixo da platibanda. A comparação da geração de energia do sistema Norte sem e com obstruções na cobertura pode ser observada através da Tabela 18. Observa-se que para todos os meses do ano a consideração das obstruções na cobertura do prédio do MME apresentou resultados de

geração de energia significativamente inferior quando comparados com os resultados da não consideração destas obstruções. As diferenças encontradas são superiores a 10.000 kWh.

Para o sistema Sul, observa-se o mesmo comportamento (Tabela 19). Ou seja, a consideração das obstruções na cobertura resultaram em uma geração de energia inferior quando comparados com os resultados da não consideração destas obstruções.

O relatório de saída fornecido pelo programa PVSyst para o Sistema Norte e Sul podem ser observados no ANEXO 02.

Tabela 18 – Geração de energia do Sistema Norte com obstruções.

| <b>PVSyst</b>                             |                                 |                                 |                            |                          |
|-------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| <b>Geração de energia – Sistema Norte</b> |                                 |                                 |                            |                          |
|                                           | <b>Sem obstruções<br/>(kWh)</b> | <b>Com obstruções<br/>(kWh)</b> | <b>Diferença<br/>(kWh)</b> | <b>Diferença<br/>(%)</b> |
| <b>Janeiro</b>                            | 15.116                          | 4.908                           | 10.208                     | 67,53                    |
| <b>Fevereiro</b>                          | 16.231                          | 5.409                           | 10.822                     | 66,67                    |
| <b>Março</b>                              | 15.970                          | 5.213                           | 10.757                     | 67,36                    |
| <b>Abril</b>                              | 17.826                          | 5.802                           | 12.024                     | 67,45                    |
| <b>Mai</b>                                | 18.849                          | 6.072                           | 12.777                     | 67,79                    |
| <b>Junho</b>                              | 19.244                          | 6.137                           | 13.107                     | 68,11                    |
| <b>Julho</b>                              | 20.499                          | 6.551                           | 13.948                     | 68,04                    |
| <b>Agosto</b>                             | 21.360                          | 6.990                           | 14.370                     | 67,28                    |
| <b>Setembro</b>                           | 18.209                          | 6.005                           | 12.204                     | 67,02                    |
| <b>Outubro</b>                            | 15.614                          | 5.064                           | 10.550                     | 67,57                    |
| <b>Novembro</b>                           | 14.941                          | 4.897                           | 10.044                     | 67,22                    |
| <b>Dezembro</b>                           | 15.122                          | 4.930                           | 10.192                     | 67,40                    |
| <b>TOTAL</b>                              | <b>208.981</b>                  | <b>67.978</b>                   | <b>141.003</b>             | <b>67,47</b>             |

Tabela 19 – Geração de energia do Sistema Sul com obstruções.

| PVSyst                           |                         |                         |                    |                  |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|------------------|
| Geração de energia – Sistema Sul |                         |                         |                    |                  |
|                                  | Sem obstruções<br>(kWh) | Com obstruções<br>(kWh) | Diferença<br>(kWh) | Diferença<br>(%) |
| <b>Janeiro</b>                   | 22.843                  | 5.305                   | 17.538             | 76,78            |
| <b>Fevereiro</b>                 | 20.448                  | 5.542                   | 14.906             | 72,90            |
| <b>Março</b>                     | 19.349                  | 4.812                   | 14.537             | 75,13            |
| <b>Abril</b>                     | 16.497                  | 4.753                   | 11.744             | 71,19            |
| <b>Mai</b>                       | 13.749                  | 4.359                   | 9.390              | 68,30            |
| <b>Junho</b>                     | 12.983                  | 3.962                   | 9.021              | 69,48            |
| <b>Julho</b>                     | 14.410                  | 4.429                   | 9.981              | 69,26            |
| <b>Agosto</b>                    | 17.007                  | 5.245                   | 11.762             | 69,16            |
| <b>Setembro</b>                  | 19.765                  | 5.246                   | 14.519             | 73,46            |
| <b>Outubro</b>                   | 21.757                  | 5.067                   | 16.690             | 76,71            |
| <b>Novembro</b>                  | 20.512                  | 5.206                   | 15.306             | 74,62            |
| <b>Dezembro</b>                  | 21.460                  | 5.458                   | 16.002             | 74,57            |
| <b>TOTAL</b>                     | <b>220.779</b>          | <b>59.384</b>           | <b>161.395</b>     | <b>73,10</b>     |

### 3.4 RESUMO DAS ALTERNATIVAS ANALISADAS

O resumo do consumo total de todas as alternativas simuladas pode ser observado através da Tabela 20.

A alternativa que apresentou a maior diferença com relação ao consumo total do Modelo base foi a utilização de um sistema de condicionamento de ar do tipo VRF com condensação a ar, seguido do sistema de condicionamento de ar do tipo Inverter com Coeficiente de Performance Nível A. Com relação aos vidros, observa-se que ambos os vidros duplos apresentam uma diferença de aproximadamente 3% com relação ao consumo total do Modelo base. Porém, a alternativa que apresentou a maior diferença foi com a utilização do vidro duplo com controle solar + ar + vidro incolor.

Ressalta-se que a alternativa do uso do painel fotovoltaico foi capaz de atender 20,58% do consumo anual do prédio do Ministério de Minas e Energia.



Tabela 20 – Consumo total das alternativas simuladas.

| <b>Alternativas simuladas</b>                        | <b>Consumo total (kWh)</b> | <b>Diferença (kWh)</b> | <b>Diferença (%)</b> |
|------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|
| Modelo base                                          | 2.292.770                  | -                      | -                    |
| Vidro Duplo (controle solar + ar + laminado incolor) | 2.212.509                  | 80.261                 | 3,50                 |
| Vidro Duplo (LowE + ar + monolítico incolor)         | 2.231.605                  | 61.165                 | 2,67                 |
| Split Nível A                                        | 2.115.998                  | 176.772                | 7,70                 |
| Split Nível C + renovação                            | 2.341.679                  | -48.909                | -2,10                |
| Inverter Nível A                                     | 2.061.882                  | 230.888                | 10,00                |
| VAV chiller a água                                   | 2.075.083                  | 217.687                | 9,50                 |
| VAV chiller a água + ciclo economizador              | 2.173.222                  | 119.548                | 5,20                 |
| VAV chiller a ar                                     | 2.209.898                  | 82.872                 | 3,60                 |
| VRF condensação a ar                                 | 1.976.130                  | 316.640                | 13,80                |

### 3.5 MODELOS PROPOSTOS

Analizando os resultados de consumo total com a utilização de cada uma das alternativas simuladas, optou-se em comparar o consumo do Modelo base com um Modelo proposto 01.

No Modelo proposto 01 optou-se em considerar o vidro duplo (controle solar + ar + laminado incolor) na fachada Leste do prédio do Ministério de Minas e Energia, o sistema de condicionamento de ar do tipo VRF com condensação a ar, e a utilização de painel fotovoltaico. Foi também simulado um Modelo proposto 02 considerando o vidro duplo (controle solar + ar + monolítico incolor) na fachada Leste, o painel fotovoltaico com base em simulações do programa EnergyPlus e a utilização do sistema Inverter com Coeficiente de Performance Nível A.

A comparação entre os resultados do consumo total do Modelo base e do Modelo proposto 01 podem ser observados na Tabela 21. Nota-se que a diferença encontrada foi de 15,07% com a utilização de vidro duplo, sistema de condicionamento de ar do tipo VRF e com painel fotovoltaico.

A geração fotovoltaica do Modelo proposto 01 através do programa EnergyPlus pode ser observada na Tabela 22. O uso do painel fotovoltaico foi capaz de atender 24,45% do consumo anual do prédio do Ministério de Minas e Energia. Comparando com o Modelo base (20,58%), nota-se um aumento da geração fotovoltaica de 3,87%. Este aumento de geração reduziu a eletricidade importada da rede em 365.514 kWh.

É importante ressaltar que segundo as simulações no programa PVSyst, a geração fotovoltaica do sistema foi de 389.601 kWh. Porém, para obter o consumo total das alternativas analisadas é necessário que todas as alternativas sejam inseridas no programa

EnergyPlus. O benefício e o custo de implantação do sistema de painel fotovoltaico através do programa PVSyst será apresentado no Relatório 03.

Tabela 21 – Consumo total do Modelo proposto 01.

| <b>Alternativas simuladas</b>                                                                                  | <b>Consumo total (kWh)</b> | <b>Diferença (kWh)</b> | <b>Diferença (%)</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|
| Modelo base                                                                                                    | 2.292.770                  | -                      | -                    |
| Modelo proposto 01:<br>- Vidro: controle solar + ar + laminado incolor<br>- HVAC: VRF<br>- Painel fotovoltaico | 1.947.329                  | 345.441                | 15,07                |

Tabela 22 – Geração fotovoltaica do Modelo proposto 01.

|                                                                 | <b>Energia (kWh)</b> | <b>Energia (%)</b> |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Geração fotovoltaica do edifício</b>                         | 476.088              | 24,45              |
| <b>Eletricidade importada da rede</b>                           | 1.522.954            | 78,21              |
| <b>Eletricidade excedente exportada para a rede</b>             | 51.713               | 2,66               |
| <b>Eletricidade líquida importada da rede</b>                   | 1.471.240            | 75,55              |
| <b>Total de geração própria e importação de energia da rede</b> | 1.947.329            | 100                |
| <b>Consumo total de energia do edifício</b>                     | 1.947.329            | 100                |

A comparação entre os resultados do consumo total do Modelo base e do Modelo proposto 02 podem ser observados na Tabela 23. A diferença encontrada foi de 11,52% com a utilização de vidro duplo, sistema de condicionamento de ar do tipo Inverter e com painel fotovoltaico.

Tabela 23 – Consumo total do Modelo proposto 02.

| <b>Alternativas simuladas</b>                                                                                       | <b>Consumo total (kWh)</b> | <b>Diferença (kWh)</b> | <b>Diferença (%)</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|
| Modelo base                                                                                                         | 2.292.770                  | -                      | -                    |
| Modelo proposto 02:<br>- Vidro: LowE + ar + monolitico incolor<br>- HVAC: Inverter Nível A<br>- Painei fotovoltaico | 2.028.569                  | 264.201                | 11,52                |

A geração fotovoltaica do Modelo proposto 02 (Tabela 24) foi capaz de atender 23,47% do consumo anual do prédio do Ministério de Minas e Energia. Comparando com o Modelo base (20,58%), nota-se um aumento da geração fotovoltaica de 2,89%. Este aumento de geração reduziu a eletricidade importada da rede em 284.275 kWh.

Tabela 24 – Geração fotovoltaica do Modelo proposto 02.

|                                                                 | <b>Energia (kWh)</b> | <b>Energia (%)</b> |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Geração fotovoltaica do edifício</b>                         | 476.088              | 23,47              |
| <b>Eletricidade importada da rede</b>                           | 1.604.193            | 79,08              |
| <b>Eletricidade excedente exportada para a rede</b>             | 51.712               | 2,55               |
| <b>Eletricidade líquida importada da rede</b>                   | 1.552.481            | 76,53              |
| <b>Total de geração própria e importação de energia da rede</b> | 2.028.569            | 100                |
| <b>Consumo total de energia do edifício</b>                     | 2.028.569            | 100                |

**ANEXO 01**

Cálculo da geração de energia do sistema de painel fotovoltaico sem a consideração de obstruções através do programa PVSyst.

|                                                                           |  |                   |                           |                        |                 |          |
|---------------------------------------------------------------------------|--|-------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|----------|
| PVSYST V6.07                                                              |  |                   |                           |                        | 14/11/13        | Page 1/3 |
| <p align="center"><b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b></p> |  |                   |                           |                        |                 |          |
| <b>Project :</b> <b>Grid-Connected Project at Brasilia</b>                |  |                   |                           |                        |                 |          |
| <b>Geographical Site</b>                                                  |  | <b>Brasilia</b>   |                           | <b>Country</b>         | <b>Brazil</b>   |          |
| <b>Situation</b>                                                          |  | Latitude          | 15.6°S                    | Longitude              | 48.0°W          |          |
| Time defined as                                                           |  | Legal Time        | Time zone UT-3            | Altitude               | 895 m           |          |
|                                                                           |  | Albedo            | 0.20                      |                        |                 |          |
| <b>Meteo data:</b>                                                        |  | <b>Brasilia</b>   | Synthetic - Meteonorm 6.1 |                        |                 |          |
| <b>Simulation variant :</b> <b>New simulation variant</b>                 |  |                   |                           |                        |                 |          |
|                                                                           |  |                   | Simulation date           | 14/11/13 18h20         |                 |          |
| <b>Simulation parameters</b>                                              |  |                   |                           |                        |                 |          |
| <b>Collector Plane Orientation</b>                                        |  | Tilt              | 15°                       | Azimuth                | 0°              |          |
| <b>Models used</b>                                                        |  | Transposition     | Perez                     | Diffuse                | Measured        |          |
| <b>Horizon</b>                                                            |  | Free Horizon      |                           |                        |                 |          |
| <b>Near Shadings</b>                                                      |  | No Shadings       |                           |                        |                 |          |
| <b>PV Array Characteristics</b>                                           |  |                   |                           |                        |                 |          |
| <b>PV module</b>                                                          |  | Si-mono           | Model                     | <b>SPR-230-WHT-D</b>   |                 |          |
|                                                                           |  |                   | Manufacturer              | SunPower               |                 |          |
| Number of PV modules                                                      |  | In series         | 16 modules                | In parallel            | 39 strings      |          |
| Total number of PV modules                                                |  | Nb. modules       | 624                       | Unit Nom. Power        | 230 Wp          |          |
| Array global power                                                        |  | Nominal (STC)     | <b>144 kWp</b>            | At operating cond.     | 118 kWp (70°C)  |          |
| Array operating characteristics (50°C)                                    |  | U mpp             | 523 V                     | I mpp                  | 225 A           |          |
| Total area                                                                |  | Module area       | <b>776 m²</b>             | Cell area              | 695 m²          |          |
| <b>Inverter</b>                                                           |  |                   | Model                     | <b>PVI Central 100</b> |                 |          |
|                                                                           |  |                   | Manufacturer              | Power-One              |                 |          |
| Characteristics                                                           |  | Operating Voltage | 465-850 V                 | Unit Nom. Power        | 110 kW AC       |          |
| <b>PV Array loss factors</b>                                              |  |                   |                           |                        |                 |          |
| Thermal Loss factor                                                       |  | Uc (const)        | 20.0 W/m²K                | Uv (wind)              | 0.0 W/m²K / m/s |          |
| => Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)         |  |                   |                           | NOCT                   | 56 °C           |          |
| Wiring Ohmic Loss                                                         |  | Global array res. | 43 mOhm                   | Loss Fraction          | 1.5 % at STC    |          |
| Module Quality Loss                                                       |  |                   |                           | Loss Fraction          | 2.5 %           |          |
| Module Mismatch Losses                                                    |  |                   |                           | Loss Fraction          | 1.0 % at MPP    |          |
| Incidence effect, ASHRAE parametrization                                  |  | IAM =             | 1 - bo (1/cos i - 1)      | bo Param.              | 0.05            |          |
| User defined profile                                                      |  |                   |                           |                        |                 |          |
| <b>User's needs :</b> Unlimited load (grid)                               |  |                   |                           |                        |                 |          |

## Grid-Connected System: Main results

**Project :**           **Grid-Connected Project at Brasilia**

**Simulation variant :**       **New simulation variant**

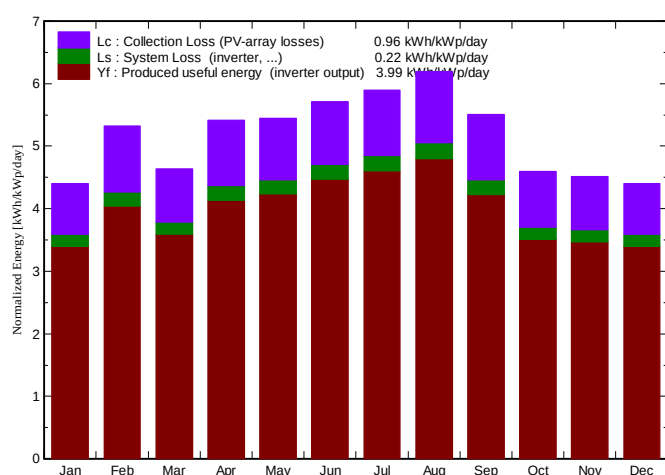
### Main system parameters

|                      |                       |                 |                           |
|----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| System type          | <b>Grid-Connected</b> |                 |                           |
| PV Field Orientation | tilt                  | 15°             | azimuth 0°                |
| PV modules           | Model                 | SPR-230-WHT-D   | Pnom 230 Wp               |
| PV Array             | Nb. of modules        | 624             | Pnom total <b>144 kWp</b> |
| Inverter             | Model                 | PVI Central 100 | Pnom 110 kW ac            |
| User's needs         | Unlimited load (grid) |                 |                           |

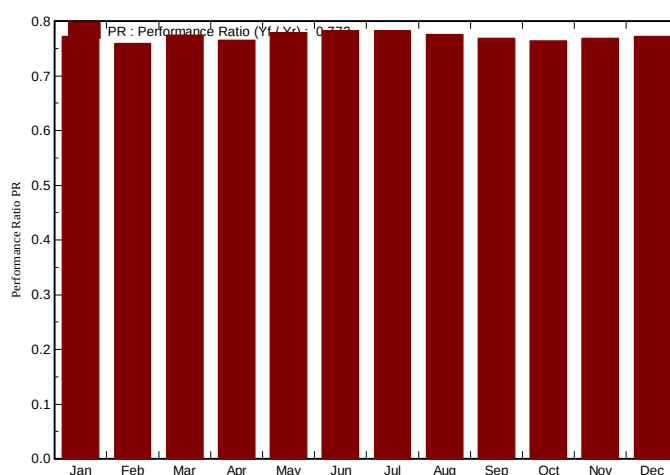
### Main simulation results

|                   |                        |                        |                |                   |
|-------------------|------------------------|------------------------|----------------|-------------------|
| System Production | <b>Produced Energy</b> | <b>208982 kWh/year</b> | Specific prod. | 1456 kWh/kWp/year |
|                   | Performance Ratio PR   | 77.2 %                 |                |                   |

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 144 kWp**



**Performance Ratio PR**



### New simulation variant Balances and main results

|                  | GlobHor<br>kWh/m <sup>2</sup> | T Amb<br>°C | GlobInc<br>kWh/m <sup>2</sup> | GlobEff<br>kWh/m <sup>2</sup> | EArray<br>kWh | E_Grid<br>kWh | EffArrR<br>% | EffSysR<br>% |
|------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>January</b>   | 144.9                         | 23.10       | 136.5                         | 131.1                         | 15975         | 15116         | 15.08        | 14.27        |
| <b>February</b>  | 153.9                         | 23.30       | 149.0                         | 144.1                         | 17144         | 16231         | 14.82        | 14.03        |
| <b>March</b>     | 140.6                         | 22.70       | 143.7                         | 138.8                         | 16859         | 15970         | 15.12        | 14.32        |
| <b>April</b>     | 149.3                         | 22.70       | 162.3                         | 157.5                         | 18805         | 17826         | 14.92        | 14.14        |
| <b>May</b>       | 146.4                         | 21.10       | 168.6                         | 163.7                         | 19854         | 18849         | 15.17        | 14.40        |
| <b>June</b>      | 142.5                         | 19.60       | 171.3                         | 166.5                         | 20274         | 19244         | 15.25        | 14.47        |
| <b>July</b>      | 153.9                         | 19.60       | 182.7                         | 177.6                         | 21589         | 20499         | 15.22        | 14.46        |
| <b>August</b>    | 170.3                         | 21.30       | 192.1                         | 186.7                         | 22495         | 21360         | 15.09        | 14.33        |
| <b>September</b> | 157.6                         | 23.30       | 165.1                         | 159.9                         | 19198         | 18209         | 14.98        | 14.21        |
| <b>October</b>   | 145.0                         | 24.00       | 142.4                         | 137.3                         | 16483         | 15614         | 14.91        | 14.13        |
| <b>November</b>  | 142.4                         | 22.50       | 135.4                         | 130.4                         | 15781         | 14941         | 15.02        | 14.22        |
| <b>December</b>  | 146.6                         | 22.70       | 136.5                         | 131.1                         | 15977         | 15122         | 15.08        | 14.27        |
| <b>Year</b>      | 1793.3                        | 22.15       | 1885.5                        | 1824.7                        | 220436        | 208982        | 15.06        | 14.28        |

|          |         |                                              |         |                                             |
|----------|---------|----------------------------------------------|---------|---------------------------------------------|
| Legends: | GlobHor | Horizontal global irradiation                | EArray  | Effective energy at the output of the array |
|          | T Amb   | Ambient Temperature                          | E_Grid  | Energy injected into grid                   |
|          | GlobInc | Global incident in coll. plane               | EffArrR | Effic. Eout array / rough area              |
|          | GlobEff | Effective Global, corr. for IAM and shadings | EffSysR | Effic. Eout system / rough area             |

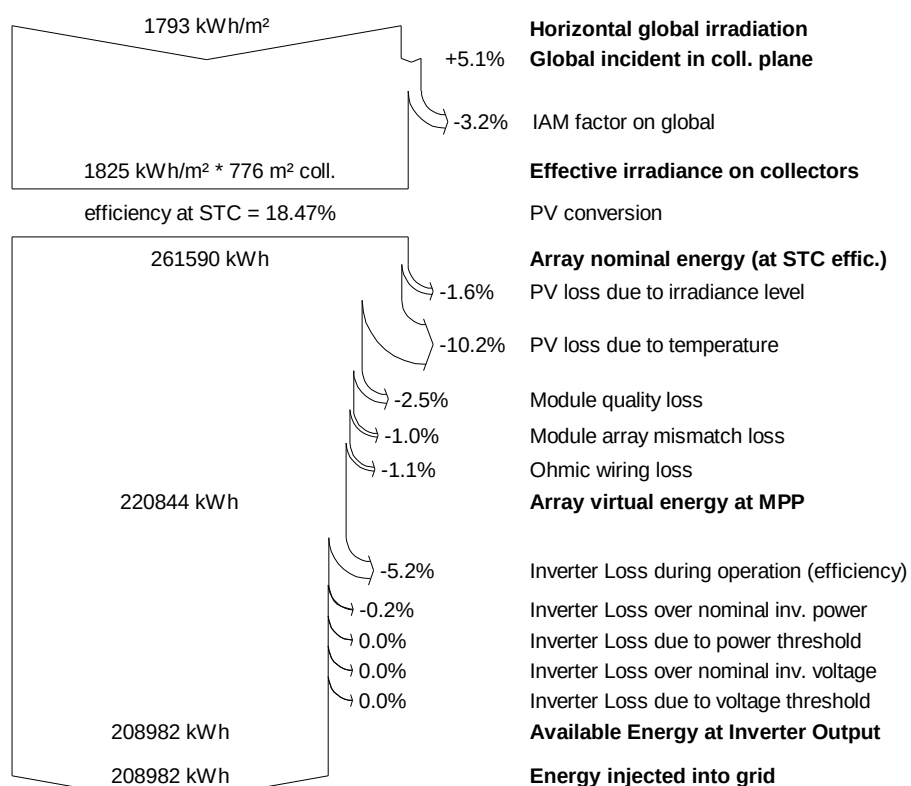
## Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :**           **Grid-Connected Project at Brasilia**

**Simulation variant :**       **New simulation variant**

|                               |                       |                       |            |                |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|----------------|
| <b>Main system parameters</b> | <b>System type</b>    | <b>Grid-Connected</b> |            |                |
| PV Field Orientation          | tilt                  | 15°                   | azimuth    | 0°             |
| PV modules                    | Model                 | SPR-230-WHT-D         | Pnom       | 230 Wp         |
| PV Array                      | Nb. of modules        | 624                   | Pnom total | <b>144 kWp</b> |
| Inverter                      | Model                 | PVI Central 100       | Pnom       | 110 kW ac      |
| User's needs                  | Unlimited load (grid) |                       |            |                |

### Loss diagram over the whole year



|                                                                                   |  |                   |                      |                           |                 |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|----------|
| PVSYST V6.07                                                                      |  |                   |                      |                           | 14/11/13        | Page 1/3 |
| <h2 style="text-align: center;">Grid-Connected System: Simulation parameters</h2> |  |                   |                      |                           |                 |          |
| <b>Project :</b> <b>Grid-Connected Project at Brasilia</b>                        |  |                   |                      |                           |                 |          |
| <b>Geographical Site</b>                                                          |  | <b>Brasilia</b>   |                      | <b>Country</b>            | <b>Brazil</b>   |          |
| <b>Situation</b>                                                                  |  | Latitude          | 15.6°S               | Longitude                 | 48.0°W          |          |
| Time defined as                                                                   |  | Legal Time        | Time zone UT-3       | Altitude                  | 895 m           |          |
|                                                                                   |  | Albedo            | 0.20                 |                           |                 |          |
| <b>Meteo data:</b>                                                                |  | <b>Brasilia</b>   |                      | Synthetic - Meteonorm 6.1 |                 |          |
| <b>Simulation variant :</b> <b>New simulation variant</b>                         |  |                   |                      |                           |                 |          |
|                                                                                   |  |                   | Simulation date      | 14/11/13 18h18            |                 |          |
| <b>Simulation parameters</b>                                                      |  |                   |                      |                           |                 |          |
| <b>Collector Plane Orientation</b>                                                |  | Tilt              | 15°                  | Azimuth                   | 180°            |          |
| <b>Models used</b>                                                                |  | Transposition     | Perez                | Diffuse                   | Measured        |          |
| <b>Horizon</b>                                                                    |  | Free Horizon      |                      |                           |                 |          |
| <b>Near Shadings</b>                                                              |  | No Shadings       |                      |                           |                 |          |
| <b>PV Array Characteristics</b>                                                   |  |                   |                      |                           |                 |          |
| <b>PV module</b>                                                                  |  | Si-mono           | Model                | <b>SPR-230-WHT-D</b>      |                 |          |
|                                                                                   |  |                   | Manufacturer         | SunPower                  |                 |          |
| Number of PV modules                                                              |  | In series         | 16 modules           | In parallel               | 39 strings      |          |
| Total number of PV modules                                                        |  | Nb. modules       | 624                  | Unit Nom. Power           | 230 Wp          |          |
| Array global power                                                                |  | Nominal (STC)     | <b>144 kWp</b>       | At operating cond.        | 118 kWp (70°C)  |          |
| Array operating characteristics (50°C)                                            |  | U mpp             | 523 V                | I mpp                     | 225 A           |          |
| Total area                                                                        |  | Module area       | <b>776 m²</b>        | Cell area                 | 695 m²          |          |
| <b>Inverter</b>                                                                   |  |                   | Model                | <b>PVI Central 100</b>    |                 |          |
|                                                                                   |  |                   | Manufacturer         | Power-One                 |                 |          |
| Characteristics                                                                   |  | Operating Voltage | 465-850 V            | Unit Nom. Power           | 110 kW AC       |          |
| <b>PV Array loss factors</b>                                                      |  |                   |                      |                           |                 |          |
| Thermal Loss factor                                                               |  | Uc (const)        | 20.0 W/m²K           | Uv (wind)                 | 0.0 W/m²K / m/s |          |
| => Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)                 |  |                   |                      | NOCT                      | 56 °C           |          |
| Wiring Ohmic Loss                                                                 |  | Global array res. | 43 mOhm              | Loss Fraction             | 1.5 % at STC    |          |
| Module Quality Loss                                                               |  |                   |                      | Loss Fraction             | 2.5 %           |          |
| Module Mismatch Losses                                                            |  |                   |                      | Loss Fraction             | 1.0 % at MPP    |          |
| Incidence effect, ASHRAE parametrization                                          |  | IAM =             | 1 - bo (1/cos i - 1) | bo Param.                 | 0.05            |          |
| User defined profile                                                              |  |                   |                      |                           |                 |          |
| <b>User's needs :</b> Unlimited load (grid)                                       |  |                   |                      |                           |                 |          |



## Grid-Connected System: Main results

**Project :**                **Grid-Connected Project at Brasilia**

**Simulation variant :**        **New simulation variant**

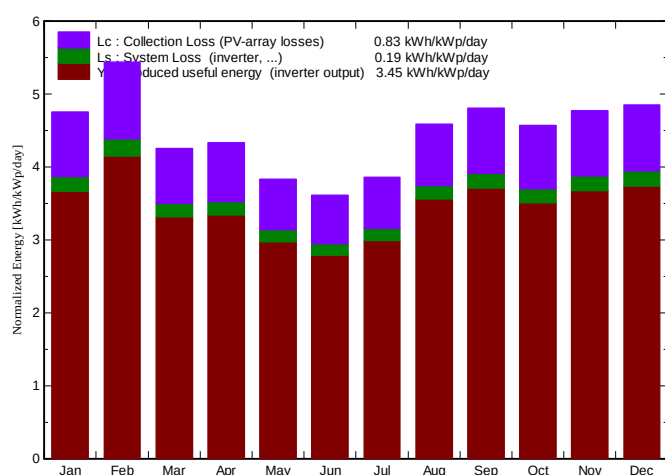
### Main system parameters

|                      |                       |                 |                           |
|----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| System type          | <b>Grid-Connected</b> |                 |                           |
| PV Field Orientation | tilt                  | 15°             | azimuth 180°              |
| PV modules           | Model                 | SPR-230-WHT-D   | Pnom 230 Wp               |
| PV Array             | Nb. of modules        | 624             | Pnom total <b>144 kWp</b> |
| Inverter             | Model                 | PVI Central 100 | Pnom 110 kW ac            |
| User's needs         | Unlimited load (grid) |                 |                           |

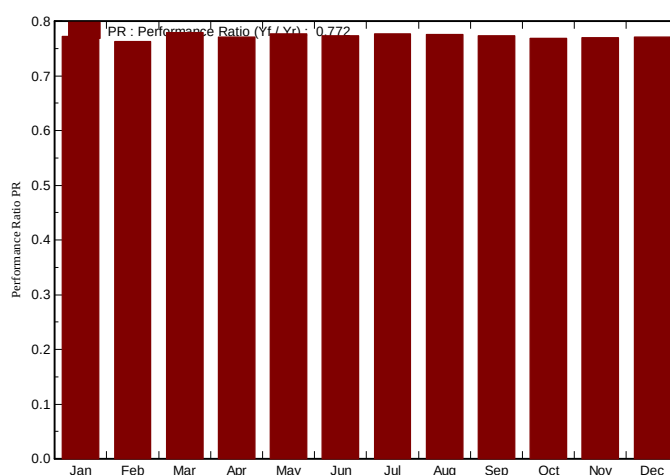
### Main simulation results

|                   |                        |                        |                |                   |
|-------------------|------------------------|------------------------|----------------|-------------------|
| System Production | <b>Produced Energy</b> | <b>180620 kWh/year</b> | Specific prod. | 1259 kWh/kWp/year |
|                   | Performance Ratio PR   | 77.2 %                 |                |                   |

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 144 kWp**



**Performance Ratio PR**



### New simulation variant Balances and main results

|                  | GlobHor<br>kWh/m <sup>2</sup> | T Amb<br>°C | GlobInc<br>kWh/m <sup>2</sup> | GlobEff<br>kWh/m <sup>2</sup> | EArray<br>kWh | E_Grid<br>kWh | EffArrR<br>% | EffSysR<br>% |
|------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>January</b>   | 144.9                         | 23.10       | 147.3                         | 142.1                         | 17220         | 16308         | 15.06        | 14.26        |
| <b>February</b>  | 153.9                         | 23.30       | 152.3                         | 147.4                         | 17609         | 16679         | 14.89        | 14.11        |
| <b>March</b>     | 140.6                         | 22.70       | 132.0                         | 126.9                         | 15580         | 14760         | 15.20        | 14.40        |
| <b>April</b>     | 149.3                         | 22.70       | 130.0                         | 124.0                         | 15181         | 14386         | 15.05        | 14.26        |
| <b>May</b>       | 146.4                         | 21.10       | 118.8                         | 112.3                         | 13969         | 13252         | 15.14        | 14.36        |
| <b>June</b>      | 142.5                         | 19.60       | 108.3                         | 101.2                         | 12681         | 12020         | 15.08        | 14.29        |
| <b>July</b>      | 153.9                         | 19.60       | 119.6                         | 112.4                         | 14043         | 13323         | 15.13        | 14.35        |
| <b>August</b>    | 170.3                         | 21.30       | 142.3                         | 135.2                         | 16682         | 15840         | 15.11        | 14.34        |
| <b>September</b> | 157.6                         | 23.30       | 144.2                         | 138.4                         | 16855         | 15988         | 15.06        | 14.29        |
| <b>October</b>   | 145.0                         | 24.00       | 141.6                         | 136.5                         | 16473         | 15610         | 14.98        | 14.20        |
| <b>November</b>  | 142.4                         | 22.50       | 143.3                         | 138.5                         | 16690         | 15811         | 15.01        | 14.22        |
| <b>December</b>  | 146.6                         | 22.70       | 150.5                         | 145.6                         | 17569         | 16643         | 15.04        | 14.24        |
| <b>Year</b>      | 1793.3                        | 22.15       | 1630.2                        | 1560.5                        | 190552        | 180620        | 15.06        | 14.27        |

|          |         |                                              |         |                                             |
|----------|---------|----------------------------------------------|---------|---------------------------------------------|
| Legends: | GlobHor | Horizontal global irradiation                | EArray  | Effective energy at the output of the array |
|          | T Amb   | Ambient Temperature                          | E_Grid  | Energy injected into grid                   |
|          | GlobInc | Global incident in coll. plane               | EffArrR | Effic. Eout array / rough area              |
|          | GlobEff | Effective Global, corr. for IAM and shadings | EffSysR | Effic. Eout system / rough area             |

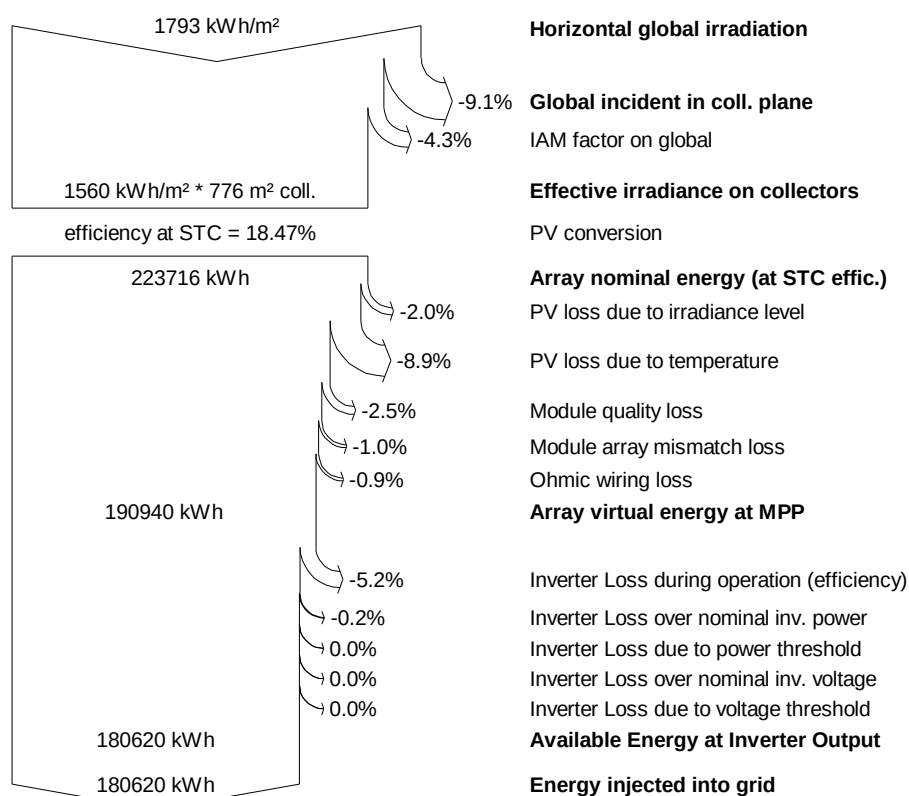
## Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :**           **Grid-Connected Project at Brasilia**

**Simulation variant :**       **New simulation variant**

|                               |                       |                       |            |                |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|----------------|
| <b>Main system parameters</b> | <b>System type</b>    | <b>Grid-Connected</b> |            |                |
| PV Field Orientation          | tilt                  | 15°                   | azimuth    | 180°           |
| PV modules                    | Model                 | SPR-230-WHT-D         | Pnom       | 230 Wp         |
| PV Array                      | Nb. of modules        | 624                   | Pnom total | <b>144 kWp</b> |
| Inverter                      | Model                 | PVI Central 100       | Pnom       | 110 kW ac      |
| User's needs                  | Unlimited load (grid) |                       |            |                |

### Loss diagram over the whole year



**ANEXO 02**

Cálculo da geração de energia do sistema de painel fotovoltaico com a consideração de obstruções através do programa PVSyst.

|                                                      |  |  |                                        |  |                                     |                |  |  |
|------------------------------------------------------|--|--|----------------------------------------|--|-------------------------------------|----------------|--|--|
| PVSYST V6.19                                         |  |  | 17/02/14                               |  |                                     | Page 1/5       |  |  |
| Grid-Connected System: Simulation parameters         |  |  |                                        |  |                                     |                |  |  |
| Project :                                            |  |  | Grid-Connected Project at Brasilia     |  |                                     |                |  |  |
| Geographical Site                                    |  |  | Brasilia                               |  |                                     | Country Brazil |  |  |
| Situation                                            |  |  | Latitude 15.5°S                        |  | Longitude 48.0°W                    |                |  |  |
| Time defined as                                      |  |  | Legal Time Time zone UT-3              |  | Altitude 895 m                      |                |  |  |
|                                                      |  |  | Albedo 0.20                            |  |                                     |                |  |  |
| Meteo data:                                          |  |  | Brasilia                               |  | Synthetic - Meteonorm 6.1           |                |  |  |
| Simulation variant :                                 |  |  | New simulation variant MME BSB pav az0 |  |                                     |                |  |  |
|                                                      |  |  | Simulation date                        |  | 17/02/14 12h59                      |                |  |  |
| Simulation parameters                                |  |  |                                        |  |                                     |                |  |  |
| Collector Plane Orientation                          |  |  | Tilt 15°                               |  | Azimuth 0°                          |                |  |  |
| Models used                                          |  |  | Transposition Perez                    |  | Diffuse Erbs, Meteonorm             |                |  |  |
| Horizon                                              |  |  | Free Horizon                           |  |                                     |                |  |  |
| Near Shadings                                        |  |  | Linear shadings                        |  |                                     |                |  |  |
| PV Arrays Characteristics (3 kinds of array defined) |  |  |                                        |  |                                     |                |  |  |
| PV module                                            |  |  | Si-mono Model SPR-230-WHT-D            |  |                                     |                |  |  |
|                                                      |  |  | Manufacturer SunPower                  |  |                                     |                |  |  |
| Sub-array "Sub-array #1"                             |  |  | In series 10 modules                   |  | In parallel 4 strings               |                |  |  |
| Total number of PV modules                           |  |  | Nb. modules 40                         |  | Unit Nom. Power 230 Wp              |                |  |  |
| Array global power                                   |  |  | Nominal (STC) 9.20 kWp                 |  | At operating cond. 8.29 kWp (50°C)  |                |  |  |
| Array operating characteristics (50°C)               |  |  | U mpp 360 V                            |  | I mpp 23 A                          |                |  |  |
| Sub-array "Sub-array #2"                             |  |  | In series 10 modules                   |  | In parallel 4 strings               |                |  |  |
| Total number of PV modules                           |  |  | Nb. modules 40                         |  | Unit Nom. Power 230 Wp              |                |  |  |
| Array global power                                   |  |  | Nominal (STC) 9.20 kWp                 |  | At operating cond. 8.29 kWp (50°C)  |                |  |  |
| Array operating characteristics (50°C)               |  |  | U mpp 360 V                            |  | I mpp 23 A                          |                |  |  |
| Sub-array "Sub-array #3"                             |  |  | In series 10 modules                   |  | In parallel 14 strings              |                |  |  |
| Total number of PV modules                           |  |  | Nb. modules 140                        |  | Unit Nom. Power 230 Wp              |                |  |  |
| Array global power                                   |  |  | Nominal (STC) 32.2 kWp                 |  | At operating cond. 29.02 kWp (50°C) |                |  |  |
| Array operating characteristics (50°C)               |  |  | U mpp 360 V                            |  | I mpp 81 A                          |                |  |  |
| Total Arrays global power                            |  |  | Nominal (STC) 51 kWp                   |  | Total 220 modules                   |                |  |  |
|                                                      |  |  | Module area 274 m²                     |  | Cell area 245 m²                    |                |  |  |
| Sub-array "Sub-array #1" : Inverter                  |  |  | Model Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V |  |                                     |                |  |  |
|                                                      |  |  | Manufacturer SMA                       |  |                                     |                |  |  |
| Characteristics                                      |  |  | Operating Voltage 300-480 V            |  | Unit Nom. Power 10 kW AC            |                |  |  |
| Sub-array "Sub-array #2" : Inverter                  |  |  | Model Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V |  |                                     |                |  |  |
|                                                      |  |  | Manufacturer SMA                       |  |                                     |                |  |  |
| Characteristics                                      |  |  | Operating Voltage 300-480 V            |  | Unit Nom. Power 10 kW AC            |                |  |  |
| Sub-array "Sub-array #3" : Inverter                  |  |  | Model SUNWAY TG 42 - 600V - TK         |  |                                     |                |  |  |
|                                                      |  |  | Manufacturer Santerno                  |  |                                     |                |  |  |
| Characteristics                                      |  |  | Operating Voltage 315-630 V            |  | Unit Nom. Power 33 kW AC            |                |  |  |
| PV Array loss factors                                |  |  |                                        |  |                                     |                |  |  |
| Thermal Loss factor                                  |  |  | Uc (const) 20.0 W/m²K                  |  | Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s           |                |  |  |
| Wiring Ohmic Loss                                    |  |  | Array#1 263 mOhm                       |  | Loss Fraction 1.5 % at STC          |                |  |  |
|                                                      |  |  | Array#2 263 mOhm                       |  | Loss Fraction 1.5 % at STC          |                |  |  |
|                                                      |  |  | Array#3 75 mOhm                        |  | Loss Fraction 1.5 % at STC          |                |  |  |
|                                                      |  |  | Global                                 |  | Loss Fraction 1.5 % at STC          |                |  |  |

Grid-Connected System: Simulation parameters (continued)

|                                                                    |               |              |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|
| Module Quality Loss                                                | Loss Fraction | 2.5 %        |
| Module Mismatch Losses                                             | Loss Fraction | 1.0 % at MPP |
| Incidence effect, ASHRAE parameter 1 - bo (1/cos i <sub>bo</sub> ) | Param.        | 0.05         |

User's needs :      Unlimited load (grid)

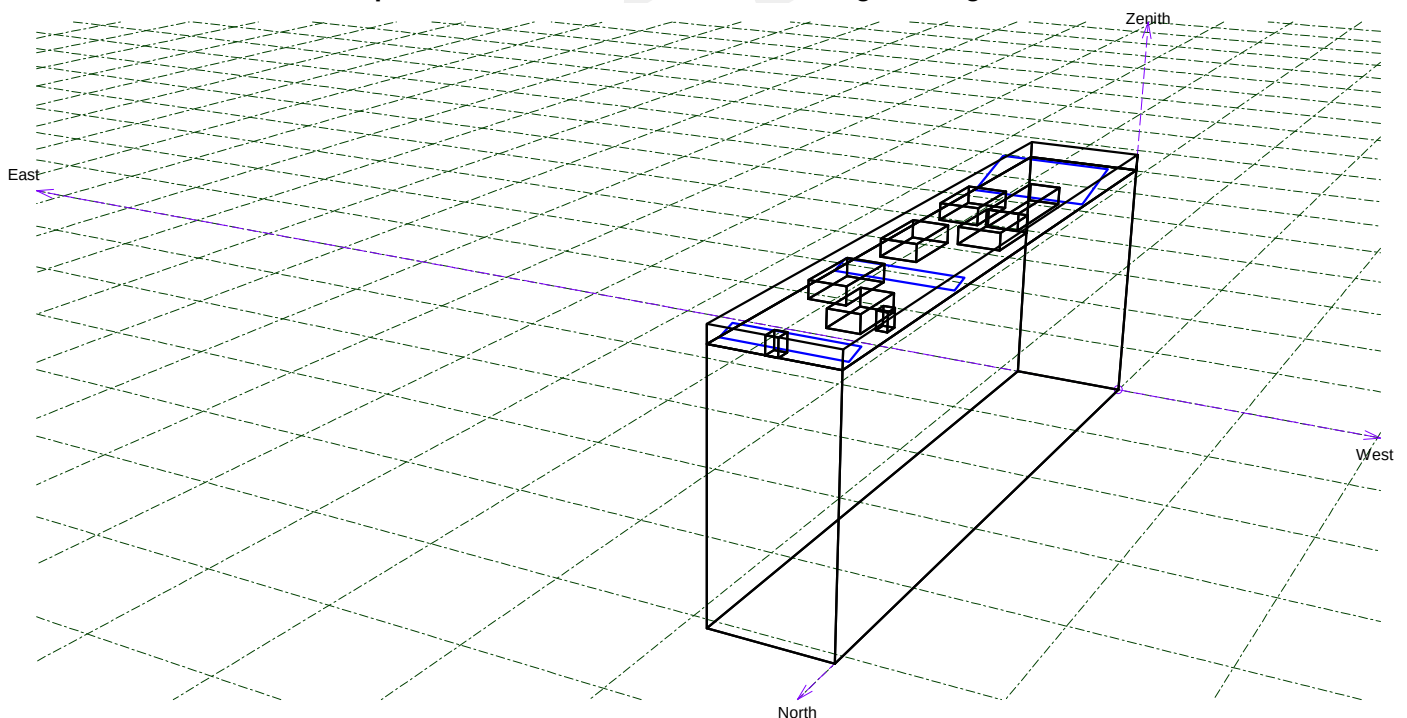
PVSYST TRIAL

## Grid-Connected System: Near shading definition

**Project :** Grid-Connected Project at Brasilia  
**Simulation variant :** New simulation variant MME BSB pav az0

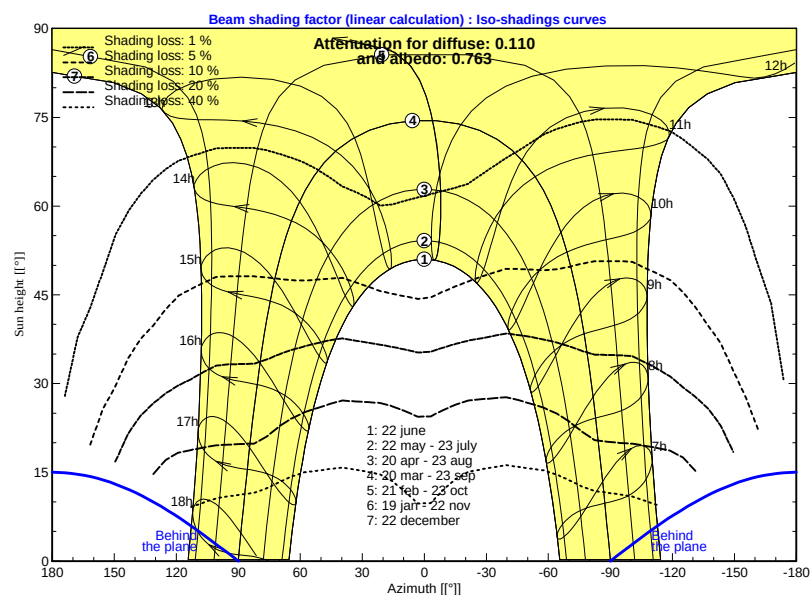
| Main system parameters | System type                      | Grid-Connected |            |                   |
|------------------------|----------------------------------|----------------|------------|-------------------|
| <b>Near Shadings</b>   | Linear shadings                  |                |            |                   |
| PV Field Orientation   | tilt                             | 15°            | azimuth    | 0°                |
| PV modules             | Model                            | SPR-230-WHT-D  | Pnom       | 230 Wp            |
| PV Array               | Nb. of modules                   | 220            | Pnom total | <b>50.6 kWp</b>   |
| Inverter               | Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V |                | Pnom       | 10.00 kW ac       |
| Inverter               | SUNWAY TG 42 - 600V - TK         |                | Pnom       | 32.6 kW ac        |
| Inverter pack          | Nb. of units                     | 3.0            | Pnom total | <b>52.6 kW ac</b> |
| User's needs           | Unlimited load (grid)            |                |            |                   |

### Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



### Iso-shadings diagram

Grid-Connected Project at Brasilia



Grid-Connected System: Main results

Project :

Grid-Connected Project at Brasilia

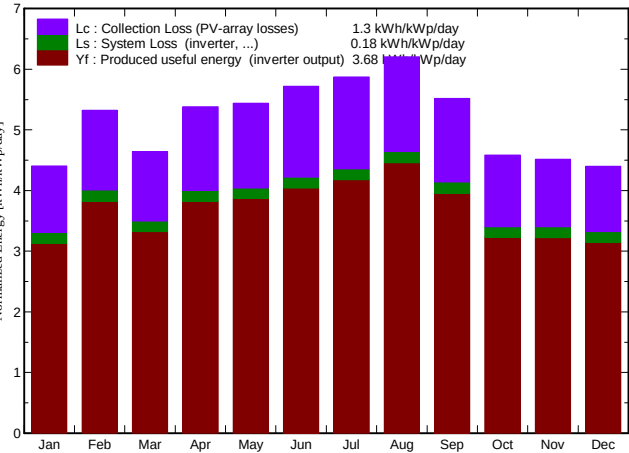
Simulation variant :

New simulation variant MME BSB pav az0

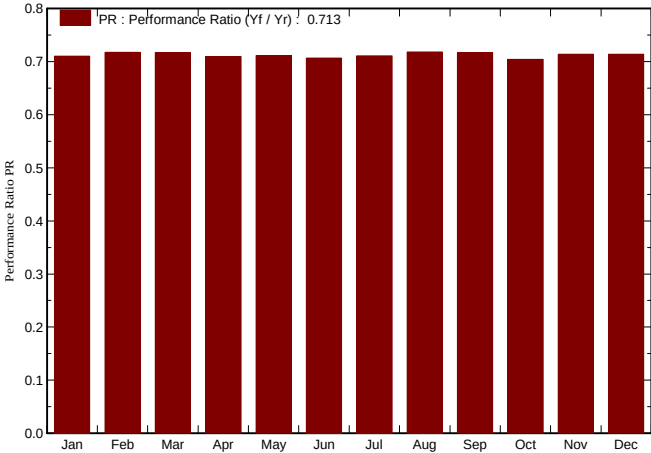
|                        |                                  |                |            |             |  |
|------------------------|----------------------------------|----------------|------------|-------------|--|
| Main system parameters | System type                      | Grid-Connected |            |             |  |
| Near Shadings          | Linear shadings                  |                |            |             |  |
| PV Field Orientation   | tilt                             | 15°            | azimuth    | 0°          |  |
| PV modules             | Model                            | SPR-230-WHT-D  | Pnom       | 230 Wp      |  |
| PV Array               | Nb. of modules                   | 220            | Pnom total | 50.6 kWp    |  |
| Inverter               | Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V |                | Pnom       | 10.00 kW ac |  |
| Inverter               | SUNWAY TG 42 - 600V - TK         |                | Pnom       | 32.6 kW ac  |  |
| Inverter pack          | Nb. of units                     | 3.0            | Pnom total | 52.6 kW ac  |  |
| User's needs           | Unlimited load (grid)            |                |            |             |  |

|                         |                      |               |                |                   |  |
|-------------------------|----------------------|---------------|----------------|-------------------|--|
| Main simulation results |                      |               |                |                   |  |
| System Production       | Produced Energy      | 68.0 MWh/year | Specific prod. | 1343 kWh/kWp/year |  |
|                         | Performance Ratio PR | 71.3 %        |                |                   |  |

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 50.6 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant MME BSB pav az0

Balances and main results

|           | GlobHor | T Amb | GlobInc | GlobEff | EArray | E_Grid | EffArrR | EffSysR |
|-----------|---------|-------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
|           | kWh/m²  | °C    | kWh/m²  | kWh/m²  | MWh    | MWh    | %       | %       |
| January   | 145.0   | 23.10 | 136.5   | 120.5   | 5.194  | 4.908  | 13.90   | 13.13   |
| February  | 153.9   | 23.30 | 149.0   | 133.8   | 5.682  | 5.409  | 13.93   | 13.26   |
| March     | 140.6   | 22.70 | 143.7   | 127.5   | 5.486  | 5.213  | 13.95   | 13.26   |
| April     | 149.3   | 22.70 | 161.5   | 143.6   | 6.080  | 5.802  | 13.75   | 13.12   |
| May       | 146.5   | 21.10 | 168.7   | 147.6   | 6.342  | 6.072  | 13.74   | 13.16   |
| June      | 142.5   | 19.60 | 171.7   | 148.7   | 6.407  | 6.137  | 13.64   | 13.06   |
| July      | 153.9   | 19.60 | 182.1   | 158.8   | 6.833  | 6.551  | 13.71   | 13.15   |
| August    | 170.3   | 21.30 | 192.3   | 170.7   | 7.283  | 6.990  | 13.83   | 13.28   |
| September | 157.6   | 23.30 | 165.6   | 148.1   | 6.287  | 6.005  | 13.87   | 13.25   |
| October   | 145.0   | 24.00 | 142.1   | 125.5   | 5.341  | 5.064  | 13.73   | 13.02   |
| November  | 142.6   | 22.50 | 135.5   | 120.4   | 5.169  | 4.897  | 13.93   | 13.20   |
| December  | 146.6   | 22.70 | 136.5   | 120.9   | 5.211  | 4.930  | 13.95   | 13.20   |
| Year      | 1793.8  | 22.15 | 1885.2  | 1666.0  | 71.317 | 67.980 | 13.82   | 13.18   |

Legends:

GlobHor

Horizontal global irradiation

T Amb

Ambient Temperature

GlobInc

Global incident in coll. plane

GlobEff

Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray

Effective energy at the output of the array

E\_Grid

Energy injected into grid

EffArrR

Effic. Eout array / rough area

EffSysR

Effic. Eout system / rough area

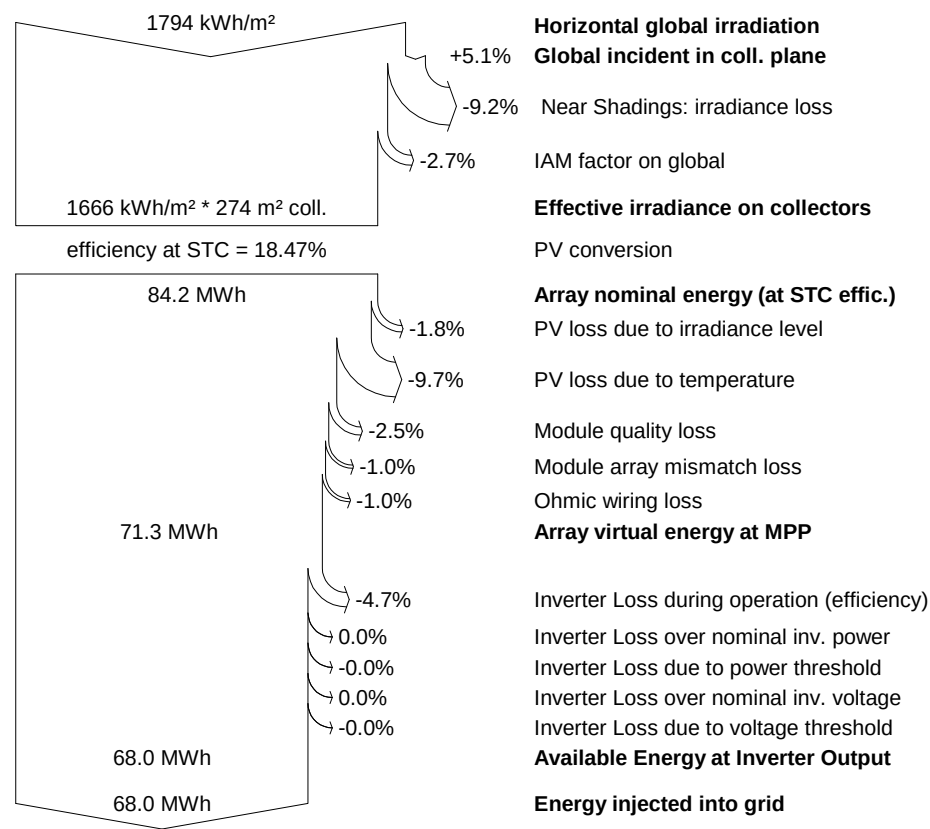
Grid-Connected System: Loss diagram

Project :Grid-Connected Project at Brasilia

Simulation variant :New simulation variant MME BSB pav az0

|                        |                                  |                |            |             |  |
|------------------------|----------------------------------|----------------|------------|-------------|--|
| Main system parameters | System type                      | Grid-Connected |            |             |  |
| Near Shadings          | Linear shadings                  |                |            |             |  |
| PV Field Orientation   | tilt                             | 15°            | azimuth    | 0°          |  |
| PV modules             | Model                            | SPR-230-WHT-D  | Pnom       | 230 Wp      |  |
| PV Array               | Nb. of modules                   | 220            | Pnom total | 50.6 kWp    |  |
| Inverter               | Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V |                | Pnom       | 10.00 kW ac |  |
| Inverter               | SUNWAY TG 42 - 600V - TK         |                | Pnom       | 32.6 kW ac  |  |
| Inverter pack          | Nb. of units                     | 3.0            | Pnom total | 52.6 kW ac  |  |
| User's needs           | Unlimited load (grid)            |                |            |             |  |

Loss diagram over the whole year





|                                                      |  |                   |                                  |                    |                  |  |
|------------------------------------------------------|--|-------------------|----------------------------------|--------------------|------------------|--|
| PVSYST V6.19                                         |  |                   | 17/02/14                         |                    | Page 1/5         |  |
| Grid-Connected System: Simulation parameters         |  |                   |                                  |                    |                  |  |
| Project : Grid-Connected Project at Brasilia         |  |                   |                                  |                    |                  |  |
| Geographical Site                                    |  | Brasilia          |                                  | Country            | Brazil           |  |
| Situation                                            |  | Latitude          | 15.5°S                           | Longitude          | 48.0°W           |  |
| Time defined as                                      |  | Legal Time        | Time zone UT-3                   | Altitude           | 895 m            |  |
|                                                      |  | Albedo            | 0.20                             |                    |                  |  |
| Meteo data:                                          |  | Brasilia          | Synthetic - Meteonorm 6.1        |                    |                  |  |
| Simulation variant : New simulation variant 1        |  |                   |                                  |                    |                  |  |
|                                                      |  |                   | Simulation date                  | 17/02/14 11h16     |                  |  |
| Simulation parameters                                |  |                   |                                  |                    |                  |  |
| Collector Plane Orientation                          |  | Tilt              | 15°                              | Azimuth            | 180°             |  |
| Models used                                          |  | Transposition     | Perez                            | Diffuse            | Erbs, Meteonorm  |  |
| Horizon                                              |  | Free Horizon      |                                  |                    |                  |  |
| Near Shadings                                        |  | Linear shadings   |                                  |                    |                  |  |
| PV Arrays Characteristics (3 kinds of array defined) |  |                   |                                  |                    |                  |  |
| PV module                                            |  | Si-mono           | Model                            | SPR-230-WHT-D      |                  |  |
|                                                      |  | Manufacturer      | SunPower                         |                    |                  |  |
| Sub-array "Sub-array #1"                             |  | In series         | 10 modules                       | In parallel        | 4 strings        |  |
| Total number of PV modules                           |  | Nb. modules       | 40                               | Unit Nom. Power    | 230 Wp           |  |
| Array global power                                   |  | Nominal (STC)     | 9.20 kWp                         | At operating cond. | 8.29 kWp (50°C)  |  |
| Array operating characteristics (50°C)               |  | U mpp             | 360 V                            | I mpp              | 23 A             |  |
| Sub-array "Sub-array #2"                             |  | In series         | 10 modules                       | In parallel        | 4 strings        |  |
| Total number of PV modules                           |  | Nb. modules       | 40                               | Unit Nom. Power    | 230 Wp           |  |
| Array global power                                   |  | Nominal (STC)     | 9.20 kWp                         | At operating cond. | 8.29 kWp (50°C)  |  |
| Array operating characteristics (50°C)               |  | U mpp             | 360 V                            | I mpp              | 23 A             |  |
| Sub-array "Sub-array #3"                             |  | In series         | 10 modules                       | In parallel        | 14 strings       |  |
| Total number of PV modules                           |  | Nb. modules       | 140                              | Unit Nom. Power    | 230 Wp           |  |
| Array global power                                   |  | Nominal (STC)     | 32.2 kWp                         | At operating cond. | 29.02 kWp (50°C) |  |
| Array operating characteristics (50°C)               |  | U mpp             | 360 V                            | I mpp              | 81 A             |  |
| Total Arrays global power                            |  | Nominal (STC)     | 51 kWp                           | Total              | 220 modules      |  |
|                                                      |  | Module area       | 274 m²                           | Cell area          | 245 m²           |  |
| Sub-array "Sub-array #1" : Inverter                  |  | Model             | Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V |                    |                  |  |
|                                                      |  | Manufacturer      | SMA                              |                    |                  |  |
| Characteristics                                      |  | Operating Voltage | 300-480 V                        | Unit Nom. Power    | 10 kW AC         |  |
| Sub-array "Sub-array #2" : Inverter                  |  | Model             | Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V |                    |                  |  |
|                                                      |  | Manufacturer      | SMA                              |                    |                  |  |
| Characteristics                                      |  | Operating Voltage | 300-480 V                        | Unit Nom. Power    | 10 kW AC         |  |
| Sub-array "Sub-array #3" : Inverter                  |  | Model             | SUNWAY TG 42 - 600V - TK         |                    |                  |  |
|                                                      |  | Manufacturer      | Santerno                         |                    |                  |  |
| Characteristics                                      |  | Operating Voltage | 315-630 V                        | Unit Nom. Power    | 33 kW AC         |  |
| PV Array loss factors                                |  |                   |                                  |                    |                  |  |
| Thermal Loss factor                                  |  | Uc (const)        | 20.0 W/m²K                       | Uv (wind)          | 0.0 W/m²K / m/s  |  |
| Wiring Ohmic Loss                                    |  | Array#1           | 263 mOhm                         | Loss Fraction      | 1.5 % at STC     |  |
|                                                      |  | Array#2           | 263 mOhm                         | Loss Fraction      | 1.5 % at STC     |  |
|                                                      |  | Array#3           | 75 mOhm                          | Loss Fraction      | 1.5 % at STC     |  |
|                                                      |  | Global            |                                  | Loss Fraction      | 1.5 % at STC     |  |

Grid-Connected System: Simulation parameters (continued)

|                                                                    |               |              |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|
| Module Quality Loss                                                | Loss Fraction | 2.5 %        |
| Module Mismatch Losses                                             | Loss Fraction | 1.0 % at MPP |
| Incidence effect, ASHRAE parameter 1 - bo (1/cos i <sub>bo</sub> ) | Param.        | 0.05         |

User's needs :      Unlimited load (grid)

## Grid-Connected System: Near shading definition

**Project :** Grid-Connected Project at Brasilia

**Simulation variant :** New simulation variant 1

### Main system parameters

System type **Grid-Connected**

#### Near Shadings

PV Field Orientation

PV modules

PV Array

Inverter

Inverter

Inverter pack

User's needs

Linear shadings

tilt 15°

Model SPR-230-WHT-D

Nb. of modules 220

Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V

SUNWAY TG 42 - 600V - TK

Nb. of units 3.0

Unlimited load (grid)

azimuth 180°

Pnom 230 Wp

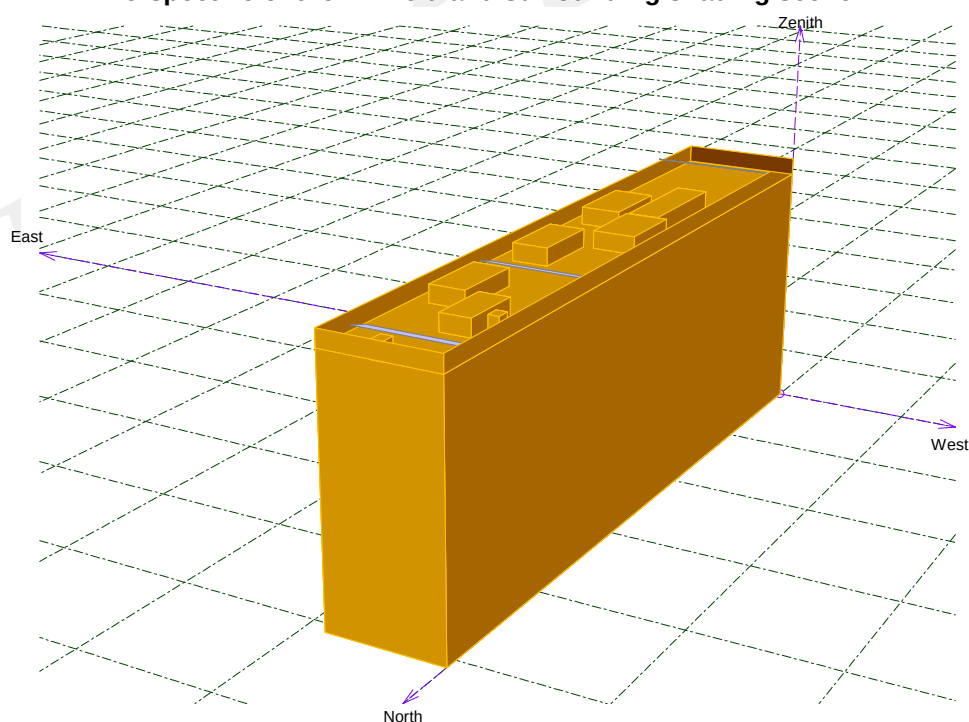
Pnom total **50.6 kWp**

Pnom 10.00 kW ac

Pnom 32.6 kW ac

Pnom total **52.6 kW ac**

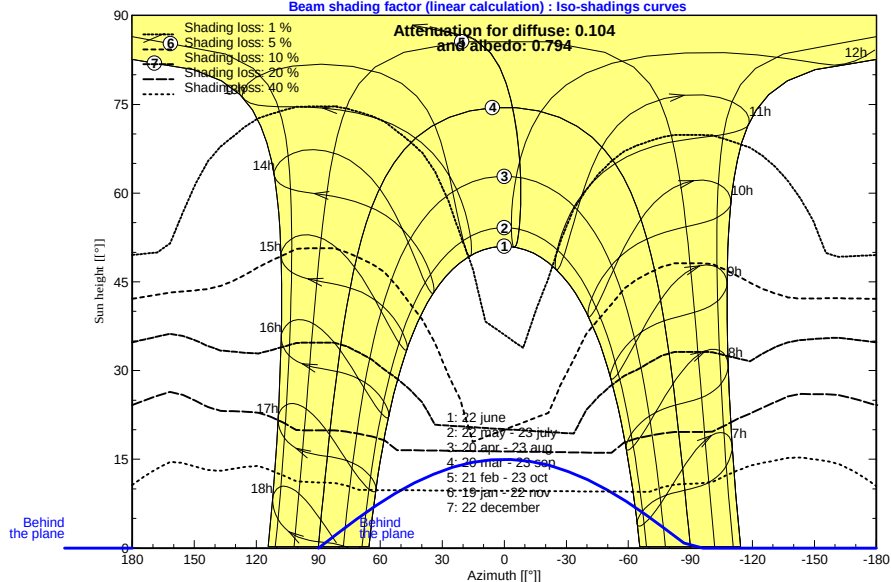
### Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



### Iso-shadings diagram

Grid-Connected Project at Brasilia

Beam shading factor (linear calculation) : Iso-shadings curves



Grid-Connected System: Main results

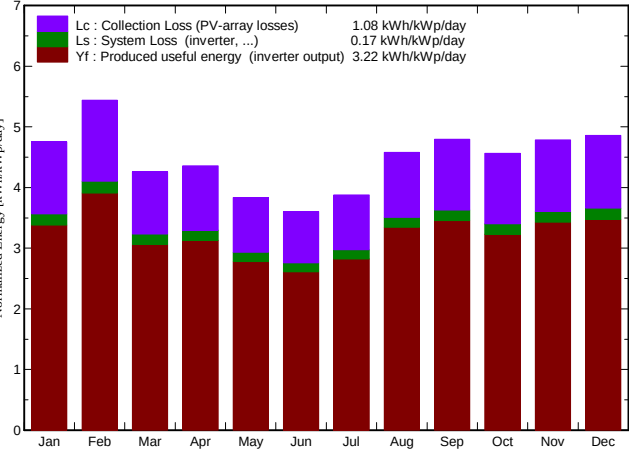
Project : Grid-Connected Project at Brasilia

Simulation variant : New simulation variant 1

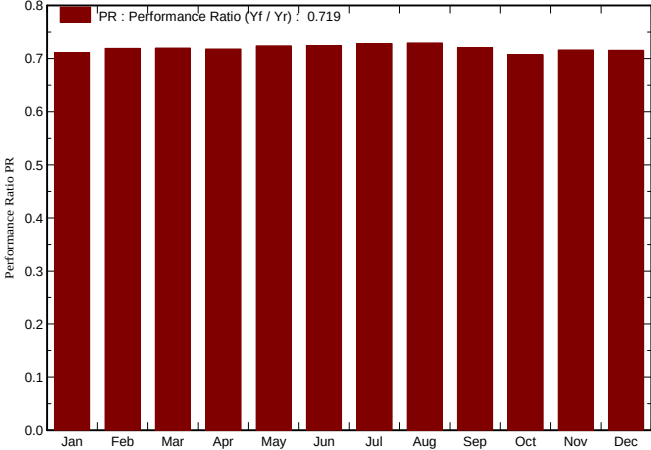
|                        |                                  |                |            |             |  |
|------------------------|----------------------------------|----------------|------------|-------------|--|
| Main system parameters | System type                      | Grid-Connected |            |             |  |
| Near Shadings          | Linear shadings                  |                |            |             |  |
| PV Field Orientation   | tilt                             | 15°            | azimuth    | 180°        |  |
| PV modules             | Model                            | SPR-230-WHT-D  | Pnom       | 230 Wp      |  |
| PV Array               | Nb. of modules                   | 220            | Pnom total | 50.6 kWp    |  |
| Inverter               | Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V |                | Pnom       | 10.00 kW ac |  |
| Inverter               | SUNWAY TG 42 - 600V - TK         |                | Pnom       | 32.6 kW ac  |  |
| Inverter pack          | Nb. of units                     | 3.0            | Pnom total | 52.6 kW ac  |  |
| User's needs           | Unlimited load (grid)            |                |            |             |  |

|                         |                      |               |                |                   |  |
|-------------------------|----------------------|---------------|----------------|-------------------|--|
| Main simulation results |                      |               |                |                   |  |
| System Production       | Produced Energy      | 59.4 MWh/year | Specific prod. | 1174 kWh/kWp/year |  |
|                         | Performance Ratio PR | 71.9 %        |                |                   |  |

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 50.6 kWp



Performance Ratio PR



New simulation variant 1

Balances and main results

|           | GlobHor | T Amb | GlobInc | GlobEff | EArray | E_Grid | EffArrR | EffSysR |
|-----------|---------|-------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
|           | kWh/m²  | °C    | kWh/m²  | kWh/m²  | MWh    | MWh    | %       | %       |
| January   | 145.0   | 23.10 | 147.4   | 130.3   | 5.599  | 5.305  | 13.88   | 13.15   |
| February  | 153.9   | 23.30 | 152.3   | 136.8   | 5.818  | 5.542  | 13.96   | 13.29   |
| March     | 140.6   | 22.70 | 132.1   | 116.9   | 5.075  | 4.812  | 14.04   | 13.31   |
| April     | 149.3   | 22.70 | 130.8   | 115.9   | 5.008  | 4.753  | 13.99   | 13.28   |
| May       | 146.5   | 21.10 | 119.0   | 104.7   | 4.598  | 4.359  | 14.12   | 13.39   |
| June      | 142.5   | 19.60 | 108.1   | 94.9    | 4.193  | 3.962  | 14.18   | 13.40   |
| July      | 153.9   | 19.60 | 120.2   | 106.0   | 4.672  | 4.429  | 14.21   | 13.47   |
| August    | 170.3   | 21.30 | 142.0   | 126.3   | 5.502  | 5.245  | 14.15   | 13.49   |
| September | 157.6   | 23.30 | 143.9   | 128.1   | 5.510  | 5.246  | 13.99   | 13.32   |
| October   | 145.0   | 24.00 | 141.6   | 125.2   | 5.342  | 5.067  | 13.79   | 13.08   |
| November  | 142.6   | 22.50 | 143.6   | 128.0   | 5.481  | 5.206  | 13.95   | 13.25   |
| December  | 146.6   | 22.70 | 150.7   | 134.1   | 5.748  | 5.458  | 13.94   | 13.24   |
| Year      | 1793.8  | 22.15 | 1631.4  | 1447.0  | 62.544 | 59.384 | 14.01   | 13.30   |

Legends:

GlobHor

Horizontal global irradiation

T Amb

Ambient Temperature

GlobInc

Global incident in coll. plane

GlobEff

Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray

Effective energy at the output of the array

E\_Grid

Energy injected into grid

EffArrR

Effic. Eout array / rough area

EffSysR

Effic. Eout system / rough area

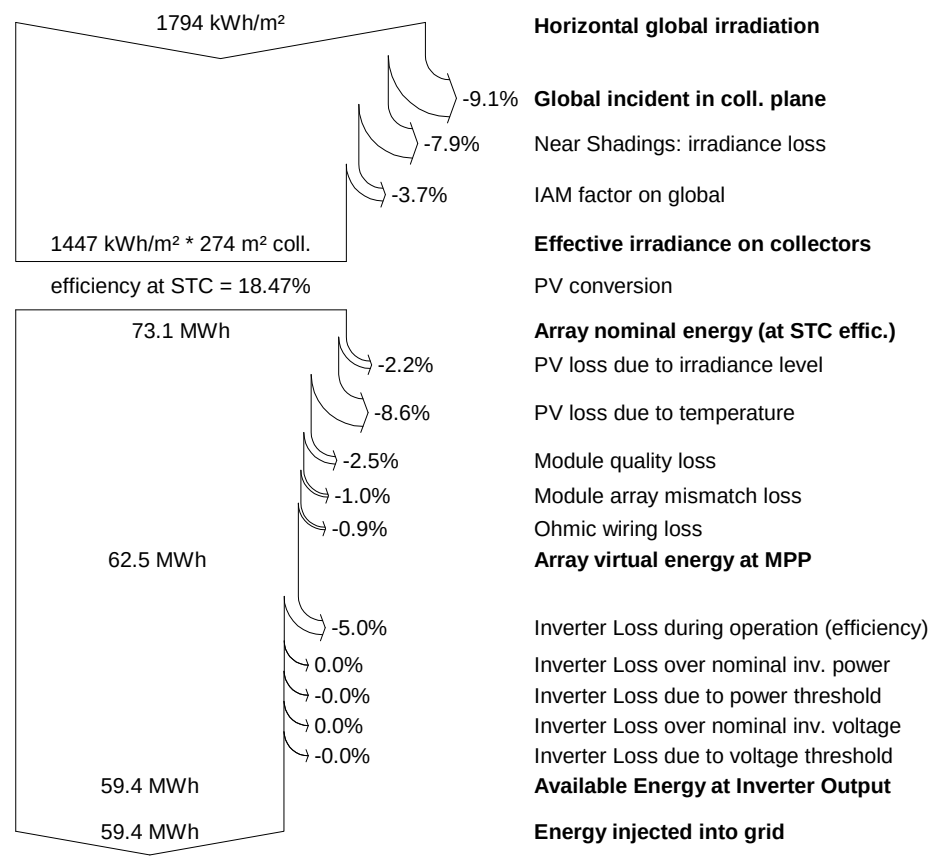
Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Grid-Connected Project at Brasilia

Simulation variant : New simulation variant 1

|                        |                                  |                |            |             |  |
|------------------------|----------------------------------|----------------|------------|-------------|--|
| Main system parameters | System type                      | Grid-Connected |            |             |  |
| Near Shadings          | Linear shadings                  |                |            |             |  |
| PV Field Orientation   | tilt                             | 15°            | azimuth    | 180°        |  |
| PV modules             | Model                            | SPR-230-WHT-D  | Pnom       | 230 Wp      |  |
| PV Array               | Nb. of modules                   | 220            | Pnom total | 50.6 kWp    |  |
| Inverter               | Sunny Boy SB 10000TLUS-12 - 208V |                | Pnom       | 10.00 kW ac |  |
| Inverter               | SUNWAY TG 42 - 600V - TK         |                | Pnom       | 32.6 kW ac  |  |
| Inverter pack          | Nb. of units                     | 3.0            | Pnom total | 52.6 kW ac  |  |
| User's needs           | Unlimited load (grid)            |                |            |             |  |

Loss diagram over the whole year





**Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**

<http://www.labeee.ufsc.br>

# **SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DO PRÉDIO DO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA EM BRASÍLIA - DF**

## **ETAPA 03 – VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE CADA ALTERNATIVA DE *RETROFIT***

**Roberto Lamberts, PhD**

**Ana Paula Melo, Dra**

**Maurício Nath Lopes, Msc**

**Miguel Pacheco, Msc**

Florianópolis, Janeiro 2014.

## SUMÁRIO

|                                                       |          |
|-------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. O PROJETO</b>                                   | <b>2</b> |
| <b>2. VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS</b>   | <b>2</b> |
| 2.1 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR DO TIPO VRF      | 2        |
| 2.2 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR DO TIPO INVERTER | 3        |
| 2.3 VIDROS                                            | 3        |
| 2.4 PAINEL FOTOVOLTAICO                               | 4        |
| 2.5 MODELO PROPOSTO 01                                | 6        |
| 2.6 MODELO PROPOSTO 02                                | 7        |
| 2.7 RESUMO DAS ALTERNATIVAS                           | 8        |

## 1. O PROJETO

O projeto tem por objetivo a simulação energética do prédio do Ministério de Minas e Energia, localizado em Brasília – DF. Este objetivo visa avaliar o potencial de transformar o prédio do Ministério de Minas e Energia em um edifício de energia zero.

Dentre as atividades que compõem este estudo, contemplam:

- **Etapa 01:** Simulação da situação atual da edificação;
- **Etapa 02:** Calibração do modelo computacional e simulação das alternativas de revitalização (*retrofit*);
- **Etapa 03:** Verificação da viabilidade de implantação de cada alternativa de *retrofit*.

Ressalta-se que neste relatório serão apresentadas as atividades referentes à Etapa 03.

## 2. VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Neste estudo será analisada a viabilidade de aplicação das alternativas que apresentaram uma maior redução de consumo com relação ao Modelo base. Analisou-se também as alternativas referentes ao Modelo proposto 01 e Modelo proposto 02, especificados no Relatório 02.

Para analisar a viabilidade de aplicação das alternativas, foram realizados orçamentos com empresas especializadas.

### 2.1 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR DO TIPO VRF

A substituição do sistema de condicionamento de ar atual do prédio do Ministério de Minas e Energia por um sistema do tipo VRF com condensação a ar apresentou uma economia de 316.640 kWh (13,80%) no consumo anual da edificação. A diferença encontrada pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 – Sistema de condicionamento de ar do tipo VRF.

| Alternativa simulada                         | Consumo total (kWh) | Economia (kWh) | Economia (%) |
|----------------------------------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Modelo base                                  | 2.292.770           | -              | -            |
| Sistema de condicionamento de ar do tipo VRF | 1.976.130           | 316.640        | 13,80        |



O orçamento do sistema de condicionamento de ar do tipo VRF com condensação a ar foi fornecido pela empresa TEMPSUL. O custo de instalação deste sistema é de aproximadamente R\$ 6.000,00 por TR (Tonelada de Refrigeração), sendo 70% do valor responsável pela compra dos equipamentos e 30% pela mão de obra para a instalação do sistema. O total de TR instalado com a utilização do sistema VRF é de aproximadamente 352 TR, resultando em um valor de implementação em torno de R\$ 2.112.000,00.

## 2.2 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR DO TIPO INVERTER

A substituição do sistema de condicionamento de ar atual do prédio do Ministério de Minas e Energia por um sistema do tipo Inverter Nível A apresentou uma economia de 176.772 kWh (7,70%) no consumo anual da edificação. A diferença encontrada pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 – Sistema de condicionamento de ar do tipo Inverter.

| <b>Alternativa simulada</b>                          | <b>Consumo total<br/>(kWh)</b> | <b>Economia<br/>(kWh)</b> | <b>Economia<br/>(%)</b> |
|------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Modelo base                                          | 2.292.770                      | -                         | -                       |
| Sistema de condicionamento de ar do Inverter Nível A | 2.115.998                      | 176.772                   | 7,70                    |

O orçamento do sistema de condicionamento de ar do tipo Inverter também foi fornecido pela empresa TEMPSUL. O custo de instalação deste sistema é de aproximadamente R\$ 3.000,00 por TR (Tonelada de Refrigeração), sendo 80% do valor responsável pela compra dos equipamentos e 20% pela mão de obra para a instalação do sistema. Este sistema também resultou em um total de 352 TR instalados. Portanto, o custo da implementação deste sistema fica em torno de R\$ 1.056.000,00.

## 2.3 VIDROS

A substituição do vidro atual do prédio do Ministério de Minas e Energia por um vidro duplo (controle solar + ar + laminado incolor) apresentou uma economia de 80.261 kWh (3,50%) no consumo anual da edificação. Já a substituição por um vidro duplo (LowE + ar + monolítico incolor) apresentou uma economia de 61.165 kWh (2,67%) no consumo anual da edificação. A diferença encontrada pode ser observada na Tabela 7.

Tabela 3 – Vidros.

| <b>Alternativas simuladas</b>                   | <b>Consumo total<br/>(kWh)</b> | <b>Economia<br/>(kWh)</b> | <b>Economia<br/>(%)</b> |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Modelo base                                     | 2.292.770                      | -                         | -                       |
| Vidro controle solar + ar + laminado<br>incolor | 2.212.509                      | 80.261                    | 3,50                    |
| Vidro LowE + ar + monolítico incolor            | 2.231.605                      | 61.165                    | 2,67                    |

O orçamento dos vidros foi fornecido pela empresa CEBRACE. O valor do m<sup>2</sup> do vidro duplo de controle solar é em torno de R\$ 338,00, e do vidro duplo LowE em torno de R\$ 318,00. A fachada Leste do prédio do Ministério de Minas e Energia resulta em um total de 3.900 m<sup>2</sup> de área. Portanto, o total do custo da substituição dos vidros da fachada Leste é de R\$ 1.318.200,00 considerando o vidro duplo de controle solar e de R\$ 1.240.200,00 para o vidro duplo LowE.

O custo da mão de obra da substituição dos vidros e esquadrias desta fachada é de aproximadamente R\$ 1.500,00 por peça. Caso fosse realizada a substituição de uma fachada toda nova, o custo da mão de obra ficaria em torno de R\$ 600,00 por m<sup>2</sup>.

## 2.4 PAINEL FOTOVOLTAICO

A simulação do painel fotovoltaico considerando o sistema proposto (fileiras orientadas a Norte e Sul, sem obstruções) através do programa EnergyPlus apresentou uma geração de energia de 476.088 kWh. A geração do painel fotovoltaico neste caso foi capaz de atender 20,58% do consumo anual do prédio do Ministério de Minas e Energia.

Através do programa PVSyst, a geração de energia encontrada para este mesmo sistema proposto foi de 389.601 kWh, com uma diferença de 18,2% quando comparado com a utilização do programa EnergyPlus. A geração do painel fotovoltaico com o programa PVSyst foi capaz de atender 16,84% do consumo anual do prédio do Ministério de Minas e Energia. Os resultados podem ser observados através da Tabela 4. Porém, conforme mencionado no Relatório 02, a geração de energia apresentada pelo programa Energyplus é superestimada. Ou seja, a geração de energia do modelo real será possivelmente menor. Ressalta-se que o sistema proposto sem obstruções foi modelado acima da platibanda da cobertura da edificação.

O sistema proposto com obstruções através do programa PVSyst apresentou uma geração de energia de 127.362 kWh. Comparando com o sistema proposto sem obstruções através do programa PVSyst, nota-se uma redução de 262.239 kWh (67,3%). Observa-se que

as obstruções refletem no sombreamento dos módulos, interferindo negativamente no potencial de geração de energia do sistema. Neste caso, a geração de energia apresentada foi três vezes inferior. A geração do painel fotovoltaico neste caso foi capaz de atender 5,5% do consumo anual do prédio do Ministério de Minas e Energia.

Tabela 4 – Geração de energia do painel fotovoltaico.

| <b>Alternativas simuladas</b>                                                | <b>Geração fotovoltaica (kWh)</b> | <b>Economia (kWh)</b> | <b>Economia (%)</b> |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Painel fotovoltaico - arranjo proposto Norte/Sul sem obstruções - EnergyPlus | 476.088                           | -                     | -                   |
| Painel fotovoltaico - arranjo proposto Norte/Sul sem obstruções - PVSyst     | 389.601                           | 86.487                | 18,2                |
| Painel fotovoltaico - arranjo proposto Norte/Sul com obstruções - PVSyst     | 127.362                           | 348.726               | 73,2                |

O orçamento do painel fotovoltaico foi fornecido pelo Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina – FOTOVOLTAICA-UFSC. Recomendou-se adotar o módulo da marca Yingli, com uma potência de 245 Wp. O custo estimado por inversor + módulo é de um total de R\$ 5.000,00/kWp. Foram adotados na simulação computacional do modelo proposto sem obstruções um total de 620 módulos orientados a Norte e 620 orientados a Sul, totalizando em 1240 módulos. O total de módulos produz 303,80 kWp. Multiplicando este valor pelo custo estimado do sistema, o custo final de implantação é de R\$ 1.519.000,00. Ressalta-se que este valor final é somente uma estimativa de custo, e não engloba o valor da estrutura de fixação acima da platibanda e o valor da mão de obra.

Para o sistema com obstruções, foram considerados um total de 220 módulos orientados a Norte e 220 módulos orientados a Sul, totalizando em 440 módulos. Sendo que o total de módulos produz 107,80 kWp. Multiplicando este valor pelo custo estimado do sistema, o custo final de implantação é de R\$ 539.000,00. Ressalta-se que este valor final é somente uma estimativa de custo, e não engloba o valor da mão de obra.

## 2.5 MODELO PROPOSTO 01

O Modelo proposto 01 considera a utilização de um vidro duplo (controle solar + ar + laminado incolor), um sistema de condicionamento de ar do tipo VRF com condensação a ar, e a consideração de um painel fotovoltaico para geração de energia através do programa EnergyPlus.

O consumo total do Modelo proposto 01 apresentou uma diferença de 345.441 kWh (15,07%) com relação ao consumo total do Modelo base, conforme apresentado na Tabela 5. A geração do painel fotovoltaico utilizado no Modelo proposto 01 foi capaz de atender 24,45% do consumo anual do prédio do Ministério de Minas e Energia.

Tabela 5 – Consumo total do Modelo proposto 01.

| <b>Alternativas simuladas</b>                                                                                                                                           | <b>Consumo total (kWh)</b> | <b>Economia (kWh)</b> | <b>Economia (%)</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|
| Modelo base                                                                                                                                                             | 2.292.770                  | -                     | -                   |
| Modelo proposto 01:<br>- Vidro: controle solar + ar + laminado incolor<br>- HVAC: VRF<br>- Painel fotovoltaico - arranjo proposto Norte/Sul sem obstruções - EnergyPlus | 1.947.329                  | 345.441               | 15,07               |

Para esta alternativa, considerou-se o orçamento fornecido pela empresa CEBRACE (vidro duplo) e do grupo FOTOVOLTAICA-UFSC (painel fotovoltaico). Ressalta-se que os custos de implementação são os mesmos observados anteriormente.

Um resumo do custo final de implantação das alternativas propostas no Modelo proposto 01 pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Custo total do Modelo proposto 01.

| <b>Alternativas simuladas</b>                                                | <b>Custo (R\$)</b>  |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Vidro: controle solar + ar + laminado incolor                                | 1.318.200,00        |
| HVAC: VRF                                                                    | 1.478.400,00        |
| Painel fotovoltaico - arranjo proposto Norte/Sul sem obstruções - EnergyPlus | 1.519.000,00        |
| <b>Custo total sem mão de obra</b>                                           | <b>4.315.600,00</b> |

## 2.6 MODELO PROPOSTO 02

O Modelo proposto 02 também considera a utilização do vidro duplo (controle solar + ar + monolítico incolor) e de um painel fotovoltaico para geração de energia. Porém, para este modelo optou-se em considerar um sistema de condicionamento de ar do tipo Inverter com nível de eficiência A.

O consumo total do Modelo proposto 02 apresentou uma diferença de 264.201 kWh (11,52%) com relação ao consumo total do Modelo base, conforme apresentado na Tabela 7. A geração do painel fotovoltaico utilizado no Modelo proposto 02 foi capaz de atender 23,47% do consumo anual do prédio do Ministério de Minas e Energia.

Tabela 7 – Consumo total do Modelo proposto 02.

| <b>Alternativas simuladas</b>                                                                                                                                                        | <b>Consumo total (kWh)</b> | <b>Economia (kWh)</b> | <b>Economia (%)</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|
| Modelo base                                                                                                                                                                          | 2.292.770                  | -                     | -                   |
| Modelo proposto 02:<br>- Vidro: controle solar + ar + laminado incolor<br>- HVAC: Inverter Nível A<br>- Painel fotovoltaico - arranjo proposto Norte/Sul sem obstruções - EnergyPlus | 2.028.569                  | 264.201               | 11,52               |

Para esta alternativa, considerou-se o orçamento fornecido pela empresa CEBRACE (vidro duplo) e do grupo FOTOVOLTAICA-UFSC (painel fotovoltaico). Ressalta-se que os custos de implementação são os mesmos observados para o Modelo proposto 01.

Um resumo do custo final de implantação das alternativas propostas no Modelo proposto 01 pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Custo total do Modelo proposto 02.

| <b>Alternativas simuladas</b>                                                | <b>Custo (R\$)</b>  |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Vidro: controle solar + ar + laminado incolor                                | 1.318.200,00        |
| HVAC: Inverter nível A                                                       | 844.800,00          |
| Painel fotovoltaico - arranjo proposto Norte/Sul sem obstruções - EnergyPlus | 1.519.000,00        |
| <b>Custo total sem mão de obra</b>                                           | <b>3.682.000,00</b> |

## 2.7 RESUMO DAS ALTERNATIVAS

Foram analisados os custos anuais de energia elétrica (R\$), a economia de energia elétrica (R\$) e tempo de retorno do investimento de todas as alternativas simuladas.

O custo anual de energia elétrica foi calculado através do programa EnergyPlus. Considerou-se a tarifa contratada (Horo Sazonal Verde), os valores de custo de consumo no horário de ponta (R\$ 1,06), consumo no horário fora de ponta (R\$ 0,21) e custo da demanda (R\$ 11,15), de acordo com as contas de energia elétrica encaminhadas pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. A Tabela 9 apresenta a comparação em reais (R\$) das contas de energia elétrica do Modelo base e das alternativas simuladas.

Tabela 9 - Valor da conta de energia elétrica (R\$).

| <b>Alternativas</b>                                  | <b>Custo anual (R\$)</b> | <b>Economia (R\$)</b> |
|------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Modelo base                                          | 834.369,94               | -                     |
| Vidro Duplo (controle solar + ar + laminado incolor) | 802.410,80               | 31.959,14             |
| Vidro Duplo (LowE + ar + monolítico incolor)         | 810.901,37               | 23.468,57             |
| Inverter Nível A                                     | 746.232,10               | 88.137,84             |
| VRF condensação a ar                                 | 711.039,58               | 123.330,36            |
| Modelo proposto 01                                   | 692.375,34               | 141.994,60            |
| Modelo proposto 02                                   | 723.935,79               | 110.434,15            |

O retorno do investimento foi calculado através do *payback*, o qual calcula o prazo para que o investidor recupere o capital investido. Foram calculados o *payback* simples e composto. O *payback* simples não leva em consideração a taxa de juros, nem a inflação do período ou o custo de oportunidade. Já o *payback* corrigido considera os valores de fluxo de caixa para o valor presente. O *payback* corrigido mede o tempo necessário para recuperar o capital investido no projeto, considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Adotou-se a TMA de acordo com a taxa Selic do dia 17/03/2014 no valor de 10,65% a.a. Foi considerada uma taxa mínima interna de retorno de investimento de 10 anos, para analisar a viabilidade de implantação de cada uma das alternativas e se estas seriam atraentes no futuro para reduzir o consumo de energia elétrica do prédio do Ministério de Minas e Energia. Ressalta-se que o tempo de retorno de investimento leva em consideração o custo da mão de obra.

Cada alternativa de *retrofit* foi incorporada no modelo base e simulada para quantificar as economias no custo, tendo este como parâmetro de comparação. Através da

Tabela 10 pode-se observar que somente a alternativa do sistema de condicionamento de ar do tipo inverter Nível A apresentou tempo de retorno do investimento inferior a 10 anos, para o cálculo do *payback* simples. Todas as outras alternativas apresentaram o tempo de retorno do investimento superior a 10 anos.

Tabela 10 – Resumo das alternativas simuladas.

| <b>Intervenção</b>                                                                                                 | <b>Custo de implantação (R\$)</b>                                                                            | <b>Economia de energia elétrica (R\$)</b> | <b>Tempo de retorno do investimento (Payback simples)</b> | <b>Tempo de retorno do investimento (Payback composto)</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| VRF condensação a ar                                                                                               | Sistema: R\$ 1.478.400,00<br>Mão de obra: R\$ 633.600,00                                                     | 123.330,36                                | Superior a 10 anos                                        | Superior a 10 anos                                         |
| Inverter Nível A                                                                                                   | Sistema: R\$ 844.800,00<br>Mão de obra: R\$ 211.200,00                                                       | 88.137,84                                 | Superior a 10 anos                                        | Superior a 10 anos                                         |
| Vidro Duplo<br>(controle solar + ar + laminado incolor)                                                            | Sistema: R\$ 1.318.200,00<br>Mão de obra: R\$ 1.500,00 (por peça)<br>R\$ 600 o m <sup>2</sup> (fachada nova) | 31.959,14                                 | Superior a 10 anos                                        | Superior a 10 anos                                         |
| Vidro Duplo<br>(LowE + ar + monolítico incolor)                                                                    | Sistema: R\$ 1.240.200,00<br>Mão de obra: R\$ 1.500,00 (por peça)<br>R\$ 600 o m <sup>2</sup> (fachada nova) | 23.468,57                                 | Superior a 10 anos                                        | Superior a 10 anos                                         |
| Modelo proposto 01:<br>- Vidro: controle solar + ar + laminado incolor<br>- HVAC: VRF<br>- Painele fotovoltaico    | R\$ 4.315.600,00 (sem mão de obra)                                                                           | 141.994,60                                | Superior a 10 anos                                        | Superior a 10 anos                                         |
| Modelo proposto 02:<br>- Vidro: LowE + ar + laminado incolor<br>- HVAC: Inverter Nível A<br>- Painele fotovoltaico | R\$ 3.682.000,00 (sem mão de obra)                                                                           | 110.434,15                                | Superior a 10 anos                                        | Superior a 10 anos                                         |