

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LAERTE TETOUR DE FRAGA JÚNIOR

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E UM ESTUDO DE
VIABILIDADE

Porto Alegre
2014

LAERTE TETOUR DE FRAGA JÚNIOR

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E UM ESTUDO DE VIABILIDADE.

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos

Porto Alegre
2014

LAERTE TETOUR DE FRAGA JÚNIOR

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E UM ESTUDO DE VIABILIDADE

Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção de Graduação em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Trabalho aprovado em Porto Alegre, ___ de _____ de 2014

Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos
Orientador

Prof. Dr. Altamiro Amadeu Susin
Coordenador

Banca Examinadora

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich

Eng. Carlos Alberto H. Claro

*Este trabalho é dedicado
à minha amada esposa, Lídia*

Agradecimentos

Aos meus pais, Laerte e Sivonei, pela inspiração.

À minha esposa, Lídia, pelo apoio e motivação para prosseguir e vencer os desafios.

À minha irmã, Suelen, que sempre foi parte da minha vida.

Aos meus sogros, Clay e Susana, por incentivarem e batalharem juntamente nesta caminhada.

Aos meus avôs, Pedro e Sueli, pelo exemplo de vida e superação que proporcionam aos seus netos.

À Universidade e aos demais professores do Departamento de Engenharia Elétrica, DELET, por proporcionarem este qualificado curso e por contribuírem na minha formação profissional e pessoal.

*“Se vi mais longe foi por estar de pé
sobre os ombros de gigantes.”*

Isaac Newton

Resumo

Este trabalho ressalta a importância da eficiência energética nas edificações residenciais, tratando dos sistemas de maior efetividade nos gastos energéticos, como climatização, iluminação e aquecimento de água. Porém o foco principal deste, é na análise da instalação como um conjunto, evidenciando as divergências quanto à uma instalação convencional. Lâmpadas de LED, sistemas de aquecimento solar de água e ventilação natural integrado ao sistema de climatização são alguns dos assuntos abordados neste trabalho. Para exemplificar os conceitos, realizou-se um estudo de caso resultando em uma redução de mais de 50% da carga instalada sem diminuir as necessidades e o conforto.

Palavras-chaves: Eficiência Energética; Aquecimento Solar; Ventilação Natural.

Abstract

This work highlights the importance of energy efficiency in residential buildings .Dealing with the most effective systems for energy consumption, such as air conditioning, lighting and water heating. But the main focus of this is on the analysis of the installation as a whole, showing the differences to a conventional installation. LED lamps, solar water heating and natural ventilation integrated into air-conditioning system are some of the issues addressed in this work. To demonstrate these concepts, a case study was performed, resulting in a reduction of more than 50% of the installed load without losing comfort or lessen the needs.

Key-words: Energy Efficiency ; Solar Heating; Natural ventilation.

Lista de ilustrações

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Espectro eletromagnético e luz visível | 23 |
| Figura 2 – Diagrama representativo de um olho humano | 24 |
| Figura 3 – Curva de distribuição de intensidades luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B). | 25 |
| Figura 4 – Diagrama para o Calculo do Fluxo do Ar pelo Método BRE | 39 |
| Figura 5 – Modo misto co-corrente | 40 |
| Figura 6 – Modo misto alternado climatizado | 40 |
| Figura 7 – Modo misto alternado ventilado | 40 |
| Figura 8 – Modo misto por zonas | 41 |
| Figura 9 – Esquema de montagem de um sistema para aquecimento com energia solar | 44 |
| Figura 10 – Dimensões de um coletor solar típico | 45 |
| Figura 11 – Selos de certificação do programa Conpet, esquerda, e do Procel, direita | 53 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Exemplos clássicos de iluminância | 26 |
| Tabela 2 – Comprimento de onda e frequência representativa para as principais cores | 27 |
| Tabela 3 – Temperatura representativa para as principais cores | 27 |
| Tabela 4 – Valores típicos para os tipos de lâmpadas, temperatura e IRC | 27 |
| Tabela 5 – Valores padrão para refletância dos materiais | 28 |
| Tabela 6 – Temperatura de conforto (em °C), e ajustes devido à vestimenta e ao nível de atividade dos indivíduos, em função da velocidade do ar. | 38 |
| Tabela 7 – Inclinação dos painéis coletores em cada região | 46 |
| Tabela 8 – Relação típica de quantidade de painéis coletores por volume de acumulação | 46 |
| Tabela 9 – Comparação entre Lâmpadas de um Mesmo Fabricante | 56 |
| Tabela 10 – Cálculo Luminotécnico Utilizando Lâmpadas Convencionais | 56 |
| Tabela 11 – Cálculo Luminotécnico Utilizando Lâmpadas com o Melhor Custo Benefício | 57 |
| Tabela 12 – Cálculo Luminotécnico Utilizando Apenas Lâmpadas LED | 57 |
| Tabela 13 – Custo Mensal com Aquecedor Elétrico | 58 |
| Tabela 14 – Custo Mensal com Aquecedor a gás | 58 |
| Tabela 15 – Custo Mensal com Aquecedor Solar com Auxílio Elétrico | 58 |
| Tabela 16 – Custo Mensal com Aquecedor Solar com Auxílio a Gás | 58 |
| Tabela 17 – Dados do aquecedor a gás Bosch GWH 160 PLUS B ND | 59 |
| Tabela 18 – Custo Estimado de Instalação do Aquecedor Elétrico | 59 |
| Tabela 19 – Custo Estimado de Instalação do Aquecedor a gás | 59 |
| Tabela 20 – Custo Estimado de Instalação do Aquecedor Solar com Auxílio Elétrico | 60 |
| Tabela 21 – Custo Estimado de Instalação do Aquecedor Solar com Auxílio a Gás | 60 |
| Tabela 22 – Variação do fluxo de ar no interior da residência em função da velocidade do vento externo | 61 |
| Tabela 23 – Atenuação da sensação térmica para uma situação de roupa leve sentado com a variação da velocidade do vento | 62 |
| Tabela 24 – Tolerância da temperatura externa em função da velocidade do vento dentro da residência | 62 |
| Tabela 25 – Cálculo Térmico Com Paredes e Janelas sem Isolamento Térmico | 63 |
| Tabela 26 – Cálculo Térmico para Portas, Pessoas e Equipamentos | 63 |
| Tabela 27 – Cálculo Térmico Total Sem Isolamento Térmico | 63 |
| Tabela 28 – Cálculo Térmico Com Paredes e Janelas com Isolamento Térmico | 64 |
| Tabela 29 – Cálculo Térmico Total com Isolamento Térmico | 64 |
| Tabela 30 – Cálculo Térmico Com Paredes e Janelas com Isolamento Térmico e Sombra de Árvores nas Janelas | 64 |
| Tabela 31 – Cálculo Térmico Total Com Paredes e Janelas com Isolamento Térmico e Sombra de Árvores nas Janelas | 64 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 21 |
| 1.1 | Motivação | 21 |
| 1.2 | Objetivo | 21 |
| 1.3 | Estrutura do Trabalho | 22 |
| 2 | ILUMINAÇÃO | 23 |
| 2.1 | Percepção e Conforto Visual | 23 |
| 2.2 | Luminotécnica | 24 |
| 2.2.1 | Fluxo Luminoso | 24 |
| 2.2.2 | Eficiência Luminosa | 24 |
| 2.2.3 | Intensidade Luminosa | 25 |
| 2.2.4 | Iluminância ou Iluminamento | 25 |
| 2.2.5 | Luminância | 25 |
| 2.2.6 | Temperatura de Cor | 26 |
| 2.2.7 | IRC – Índice de Reprodução de Cor | 26 |
| 2.2.8 | Ofuscamento | 27 |
| 2.2.9 | Reflexão, Transmissão e Absorção de Luz | 28 |
| 2.3 | Iluminação Artificial | 29 |
| 2.3.1 | Lâmpadas Incandescentes | 29 |
| 2.3.2 | Lâmpadas Halógenas | 29 |
| 2.3.3 | Lâmpadas de Descarga de Baixa Pressão | 29 |
| 2.3.4 | Lâmpadas de Descarga de Alta Pressão | 31 |
| 2.3.5 | Lâmpadas LED | 32 |
| 2.3.6 | Luminárias | 32 |
| 2.4 | Iluminação Natural | 33 |
| 2.5 | Software para Simulações | 33 |
| 3 | CLIMATIZAÇÃO | 35 |
| 3.1 | Percepção Térmica do Corpo Humano | 35 |
| 3.2 | Equipamentos de Climatização | 35 |
| 3.2.1 | Ar Condicionado do Tipo Janela | 36 |
| 3.2.2 | Ar Condicionado do Tipo Split | 36 |
| 3.2.3 | Ar Condicionado do Tipo Central | 37 |
| 3.3 | Ventilação Mecânica | 37 |
| 3.4 | Ventilação Natural | 37 |
| 3.4.1 | Ventilação para Manutenção da Qualidade do Ar nos Ambientes | 37 |
| 3.4.2 | Ventilação para Resfriamento das Edificações | 37 |
| 3.4.3 | Ventilação para Resfriamento dos Usuários | 38 |
| 3.4.4 | Cálculo da Ventilação Natural | 38 |
| 3.5 | Sistemas Mistos | 39 |
| 3.5.1 | Modo Misto Co-corrente | 39 |
| 3.5.2 | Modo Misto Alternado | 40 |
| 3.5.3 | Modo Misto por Zonas | 40 |
| 3.6 | Integração Entre Sistemas de Climatização e Ventilação Natural | 41 |
| 4 | AQUECIMENTO DE ÁGUA | 43 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | Sistemas de Aquecimento de Água Elétrico | 43 |
| 4.2 | Sistema de Aquecimento de Água à Gás | 43 |
| 4.3 | Sistema de Aquecimento de Água com Energia Solar | 44 |
| 4.3.1 | Fontes de Energia Auxiliar | 46 |
| 4.4 | Usos Alternativos dos Sistemas de Aquecimento | 47 |
| 5 | CERTIFICAÇÃO | 49 |
| 5.1 | Certificação LEED | 49 |
| 5.1.1 | Requisitos | 49 |
| 5.2 | Certificação AQUA | 50 |
| 5.3 | Selos de Eficiência Energética em Equipamentos | 52 |
| 5.3.1 | Selo Procel de Eficiência Energética | 52 |
| 5.3.2 | Selo Conpet de Eficiência Energética | 52 |
| 6 | ESTUDO DE CASO | 55 |
| 6.1 | Análise da Incidência Solar | 55 |
| 6.2 | Análise do Sistema de Iluminação | 55 |
| 6.3 | Análise do Sistema de Aquecimento de Água | 56 |
| 6.4 | Análise da Ventilação Natural | 60 |
| 6.5 | Análise do Sistema de Climatização | 62 |
| 6.6 | Avaliação das Modificações | 65 |
| 7 | CONCLUSÕES | 67 |
| 7.1 | Sugestões para Trabalhos Futuros | 67 |
| | Referências | 69 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem, em sua matriz energética, as hidroelétricas, como principal fonte de geração. De acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas do Ministério de Minas e Energia, elas suprem 79,3% da energia utilizada no Brasil (EPE, 2014).

Mesmo que o Brasil disponha de uma matriz energética de grande parte renovável, começa-se a sentir a necessidade de uma melhora na eficiência do consumo no setor. Estes sinais podem ser observados em legislações, como a portaria interministerial nº 1007/2010, em que, de acordo com o plano de metas estabelecido, o varejo não poderá mais comercializar lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas com potência superior a 100W que não atenderem aos novos níveis mínimos de eficiência energética. A regulamentação tem por objetivo elevar a participação de modelos com maior eficiência, de acordo com o plano de metas estabelecido.

A classe residencial faz uso de 27% do mercado de energia elétrica. Considerando que 24% de toda energia elétrica entregue às residências brasileiras é direcionada para aquecer a água para banho, calcula-se que o chuveiro consome de 7% do total de energia elétrica produzida no país. Pode-se afirmar também que a climatização e refrigeração doméstica respondem por mais de 7% e a iluminação corresponde a 4% do consumo nacional de energia elétrica (Relatório de Resultados PROCEL 2014).

Por muito tempo as tecnologias voltadas para o consumo energético residencial caminharam lentamente, comparando com a indústria e o comércio. Mas sendo o setor energético um dos principais limitadores do desenvolvimento, a melhora do aproveitamento energético neste setor, anteriormente sem muita relevância, começa a ser evidenciada como uma importante alternativa para aliviar o sistema energético brasileiro.

1.1 Motivação

O movimento na busca de edificações mais eficientes e com menor impacto ambiental vem se consolidando no Brasil. Este movimento favorece a mudança no processo de projeto das edificações, onde objetiva-se encontrar soluções que favoreçam a integração da edificação e de seus sistemas (iluminação, elevadores, climatização, etc.) fornecendo ao usuário desta edificação condições satisfatórias de conforto térmico, acústico, luminoso e de qualidade do ar.

Este trabalho teve como motivação diminuir os gastos com energia, sem o uso de microgeração para compensar o consumo. Neste contexto, a eficiência energética entra como uma ferramenta para abordar o assunto e estudar a melhor os conceitos de eficiência energética aplicados à residências, de forma a reduzir a energia consumida.

Como o preço de lâmpadas de LED, mais eficientes, é de 10 a 20 vezes mais caro do que a convencional, a decisão de compra dependerá de fatores econômicos que consideram a vida útil de cada uma e a economia proporcionada na fatura de energia elétrica, bem como o aporte maior necessário para obter a economia desejada.

Os cálculos para tomar esta decisão não são triviais. Exigem o domínio de ferramentas de matemática financeira, conceitos e conhecimentos desconhecidos pela maioria dos consumidores. A seleção de equipamentos e sistemas mais complexos pode ser mais difícil ainda. Esta é uma das razões pelas quais muitos consumidores usam inadequadamente todas as formas de energia.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é demonstrar as vantagens das aplicações dos conceitos de eficiência energética nas edificações residenciais, mostrando os resultados da integração dos conceitos.

Trataremos apenas dos sistemas de maior consumo energético, como climatização, iluminação e aquecimento de água. Visto que o foco principal deste, é na análise de toda a instalação, ressaltando as divergências quanto à uma instalação convencional.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está subdividido em um total de sete capítulos, o segundo capítulo, abordará os conceitos de iluminação, tecnologias existentes (lâmpadas incandescentes, de descarga e LEDs), bem como o aproveitamento da iluminação natural.

O tema da climatização de ambientes é abordado no terceiro capítulo. Diversas metodologias serão apresentadas, assim como topologias e descrição de equipamentos. No quarto capítulo, tratará sobre sistemas de aquecimento de água. Neste, o uso de placas solares, boiler, aquecedor de passagem a gás. O quinto capítulo mostrará alguns conceitos e requisitos para as certificações de eficiência energética.

O capítulo seis apresenta um estudo de caso. A partir de uma casa de classe média de alto padrão e conforto e de construção convencional com $173m^2$ e 52kW de carga instalada, serão aplicados os conceitos descritos nos capítulos anteriores criando um novo projeto. Com base na comparação entre os projetos será realizado um estudo energético das melhorias aplicadas.

Por fim, são apresentadas as conclusões do trabalho e propostas futuras.

2 ILUMINAÇÃO

Os gastos energéticos com iluminação no Brasil chegam a 17% da energia consumida no Brasil, segundo [1].

Os humanos precisam de níveis de iluminação diferentes para cada tipo de tarefa. Um bom projeto de iluminação deve levar em conta este e outros fatores importantes, como nível de iluminamento, distribuição espacial da luz no ambiente, escolha da cor da luz, escolha dos equipamentos de iluminação mais apropriados a cada situação, tipo de piso e paredes e outros aspectos que serão abordados no decorrer da discussão.

Reconhecendo a grande importância da iluminação adequada, a indústria e o comércio dão cada vez mais importância à iluminação eficiente. Mas na residência, muitas pessoas persistem na idéia de que a iluminação é o maior consumidor de energia, preferindo, por muitas vezes, usar um padrão deficiente de iluminação à utilizar conceitos e tecnologias mais eficientes, Segundo [4].

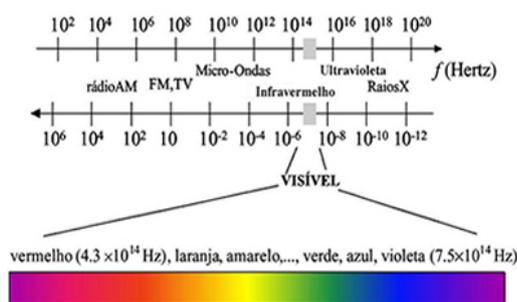
2.1 Percepção e Conforto Visual

Quando determinamos o nível de iluminação, a temperatura, e o nível de ruído, estamos medindo o estímulo e não a sensação. Esta vai estar ligada à experiência individual de cada um. As leis da psicofisiologia dizem respeito exatamente à relação entre as sensações humanas e os estímulos físicos.

O conforto é função da relação que o homem estabelece com seu meio-ambiente, relação esta que é dependente daquilo que o meio possibilita ao indivíduo em termos de luz, som, calor, uso do espaço e das experiências próprias. Experiências que, por sua vez, vão também orientar suas respostas aos estímulos recebidos, suas necessidades e aspirações. [9]

A luz é uma energia radiante com propriedades oscilatórias e corpusculares, sendo as primeiras de mais fácil assimilação. Podemos verificar na Figura 1, que o comprimento de onda da luz visível encontra-se entre a radiação infravermelha e a ultravioleta.

Figura 1 – Espectro eletromagnético e luz visível



Fonte: [3] Guerrini

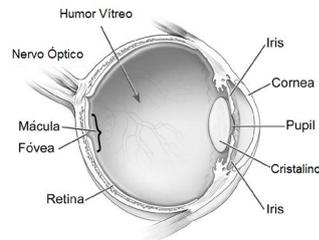
Notamos então que a visão humana possui uma percepção para comprimentos de onda situados entre 380nm e 760nm ou frequência entre $4,3 \cdot 10^{14}Hz$ e $7,5 \cdot 10^{14}Hz$. Luz é, portanto, a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual

A íris é um diafragma que quantifica a luz que incide na retina, situada ao lado oposto do globo ocular. O cristalino, que age como uma lente ajustável, deforma-se sob a ação de músculos, focalizando imagens exatamente sobre a retina. Na figura 2 podemos ver uma representação dos elementos do olho humano.

A retina é o órgão responsável por transformar as informações luminosas em informações neurais, através das terminações ópticas nervosas, que transmitem os estímulos ao cérebro. Os cones estão concentrados na fóvea, centro da retina, sendo os detectores da forma e da cor. São os responsáveis pela

visão fotópica, que tem baixa eficiência em situações de baixa luminosidade. Já os bastonetes permitem a visão periférica, escotópica, e nos proporcionam a visão em situações de penumbra. A retina e a fóvea são repletas de terminações nervosas celulares, cones e bastonetes. Estes apresentam diferentes sensibilidades da intensidade e frequência da luz.[3]

Figura 2 – Diagrama representativo de um olho humano



Fonte: [3]

O principal responsável pela redução da eficiência visual, a fadiga ocular, pode ser provocado por diversos fatores. O esforço visual prolongado, que produz dilatação residual na pupila e só pode ser recuperado ao dormir, níveis de iluminação inadequados, ofuscamento, direcionamento da luz, distribuição luminosa e outros. Estes fatores devem ser observados na elaboração de um projeto, visando o melhor aproveitamento dos equipamentos, o conforto aos usuários e uma melhor utilização da energia gasta para a iluminação.

2.2 Luminotécnica

Para compreendermos melhor o assunto abordado, apresentaremos alguns conceitos básicos de luminotécnica, bem como algumas informações normativas alteradas recentemente segundo a norma [10] NBR 8995/2013.

Com base neste pequeno resumo conceitual, pode-se comparar as diferentes implementações para as lâmpadas e luminárias existentes.

2.2.1 Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é a potência total emitida por uma fonte de luz, capaz de estimular a retina à percepção da luminosidade [4]. Também pode ser definido como a quantidade de energia radiante, emitida por uma unidade de tempo, e avaliada de acordo com a sensação luminosa produzida. [3]

A unidade do fluxo é o lúmen (fogo em latim) e é representado como ou F [lm].

Podemos exemplificar a ideia de fluxo luminoso usando uma lâmpada incandescente de 100W que apresenta um fluxo $F = 1620 lm$

2.2.2 Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa pode ser definida como o fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa e a potência em watts consumida por esta.

$$\eta = \frac{F}{P} \quad [lumens/W] \quad (2.1)$$

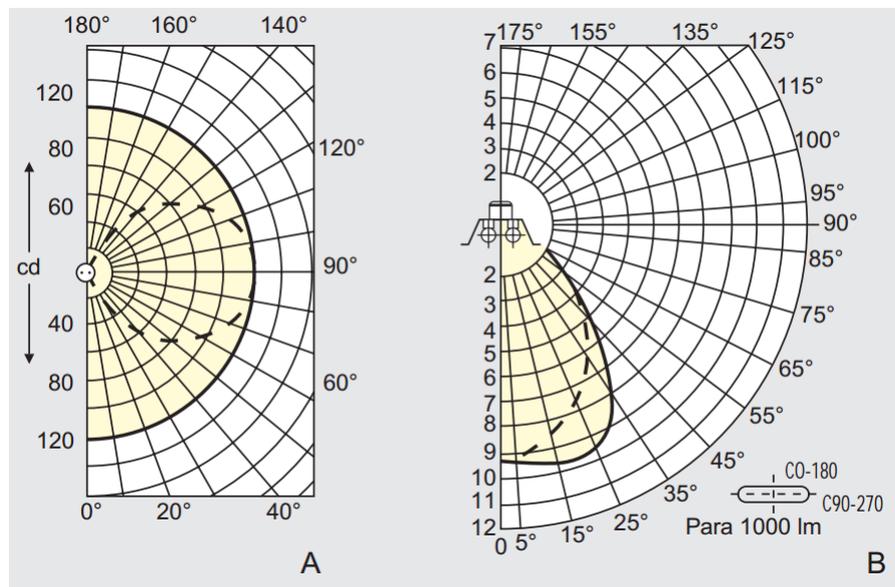
Em que η é a eficiência, F é o fluxo luminoso e P é a Potência elétrica.

2.2.3 Intensidade Luminosa

Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direções, o fluxo luminoso se distribuiria na forma de uma esfera. Tal fato, porém, é quase impossível de acontecer, razão pela qual é necessário medir o valor dos lúmens emitidos em cada direção. Essa direção é representada por vetores, cujo comprimento indica a intensidade luminosa. Portanto é o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. [6] Pode ser definida também como a potência de radiação visível que uma determinada fonte de luz emite numa direção específica. Pode ser representada como I e a sua unidade é denominada de Candela [Cd].

Esses múltiplos vetores são mapeados em um gráfico representando os possíveis valores de intensidade luminosa chamado de curvas de distribuição luminosa, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Curva de distribuição de intensidades luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B).



Fonte: [6]

2.2.4 Iluminância ou Iluminamento

A iluminância também é conhecida como nível de iluminamento. É a relação entre o fluxo luminoso incidente em uma superfície pela área dessa superfície.

$$E = \frac{F}{S} \quad [lux] \quad (2.2)$$

Em que E é a iluminância, F é o fluxo luminoso e S é a superfície de incidência.

Na prática, a iluminância corresponde ao valor médio, porque o fluxo luminoso não se distribui de forma uniforme sobre toda a superfície.

2.2.5 Luminância

Define-se luminância de um elemento qualquer de um objeto em relação a intensidade luminosa nessa direção e a área aparente desse elemento. Por área aparente deve-se entender a área do elemento

Tabela 1 – Exemplos clássicos de iluminância

| Exemplo de situação | Iluminância [lux] |
|----------------------------------|-------------------|
| Dia de sol de verão a céu aberto | 100.000 |
| Dia com sol encoberto no verão | 20.000 |
| Noite de lua cheia sem nuvens | 0,25 |
| Noite a luz de estrelas | 0,001 |

Fonte: [1]

projetada sobre um plano perpendicular à direção considerada. Em outras palavras, é a grandeza que caracteriza a visibilidade de superfícies iluminadas. [3]

Segundo [1], o fluxo luminoso, a intensidade luminosa e a iluminância somente são visíveis se forem refletidos numa superfície, transmitindo a sensação de luz aos olhos, cujo fenômeno é denominado luminância.

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos(\alpha)} \quad [cd/m^2] \quad (2.3)$$

2.2.6 Temperatura de Cor

Em aspecto visual, admite-se que é bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação de tonalidade de cor de diversas lâmpadas. Para estipular um parâmetro, foi definido o critério temperatura de cor (Kelvin) para classificar a luz. Assim como um corpo metálico que, em seu aquecimento, passa desde o vermelho até o branco, quanto mais claro o branco (semelhante à luz diurna ao meio-dia), maior é a temperatura de cor (aproximadamente 6500K). A luz amarelada, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2700K. Na Tabela 2 podemos observar algumas das principais cores representadas. É importante destacar que a cor da luz em nada interfere na eficiência energética da lâmpada, não sendo válida a impressão de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada.

Convém ressaltar que, do ponto de vista psicológico, quando dizemos que um sistema de iluminação apresenta luz “quente” não significa que a luz apresenta uma maior temperatura de cor, mas sim que a luz apresenta uma tonalidade mais amarelada. Um exemplo deste tipo de iluminação é a utilizada em salas de estar, quartos ou locais onde se deseja tornar um ambiente mais aconchegante. Da mesma forma, quanto mais alta for a temperatura de cor, mais “fria” será a luz. Um exemplo deste tipo de iluminação é a utilizada em escritórios, cozinhas ou locais em que se deseja estimular ou realizar alguma atividade. Esta característica é muito importante de ser observada na escolha de uma lâmpada, pois dependendo do tipo de ambiente há uma temperatura de cor mais adequada para esta aplicação. [6]

Segundo a norma [10] NBR 8995/2013, os fabricantes de lâmpadas devem fornecer dados de aparências de cor para as lâmpadas utilizadas no projeto. O valor de T_{cp} das lâmpadas não pode ser inferior aos valores especificados no projeto.

2.2.7 IRC – Índice de Reprodução de Cor

O índice de reprodução de cor (IRC) de uma fonte luminosa artificial é a medida da cor real de uma superfície e sua aparência a ser iluminada pela fonte artificial. Uma fonte com IRC 100% é a que apresenta a maior fidelidade possível na representação das cores de um objeto. [3]

Como a avaliação comparativa entre a sensação de tonalidade de cor das diversas lâmpadas comerciais é uma tarefa muito difícil para um observador comum, atribui-se uma pontuação de 1 a 100 para indicar o desempenho das fontes de luz em relação à fonte padrão. A Tabela 4 fornece este índice

Tabela 2 – Comprimento de onda e frequência representativa para as principais cores

| Cor | Comprimento de Onda λ (nm) | Frequência f (THz) |
|----------|------------------------------------|--------------------|
| Vermelho | 625 a 740 | 480 a 405 |
| Laranja | 590 a 625 | 510 a 480 |
| Amarelo | 565 a 590 | 530 a 510 |
| Verde | 500 a 565 | 600 a 530 |
| Ciano | 485 a 500 | 620 a 600 |
| Azul | 440 a 485 | 680 a 620 |
| Violeta | 380 a 440 | 790 a 680 |

Fonte: [3]**Tabela 3 – Temperatura representativa para as principais cores**

| Cor | Temperatura (K) |
|----------|-----------------|
| Vermelho | 1000 a 1700 |
| Laranja | 1700 a 2500 |
| Amarelo | 2500 a 4500 |
| Branco | 4500 a 6500 |
| Ciano | 6500 a 8000 |
| Azul | 8000 a 12000 |
| Violeta | 12000 a 15000 |

Fonte: [4]**Tabela 4 – Valores típicos para os tipos de lâmpadas, temperatura e IRC**

| Tipo de Lâmpada | Temperatura de Cor (K) | IRC (%) |
|----------------------------|------------------------|---------|
| Incandescente | 2800 | 100 |
| Incandescente de Halogênio | 3200 | 100 |
| Fluorescente - Luz do Dia | 6500 | 75 - 79 |
| Fluorescente - Luz Branca | 4000 | 75 - 79 |
| Vapor de Mercúrio | 5000 | 47 |
| Vapor de Sódio | 3000 | 35 |

Fonte: [1]

para vários tipos de fontes luminosas, quanto mais elevado, melhor é a fidelidade das cores reproduzidas. [1]

Segundo a norma [10] NBR 8995/2013, os fabricantes de lâmpadas devem fornecer dados de índice de reprodução de cor para as lâmpadas utilizadas no projeto. As lâmpadas devem ser verificadas de acordo com as especificações de projeto e devem ter um R_a que não seja inferior ao valor especificado no projeto.

2.2.8 Ofuscamento

Ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão e pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto um ofuscamento incapacitante. O ofuscamento pode também ser causado por reflexões em superfícies especulares e é normalmente conhecido como reflexões veladoras ou ofuscamento refletido.

É importante limitar o ofuscamento para evitar erros, fadiga e acidentes. O ofuscamento inabili-

Tabela 5 – Valores padrão para refletância dos materiais

| Material | Fator de Reflexão |
|----------------|-------------------|
| Cimento | 45% |
| Esmalte Branco | 65 a 75% |
| Gesso | 80% |
| Madeira clara | 40% |
| Papel Branco | 85 % |
| Tijolos | 5 a 25 % |

Fonte: [3]

tador é mais comum na iluminação exterior, mas também pode ser experimentado em iluminação pontual ou fontes brilhantes intensas tais como uma janela em um espaço relativamente pouco iluminado. [10] ABNT NBR 8995/2013

O valor referente ao ofuscamento desconfortável de uma instalação de iluminação deve ser determinado pelo método tabular do índice de ofuscamento unificado (UGR), baseado na Equação 2.4.

$$UGR = 8 \cdot \log\left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{\rho^2}\right) \quad (2.4)$$

Onde L_b é a luminância de fundo (cd/m^2), L é a luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador (cd/m^2), ω é o ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária junto ao olho do observador (esferorradiano) e ρ é o índice de posição G_{uth} de cada luminária individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão.

2.2.9 Reflexão, Transmissão e Absorção de Luz

Estes 3 parâmetros, podem ser considerados como as componentes da luminosidade, ou seja, a sua soma resulta na luz que inicialmente incide em uma superfície, como é apresentado na Equação 2.5.

$$F_i = F_r + F_t + F_a = 1 \quad (2.5)$$

2.2.9.1 Refletância

A refletância é a relação entre o fluxo refletido por uma dada superfície e o fluxo luminoso incidente sobre a mesma, Equação 2.6. Podemos observar alguns padrões de refletância de materias mais comuns na tabela 5

$$r = \frac{F_r}{F_i} \quad (2.6)$$

2.2.9.2 Transmitância

É a relação entre a o fluxo luminoso que atravessa uma superfície e o fluxo luminoso incidente. A Equação 2.7 representa este conceito.

$$t = \frac{F_t}{F_i} \quad (2.7)$$

2.2.9.3 Absorção

O fator de absorção pode ser entendido como a relação entre o fluxo luminoso absorvido e o fluxo incidente em uma superfície, como pode-se ver na Equação 2.8

$$r = \frac{F_a}{F_i} \quad (2.8)$$

2.3 Iluminação Artificial

O desenvolvimento da iluminação artificial nos possibilitou a execução de tarefas visuais independente do ambiente e horário. Mais eficiente que velas e outras fontes de luz artificial, a iluminação com energia elétrica proporcionou a obtenção de ambientes mais confortáveis e produtivos

Atualmente, no competitivo mercado de trabalho, a vista dos funcionários é submetida inúmeras vezes a grandes esforços e muitas horas de trabalho. Uma iluminação adequada, que não ofusque, mas seja suave, agradável e confortável, diminui a fadiga e exerce uma favorável influência sobre os ânimos, melhorando o ambiente de trabalho.[4]

texto

2.3.1 Lâmpadas Incandescentes

Historicamente, a lâmpada incandescente foi o primeiro método de iluminação elétrica desenvolvida. A produção da luz ocorre pelo aquecimento de um filamento de tungstênio, percorrido por corrente elétrica.

Gases inertes impedem a combustão do filamento, aumentando o rendimento e evitando a sua deterioração. Os filamentos são enrolados em dupla ou tripla helicóide para aumentar a eficiência luminosa, geralmente com temperatura de cor em torno de 2700K. Uma das qualidades notáveis das lâmpadas incandescentes é que podem ser livremente dimerizadas.

A vida útil média, para iluminação geral, é de 1000 horas com eficiência média de $20\text{lm}/W$, podendo chegar a um máximo de $36\text{lm}/W$ porém com vida útil reduzida. [3]

2.3.2 Lâmpadas Halógenas

É um tipo especial de lâmpadas incandescentes. Seus bulbos feitos de quartzo são acrescidos do gás composto halogênio. Durante o seu funcionamento, o tungstênio evapora do filamento, combinando-se com o iodo gasoso presente no bulbo e formando o iodeto de tungstênio. Devido às altas temperaturas, parte do tungstênio se deposita novamente no filamento, causando assim um processo contínuo e repetitivo denominado ciclo do iodo. Nestas lâmpadas o halogênio bloqueia as moléculas de tungstênio, impedindo que elas se depositem nas paredes internas do bulbo. [1]

Cuidados especiais devem ser observados na instalação. O manuseio deve ser cuidadoso, evitando deixar traços de gordura dos dedos no bulbo da lâmpada. Geralmente são utilizadas com um refletor com espelhos dicróicos que desvia grande parte do calor produzido.

Possuem luz branca e brilhante que possibilita realçar cores e objetos com maior eficiência do que as incandescentes comuns. O IRC é 100% temperatura de cor da ordem de 2700K com eficiência luminosa de $20\text{lm}/W$. Possuem uma vida útil mais prolongada, comparando-se com as incandescentes convencionais, de 2000 a 4000 horas. [3]

2.3.3 Lâmpadas de Descarga de Baixa Pressão

São lâmpadas a vapor de mercúrio ou argônio de baixa pressão, da ordem de 10^{-6} da pressão atmosférica ([3]). A relação interna entre pressão, densidade de corrente e tensão produz uma radiação

invisível da ordem de 254nm. Essa radiação é posteriormente transformada em luz visível, quando entra em contato com as paredes internas do bulbo, excitando o material de revestimento interno do bulbo. As paredes internas do tubo são pintadas com materiais fluorescentes conhecidos por cristais de fósforo.

Para as lâmpadas fluorescentes chamadas da “partida lenta”, são necessários dois equipamentos auxiliares: o starter e o reator. O starter é um dispositivo constituído de um pequeno tubo de vidro dentro do qual são colocados dois eletrodos imersos em gás inerte, responsável pela formação inicial do arco que permitirá estabelecer um contato direto entre os referidos eletrodos e destina-se a provocar um pulso de tensão a fim de deflagrar a ignição da lâmpada.

Existem dois tipos de reatores: o eletromagnético, que consiste essencialmente de uma bobina com núcleo de ferro ligada em série com a alimentação da lâmpada, o qual tem por finalidade provocar um aumento da tensão durante a ignição e uma redução na intensidade da corrente durante o funcionamento da lâmpada; e o reator eletrônico, que tem a mesma função do reator eletromagnético e consiste basicamente de um circuito de retificação e um inversor oscilante (oscilador), de 16 a 50 kHz.

Segundo os fabricantes, os reatores eletrônicos oferecem inúmeras vantagens em relação aos eletromagnéticos, a saber: menor ruído audível; menor aquecimento; menores níveis de interferência eletromagnética, menor consumo de energia elétrica e redução da cintilação *flicker*. [8]

Por necessitarem de um elemento de partida de característica indutiva, geralmente trabalham com um fator de potência reduzido, que na indústria e no comércio são levados em consideração. Porém, nas residências, não dá-se muita importância, podendo, ao longo do tempo, somar gastos que deveriam ser levados em consideração.

2.3.3.1 Lâmpadas Fluorescentes Compactas Integradas

Como podem ter temperatura de cor e tamanho semelhantes às incandescentes, são as substitutas naturais delas não sendo necessária a intervenção na instalação elétrica, visto que possuem o reator integrado, especialmente no que diz respeito à economia de energia. Apresentam uma durabilidade até 15 vezes maior e com menor carga térmica reduzindo a sobrecarga para os sistemas de climatização. [3]

Foram desenvolvidas visando obter grande economia de energia através de sua instalação em lugar das incandescentes comuns. São lâmpadas mais eficientes, pois economizam até 80% de energia em relação às lâmpadas incandescentes, vida longa (10.000 h), ótimo IRC (80) e adaptável a base comum (E-27), com potências que variam de 9 a 23W. [8]

2.3.3.2 Lâmpadas Fluorescentes Compactas Não-Integradas

São lâmpadas eletrônicas que foram desenvolvidas para substituírem as lâmpadas incandescentes que oferecem maior eficiência, economia de energia e qualidade de iluminação. Por não possuírem reatores integrados às lâmpadas, possibilitam a reutilização do reator existente após o término da vida útil da lâmpada.

Sua utilização, geralmente, destina-se à iluminação comercial ou locais que necessitem de alta eficiência do sistema aliada a qualidade de luz. [4]

2.3.3.3 Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

São aquelas constituídas de um longo cilindro de vidro, cujo interior é revestido por uma camada de fósforo de diferentes tipos. Cada extremidade da lâmpada possui um eletrodo de filamento de tungstênio revestido de óxido que, quando aquecido por uma corrente elétrica, libera uma nuvem de elétrons. [1]

O fluxo luminoso varia em função da temperatura ambiente, sendo em 25°C a temperatura de máximo rendimento. Apresentam uma elevada eficiência luminosa, da ordem de 40 a 80 lumens/W e uma vida útil entre 7500 e 12000 horas de operação

Em geral, são reconhecidas pelo diâmetro do tubo. T12 ou TLT (diâmetro 33mm), T8 ou TLD (diâmetro 26mm) e T5 ou TL5 (diâmetro 16mm). À medida que diminui o diâmetro sua eficiência aumenta, possibilitando também um melhor aproveitamento das superfícies reflexivas das luminárias

2.3.4 Lâmpadas de Descarga de Alta Pressão

A vida útil das lâmpadas de descarga varia muito de acordo com o tipo, desde 15000 horas até 25000 horas. Seu custo inicial é normalmente elevado, porém apresentam um custo de manutenção relativamente reduzido. Veremos uma breve descrição das características das lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio e de vapor metálico.

Em geral, nas residências, o seu uso restringe-se apenas a pátios e jardins externos.

2.3.4.1 Lâmpadas de Vapor de Mercúrio

Constam de um tubo de descarga feito de quartzo para suportar elevadas temperaturas, tendo em cada extremidade um eletrodo principal, de tungstênio recoberto com material emissor de elétrons.

O período de partida leva alguns segundos, e a lâmpada só entra em regime aproximadamente 6 minutos após ligada a chave. Se a lâmpada é apagada, o mercúrio não pode ser reionizado até que a temperatura do arco seja diminuída suficientemente, isto leva de 3 a 10 minutos, dependendo das condições externas e da potência da lâmpada.

As lâmpadas a vapor de mercúrio comuns não emitem, no seu espectro, a luz vermelha, limitando o uso dessas lâmpadas a ambientes em que não haja necessidade de boa reprodução de cores. Para corrigir essa deficiência, utiliza-se o fósforo em alguns tipos de lâmpadas. [1]

O IRC é de 45, a eficiência luminosa varia entre 45 a 55 lm/W, e a vida varia em torno das 18.000 horas, sendo encontradas em vias públicas, fábricas, parques, praças, estacionamentos, etc.

2.3.4.2 Lâmpadas de Vapor de Sódio

Produzem uma luz monocromática amarela, sem ofuscamento, e são apresentadas como a melhor solução para iluminação em locais onde existe névoa ou bruma. As lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão têm um tubo de descarga de óxido de alumínio sinterizado, encapsulado por um bulbo oval de vidro. O tubo de descarga é preenchido por uma amálgama de sódio-mercúrio, além de uma mistura gasosa de neônio e argônio, utilizada para a partida.

As lâmpadas de sódio são produzidas para substituir as lâmpadas de vapor de mercúrio diretamente nas potências equivalentes, devendo-se observar que as luminárias não devem causar um excessivo aumento da tensão de arco.

O IRC das lâmpadas a vapor de sódio é 23, a temperatura de cor é em torno de 2.000K e a vida varia em torno de 16.000 horas, necessitando de reator e ignitor de boa qualidade para operação e ignição confiável, não devendo ser utilizadas com circuitos capacitivos. São usadas em estradas, pontes, viadutos, túneis, aeroportos, etc. [8]

Devido ao baixo IRC, não é indicada para atividades laborais. Possui uma inércia luminosa que demora em torno de 5 minutos para atingir cerca de 90% do fluxo luminoso total.

2.3.4.3 Lâmpadas de Vapor Metálico

São lâmpadas de vapor de mercúrio nas quais se introduzem outros elementos (iodetos, brometos) em seu tubo de descarga, de forma que o arco elétrico se realize numa atmosfera de vários vapores misturados. Obtém-se assim maiores eficiências luminosas, até 100 lm/W e melhor composição espectral.

São especialmente recomendadas quando se quer ótima qualidade na reprodução de cores como em lojas, shoppings, estádios, pistas de corrida, principalmente quando se pretende televisualização em cores. O IRC varia entre 65 e 85, conforme tipo e potência, bem como a temperatura de cor, que varia entre 3000K a 4900K. [3]

Todas as lâmpadas a vapor metálico requerem um reator e um ignitor, os quais influenciam sua performance, ademais a tensão não deve flutuar mais que 5% da tensão do reator. [8]

2.3.5 Lâmpadas LED

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. [7]

A iluminação com uso de LED já é uma realidade. É conhecida como lâmpada eletrônica ou lâmpada de estado sólido. Os LEDs não possuem filamento, por isso apresentam baixo consumo de energia e vida útil longa, mais de 50000 horas. Os LEDs têm inúmeras vantagens sobre as tecnologias de iluminação tradicionais: São pequenos, compactos, têm uma vida útil longa e podem ser usados de um modo extremamente versátil.

Os LEDs de potência apresentam como característica maior número de elementos, cuja finalidade é proporcionar maior eficiência e confiabilidade nas mais variadas aplicações. Esse tipo de LED pode apresentar IRC maior que 90%, temperatura de cor de 2760K a 10000K e potência que pode chegar a 100W. [4]

As lâmpadas de LED são uma excelente solução em diversas áreas - para novas instalações ou como substituto para as lâmpadas incandescentes clássicas, lâmpadas fluorescentes compactas ou lâmpadas halogênicas, para lâmpadas fluorescentes T8. Seja para uso residencial ou comercial.

Os módulos de LED são arranjados em placas de circuitos impressos. As placas podem ser rígidas ou flexíveis para permitir a montagem em perfis e contornos, adequando-se ao projeto arquitetônico, ou estruturas complexas. Podem também, ser associadas a guias de luz e lentes ópticas, para criar efeitos visuais diferentes. [3]

Lâmpadas LED podem ser utilizadas em praticamente qualquer aplicação. Isto não só tem um efeito positivo sobre seus projetos, mas também beneficia o consumo total de energia: Por exemplo, se cada residência substituir apenas uma lâmpada de 60 watts incandescente por uma lâmpada de LED correspondente em São Paulo, haveria uma economia no consumo de energia equivalente ao de uma cidade de porte médio. Isso seria cerca de 960 milhões de kWh de energia ou mais de 145 bilhões de reais

2.3.6 Luminárias

São aparelhos destinados à fixação das lâmpadas que possibilitam a modificação do fluxo luminoso e fácil instalação e manutenção das lâmpadas. A seleção de luminárias em recintos residenciais deve ser precedida de algumas precauções relacionadas às atividades referentes a cada cômodo.

Cuidados como iluminação direta, indireta, semi-indireta e geral-difusa. Ou mesmo se uma determinada luminária é dotada de um vidro protetor transparente, parte do fluxo é refletida para o interior da luminária, transformando-se em calor. Neste e em outros casos, devemos considerar as modificações do fluxo luminoso da lâmpada, quanto a absorção, refração, reflexão e difusão do fluxo luminoso, bem como o uso de louvers.

2.4 Iluminação Natural

A utilização da luz natural é, sob todos os aspectos, o ponto de partida para se obter um sistema de iluminação energeticamente eficiente.

Esta é a tendência mundial cada vez mais adotada nos modernos sistemas de iluminação, que encontra no Brasil razões ainda mais fortes para ser amplamente utilizada em função de nossas características climáticas bastante favoráveis.

Em uma edificação, é necessário considerar tanto a iluminação natural quanto a artificial. A correta integração entre os dois sistemas pode solucionar o problema da variação da intensidade da luz e contribuir para a redução do consumo de energia. Em muitos casos, vemos que a contribuição da luz natural torna-se exagerada, ocasionando aumento da carga térmica do ambiente, fato que permite a economia, desligando a iluminação artificial, porém aumentando significativamente a participação dos sistemas de climatização artificial.

A iluminação dos edifícios modernos visa atender um grande número de pessoas realizando vários tipos de atividades com exigências diferentes quanto ao nível de iluminância. Para melhor utilizar a luz natural, a localização das tarefas com maiores exigências visuais deve ser sempre próxima às janelas, fato que nem sempre é observado na prática.

A radiação proveniente do sol, aproximadamente 50% da energia recebida na Terra é composta pelo espectro visível (luz) e uma parcela de aproximadamente 45% é composta por radiações infravermelhas. Um sistema de iluminação natural eficiente deve possuir uma proteção adequada contra a radiação solar direta. Nestas condições, o uso da luz natural pode permitir uma redução de até 50% no consumo de energia com iluminação, com efeitos positivos sobre o consumo dos sistemas de climatização.

2.5 Software para Simulações

Um bom projeto de iluminação não pode simplesmente ser calculado por métodos sistemáticos. Se fosse assim, não existiria o bom gosto, a sensibilidade, a criatividade e a empatia, que identificamos em alguns projetos em comparação com outros. Porém, não é dispensável um bom software de cálculo e simulação luminotécnica e muitas são as vantagens que estas ferramentas podem nos oferecer.

2.5.1 LUMEN MICRO

É o mais antigo. Suas primeiras versões são de 1983, e, portanto, foi o mais vendido em EUA. Desenvolvido pela Lighting Technologies, Inc, em Boulder, no Colorado (EUA), foi vendido em 2006 para Musco Sports Lighting

2.5.2 AGI32

Desenvolvido pela Lighting Analysts Inc, LAI, Littleton, Colorado, EUA, é um excelente software, rápido, amigável e com um bom *render*.

2.5.3 CALCULUX

Desenvolvido pela Philips Electronics, originalmente era constituído pelos módulos Indoor, Area e Road. Posteriormente, quando a Philips aderiu ao DIALUX, descontinuou o módulo Indoor (normalmente o mais utilizado pelos lighting designers). O módulo Area é adequado para a iluminação de campos, quadras, ruas, áreas esportivas, parques e fachadas, e o Road para iluminação viária.

2.5.4 RELUX PRO

Desenvolvido pela Relux Informatik AG, tendo atualmente cerca de 100 fábricas associadas (similar ao DIALUX). O RELUX SUITE (RELUX PRO e outros) é gratuito

2.5.5 DIALUX

O DIALUX é um prático software para estudos luminotécnicos, é um programa completo e versátil, pois oferece recursos inovadores que automatizam o processo de dimensionamento de sistemas de iluminação. Projetado para realizar operações dinâmicas e eficientes, o DIALUX possibilita a aplicação de vários modelos de luminárias em um mesmo ambiente e o desenvolvimento de projetos mais originais e sofisticados.

Desenvolvido pela DIAL GmbH, Alemanha, em 1994, por solicitação de um consórcio de 12 fábricas de luminárias e lâmpadas, atualmente tem mais de 160 fábricas associadas. Isto faz com que, do ponto de vista de recursos, este software seja imbatível e é, provavelmente, o software mais amigável para o usuário (com short-cuts, wizards, tutorials e outros recursos de ajuda) e tem um excelente *render* que é o POV-Ray.

O software é livre, e para baixar, tanto ele quanto o POV-Ray e seus manuais, visite o seguinte site: www.dial.de/DIAL/es/dialux/download.html

Neste trabalho, será apresentado um exemplo de simulação com o programa para demonstrar as diferenças entre os sistemas a serem implementados.

3 CLIMATIZAÇÃO

O conforto térmico é condição essencial para a saúde, segurança e produtividade no trabalho, bem como nas residências. Fato que torna crucial o controle da temperatura nos ambientes. Os profissionais do setor de projeto de edificações vêm buscando soluções para reduzir o consumo de energia onde o sistema de climatização pode representar grande parte do consumo anual total de energia de uma edificação. Sendo, portanto, a climatização um dos principais focos de pesquisa para novas metodologias mais eficientes.

Neste capítulo apresentaremos diversos conceitos de climatização abordando seus aspectos construtivos, bem como a análise do tipo de materiais e equipamentos a serem utilizados. Como o assunto permite um vasto estudo, atentou-se apenas aos aspectos referentes a edificações residenciais.

3.1 Percepção Térmica do Corpo Humano

O organismo humano é um ser homeotérmico. Seu organismo se mantém à uma temperatura interna constante que situa-se entre $36,1^{\circ}\text{C}$ e $37,2^{\circ}\text{C}$ para uma existência saudável, porém os limites de sobrevivência situam-se entre 32°C e 42°C . Já a temperatura ideal para a pele do corpo, devido as trocas térmicas, situa-se em torno de 25°C .

O organismo adquire energia através do metabolismo de alimentos, dos quais apenas 20% é transformado em trabalho, o restante é transformado em calor que deve ser dissipado pelo corpo. Tanto o calor produzido, quanto o calor dissipado pelo corpo dependem do tipo de atividades desenvolvidas pelo indivíduo e pelo metabolismo. Em média, o calor cedido pelo corpo para o meio ambiente é de cerca de 75W.

Quando as trocas de calor entre o corpo e o ambiente ocorrerem entre o corpo humano e o ambiente sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho é máxima. Uso de roupas pesadas em temperaturas frias e suor em excesso em temperaturas muito quentes são exemplos de atenuantes da capacidade de produtividade do corpo.

Por intermédio de funções termorreguladoras, o corpo consegue manter a sua temperatura interna nos níveis desejados, mudando as condições de trocas térmicas com o meio ambiente.

Em casos de temperaturas baixas, o corpo atua por intermédio do sistema nervoso simpático, buscando reduzir as perdas e aumentar a combustão interna aumentando a resistência térmica da pele por meio de vasoconstrição, arrepios e tremores musculares.

Em casos de temperaturas muito altas, o organismo toma medidas para aumentar as trocas térmicas, diminuindo as combustões internas através do sistema glandular endócrino, promovendo a termólise, aumentando a ventilação e vasodilatação e suando pelos poros da pele.

Apesar de ser um mecanismo natural de controle de perdas de calor pelo organismo, o uso de termorreguladores provoca a sensação de desconforto, pois representam um esforço involuntário.

3.2 Equipamentos de Climatização

Há inúmeras contribuições da aplicação do ar condicionado, entre elas o desenvolvimento de cidades em regiões quentes, a criação de salas controladas para confecção de componentes eletrônicos, a viabilização de projetos arquitetônicos extraordinários como os arranha-céus e caixas de vidro modernistas, e a construção de casas em larga escala. Morar se tornou possível em quase todos os lugares do globo.

No entanto, o uso indiscriminado do ar condicionado tem contribuído para o fim da arquitetura tradicional com longos pergolados, largas varandas, paredes grossas, altos, áticos e aberturas para ventilação cruzada desde a primeira metade do século XX. Cada vez mais as casas se parecem entre si e não importa seu país, clima, orientação solar ou direção proeminente do vento ou a orientação geográfica do

terreno. Essa indiferença do projetista ao clima geralmente o faz produzir casas com alto consumo de energia elétrica, sobretudo devido ao uso do ar condicionado.

3.2.1 Ar Condicionado do Tipo Janela

Os condicionadores de ar de janela são equipamentos para instalações locais, de expansão direta e condensação a ar, com capacidade de refrigeração entre 2.080 W (7.100 Btu/h, 0,59 TR) e 8.790 W (30.019 Btu/h, 2,5 TR)(Catalogo springer, 2014). Frequentemente apresentam a possibilidade de trabalhar como bomba de calor. São específicos para atender apenas a um ambiente aberto e precisam ser instalados em paredes externas. Apresentam todos os elementos necessários para condicionar o ar em uma única unidade: o condensador (voltado para o exterior), o compressor (se assemelha a um bujão), o evaporador (voltado para o interior) e, no centro, há um motor elétrico que aciona dois ventiladores (do evaporador e do condicionador).

Uma vantagem do uso dos condicionadores do tipo janela está na possibilidade de renovação do ar, sem que seja necessária a intervenção do usuário.

3.2.2 Ar Condicionado do Tipo Split

São condicionadores de ar de baixa capacidade divididos em unidades evaporadora (ventilador e evaporador), localizada no ambiente climatizado, e unidade condensadora (ventilador, compressor e condensador), alocada externamente. Sua instalação é mais flexível do que a dos janeliros.

Por conta de sua flexibilidade, permite maiores possibilidades de posicionamento das unidades condensadoras para evitar o comprometimento das fachadas. Não necessita de parede externa e por isso pode atender a ambientes sem conexão com o exterior (considerando os limites de distância entre evaporador e condensador) e apresentam baixo nível de ruído acústico.

3.2.2.1 Ar Condicionado do Tipo Split Inverter

Como o próprio nome já diz, os equipamentos com tecnologia inverter funcionam como um inversor de frequência que controla a velocidade de operação do compressor do ar condicionado. Sendo assim, quanto menos calor precisar ser retirado do ambiente, menor será a velocidade de trabalho do compressor e vice-versa. Através dessa tecnologia, os compressores funcionam apenas na velocidade necessária para manter o aquecimento ou resfriamento do ambiente, com pouca oscilação.

O sistema suporta temperaturas extremas, sua operação é estável, sem picos de energia, a temperatura desejada é alcançada com mais rapidez do que nos aparelhos com sistemas convencionais e em relação ao aparelho convencional, pode apresentar um consumo de energia até 40% menor (Catálogo Fujitsu, 2014).

A tecnologia faz com que o compressor nunca precise ser desligado e, desta forma, picos de tensão elétrica não ocorrem. Além disso, como o compressor do ar condicionado Inverter sempre está atuando, não apresentando oscilações na temperatura. Ou seja, você não passa frio ou calor a cada instante, pois a temperatura será sempre a mesma, visto que em condicionadores convencionais o sistema de controle permite uma variação de até 2°C entre o liga e desliga do compressor.

Complementarmente, os aparelhos de ar condicionado que contam com o recurso costumam ser também mais silenciosos do que os modelos tradicionais, visto que o compressor opera com capacidade reduzida e apresentam uma maior durabilidade, visto que não ocorrem picos de corrente freqüentes devido ao liga e desliga. Assim mantém a temperatura estável e evita picos elétricos e consumo excessivo. Outra vantagem do ar condicionado inverter é que o gás usado é ecológico, o R-410A e, além disso, ele conta com íons negativos que removem a sujeira, o odor e esteriliza o ar.

3.2.3 Ar Condicionado do Tipo Central

Este sistema requer a instalação de uma torre de resfriamento, e uma tubulação de água para efetuar o resfriamento. A torre de resfriamento pode ser colocada no terraço do prédio. A torre de resfriamento é composta na parte superior por uma grande bandeja perfurada, de um corpo de chapas de madeira espaçadas de alguns centímetros, de um ventilador acionado por um motor elétrico, de um recipiente para recolha e distribuição da água, da carcaça metálica da torre propriamente dita, de uma bomba elétrica para circulação forçada da água.

A água proveniente da fonte de alimentação passa pela bóia e enche o reservatório inferior da torre. Uma bomba aspira a água fria do reservatório e a envia ao condensador do ar condicionado. A água retira calor do condensador e fica quente, sendo então dirigida para a parte superior da torre, indo cair na bandeja perfurada, atravessa as camadas de madeira, que amortecem sua queda, retornando ao reservatório. O ventilador elétrico provê a subtração do calor da água.

3.3 Ventilação Mecânica

Ventiladores de teto podem melhorar a sensação de conforto térmico sem reduzir a temperatura do ar, consumindo pouca energia. Ao invés de resfriar o ar, como um ar condicionado, o ventilador age noutra variável relacionada ao conforto térmico, que é a velocidade do ar.

Com a mesma finalidade que os ventiladores de teto, são utilizados os exaustores, em ambientes com ausência de janelas.

3.4 Ventilação Natural

A ventilação nos espaços arquitetônicos pode ser produzida por meios mecânicos (ventiladores, exaustores etc.), também conhecida como ventilação mecânica; e por meios naturais, sendo denominada ventilação natural. Essa última pode ser produzida por diferença de pressão estática ou dinâmica nas paredes que separam os espaços internos e externos de uma edificação em função de diferenças de densidades (temperatura), também conhecida como ventilação por efeito chaminé. O outro meio natural é aquele onde o movimento do ar ocorre em função das pressões dinâmicas produzidas pelo vento ao atingir as edificações, e é mais conhecida como ventilação natural devido à ação dos ventos. Esta pode ser usada com três finalidades complementares:

- Manter a qualidade do ar nos ambientes internos;
- Remover a carga térmica adquirida pela edificação, em decorrência dos ganhos de calor externos e internos e
- Promover o resfriamento fisiológico dos usuários.

3.4.1 Ventilação para Manutenção da Qualidade do Ar nos Ambientes

A manutenção da qualidade do ar nos ambientes internos é obtida através da adequada renovação do ar de tais espaços, de maneira a remover as impurezas eventualmente existentes e manter os níveis de oxigênio em patamares apropriados. Essa qualidade do ar pode ser obtida com pequenas taxas de renovação do ar das construções, conforme determina a NBR 15.220/3, 2005.

3.4.2 Ventilação para Resfriamento das Edificações

Uma das finalidades da ventilação é resfriar o edifício propriamente dito, retirando a carga térmica absorvida pelas construções em decorrência da exposição do edifício à radiação solar, assim como

Tabela 6 – Temperatura de conforto (em °C), e ajustes devido à vestimenta e ao nível de atividade dos indivíduos, em função da velocidade do ar.

| Vestimenta | Nível de Atividade | | | |
|------------------|-----------------------------------|---------|-------|-------|
| | Dormindo | Sentado | Em Pé | Ativo |
| Nu | 31 | 29 | 25 | 23 |
| Roupa Leve | 29 | 26 | 21 | 18 |
| Peletó e gravata | 27 | 23 | 17 | 13 |
| Veloc. do Vento | Ajuste dos Valores da Temperatura | | | |
| 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 1,5 |
| 0,4 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 3,0 |
| 0,7 | 1,5 | 2,0 | 3,0 | 4,0 |
| 1,0 | 2,0 | 2,5 | 3,5 | 5,0 |

Fonte: adaptado de [29]

dos ganhos térmicos produzidos no interior das edificações (devido à presença dos usuários, existência de equipamentos elétricos, de iluminação artificial, etc). Nesses casos, altas taxas de ventilação podem propiciar temperaturas internas muito próximas das externas, removendo a carga térmica dos ambientes internos

3.4.3 Ventilação para Resfriamento dos Usuários

O resfriamento fisiológico é o terceiro objetivo da ventilação. Tal resfriamento refere-se ao efeito refrescante provocado pela evaporação do suor da pele e pelas trocas de calor por convecção, que ocorrem quando o fluxo de ar entra em contato com o corpo humano. A intensidade desse resfriamento varia em função da velocidade e da temperatura do ar, mas também depende da turbulência do fluxo de ar e da umidade relativa. O resfriamento fisiológico é particularmente importante em regiões com elevada umidade do ar, pois a pele úmida é, freqüentemente, apontada como a principal causa de desconforto.

3.4.4 Cálculo da Ventilação Natural

O Building Research Establishment - BRE, na Inglaterra, sugere que ajustes na temperatura de conforto precisam ser realizados para computar o efeito combinado da velocidade do ar, vestimenta e atividade física (BRE, 1979). Por exemplo, para indivíduos realizando trabalhos ativos onde a velocidade do ar interno seja da ordem de $1,0\text{m/s}$, podem ocorrer ajustes de até 5°C na temperatura de conforto preferida, em comparação com uma condição de calmaria, Tabela 23.

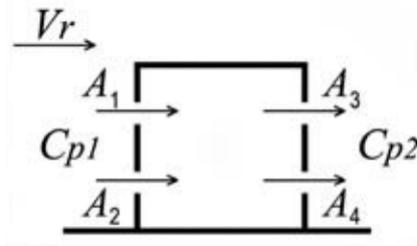
A Tabela 23 mostra ainda, que para trabalhos sedentários (sentados), realizados em ambiente não ventilado, a mudança da roupa executiva (paletó) para uma roupa mais leve (camisa de manga curta de algodão e calça comprida, por exemplo), aumenta a tolerância do sujeito em cerca de 3°C . Se, além desse ajuste no vestuário, existirem correntes de ar com velocidade de $1,0\text{ m/s}$, o indivíduo aceitará um aumento adicional de $2,5^\circ\text{C}$, devido ao efeito refrescante produzido pelo movimento de ar.

O algoritmo simplificado, proposto pelo Building Research Establishment - BRE (UK), assume que o coeficiente de descarga (Cd) para aberturas, com diâmetro superior a 10 mm, apresenta valores similares. Ele também emprega o conceito de área equivalente, a qual para aberturas grandes, como portas e janelas amplas, pode ser considerada igual à área livre das mesmas. O coeficiente de descarga (Cd) contabiliza as perdas na energia cinética do escoamento após o mesmo passar através das aberturas localizadas nas paredes externas e internas de uma edificação.

Em edifícios com muitas aberturas, a área global equivalente é calculada adicionando, aritmeticamente, as áreas das aberturas em paralelo. Para as aberturas em série, entretanto, essa área precisa

ser obtida pela adição do inverso dos quadrados, conforme a Equação 3.1 em que V_r é a direção do Vento e A representam as áreas das janelas e de acordo com o diagrama da Figura 4.

Figura 4 – Diagrama para o Calculo do Fluxo do Ar pelo Método BRE



Fonte: adaptado de [29]

$$\frac{1}{A_t^2} = \frac{1}{(A_1 + A_2)^2} + \frac{1}{(A_3 + A_4)^2} \quad (3.1)$$

Desta maneira, calcula-se a taxa de ventilação em m^3/s conforme a Equação 3.2.

$$Q_t = C_d \cdot A_t \cdot V_r \cdot \sqrt{\Delta C_p} \quad (3.2)$$

Em que Q_w é a taxa de ventilação em m^3/s , C_d é o coeficiente de descarga (varia de 0,5 a 0,9 em janelas totalmente abertas, sendo 0,65 do seu valor mais comumente empregado), A_t é a área equivalente das aberturas para ventilação (ver Figura 4) V_r é a velocidade do vento, na altura da janela em m/s e ΔC_p é a diferença entre os coeficientes de pressão nas aberturas de entrada e saída do vento.

3.5 Sistemas Mistos

O enfoque que têm sido dado aos projetos dos edifícios modernos está no conforto térmico com o uso de sistemas centrais de climatização, assumindo-se condições imutáveis que estão no padrão confortável de projeto, ao invés de serem entendidas como condições variáveis de projeto. Na busca desta integração da edificação e de seus sistemas, encontra-se a estratégia denominada modo misto ou uso misto de ventilação natural e climatização. Neste artigo busca-se apresentar o que é o modo misto e suas vantagens e desvantagens para aplicação em condições climáticas brasileiras.

O modo misto ou uso misto de ventilação natural e sistema de climatização pode ser considerado como a possibilidade de controlar estes dois modos de fornecimento de ventilação para o ambiente (natural ou climatizada), de forma a garantir as condições de conforto térmico e de qualidade de ar de um ambiente ocupado. Este sistema usa uma combinação da ventilação natural proveniente de janelas com abertura controlável (de forma manual ou automática) com sistemas de climatização.

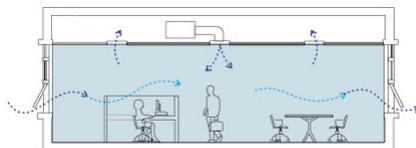
Na literatura encontram-se algumas formas diferentes de se utilizar esta combinação de modos de ventilação (natural e mecânica), a saber:

3.5.1 Modo Misto Co-corrente

Neste modo (vide Figura 5), o mesmo ambiente pode ter suas condições controladas recebendo o fluxo de ar, tanto das janelas como do sistema de climatização. Neste caso, o sistema de climatização opera como um elemento suplementar para garantir o controle das condições internas do ambiente, sendo que os ocupantes podem abrir ou fechar as janelas, baseando-se nas suas necessidades individuais de conforto térmico. Este tipo de sistema é comum em escritórios de planta aberta (open-plan) com sistemas com caixas VAV e janelas que permitem a sua abertura. Sensores de abertura das janelas informam às caixas

VAV, que passam a operar na sua vazão mínima, reduzindo significativamente a energia consumida no sistema de climatização.

Figura 5 – Modo misto co-corrente

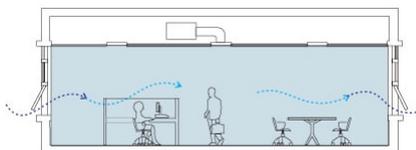


Fonte: [22]

3.5.2 Modo Misto Alternado

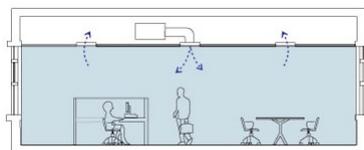
Neste modo (vide Figuras 6 e 7), os sistemas de ventilação natural e climatização alternam o seu funcionamento ao longo do dia e/ou ao longo de um período do ano. O sistema de automação da edificação deve determinar qual modo a ser utilizado em função de parâmetros como temperatura de bulbo seco externa, nível de ocupação do ambiente por meio de sensores de CO₂, etc. Este tipo de sistema pode ser usado em edificações com unidades individuais de climatização e janelas com possibilidade de abertura. Também pode ser usado em edificações que tenham instaladas janelas automáticas que, ao abrir, fornecem ventilação natural, enquanto o sistema de climatização opera em condições de menor consumo de energia. Ao fechar as janelas, o sistema de automação faz com que o sistema de climatização reinicie a sua operação, seja para resfriamento ou para aquecimento.

Figura 6 – Modo misto alternado climatizado



Fonte: [22]

Figura 7 – Modo misto alternado ventilado

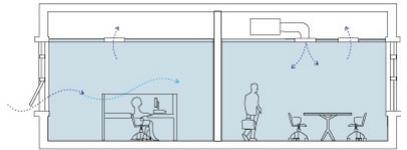


Fonte: [22]

3.5.3 Modo Misto por Zonas

Neste modo (vide Figura 8), os sistemas de ventilação natural e de climatização são usados em ambientes diferentes. O seu uso dependerá das condições específicas de uso daqueles ambientes, de seu posicionamento na planta do andar (salas próximas às janelas podem fazer um uso maior da ventilação natural enquanto ambientes em posições mais centrais dependerão mais de sistema de climatização).

Figura 8 – Modo misto por zonas



Fonte: [22]

3.6 Integração Entre Sistemas de Climatização e Ventilação Natural

Novas soluções de projeto e de mercado exigem um “pensamento integrado do sistema” que coloca a edificação, seus ocupantes e os sistemas de controle como elementos importantes para o pensamento do projeto. O uso de ventilação natural (quando as temperaturas permitem), a integração com sistemas mecânicos de ventilação e os novos sistemas de controle podem atender tanto os sistemas de climatização natural e artificial quanto os ocupantes que interagem com os edifícios abrindo as janelas, por exemplo.

O modo misto promove redução de consumo de energia no sistema de climatização, sendo que uma edificação bem projetada e operada em modo misto pode reduzir os custos de operação do sistema de climatização sensivelmente (15 a 80%, dependendo do clima, cargas térmicas e tipo de edificação)

Oferece maior conforto aos ocupantes, visto que oferece-se ao ocupante a possibilidade de controlar a sua condição de conforto térmico, o que pode significar maior satisfação no ambiente e eventuais ganhos na qualidade do ar interior, pois permite a definição de um microclima. A possibilidade de criar o seu microclima dá ao usuário uma satisfação maior. além de privilegiar uma maior flexibilidade e vida útil mais longa dos sistemas de climatização

Porém, ele apresenta uma maior complexidade e custos iniciais maiores, pois exigem um projeto mais integrado com os profissionais de arquitetura, civil, climatização. Além disso, uma conscientização por parte dos usuários deve ser realizada para que o uso dos dois sistemas seja feito com critério, evitando aumento de custos de operação (por exemplo, abertura de janelas quando o sistema de climatização estiver ligado).

É necessário, entretanto, ter consciência de alguns problemas correlatos que podem ocorrer. Dentre eles, se destacam os problemas acústicos, a presença de insetos e a incidência de chuvas de vento. Estes problemas podem ser equacionados se considerados nas etapas iniciais do projeto arquitetônico.

Com base no exposto, pode-se dizer que existem muitas vantagens para se considerar o uso de modo misto nas edificações brasileiras. Pode-se inferir que os desafios que se apresentam para o projeto de edificações com modo misto estão relacionados com o pouco conhecimento do sistema: os profissionais relacionados ao projeto de edificações têm pouco ou nenhum conhecimento sobre este sistema. Os estudos de caso sobre edificações com este sistema estão aumentando, mas ainda não são suficientes para disseminar confiança na aplicação dele para os projetistas de sistemas de climatização.

Estes sistemas exigem uma integração dos sistemas de aberturas de janelas e do sistema de climatização, cuja complexidade pode ser bastante alta. Além disso, o uso de janelas com operação automática é pouco difundida e exige custos de manutenção diferenciados.

4 AQUECIMENTO DE ÁGUA

O aquecimento de um volume de água requer uma elevação de temperatura, ou seja, aumento de energia. Para fins domésticos, essa quantidade de energia relaciona-se aos hábitos particulares de cada um dos ocupantes da residência. Dados de pesquisas mostram que, em média, cada membro de uma família requer aproximadamente 100L de água por dia. Mensalmente, a quantidade de energia para aquecimento de água é estimada por 4.1. [23]

$$L = N \cdot P \cdot 100 \cdot (T_W - T_m) \cdot \rho_W \cdot C_p \quad (4.1)$$

Onde N é o número de dias por mês, P é o número de pessoas, T_W é a temperatura mínima aceitável para água quente (60°C), T_m é a temperatura desejada para a água e ρ_W é a densidade da água ($1,0 \text{ kg/L}$). Esta expressão nos possibilita calcular a quantidade de energia que será gasta em determinado período para aquecimento de água.

4.1 Sistemas de Aquecimento de Água Elétrico

O chuveiro elétrico é disponibilizado no mercado consumidor a partir de R\$ 20,00 (por volta de US\$ 6,5). Esta alternativa tem sido largamente usada devido ao baixo custo de aquisição e desprezível custo de instalação, pois não necessita de tubulações para água aquecida e exige apenas de um circuito simples na instalação predial mono ou bifásico, um aterramento e um dispositivo de segurança através de disjuntores num pequeno quadro.

Possui uma concepção bastante simples, é constituído de um elemento de aquecimento (resistor), chamado de resistência feito de um fio espiralado composto de metais com alto ponto de fusão, como o níquel, o cromo ou uma liga dos dois metais, que ao aquecer, esquentam imediatamente a água. Ao circular a água pelo aparelho, a pressão inflava o diafragma, aproximando os contatos da resistência aos contatos energizados situados em um cabeçote no aparelho, fechando o circuito elétrico. A maioria dos chuveiros elétricos possui duas resistências, sendo uma de baixa potência e outra de alta potência de aquecimento, de onde a combinação de funcionamento delas proporciona diferentes temperaturas à água do banho.

Um chuveiro elétrico, em sua potência mínima, consome entre 2500 e 3200 watts, em suas máximas potências, chegam a consumir 5500 watts em 127 volts e até 7500 watts em 220 volts. O fator de equilíbrio está no seu tempo de utilização, pois consomem energia elétrica apenas durante o banho, consumindo relativamente menos que um ar-condicionado ou geladeira, que ficam sempre ligados ou alternando ao longo do dia todo. O grande problema é o tempo médio de banho diário de um brasileiro, que apesar de os fabricantes e órgãos ambientais recomendarem menos de 10 minutos, normalmente ele se estende até os 20 ou 30 minutos, contando o fato que é muito comum se tomar mais de um banho diário em algumas regiões do país.

A vantagem dos chuveiros elétricos é que o consumo de água é menor que nas duchas de aquecimento à gás, pois exigem volume ligeiramente menor de água para funcionarem comparado às duchas de aquecimento central ou caldeira, onde a tendência do usuário é a de aumentar ainda mais o volume de água no banho. Em relação aos aquecedores centrais, os chuveiros elétricos também levam vantagem quanto à rapidez com que a água esquentam. No aquecedor central muita água é desperdiçada até a água quente chegar à ducha e se obter a temperatura desejada. No chuveiro elétrico a água esquentam em segundos após abrir o registro d'água, economizando muito no saldo mensal de consumo de água.

4.2 Sistema de Aquecimento de Água à Gás

A geração de calor a gás ocorre com a combustão do gás com o ar, a partir de uma chama no interior do aquecedor. O calor da combustão é transferido por um trocador de calor para a água, que

absorve maior parte deste calor.

A quantidade de calor por unidade de tempo liberada pela combustão do gás é dependente do poder calorífico superior e da vazão volumétrica do gás. O controle de potência do equipamento se faz pela vazão do queimador. A Equação 4.2 representa esta interação.

$$P_n = PCS \cdot v_o \quad (4.2)$$

Onde P_n é a quantidade de calor gerado, PCS é o poder calorífico do gás e v_o é a vazão volumétrica do gás. [26]

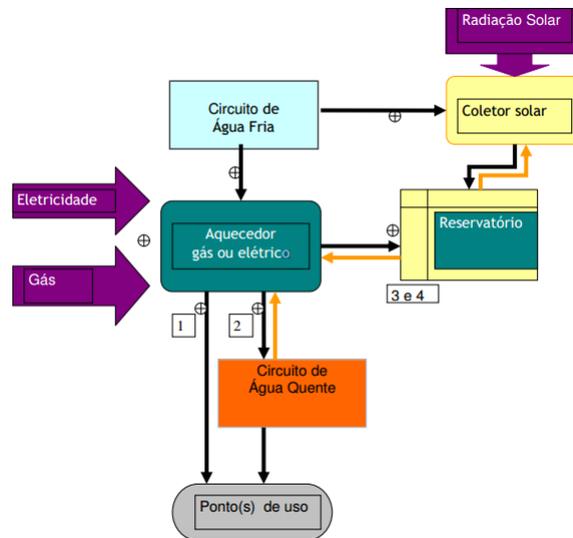
Na utilização do sistema de aquecimento a gás, o projeto de infra-estrutura predial deve prever uso em ambiente com volume de no mínimo $6m^3$, com ventilação permanente e duto que assegura o escoamento dos gases provenientes da combustão ao ambiente externo.

4.3 Sistema de Aquecimento de Água com Energia Solar

O aproveitamento energético térmico do sol consiste na captação da radiação sob forma de calor, seja para o aquecimento de fluidos de uso doméstico ou industrial, seja para a transformação do calor em outra fonte de energia.

Para o aquecimento de água por energia solar, são utilizados coletores planos que convertem a radiação solar em calor. O funcionamento é dividido em três fases: captação, transferência e acumulação da energia solar. Podemos ver um esquema do princípio de funcionamento na Figura 9.

Figura 9 – Esquema de montagem de um sistema para aquecimento com energia solar

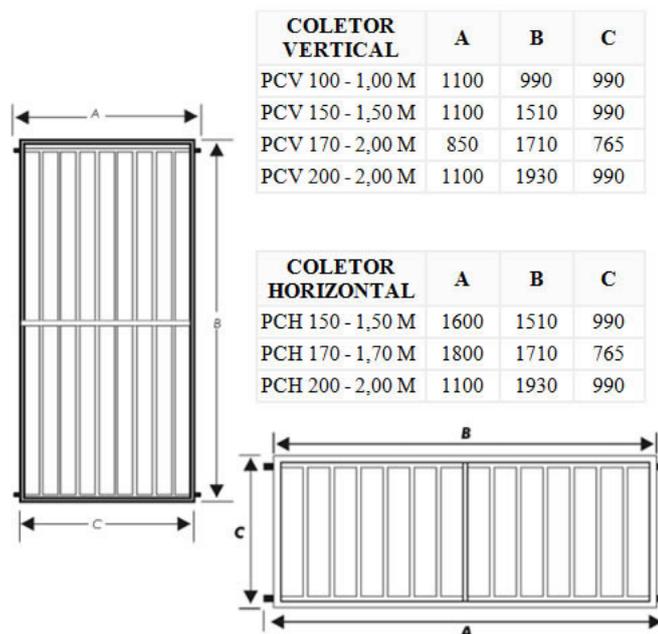


Fonte: [26]

A captação é realizada por placas coletoras. Dessa forma, a água fria, proveniente do acumulador, atinge a base do coletor, onde absorve calor à medida que, por expansão térmica, retorna ao reservatório. O fluxo de água continua nesse ciclo e a temperatura eleva-se gradualmente a cada passagem pelo coletor.

Os coletores são formados, basicamente, por uma caixa de material isolante, geralmente com lã de vidro fenólica, sobre a qual está um intercambiador de cobre revestido por um corpo negro. O conjunto é revestido por um vidro de cristal de uns 4mm de espessura, perfeitamente isolado com lã de vidro ou silicone. Um desenho com dimensões típicas de um coletor solar pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Dimensões de um coletor solar típico



Fonte: Catálogo SolarSol

O uso de placas solares condutoras implica também na necessidade de se avaliar as condições ambientais do local em que vão ser utilizadas, para se evitar danos e prejuízos. Locais com grande frequência de ventos de alta velocidade ou chuva de granizo, por exemplo, podem inviabilizar o uso desse material.

A equação empregada para o planejamento prático de uma placa solar plana é definida em 4.3

$$Q = F \cdot A [I \cdot (a \cdot b) - U \cdot (T_i - T_a)] \quad (4.3)$$

Onde Q é a energia aproveitada pelo coletor, F é o fator de eficiência da remoção de calor do coletor, A é a área do coletor I é a relação entre a radiação solar incidente e a absorvida por unidade de superfície do coletor (W/m^2), a é o coeficiente de transmitância solar das coberturas transparentes, b é o coeficiente de absorção da lâmina do coletor, U Coeficiente de perda de energia do coletor, T_i é a temperatura de entrada do fluido e T_a é a temperatura ambiente. [23]

Visto que o Brasil possui um território vasto que avança tanto em zonas equatoriais, quanto em zonas subtropicais, cada região tem uma devida configuração para obter uma melhor eficiência de incidência solar. Os coletores solares devem estar sempre voltados para o norte em todas as instalações, pois quando é inverno, época de maior necessidade de água quente, o sol cruza o céu inclinado ao norte. Assim, montados na direção do sol, os coletores aproveitam mais a irradiação solar e melhoram sua eficiência na época de frio. Quando não se tem uma condição ideal de posicioná-lo para o norte, compensam-se as perdas instalando um número maior de placas pra leste ou oeste. . Na Tabela 7 são apresentadas as devidas inclinações para cada região, de forma a obter uma maior aproveitamento da incidência solar de cada localidade.

Uma das limitações do uso da energia solar para o aquecimento de água para banho é a defasagem entre a disponibilidade da energia e a hora do consumo. Devido a esse fato, torna-se necessária a utilização de um reservatório de armazenamento isolado tecnicamente, o que diminui a eficiência do sistema.

Tabela 7 – Inclinação dos painéis coletores em cada região

| Região | Inclinação [graus] | Região | Inclinação [graus] |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Acre | 15 | Paraíba | 15 |
| Alagoas | 15 | Paraná | 25 |
| Amapá | 15 | Pernambuco | 15 |
| Amazonas | 15 | Piauí | 15 |
| Bahia | 15 | Rio de Janeiro | 22 |
| Ceará | 15 | Rio Grande do Norte | 15 |
| Espírito Santo | 20 | Rio Grande do Sul | 40 |
| Goiás | 16 | Rondônia | 15 |
| Maranhão | 15 | Rorãima | 15 |
| Mato Grosso | 15 | Santa Catarina | 32 |
| Mato Grosso do Sul | 20 | São Paulo | 23 |
| Minas Gerais | 19 | Sergipe | 15 |
| Pará | 15 | Tocantins | 15 |

Fonte: [24] catálogo minhacasolar, 2014

Tabela 8 – Relação típica de quantidade de painéis coletores por volume de acumulação

| Volume [L] | Nº de coletores |
|------------|-----------------|
| 200 | 2 |
| 300 | 3 |
| 400 | 4 |
| 500 | 5 |
| 600 | 6 |
| 800 | 8 |
| 1000 | 10 |

Fonte: catálogo SolarSol, 2014

A unidade de acumulação, geralmente, segue os padrões da Associação Pró-Energia Solar do Brasil (AESBRA) e, em princípio, tem paredes duplas isolando, rigorosamente, a unidade contra perdas de temperatura. Os acumuladores devem ser imunes à corrosão para proporcionarem durabilidade.

O equipamento é sempre dimensionado pela população do imóvel, ou seja, pela quantidade de moradores, devendo considerar também a quantidade de banheiros. Observação deve ser feita quando o cliente quer água quente na pia da cozinha. Se esta água não for usada com critério, poderá faltar água para o banho da noite.

Fazendo o dimensionamento para família de quatro pessoas e adicionando o uso de água quente à cozinha, obtem-se um total de 480 litros. Como não se fabrica tanques com medidas fracionadas, ou seja, só se fabrica em múltiplos de 100 litros, neste caso o tanque seria de 500 litros. E a quantidade de coletores solar (placas) a ser usada no sistema está diretamente ligada à capacidade do tanque térmico, como pode-se observar na Tabela 8, cada coletor aquece 100 litros de água, então, para um tanque de 400 litros serão necessários 4 coletores, para 500 litros serão 5 coletores e assim por diante.

4.3.1 Fontes de Energia Auxiliar

Sistemas de água com energia solar necessitam de uma fonte de energia auxiliar para suprir a demanda de energia em períodos prolongados de baixa ou nenhuma radiação solar. Esta fonte de energia pode ser elétrica ou a gás. o aquecimento pode ser localizado internamente ao reservatório ou externamente.

4.4 Usos Alternativos dos Sistemas de Aquecimento

Existem, ainda, metodologias utilizadas nas instalações que podem proporcionar um aproveitamento das perdas térmicas que ocorrem na vazão anterior ao ponto de uso e no escoamento da água já utilizada. Como o pré-aquecimento da água para o banho através de uma serpentina com a água descartada pelo ralo, envolvendo a tubulação de água fria. Podemos citar o aproveitamento para o aquecimento do piso, ou ainda o aproveitamentos de fontes de calor utilizadas em outras atividades, como lareiras e fornos. Porém, estas metodologias não serão abordadas neste trabalho.

5 CERTIFICAÇÃO

5.1 Certificação LEED

A certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações, utilizado em 143 países, e possui o intuito de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações.

Além de aumentar o nível tecnológico das edificações em todos os aspectos, a certificação força um novo tipo de concorrência. A concorrência por quem adquire mais pontos. Criando uma tendência contrária à busca incessante pelo menor custo.

Edifícios com certificados se beneficiam com um retorno econômico proporcionado por uma diminuição dos custos operacionais e riscos regulatórios, a valorização do imóvel para revenda ou arrendamento e o aumento da velocidade de ocupação e modernização e menor obsolescência da edificação.

Outros aspectos positivos são a melhora na segurança e priorização da saúde dos trabalhadores e ocupantes, inclusão social e aumento do senso de comunidade, capacitação profissional e a conscientização de trabalhadores e usuários. Devido à melhora da qualidade das instalações, também evidenciam-se o aumento da produtividade de um funcionário ou a melhora na recuperação de pacientes (em hospitais), desempenho de alunos (em escolas) e no ímpeto de compra de consumidores (em comércios). Fornecedores tendem a apresentar maiores responsabilidades socioambientais e pode-se salientar também o incentivo a políticas públicas de fomento a construção sustentável.

Muitos itens a serem observados pela certificação dizem respeito aos aspectos ambientais, como o uso racional e redução da extração dos recursos naturais, redução do consumo de água e energia elétrica, mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental.

5.1.1 Requisitos

A certificação internacional LEED possui 7 dimensões a serem avaliadas nas edificações. Todas elas possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos, recomendações que, quando atendidas, garantem pontos à edificação.

A emissão do selo LEED é realizada pela Green Building Council (GBC). As atividades, a nível global, se iniciaram em 2000. No Brasil, em 2007. Assim como a unidade em nosso país, existem GBC em outras 21 nações, que são gerenciadas pela World Green Building Council, central da GBC.

A World Green Building Council regula e incentiva a criação de conselhos nacionais para o debate e promoção de tecnologias, iniciativas e operações sustentáveis na construção civil em todo o planeta.

Em 2004 foi solicitado o primeiro selo LEED do Brasil e da América Latina; e hoje o Brasil conta com cerca de 65 prédios certificados e 525 em processo de certificação.

As edificações interessadas em conquistar o selo LEED devem entrar com pedido de certificação na plataforma LEED Online, referente ao seu tipo de empreendimento. No Brasil, existem oito selos diferentes:

- LEED NC, para novas construções ou grandes projetos de renovação;
- LEED ND, para projetos de desenvolvimento de bairro;
- LEED CS, para projetos na envoltória e parte central do edifício;
- LEED Retail NC e CI, para lojas de varejo;
- LEED Healthcare, para unidades de saúde;
- LEED EB_OM, para projetos de manutenção de edifícios já existentes;

- LEED Schools, para escolas e
- LEED CI, para projetos de interior ou edifícios comerciais.

Em seguida, a edificação cadastrada passa pelo processo de avaliação do GBC que, no Brasil, leva em conta sete quesitos:

- uso racional da água;
- eficiência energética;
- redução, reutilização e reciclagem de materiais e recursos;
- qualidade dos ambientes internos da edificação;
- espaço sustentável;
- inovação e tecnologia e
- atendimento a necessidades locais, definidas pelos próprios profissionais da GBC, que variam de empreendimento para empreendimento.

Cada quesito tem um peso diferente na avaliação. A categoria eficiência energética, por exemplo, vale 37 pontos, enquanto a categoria Qualidade dos Ambientes Internos vale 17. O empreendimento avaliado pode conseguir até 110 pontos, sendo que, para receber a certificação LEED, é preciso ter pontuação superior a 40. Quanto maior a pontuação da edificação, melhor será o nível do selo conquistado. Existem quatro tipos:

- Selo LEED, conferido a empreendimentos que tiveram mais de 40 pontos;
- Selo LEED Silver, para edificações com mais de 50 pontos;
- Selo LEED Gold, para empreendimentos com pontuação superior a 60 e
- Selo LEED Platinum, para edificações que conquistaram mais de 80 pontos.

Deve-se, no entanto, evitar atitude como de alguns empreendimentos brasileiros que, com o objetivo de obter condições de concorrer internacionalmente, vêm adquirindo, nos últimos anos, o certificado norte-americano do Green Building Council, LEED - Leadership in Energy and Environmental Design, sem verificar os pressupostos e critérios - relacionados à legislação, clima e fontes de energia, por exemplo - que nem sempre condizem com o nosso país.

5.2 Certificação AQUA

A Alta Qualidade Ambiental (AQUA) é um conceito holístico e, por esta razão, fundamenta-se na análise do local do empreendimento e de seu programa de necessidades. E, nesta globalidade, o AQUA busca proporcionar condições ideais de conforto e saúde para os usuários, respeitando o meio ambiente e a sociedade, atendendo integralmente a legislação e obtendo viabilidade econômica por meio da análise do ciclo de vida dos empreendimentos.

Desta forma, promover e reconhecer a alta qualidade ambiental do ambiente construído é o grande objetivo da certificação processo AQUA. Diferente do LEED, o AQUA não avalia as edificações.

Sabe-se que alcançar a Alta Qualidade Ambiental requer esforços do empreendedor e de suas equipes para obter o melhor nível possível de desempenho para o empreendimento e, ao mesmo tempo, associá-lo a benefícios operacionais, ambientais, sociais e econômicos.

Hoje, o processo AQUA ganha maior visibilidade, representando no Brasil a rede internacional de certificação HQE, no âmbito do acordo de cooperação da Fundação Vanzolini com o Cerway.

A Alta Qualidade Ambiental dos empreendimentos submetidos ao processo AQUA de certificação pauta-se nas catorze categorias de preocupação ambiental definidas em 1992 pela Associação HQE na França. São elas:

- Relação do edifício com o seu entorno;
- Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;
- Canteiro de obras de baixo impacto ambiental;
- Gestão da energia;
- Gestão da água;
- Gestão de resíduos de uso e operação do edifício;
- Permanência do desempenho ambiental;
- Conforto higrotérmico;
- Conforto acústico;
- Conforto visual;
- Conforto olfativo;
- Qualidade sanitária dos ambientes;
- Qualidade sanitária do ar e
- Qualidade sanitária da água.

Para atender aos requisitos da certificação AQUA, as categorias devem ser atendidas em nível, Bom, Superior ou Excelente. Deve-se atingir o nível Excelente em três categorias, Superior em quatro e Bom em sete para que o certificado seja emitido.

Os principais documentos para solicitação do certificado AQUA são caracterização do empreendimento, finalidade, área, programa funcional, análise do local, definição e comprometimento do empreendedor com um perfil da qualidade ambiental, descrição do sistema de gestão do empreendimento e autoavaliação da qualidade ambiental, definidos em 14 categorias de desempenho.

Um empreendimento sustentável vai além das soluções de consumo racional de recursos, eficiência energética, gestão de resíduos e baixa emissão de gases de efeito estufa. O sustentável também aborda a qualidade de vida dos usuários e a permanência dos desempenhos ao longo do tempo, considerando os impactos urbanos associados e as questões econômicas operacionais e imobiliárias envolvidas.

O empreendimento sustentável parte da boa arquitetura, que promove o convívio harmonioso entre as pessoas em um ambiente saudável, confortável e de baixo impacto ambiental.

A sustentabilidade na construção civil pode ser vista como consequência do desenvolvimento de empreendimentos mais sustentáveis, uma vez que estimulam o planejamento do desenvolvimento dos projetos e obras, a formalização e o aperfeiçoamento técnico de materiais e sistemas construtivos, a inovação tecnológica, a racionalização do processo produtivo, a preservação de recursos naturais, a responsabilidade social e, especialmente, a consolidação de um ambiente construído mais saudável e confortável.

Devido à relevância da construção civil no desenvolvimento sustentável e na sobrevivência humana no planeta, o processo AQUA tem significativo potencial de promover soluções para estas questões.

O processo de certificação ambiental - seja de uma casa ou de edifício - exige um conjunto de documentos, que vão de projetos e memoriais até fotos da obra em andamento, além de auditoria em obra. A certificação ambiental de projetos de arquitetura representa o reconhecimento, por exemplo, de sistemas construtivos de baixo impacto ambiental, economia de recursos naturais (água e energia), baixa manutenção e conforto e saúde dos usuários.

Um projeto com certificação também pode demorar mais para sair do papel - estima-se que demore, no máximo, 30% mais em relação a um projeto convencional. Isso porque é preciso haver uma maior retenção na concepção e na execução dos projetos

5.3 Selos de Eficiência Energética em Equipamentos

Os produtos etiquetados que apresentam o melhor desempenho energético em sua categoria poderão também receber um selo de eficiência energética. Isto significa que estes produtos foram premiados como os melhores em termos de consumo específico de energia e faz a distinção dos mesmos para o consumidor. Para os equipamentos elétricos domésticos etiquetados é concedido anualmente o Selo Procel. Para aparelhos domésticos a gás é concedido o Selo Conpet. O selo propriamente dito pode ser observado na Figura 11

5.3.1 Selo Procel de Eficiência Energética

O Selo Procel de Economia de Energia ou simplesmente Selo Procel, instituído por meio de Decreto Presidencial de 08 de dezembro de 1993, é um produto desenvolvido e concedido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, que tem nas Centrais Elétricas Brasileiras S.A - Eletrobrás - sua secretaria executiva.

O Selo Procel tem por objetivo orientar o consumidor no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Também objetiva estimular a fabricação e a comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a redução de impactos ambientais.

5.3.2 Selo Conpet de Eficiência Energética

O Selo Conpet tem como objetivo incentivar fabricantes e importadores de equipamentos domésticos de consumo de gás, o desafio de comercialização de produtos cada vez mais eficientes. O selo, de fácil visualização nos equipamentos, auxilia o consumidor na escolha, informando o eficiência energética do produto.

O Selo Conpet de eficiência energética (ou simplesmente Selo Conpet), em vigor desde agosto de 2005, é destinado aos equipamentos domésticos de consumo de gás, que alcançaram os menores índices de consumo de combustível.

Figura 11 – Selos de certificação do programa Conpet, esquerda, e do Procel, direita



Fonte: [13] Selos de Eficiência Energética.

6 ESTUDO DE CASO

Para demonstrar a escolha das melhores alternativas, realizou-se um estudo de caso com uma residência de médio porte, com 52kW de carga instalada e 173m². Cenário em que o investimento em eficiência energética vem apresentando bons resultados.

O projeto da residência dispõe de uma suíte, 2 quartos de solteiro, banheiro social, sala de estar, lavabo, cozinha e jantar integrados, área para churrasco, lavanderia e garagem para 2 carros. O projeto inicialmente proposto, prevê uma edificação com os métodos construtivos mais comumente utilizados em residências deste padrão. Piso frio, paredes de 20cm com tijolos furados, laje com vigota e tavela, telhado com telhas de barro e aberturas alumínio anodizado.

O projeto executivo da construção pode ser visualizado no Apêndice A, nas pranchas 03/06, 04/06, 05/06 e 06/06.

6.1 Análise da Incidência Solar

A casa possui uma orientação solar favorável ao uso de painéis solares. Com incidência solar no estar, garagem e suíte no período da manhã e piscina, área de churrasco, cozinha e dormitórios no período da tarde. Os sistemas de aquecimento solar permitirá um aproveitamento da energia proveniente do sol durante todo o período de insolação, se instalado na água do telhado de frente norte.

Este nível de incidência solar também é de grande valia para a iluminação natural, que permite um alto nível de iluminamento durante o dia, no entanto, como veremos adiante, carrega o sistema de climatização, intensificando a importância da capacidade térmica dos métodos construtivos.

6.2 Análise do Sistema de Iluminação

Fixou-se 3 luminárias diferentes, para adequar-se à necessidade de cada ambiente, sendo a de tipo 1, uma luminária simples com soquete do tipo E27, a de tipo 2 uma luminária para lâmpadas tubulares do tipo t8 de 600mm de comprimento, e a de tipo 3 uma luminária do tipo spot, para lâmpadas do tipo AR111.

Foram escolhidas lâmpadas de tecnologias construtivas diferentes de um mesmo fabricante para fazer um comparativo da melhor opção para cada tipo de luminária. Escolheu-se as lâmpadas de acordo com os dados da Tabela 9. Nesta tabela, as variáveis são, respectivamente, potência, fluxo luminoso, eficiência luminosa, IRC, vida útil, custo, trocas por uma lâmpada de LED, vida útil pelo custo e eficiência pelo custo.

As informações fornecidas pelo fabricante e um comparativo com o preço médio que cada lâmpada, nos permite escolher qual o melhor custo em função da vida útil e eficiência das lâmpadas. Para o tipo 1 a melhor opção é a fluorescente compacta, pois a de LED apesar de apresentar melhor desempenho, ainda possui um custo muito elevado, e seria necessário mais de 8000 horas de utilização para o retorno econômico devido à eficiência. O mesmo ocorre com as luminária do tipo 3. A luminária do tipo 2 apresentou uma equivalência da ordem de 4000h de operação para equiparar o custo de cada lâmpada.

Considerou-se lâmpadas de IRC e iluminância equivalentes e os custos foram estimados com base no preço das lâmpadas e do kWh da região de Porto Alegre, R\$043,00 no mês de Novembro de 2014.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados dos cálculos luminotécnicos para cada ambiente, utilizando lâmpadas incandescentes de 100W para luminárias do tipo 1, halógenas de 50W para as luminárias do tipo 2 e fluorescentes tubulares de 18W para as luminárias do tipo 3. Respectivamente a 6^a, 8^a e 10^a lâmpadas, da Tabela 9.

Na Tabela 11, são mostrados os resultados dos cálculos utilizando as lâmpadas mais comercializadas pelos consumidores leigos em 2014, vistos na Tabela 9 escolhendo a 5^a, 7^a e 10^a lâmpadas.

Tabela 9 – Comparação entre Lâmpadas de um Mesmo Fabricante

| Descrição da lâmpada | P(W) | Phi(Lm) | Efic(lm/W) | IR | VidaUtil (h) | \$(R\$) | troc | vida/\$ | efic/\$ |
|--|-------|---------|------------|------|--------------|---------|-------|---------|---------|
| LED Bulbo - LEDBulb 8.5-60W E27 3000K 110-130V A55 | 8,5 | 806 | 95 | 830 | 15000 | 30 | 1,00 | 30 | 3,2 |
| Fluorescente Compacta - Genie Plus 14W WW E27 110-127V 1BC | 14,0 | 850 | 61 | 827 | 8000 | 11 | 1,88 | 21 | 5,5 |
| Incandescente Bulbo - STD 60W E27 127V A55 CL 1CT | 60,0 | 864 | 14 | 1027 | 1000 | 7 | 15,00 | 105 | 2,1 |
| LED Bulbo - LEDBulb 14-100W E27 3000K 110-130V A67 | 14,0 | 1400 | 100 | 830 | 15000 | 40 | 1,00 | 40 | 2,5 |
| Fluorescente Compacta - Genie Plus 23W WW E27 110-127V 1BC | 23,0 | 1430 | 62 | 827 | 8000 | 12 | 1,88 | 23 | 5,2 |
| Incandescente Bulbo - STD 100W E27 127V A55 CL 1CT | 100,0 | 1340 | 13 | 1027 | 1000 | 9 | 15,00 | 135 | 1,5 |
| LED AR111 - MASTER LEDspotLV AR111 10-50W 2700K 24D | 10,0 | 550 | 55 | 827 | 45000 | 85 | 1,00 | 85 | 0,65 |
| Halogena AR111 - Aluline 111 50W G53 12V 24D 1CT | 50,0 | 530 | 11 | 1027 | 3000 | 15 | 15,00 | 225 | 0,71 |
| MASTER LEDtube STD 600mm 10W840 T8 I | 10,0 | 2100,00 | 210 | 840 | 40000 | 70 | 1,00 | 70 | 3,0 |
| TL-D 18W/840 1SL | 18,0 | 1350 | 75 | 840 | 12000 | 12 | 3,33 | 40 | 6,3 |

Fonte: Catálogo Philips, 2014

Tabela 10 – Cálculo Luminotécnico Utilizando Lâmpadas Convencionais

| Local | C (m) | L (m) | H (m) | S (m²) | hTrab(m) | E (lx) | E_lum(lx) | r | d | tipo | k | u | phi_t | IR | phi_lamp | n | Phi_final | Pot (W) |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|----------|--------|-----------|-----|------|------|-------|------|-------|------|----------|---|-----------|---------|
| suite principal | 5,30 | 3,55 | 2,70 | 18,8 | 0,8 | 150 | 2822 | 751 | 1,25 | 1 | 1,119 | 0,54 | 4181 | 1027 | 1340 | 3 | 4020 | 300,0 |
| dormitório 1 | 3,80 | 2,50 | 2,70 | 9,5 | 0,8 | 150 | 1425 | 751 | 1,25 | 1 | 0,794 | 0,43 | 2651 | 1027 | 1340 | 2 | 2680 | 200,0 |
| dormitório 2 | 3,80 | 2,70 | 2,70 | 10,3 | 0,8 | 150 | 1539 | 751 | 1,25 | 1 | 0,831 | 0,49 | 2513 | 1027 | 1340 | 2 | 2680 | 200,0 |
| lavabo | 1,40 | 1,35 | 2,70 | 1,9 | 0,8 | 200 | 378 | 751 | 1,25 | 1 | 0,362 | 0,43 | 703 | 1027 | 1340 | 1 | 1340 | 100,0 |
| banho comum | 1,50 | 2,70 | 2,70 | 4,1 | 0,8 | 200 | 810 | 751 | 1,25 | 1 | 0,508 | 0,43 | 1507 | 1027 | 1340 | 2 | 2680 | 200,0 |
| banheira | 2,10 | 1,27 | 2,70 | 2,7 | 0,8 | 200 | 533 | 751 | 1,25 | 1 | 0,417 | 0,43 | 992 | 1027 | 1340 | 1 | 1340 | 100,0 |
| banho suite | 1,60 | 2,70 | 2,70 | 4,3 | 0,8 | 200 | 864 | 751 | 1,25 | 1 | 0,529 | 0,43 | 1607 | 1027 | 1340 | 2 | 2680 | 200,0 |
| hall | 3,35 | 2,15 | 2,70 | 7,2 | 0,8 | 100 | 720 | 751 | 1,25 | 1 | 0,689 | 0,43 | 1340 | 1027 | 1340 | 1 | 1340 | 100,0 |
| estar | 4,70 | 3,96 | 2,70 | 18,6 | 0,6 | 150 | 2792 | 751 | 1,25 | 1 | 1,023 | 0,54 | 4136 | 1027 | 1340 | 4 | 5360 | 400,0 |
| estar spots | 3,60 | 2,96 | 2,70 | 10,7 | 0,6 | 100 | 1066 | 751 | 1,25 | 2 | 0,774 | 0,49 | 1740 | 1027 | 530 | 4 | 2120 | 200,0 |
| cozinha | 4,80 | 2,50 | 2,70 | 12,0 | 0,8 | 200 | 2400 | 751 | 1,25 | 3 | 0,865 | 0,34 | 5647 | 840 | 1350 | 5 | 6750 | 90,0 |
| cozinha spots | 2,80 | 1,00 | 2,70 | 2,8 | 0,8 | 100 | 280 | 751 | 1,25 | 2 | 0,388 | 0,28 | 800 | 1027 | 530 | 2 | 1060 | 100,0 |
| jantar spots | 1,00 | 1,40 | 2,70 | 1,4 | 1,0 | 200 | 280 | 751 | 1,25 | 2 | 0,343 | 0,43 | 521 | 1027 | 530 | 1 | 530 | 50,0 |
| churrasco | 6,22 | 3,25 | 3,00 | 20,2 | 0,8 | 200 | 4043 | 751 | 1,25 | 3 | 0,970 | 0,38 | 8512 | 840 | 1350 | 7 | 9450 | 126,0 |
| cozinha churrasco | 3,35 | 1,85 | 3,00 | 6,2 | 0,8 | 200 | 1240 | 751 | 1,25 | 3 | 0,542 | 0,28 | 3541 | 840 | 1350 | 3 | 4050 | 54,0 |
| churrasco spots | 2,50 | 1,00 | 2,50 | 2,5 | 1,0 | 200 | 500 | 751 | 1,25 | 2 | 0,476 | 0,28 | 1429 | 1027 | 530 | 3 | 1590 | 150,0 |
| lavanderia | 2,65 | 1,70 | 3,00 | 4,5 | 0,8 | 200 | 901 | 751 | 1,25 | 1 | 0,471 | 0,43 | 1676 | 1027 | 1340 | 2 | 2680 | 200,0 |
| entrada | 2,53 | 1,40 | 3,00 | 3,5 | 0,8 | 100 | 354 | 751 | 1,25 | 1 | 0,410 | 0,43 | 659 | 1027 | 1340 | 1 | 1340 | 100,0 |
| garagem | 6,30 | 5,00 | 3,00 | 31,5 | 0,8 | 200 | 6300 | 751 | 1,25 | 3 | 1,267 | 0,46 | 10957 | 840 | 1350 | 9 | 12150 | 162,0 |
| 3032,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Pode-se perceber que, comparativamente, obtém-se uma redução de 2020W de carga instalada com pouco investimento, apenas trocando as lâmpadas E27 das luminárias do tipo 1.

As variáveis das Tabelas 10, 11 e 12 são, respectivamente, comprimento, largura, altura, área, altura de trabalho, fluxo luminoso desejado, fluxo luminoso necessário para a área, refletância (teto, parede e piso) fator de depreciação, tipo de luminária, fator de utilização, fator de aproveitamento, fluxo luminoso necessário, IRC, fluxo luminoso de 1 lampada, numero de lâmpadas necessárias fluxo luminoso final e potencia total do conjunto.

Se a escolha fosse por trocar todas as lâmpadas para LEDs, mantendo o mesmo índice de IRC e iluminância, a diferença seria ainda maior, 2498W a menos de carga instalada, porém o tempo de retorno do investimento aumenta consideravelmente. Estes resultados podem ser observados na Tabela 12, em que são apresentados os resultados dos cálculos luminotécnicos para cada ambiente, utilizando lâmpadas de LED de 14W para luminárias do tipo 1, AR111 de LED de 10W para as luminárias do tipo 2 e LEDs tubulares de 10W para as luminárias do tipo 3. Respectivamente a 4ª, 7ª e 9ª lâmpadas, da Tabela 9.

Nota-se que, além de cozinha, área de churrasco e garagem, os ambientes mantiveram o mesmo numero de luminárias, comparando entre a escolha de melhor custo benefício e o uso integral de LEDs.

6.3 Análise do Sistema de Aquecimento de Água

De acordo com a Organização das Nações Unidas, cada pessoa necessita de 3,3m³/pessoa/mês (cerca de 110 litros de água por dia para atender as necessidades de consumo e higiene). No entanto, no

Tabela 11 – Cálculo Luminotécnico Utilizando Lâmpadas com o Melhor Custo Benefício

| Local | C (m) | L (m) | H (m) | S (m²) | hTrab(m) | E (lx) | E_Lum(lx) | r | d | tipo | k | u | phi_t | IR | phi_lamp | n | Phi_final | Pot (W) |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|----------|--------|-----------|-----|------|------|-------|------|-------|-----|----------|---|-----------|--------------|
| suite principal | 5,30 | 3,55 | 2,70 | 18,8 | 0,8 | 150 | 2822 | 751 | 1,25 | 1 | 1,119 | 0,54 | 4181 | 827 | 1430 | 3 | 4290 | 69,0 |
| dormitório 1 | 3,80 | 2,50 | 2,70 | 9,5 | 0,8 | 150 | 1425 | 751 | 1,25 | 1 | 0,794 | 0,43 | 2651 | 827 | 1430 | 2 | 2860 | 46,0 |
| dormitório 2 | 3,80 | 2,70 | 2,70 | 10,3 | 0,8 | 150 | 1539 | 751 | 1,25 | 1 | 0,831 | 0,49 | 2513 | 827 | 1430 | 2 | 2860 | 46,0 |
| lavabo | 1,40 | 1,35 | 2,70 | 1,9 | 0,8 | 200 | 378 | 751 | 1,25 | 1 | 0,362 | 0,43 | 703 | 827 | 1430 | 1 | 1430 | 23,0 |
| banho comum | 1,50 | 2,70 | 2,70 | 4,1 | 0,8 | 200 | 810 | 751 | 1,25 | 1 | 0,508 | 0,43 | 1507 | 827 | 1430 | 2 | 2860 | 46,0 |
| banheira | 2,10 | 1,27 | 2,70 | 2,7 | 0,8 | 200 | 533 | 751 | 1,25 | 1 | 0,417 | 0,43 | 992 | 827 | 1430 | 1 | 1430 | 23,0 |
| banho suite | 1,60 | 2,70 | 2,70 | 4,3 | 0,8 | 200 | 864 | 751 | 1,25 | 1 | 0,529 | 0,43 | 1607 | 827 | 1430 | 2 | 2860 | 46,0 |
| hall | 3,35 | 2,15 | 2,70 | 7,2 | 0,8 | 100 | 720 | 751 | 1,25 | 1 | 0,689 | 0,43 | 1340 | 827 | 1430 | 1 | 1430 | 23,0 |
| estar | 4,70 | 3,96 | 2,70 | 18,6 | 0,6 | 150 | 2792 | 751 | 1,25 | 1 | 1,023 | 0,54 | 4136 | 827 | 1430 | 3 | 4290 | 69,0 |
| estar spots | 3,60 | 2,96 | 2,70 | 10,7 | 0,6 | 100 | 1066 | 751 | 1,25 | 2 | 0,774 | 0,49 | 1740 | 827 | 550 | 4 | 2200 | 40,0 |
| cozinha | 4,40 | 2,50 | 2,70 | 11,0 | 0,8 | 200 | 2200 | 751 | 1,25 | 3 | 0,839 | 0,54 | 3259 | 840 | 1350 | 3 | 4050 | 54,0 |
| cozinha spots | 2,80 | 1,00 | 2,70 | 2,8 | 0,8 | 100 | 280 | 751 | 1,25 | 2 | 0,388 | 0,28 | 800 | 827 | 550 | 2 | 1100 | 20,0 |
| jantar spots | 1,00 | 1,40 | 2,70 | 1,4 | 1,0 | 200 | 280 | 751 | 1,25 | 2 | 0,343 | 0,43 | 521 | 827 | 550 | 1 | 550 | 10,0 |
| churrasco | 6,22 | 3,25 | 3,00 | 20,2 | 0,8 | 200 | 4043 | 751 | 1,25 | 3 | 0,970 | 0,38 | 8512 | 840 | 1350 | 7 | 9450 | 126,0 |
| cozinha churrasco | 3,35 | 1,85 | 3,00 | 6,2 | 0,8 | 200 | 1240 | 751 | 1,25 | 3 | 0,542 | 0,28 | 3541 | 840 | 1350 | 3 | 4050 | 54,0 |
| churrasco spots | 2,50 | 1,00 | 2,50 | 2,5 | 1,0 | 200 | 500 | 751 | 1,25 | 2 | 0,476 | 0,28 | 1429 | 827 | 550 | 3 | 1650 | 30,0 |
| lavanderia | 2,65 | 1,70 | 3,00 | 4,5 | 0,8 | 200 | 901 | 751 | 1,25 | 1 | 0,471 | 0,43 | 1676 | 827 | 1430 | 2 | 2860 | 46,0 |
| entrada | 2,53 | 1,40 | 3,00 | 3,5 | 0,8 | 100 | 354 | 751 | 1,25 | 1 | 0,410 | 0,43 | 659 | 827 | 1430 | 1 | 1430 | 23,0 |
| garagem | 6,20 | 5,00 | 3,00 | 31,0 | 0,8 | 200 | 6200 | 751 | 1,25 | 3 | 1,258 | 0,46 | 10783 | 840 | 1350 | 8 | 10800 | 144,0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 938,0 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 12 – Cálculo Luminotécnico Utilizando Apenas Lâmpadas LED

| Local | C (m) | L (m) | H (m) | S (m²) | hTrab(m) | E (lx) | E_Lum(lx) | r | d | tipo | k | u | phi_t | IR | phi_lamp | n | Phi_final | Pot (W) |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|----------|--------|-----------|-----|------|------|-------|------|-------|-----|----------|---|-----------|--------------|
| suite principal | 5,30 | 3,55 | 2,70 | 18,8 | 0,8 | 150 | 2822 | 751 | 1,25 | 1 | 1,119 | 0,54 | 4181 | 830 | 1400 | 3 | 4200 | 42,0 |
| dormitório 1 | 3,80 | 2,50 | 2,70 | 9,5 | 0,8 | 150 | 1425 | 751 | 1,25 | 1 | 0,794 | 0,43 | 2651 | 830 | 1400 | 2 | 2800 | 28,0 |
| dormitório 2 | 3,80 | 2,70 | 2,70 | 10,3 | 0,8 | 150 | 1539 | 751 | 1,25 | 1 | 0,831 | 0,49 | 2513 | 830 | 1400 | 2 | 2800 | 28,0 |
| lavabo | 1,40 | 1,35 | 2,70 | 1,9 | 0,8 | 200 | 378 | 751 | 1,25 | 1 | 0,362 | 0,43 | 703 | 830 | 1400 | 1 | 1400 | 14,0 |
| banho comum | 1,50 | 2,70 | 2,70 | 4,1 | 0,8 | 200 | 810 | 751 | 1,25 | 1 | 0,508 | 0,43 | 1507 | 830 | 1400 | 2 | 2800 | 28,0 |
| banheira | 2,10 | 1,27 | 2,70 | 2,7 | 0,8 | 200 | 533 | 751 | 1,25 | 1 | 0,417 | 0,43 | 992 | 830 | 1400 | 1 | 1400 | 14,0 |
| banho suite | 1,60 | 2,70 | 2,70 | 4,3 | 0,8 | 200 | 864 | 751 | 1,25 | 1 | 0,529 | 0,43 | 1607 | 830 | 1400 | 2 | 2800 | 28,0 |
| hall | 3,35 | 2,15 | 2,70 | 7,2 | 0,8 | 100 | 720 | 751 | 1,25 | 1 | 0,689 | 0,43 | 1340 | 830 | 1400 | 1 | 1400 | 14,0 |
| estar | 4,70 | 3,96 | 2,70 | 18,6 | 0,6 | 150 | 2792 | 751 | 1,25 | 1 | 1,023 | 0,54 | 4136 | 830 | 1400 | 3 | 4200 | 42,0 |
| estar spots | 3,60 | 2,96 | 2,70 | 10,7 | 0,6 | 100 | 1066 | 751 | 1,25 | 2 | 0,774 | 0,49 | 1740 | 827 | 550 | 4 | 2200 | 40,0 |
| cozinha | 4,80 | 2,50 | 2,70 | 12,0 | 0,8 | 200 | 2400 | 751 | 1,25 | 3 | 0,865 | 0,34 | 5647 | 840 | 2100 | 3 | 6300 | 30,0 |
| cozinha spots | 2,80 | 1,00 | 2,70 | 2,8 | 0,8 | 100 | 280 | 751 | 1,25 | 2 | 0,388 | 0,28 | 800 | 827 | 550 | 2 | 1100 | 20,0 |
| jantar spots | 1,00 | 1,40 | 2,70 | 1,4 | 1,0 | 200 | 280 | 751 | 1,25 | 2 | 0,343 | 0,43 | 521 | 827 | 550 | 1 | 550 | 10,0 |
| churrasco | 6,22 | 3,25 | 3,00 | 20,2 | 0,8 | 200 | 4043 | 751 | 1,25 | 3 | 0,970 | 0,38 | 8512 | 840 | 2100 | 5 | 10500 | 50,0 |
| cozinha churrasco | 3,35 | 1,85 | 3,00 | 6,2 | 0,8 | 200 | 1240 | 751 | 1,25 | 3 | 0,542 | 0,28 | 3541 | 840 | 2100 | 2 | 4200 | 20,0 |
| churrasco spots | 2,50 | 1,00 | 2,50 | 2,5 | 1,0 | 200 | 500 | 751 | 1,25 | 2 | 0,476 | 0,28 | 1429 | 827 | 550 | 3 | 1650 | 30,0 |
| lavanderia | 2,65 | 1,70 | 3,00 | 4,5 | 0,8 | 200 | 901 | 751 | 1,25 | 1 | 0,471 | 0,43 | 1676 | 830 | 1400 | 2 | 2800 | 28,0 |
| entrada | 2,53 | 1,40 | 3,00 | 3,5 | 0,8 | 100 | 354 | 751 | 1,25 | 1 | 0,410 | 0,43 | 659 | 830 | 1400 | 1 | 1400 | 14,0 |
| garagem | 6,30 | 5,00 | 3,00 | 31,5 | 0,8 | 200 | 6300 | 751 | 1,25 | 3 | 1,267 | 0,46 | 10957 | 840 | 2100 | 6 | 12600 | 60,0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 540,0 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros por dia.

Desconsiderando a água utilizada para o vaso sanitário e pia, pode-se dizer que o consumo para água aquecida é de 135 litros por dia. Para a comparação neste trabalho simplificou-se este consumo como um banho de ducha com duração variando de 5 a 40 minutos, como referencia sabe-se que uma ducha de 15 minutos com o registro meio aberto que consome 120 litros de água. Com estes dados fez-se uma estimativa do consumo energético e do custo estimado para as alternativas de aquecimento de água abordadas neste trabalho. Os resultados podem ser observados nas Tabelas 13, 14, 15 e 16

Na Tabela 13 e 15, para o cálculo dos custos utilizou-se o valor da tarifa de energia elétrica aplicado para as residências da região de Porto Alegre no mês de novembro de 2014, R\$0,43 por kWh consumido. Nos casos de uso de gás, nas Tabelas 14 e 16, utilizou-se o valor típico para o gás de cozinha de 13kg, fixado em R50,00 em Porto Alegre, o que infere um custo de R\$3,85 por kg de gas. Utilizando para os cálculos uma vazão media de 8L/min com um consumo de 0,94kg de gás por hora. Os dados técnicos do aquecedor a gás podem ser visualizados na Tabela 17, aquecedor a gás de baixo custo da Bosch, GWH 160 PLUS B ND, que atende aos requisitos de vazão com equivalência aos demais aquecedores.

Também fixou-se as duchas em 8 litros por minuto para todos as simulações, bem como a energia necessária para o auxílio nos casos de banhos mais longos para o sistema solar. No caso do auxílio elétrico, apesar da maioria dos sistemas apresentarem aquecedores de 3000W ou 3200W, foi considerados o uso de

Tabela 13 – Custo Mensal com Aquecedor Elétrico

| Chuveiro elétrico | | | | | | | |
|----------------------|--------------|----------------------|--------------------|-------------|----------------|----------------|--------|
| n pessoas | 5 | Custo do kWh | | 0,43 | vazão (L/min) | 8 | 7200 W |
| tempo de banho (min) | agua/dia (L) | energia/pessoa(kW/h) | energia/dia (kW/h) | Custo (R\$) | custo/dia(R\$) | custo/mês(R\$) | |
| 5 | 200 | 0,6 | 3 | 0,26 | 1,29 | 38,7 | |
| 10 | 400 | 1,2 | 6 | 0,52 | 2,58 | 77,4 | |
| 15 | 600 | 1,8 | 9 | 0,77 | 3,87 | 116,1 | |
| 20 | 800 | 2,4 | 12 | 1,03 | 5,16 | 154,8 | |
| 25 | 1000 | 3 | 15 | 1,29 | 6,45 | 193,5 | |
| 30 | 1200 | 3,6 | 18 | 1,55 | 7,74 | 232,2 | |
| 35 | 1400 | 4,2 | 21 | 1,81 | 9,03 | 270,9 | |
| 40 | 1600 | 4,8 | 24 | 2,06 | 10,32 | 309,6 | |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 14 – Custo Mensal com Aquecedor a gás

| Chuveiro a gás | | | | | | | |
|----------------------|--------------|----------------|--------------------|-------------|----------------|----------------|------|
| n pessoas | 5 | Custo do gas | | 3,85 | vazão (L/min) | 8 | 0,94 |
| tempo de banho (min) | agua/dia (L) | gas/pessoa(kg) | energia/dia (kg/h) | Custo (R\$) | custo/dia(R\$) | custo/mês(R\$) | |
| 5 | 200 | 0,08 | 0,39 | 0,30 | 1,51 | 45,19 | |
| 10 | 400 | 0,16 | 0,78 | 0,60 | 3,01 | 90,38 | |
| 15 | 600 | 0,24 | 1,18 | 0,90 | 4,52 | 135,58 | |
| 20 | 800 | 0,31 | 1,57 | 1,21 | 6,03 | 180,77 | |
| 25 | 1000 | 0,39 | 1,96 | 1,51 | 7,53 | 225,96 | |
| 30 | 1200 | 0,47 | 2,35 | 1,81 | 9,04 | 271,15 | |
| 35 | 1400 | 0,55 | 2,74 | 2,11 | 10,54 | 316,35 | |
| 40 | 1600 | 0,63 | 3,13 | 2,41 | 12,05 | 361,54 | |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 15 – Custo Mensal com Aquecedor Solar com Auxílio Elétrico

| Chuveiro solar com auxílio elétrico | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|----------------------|--------------------|-------------|----------------|----------------|--------|
| n pessoas | 5 | Custo do kWh | | 0,43 | vazão (L/min) | 8 | 7200 W |
| tempo de banho (min) | agua/dia (L) | energia/pessoa(kW/h) | energia/dia (kW/h) | Custo (R\$) | custo/dia(R\$) | custo/mês(R\$) | |
| 5 | 200 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 10 | 400 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 15 | 600 | 0,30 | 1,50 | 0,13 | 0,65 | 19,35 | |
| 20 | 800 | 0,90 | 4,50 | 0,39 | 1,94 | 58,05 | |
| 25 | 1000 | 1,50 | 7,50 | 0,65 | 3,23 | 96,75 | |
| 30 | 1200 | 2,10 | 10,50 | 0,90 | 4,52 | 135,45 | |
| 35 | 1400 | 2,70 | 13,50 | 1,16 | 5,81 | 174,15 | |
| 40 | 1600 | 3,30 | 16,50 | 1,42 | 7,10 | 212,85 | |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 16 – Custo Mensal com Aquecedor Solar com Auxílio a Gás

| Chuveiro solar com auxílio a gás | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------|----------------|--------------------|-------------|----------------|----------------|------|
| n pessoas | 5 | Custo do gas | | 3,85 | vazão (L/min) | 8 | 0,94 |
| tempo de banho (min) | agua/dia (L) | gas/pessoa(kg) | energia/dia (kg/h) | Custo (R\$) | custo/dia(R\$) | custo/mês(R\$) | |
| 5 | 200 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 10 | 400 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 15 | 600 | 0,04 | 0,20 | 0,15 | 0,75 | 22,60 | |
| 20 | 800 | 0,12 | 0,59 | 0,45 | 2,26 | 67,79 | |
| 25 | 1000 | 0,20 | 0,98 | 0,75 | 3,77 | 112,98 | |
| 30 | 1200 | 0,27 | 1,37 | 1,05 | 5,27 | 158,17 | |
| 35 | 1400 | 0,35 | 1,76 | 1,36 | 6,78 | 203,37 | |
| 40 | 1600 | 0,43 | 2,15 | 1,66 | 8,29 | 248,56 | |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 17 – Dados do aquecedor a gás Bosch GWH 160 PLUS B ND

| Características | | GWH 160 PLUS B ND | | GWH 250 PLUS B ND | | GWH 325 B ND | |
|-----------------------|--------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|
| Tipo de gás | | GLP | GN | GLP | GN | GLP | GN |
| Potência | kW | 13,0 | 13,0 | 22,2 | 22,2 | 25,5 | 25,5 |
| nominal | kcal/h | 11.180 | 11.180 | 19.101 | 19.101 | 21.930 | 21.930 |
| Consumo máx. gás | | 0,94 kg/h | 1,17 m³/h | 1,61 kg/h | 2,01 m³/h | 1,85 kg/h | 2,30 m³/h |
| Rendimento | | 84% | 84% | 85% | 85% | 84% | 84% |
| Capacidade vazão* | | 8 l/min | | 13,5 l/min | | 15,5 l/min | |
| Pontos simultâneos** | | 1 ducha | | 1 ducha + 1 pia | | 2 duchas | |
| Dimensões (A x L x P) | | 484 x 300 x 151 mm | | 640 x 340 x 180 mm | | 650 x 400 x 190 mm | |
| Diâmetro chaminé | | 95 mm | | 115 mm | | 135 mm | |
| Alimentação elétrica | | 2 x 1,5V (pilha tipo D) | | 2 x 1,5V (pilha tipo D) | | 2 x 1,5V (pilha tipo D) | |
| Classificação PBE | | A  | | A  | | A  | |

Fonte: Catálogo de Aquecedores Bosch, 2014

Tabela 18 – Custo Estimado de Instalação do Aquecedor Elétrico

| Descrição | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|------------------------------------|------------|----------------|-------------|
| Aquecedor elétrico | 2 | R\$ 20,00 | R\$ 40,00 |
| Cabo Flexível 6mm ² (m) | 30 | R\$ 2,00 | R\$ 60,00 |
| Disjuntor Termomagnético Bipolar | 2 | R\$ 35,00 | R\$ 70,00 |
| Encanamento água fria (m) | 10 | R\$ 5,00 | R\$ 50,00 |
| registro | 2 | R\$ 30,00 | R\$ 60,00 |
| | | | R\$ 280,00 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 19 – Custo Estimado de Instalação do Aquecedor a gás

| Descrição | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|-----------------------------|------------|----------------|--------------|
| Aquecedor a gás | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Encanamento água quente (m) | 20 | R\$ 15,00 | R\$ 300,00 |
| Encanamento água fria (m) | 10 | R\$ 5,00 | R\$ 50,00 |
| Misturador | 2 | R\$ 80,00 | R\$ 160,00 |
| | | | R\$ 1.010,00 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

um aquecedor de 7200W para apresentar uma equivalência com o tempo de uso, visto que o aquecedor de 3000W do boiler trabalharia por um período mais longo do que somente o tempo de banho. O mesmo foi estabelecido para os cálculos do auxílio a gás. Essa metodologia foi proposta prevendo que o real objetivo é a energia gasta para o aquecimento.

O custo de aquecimento da água deve ser analisado juntamente com o custo de instalação inicial. A instalação mais em conta é a instalação o chuveiro elétrico convencional que utiliza apenas um encanamento de água fria até o ponto da ducha tendo como custo de instalação apenas a rede elétrica e o aparelho. Uma estimativa deste custo pode ser vista na Tabela 18

As demais estimativas são apresentadas nas Tabelas 19, 20 e 21, que diferenciam-se principalmente pelo custo dos equipamentos. Estes dados foram estimados por uma breve pesquisa de mercado consultando apenas o preço dos equipamentos e aparelhos, sem a mão de obra de instalação.

Pode-se perceber que a instalação de painéis solares recompensa o custo de instalação com o tempo de uso visto que, em dias ensolarados, o custo com energia para o aquecimento de água é nulo para o uso de um volume de água de acordo com a capacidade instalada. Para o uso de auxílio elétrico, o custo de instalação Apresentado na Tabela 18 é recuperado com 38 meses de utilização, ou 1140 dias

Tabela 20 – Custo Estimado de Instalação do Aquecedor Solar com Auxílio Elétrico

| Descrição | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|---|------------|----------------|--------------|
| Aquecedor solar 500L com auxílio elétrico | 1 | R\$ 3.000,00 | R\$ 3.000,00 |
| Cabo Flexível 6mm ² (m) | 30 | R\$ 2,00 | R\$ 60,00 |
| Disjuntor Termomagnético Bipolar | 2 | R\$ 35,00 | R\$ 70,00 |
| Encanamento água quente (m) | 20 | R\$ 15,00 | R\$ 300,00 |
| Encanamento água fria (m) | 10 | R\$ 5,00 | R\$ 50,00 |
| Misturador | 2 | R\$ 80,00 | R\$ 160,00 |
| | | | R\$ 3.640,00 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 21 – Custo Estimado de Instalação do Aquecedor Solar com Auxílio a Gás

| Descrição | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|--|------------|----------------|--------------|
| Aquecedor solar 500L com auxílio a gás | 1 | R\$ 3.000,00 | R\$ 3.000,00 |
| Aquecedor a gás | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Encanamento água quente (m) | 20 | R\$ 15,00 | R\$ 300,00 |
| Encanamento água fria (m) | 10 | R\$ 5,00 | R\$ 50,00 |
| Misturador | 2 | R\$ 80,00 | R\$ 160,00 |
| | | | R\$ 4.010,00 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

ensolarados, assim como o uso de auxílio a gás é recuperado em 36 meses, ou 1080 dias ensolarados.

É evidente então que a instalação de um sistema de aquecimento de água com coletores solares é mais vantajosa do que o chuveiro elétrico ou a gás, puramente. A escolha do tipo de auxílio a ser utilizado acaba se tornando mais optativa do que econômica, visto que o custo do kg de gás está sujeito a mais variantes do que o custo da energia elétrica, pois pode-se perceber nas Tabelas 15 e 16 que o tempo de banho influencia mais do que o fornecimento de energia. Para este trabalho utilizou-se o sistema de aquecedor com coletores solar com auxílio elétrico.

6.4 Análise da Ventilação Natural

A direção predominante do vento, em Porto Alegre, é sudeste e a velocidade média pode chegar a 5m/s, principalmente entre outubro e março ([30] dados das condições climáticas em Porto Alegre). Visto que estes são os meses de maior atividade dos aparelhos de climatização, as aberturas, destinadas à ventilação natural, foram adequadas e em localização favorável para estas condições de vento.

Segundo [29], a velocidade máxima aceitável, para que não se criem desconfortos em razão da velocidade excessiva do vento, é de 2,5m/s. Então, a faixa de velocidade de vento aceitável para a ventilação natural é de 0,5 e 2,5 m/s, visto que a velocidade média do vento adotada ultrapassa esse valor, deve-se utilizar um sistema de monitoramento, fechando a ventilação e acionando os aparelhos de climatização, assim como em presença de chuva, evitando molhar o interior da casa. Outra ressalva deve ser feita para a instalação de telas anti-insetos, para prevenir a entrada de insetos, folhas e partículas que possam ser carregadas pelo vento.

O sistema de controle automatizado da ventilação permite a renovação de ar periódica. Ao realizar a troca de ar, os ventos levam consigo microorganismos prejudiciais à saúde humana, odores indesejados e gases tóxicos, deixando o ambiente fresco e arejado, melhorando a qualidade do ar. Outra vantagem é a redução dos gastos energéticos com condicionamento de temperatura e umidade, visto que em uma certa temperatura e velocidade de vento os equipamentos de climatização não necessitam entrar em operação.

Tabela 22 – Variação do fluxo de ar no interior da residencia em função da velocidade do vento externo

| V_r (m/s) | J_{in} (m ²) | J_{out} (m ²) | J_t (m ²) | C_d | C_p | Q_t (m ³ /s) |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|---------------------------|
| 0,5 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 0,20 |
| 1,0 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 0,40 |
| 1,5 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 0,59 |
| 2,0 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 0,79 |
| 2,5 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 0,99 |
| 3,0 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 1,19 |
| 3,5 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 1,38 |
| 4,0 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 1,58 |
| 4,5 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 1,78 |
| 5,0 | 0,90 | 0,78 | 0,59 | 0,75 | 0,80 | 1,98 |

Fonte: [29]

O custo para implementar um sistema de automação residencial não será estimado neste trabalho por necessidade uma análise mais detalhada do projeto e uso de equipamentos sem padronização, que não serão abordados.

A configuração do fluxo de ar no interior de uma construção é determinada por três fatores principais [29]:

- O tamanho e a localização das aberturas de entrada do ar na parede;
- O tipo e a configuração das aberturas usadas e
- A localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas, tais como divisórias internas e painéis verticais ou horizontais adjacentes a elas (protetores solares e marquises, por exemplo).

Neste estudo, o último item é constante, visto que a área de estudo de ventilação natural concentra-se na área de convívio (sala, cozinha e churrasco) e não na área íntima, tendo em vista o aumento da complexidade do sistema para integrar a circulação de ar com dormitórios e a violação do isolamento acústico. Sendo assim, a principal variável se estudo torna-se o tamanho e a localização das janelas destinadas ao funcionamento automático.

As janelas basculantes propostas são mostradas em um detalhe da fachada leste e oeste da casa no apêndice B. Para manter a proposta arquitetônica da residência as janelas à sotavento foram projetadas acima da porta de entrada e janela da sala, situadas na fachada leste e as janelas à barlavento foram projetadas acima das aberturas de vidro temperado de face oeste da área de churrasco, situadas na fachada oeste.

A Tabela 22 mostra os resultados de fluxo de ar para as janelas em questão, segundo o método BRE

Com base nos dados da Tabela 23 podemos perceber que a medida que a velocidade do vento aumenta, a sua capacidade de extração de calor para o conforto diminui de forma logarítmica (podemos aproximar a expressão por $T_{retirado} = 1,25 \cdot \ln(V_r) + 2,950$) assim, obtém-se a Tabela 24. Percebe-se que mesmo a uma temperatura de $27^\circ C$, com a situação de vento no limite da tolerância admitida para a velocidade, obtém-se uma situação de conforto sem o acionamento dos condicionadores.

Nota-se que a taxa de ventilação pode ser facilmente convertida na velocidade de movimentação do ar no interior da residencia, visto que o fluxo de ar segue um percurso linear, tendo apenas mobília como obstáculo.

Tabela 23 – Atenuação da sensação térmica para uma situação de roupa leve sentado com a variação da velocidade do vento

| Vento (<i>m/s</i>) | Temperatura (<i>°C</i>) |
|----------------------|---------------------------|
| 0,2 | 1,0 |
| 0,4 | 1,7 |
| 0,7 | 2,5 |
| 1,0 | 3,0 |
| 1,5 | 3,5 |
| 2,0 | 3,8 |
| 2,5 | 4,1 |

Fonte: [29]

Tabela 24 – Tolerância da temperatura externa em função da velocidade do vento dentro da residência

| Vento (<i>m/s</i>) | Temperatura Extraída (<i>°C</i>) | Temperatura Externa (<i>°C</i>) |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 0,50 | 2,08 | 25,08 |
| 1,00 | 2,95 | 25,95 |
| 1,50 | 3,46 | 26,46 |
| 2,00 | 3,82 | 26,82 |
| 2,50 | 4,10 | 27,10 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Esta estimativa nos permite garantir um funcionamento dos aparelhos de climatização das áreas de maior consumo apenas nas situações em que a temperatura superar os 28°C , tendo em vista que para um vento médio de 5m/s , as janelas basculantes propostas propiciam uma ventilação de aproximadamente 2m/s no interior da residência. A mesma equivalência obtém-se, considerado para os dormitórios, a utilização de ventilação forçada através de ventiladores de teto.

6.5 Análise do Sistema de Climatização

Optou-se pelo modo misto alternado por zonas, para integrar o sistema de ventilação com o sistema de climatização, salientando que o uso ideal ocorre quando o funcionamento se dá de forma alternada.

O projeto inicial previa a equipamentos de ar condicionado apenas em certas peças da casa e o método construtivos das paredes e a laje do teto é o método convencional de uma fiada de tijolos deitados e laje simples com tavela e vigota.

Segundo a Tabela 2 de [33] Tabelas de Refrigeração PROCEL, as paredes de 24cm contidas por 2cm de revestimentos, um tijolo deitado de 20cm e outro revestimento de 2cm, podem ser aproximadas por metade da perda térmica de uma parede dupla de 46cm, composta por 4cm de revestimentos, 40cm de 2 tijolos deitados e 2cm de ar. O mesmo se aplica para laje e piso.

Também, referenciando [33] Tabelas de Refrigeração PROCEL, pela Tabela 2-F percebe-se que as janelas com vidros duplos com 1,25cm de espessura pode ser aproximado como metade da transmissividade de calor.

As Tabelas 25 e 27 demonstram os cálculos para as necessidades térmicas para o método construtivo convencional. Já as Tabelas 28 e 29, apresentam os resultados utilizando paredes e janelas duplas.

Nota-se que os valores da Tabela 26, mantem-se independente da situação analisada. Os valores

Tabela 25 – Cálculo Térmico Com Paredes e Janelas sem Isolamento Térmico

| Local | C (m) | L (m) | H (m) | V (m ³) | kcal/h | janela(m ²) | posição solar | kcal/h |
|-----------------|-------|-------|-------|---------------------|---------|-------------------------|---------------|---------|
| suite principal | 5,30 | 3,55 | 2,70 | 50,80 | 1132,96 | 6,80 | manhã | 1509,60 |
| dormitório 1 | 3,80 | 2,50 | 2,70 | 25,65 | 573,11 | 2,24 | tarde | 918,40 |
| dormitório 2 | 3,80 | 2,70 | 2,70 | 27,70 | 618,79 | 2,24 | tarde | 918,40 |
| estar | 4,70 | 3,96 | 2,70 | 50,25 | 1120,76 | 8,73 | sombra | 322,14 |
| cozinha | 4,80 | 2,50 | 2,70 | 32,40 | 723,37 | 5,62 | sombra | 207,38 |
| churrasco | 6,22 | 3,25 | 3,00 | 79,25 | 1766,14 | 18,27 | tarde | 7490,70 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 26 – Cálculo Térmico para Portas, Pessoas e Equipamentos

| Local | peças | kcal/h | porta(m ²) | kcal/h | aparelhos (W) | kcal/h |
|-----------------|-------|--------|------------------------|--------|---------------|--------|
| suite principal | 2 | 250 | 1,68 | 210 | 300 | 270 |
| dormitório 1 | 1 | 125 | 1,68 | 210 | 150 | 135 |
| dormitório 2 | 1 | 125 | 1,68 | 210 | 150 | 135 |
| estar | 5 | 625 | 2,76 | 345 | 500 | 450 |
| cozinha | 2 | 250 | 4,60 | 575 | 500 | 450 |
| churrasco | 5 | 625 | 5,04 | 630 | 200 | 180 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 27 – Cálculo Térmico Total Sem Isolamento Térmico

| Local | kcal/h total | total (BTU) | Comercial (BTU) | potencia (W) |
|-----------------|--------------|-------------|-----------------|--------------|
| suite principal | 3372,56 | 13220,4 | 18000 | 1800 |
| dormitório 1 | 1961,51 | 7689,1 | 9000 | 900 |
| dormitório 2 | 2007,19 | 7868,2 | 9000 | 900 |
| estar | 2862,90 | 11222,6 | 12000 | 1200 |
| cozinha | 2205,74 | 8646,5 | 9000 | 900 |
| churrasco | 10691,84 | 41912,0 | 2x24000 | 4800 |
| | | | soma | 10500 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

obtidos nas Tabelas 30 e 31 representam ambas as fachadas leste e oeste protegidas da radiação solar pela sombra de árvores. Apesar de empolgantes, os resultados devem ser considerados apenas como referência, pois não temos como estimar a quantidade de sombra proporcionada pelo o cultivo de arvores para proteção das fachadas do sol.

Pode ser estimado o custo do processo para construir paredes duplas com a seguinte analogia. Para levantar uma parede de 1m² são necessários 50 tijolos, e aproximadamente 50 litros de argamassa. Com um tijolo de R\$0,40 e a argamassa à R\$ 0,50, o m² da parede de tijolos deitados custa R\$45,00. Uma parede dupla custa 90,00 por R\$/m²

Aproximando o perímetro das paredes externas da casa para 45m e visto que o pé direito é de 3m, a casa apresenta um total de 135m² de paredes externas. Sendo assim para construir a mesma residência com paredes duplas, estimama-se uma diferença de R\$2025,00 em relação a mesma casa com paredes simples. Considerando-se apenas o custo das paredes e a diferença na carga instalada, entre as Tabelas 29 e 27 , o investimento apresentaria um retorno em 50 dias de funcionamento contínuo dos equipamentos de ar condicionado, ou aproximadamente 1200h. Esta estimativa foi realizada com base no preço do kWh da região de Porto Alegre em novembro de 2014, R\$0,43/ kWh e sem levar em conta o preço da mão de obra.

Tabela 28 – Cálculo Térmico Com Paredes e Janelas com Isolamento Térmico

| Local | C (m) | L (m) | H (m) | V (m ³) | kcal/h | janela(m ²) | posição solar | kcal/h |
|-----------------|-------|-------|-------|---------------------|--------|-------------------------|---------------|---------|
| suite principal | 5,30 | 3,55 | 2,70 | 50,80 | 567,55 | 6,80 | manhã | 754,80 |
| dormitório 1 | 3,80 | 2,50 | 2,70 | 25,65 | 287,63 | 2,24 | tarde | 459,20 |
| dormitório 2 | 3,80 | 2,70 | 2,70 | 27,70 | 310,47 | 2,24 | tarde | 459,20 |
| estar | 4,70 | 3,96 | 2,70 | 50,25 | 561,45 | 8,73 | sombra | 161,07 |
| cozinha | 4,80 | 2,50 | 2,70 | 32,40 | 362,75 | 5,62 | sombra | 103,69 |
| churrasco | 6,22 | 3,25 | 3,00 | 79,25 | 884,14 | 18,27 | tarde | 3745,35 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 29 – Cálculo Térmico Total com Isolamento Térmico

| Local | kcal/h total | total (BTU) | Comercial (BTU) | potencia (W) |
|-----------------|--------------|-------------|-----------------|--------------|
| suite principal | 2052,35 | 8045,2 | 9000 | 900 |
| dormitório 1 | 1216,83 | 4770,0 | 7500 | 750 |
| dormitório 2 | 1239,67 | 4859,5 | 7500 | 750 |
| estar | 2142,52 | 8398,7 | 9000 | 900 |
| cozinha | 1741,44 | 6826,5 | 7500 | 750 |
| churrasco | 6064,49 | 23772,8 | 24000 | 2400 |
| | | | soma | 6450 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 30 – Cálculo Térmico Com Paredes e Janelas com Isolamento Térmico e Sombra de Árvores nas Janelas

| Local | C (m) | L (m) | H (m) | V (m ³) | kcal/h | janela(m ²) | posição solar | kcal/h |
|-----------------|-------|-------|-------|---------------------|--------|-------------------------|---------------|--------|
| suite principal | 5,30 | 3,55 | 2,70 | 50,80 | 567,55 | 6,80 | sombra | 125,46 |
| dormitório 1 | 3,80 | 2,50 | 2,70 | 25,65 | 287,63 | 2,24 | sombra | 41,33 |
| dormitório 2 | 3,80 | 2,70 | 2,70 | 27,70 | 310,47 | 2,24 | sombra | 41,33 |
| estar | 4,70 | 3,96 | 2,70 | 50,25 | 561,45 | 8,73 | sombra | 161,07 |
| cozinha | 4,80 | 2,50 | 2,70 | 32,40 | 362,75 | 5,62 | sombra | 103,69 |
| churrasco | 6,22 | 3,25 | 3,00 | 79,25 | 884,14 | 18,27 | sombra | 337,08 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

Tabela 31 – Cálculo Térmico Total Com Paredes e Janelas com Isolamento Térmico e Sombra de Árvores nas Janelas

| Local | kcal/h total | total (BTU) | Comercial (BTU) | potencia (W) |
|-----------------|--------------|-------------|-----------------|--------------|
| suite principal | 1423,01 | 5578,2 | 7500 | 750 |
| dormitório 1 | 798,95 | 3131,9 | 7500 | 750 |
| dormitório 2 | 821,79 | 3221,4 | 7500 | 750 |
| estar | 2142,52 | 8398,7 | 9000 | 900 |
| cozinha | 1741,44 | 6826,5 | 7500 | 750 |
| churrasco | 2656,22 | 10412,4 | 12000 | 1200 |
| | | | soma | 5100 |

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2014

6.6 Avaliação das Modificações

Com base nestas modificações realizadas no projeto convencional, que pode ser visto no apêndice A, prancha 01/06, foi proposto um novo projeto elétrico, utilizando as metodologias mais eficientes. Este projeto pode ser visualizado no prancha 02/06.

Analisando o quadro de carga de ambos os projetos, percebe-se que com as modificações realizadas, obteve-se uma queda de $26,64kW$ na carga instalada e $16,26kW$ a menos na potencia demandada. Analisando-se os resultados de carga instalada, percebe-se que as modificações representam uma economia de 50,19% no consumo de energia.

Visto que o estudo foi realizado para uma família de cinco pessoas, podemos estimar um investimento total em lâmpadas de LED em R\$2500,00, um investimento de R\$5000,00 com o sistema de aquecimento de água e estima-se R\$5500,00 para o sistema de climatização, os gastos com as paredes e automação. Estes valores foram apenas estimados para demonstrar a viabilidade das modificações, perante o custo total de uma residência deste porte.

7 CONCLUSÕES

Ao findar deste trabalho, percebe-se que os investimentos sugeridos, além de melhorarem o consumo energético, possibilitam o mesmo nível de conforto e suprem as mesmas necessidades de um projeto residencial convencional. O retorno financeiro apresenta-se de forma discreta, pois estimar o tempo do mesmo depende primordialmente dos hábitos de consumo dos usuários. Independentemente dos costumes dos usuários, o retorno é garantido pois as melhorias apresentam uma economia permanente no valor final da fatura de energia.

Percebem-se pelas simulações, presentes no apêndice B, que a troca das lâmpadas convencionais por lâmpadas de LED apresentaram uma leve diferença de temperatura de cor, modificando o ambiente para uma tonalidade um pouco mais “fria”. Porém ressalta-se que iluminância em todos os ambientes permaneceu inalterada ou ligeiramente maior.

O uso de captadores solares para o aquecimento de água proporcionou uma grande redução da carga instalada total da residência, contribuindo, inclusive, para a mudança do tipo de ramal de alimentação sugerida pelo anexo J do [2] RIC-BT passando de tipo C4 para tipo C2. Novamente, salientamos que o gasto energético com o aquecimento de água torna-se esporádico, se os usuários ativerem-se aos limites do volume de água do sistema e da disponibilidade dos dias ensolarados.

Pode-se concluir que a aplicação do modo misto de climatização tem um potencial muito grande para redução de consumo de energia em edificações, ainda mais atrelado ao uso de isolantes termicos atenuando as perdas termicas para o ambiente externo. Mas estes exigem uma mudança de paradigmas no processo de projeto de edificações, no qual diversos profissionais devem interagir de forma a conseguir a integração necessária para permitir o uso do modo misto.

Este paradigma começou a ser mudado com o advento do aumento de processos de certificações (LEED, AQUA, PBE-Procel) no Brasil, que exigiu uma integração das várias disciplinas envolvidas no processo de projeto de uma edificação. O caminho ainda é longo, mas o uso de modo misto se apresenta como uma alternativa para a melhoria do desempenho das edificações brasileiras.

7.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Pode-se sugerir para trabalhos futuros um estudo de melhores métodos para o cálculo da demanda, principalmente para os sistemas de climatização que não serão acionados tão frequentemente e o sistemas de aquecimento solar que não precisa atuar em dias ensolarados.

Outra sugestão situa-se dentre os sistemas de automação, que possibilitam várias outras utilidades, não necessariamente relacionadas com eficiência energética, que trazem conforto e comodidade para os ocupantes. Porém a necessidade de padronização dos sistemas mostra-se como um bom tema para trabalhos futuros.

Referências

- [1] MAMEDE FILHO, João; *Instalações Elétricas Industriais*; 6^a ed.; 2002; Editora LTC.
- [2] RIC-BT *REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS*, FORNECIMENTO EM TENSÃO SECUNDÁRIA REDE DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA; Setembro 2012.
- [3] GUERRINI, Délio PEREIRA *Iluminação: teoria e prática*; 2. ed; São Paulo; Editora Érica; 2011; 134 p.
- [4] CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino *Instalações elétricas prediais: conforme norma NBR 5410:2004*; 21. ed; São Paulo; Editora Érica; 2011; 422 p
- [5] RODRIGUES, Pierre; *PROCEL – Manual de Iluminação Eficiente*; 2002. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/>
- [6] OSRAM; *Manual Luminotécnico Prático OSRAM*; Disponível em : <http://www.osram.com.br>
- [7] PHILIPS; *Guia Prático Philips de Iluminação*; Disponível em : <http://www.luz.philips.com>
- [8] DA LUZ, Jeanine MARCHIORI; *Luminotécnica*;
- [9] PROCEL; Golçalvez, joana C. S.; VIANNA, Nelson S.; MOURA, Norberto C. S.; *Guia PROCEL edifica de Iluminação*
- [10] ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 *Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte 1: Interiores*
- [11] M. DINIS, João D.; *Análise do nível Ótimo de isolamento de edifícios residenciais em Portugal*; Dissertação de Mestrado; 2008; Universidade de Aveiro;
- [12] COSTA, Gilberto José Corrêa da. *Iluminação econômica: cálculo e avaliação* / Gilberto José Corrêa da Costa; 4 ed.; 2006; Porto Alegre; EDICUCRS.
- [13] Selos de Eficiência Energética. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeselo.asp>
- [14] PROCEL - Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2014 Disponível em: [http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse\(regi%C3%B5esesubistemas\)%E2%80%932011-2012.aspx](http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumomensaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse(regi%C3%B5esesubistemas)%E2%80%932011-2012.aspx)
- [15] PROCEL - Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2013 Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumonacionaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse%E2%80%931995-2009.aspx>

- [16] SACHS, Ignacy; *A Revolução Energética do Século XXI*; Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a03v2159.pdf>
- [17] HERNANDEZ N., Alberto;BUENO BUORO, Anarrita *Ventilação natural e climatização*; 2013; disponível em: <http://www.engenhariaarquitectura.com.br/noticias/773/Ventilacao-natural-e-climatizacao.aspx>
- [18] PAGIOLA, Rodrigo G; ANDRADE Q., Marluce T.; Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia *Conforto térmico no ambiente de trabalho: avaliação das variáveis subjetivas da percepção do calor*; 2010.
- [19] FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R.; *Manual de Conforto Térmico*; 7ªed.; São Paulo; Studio Nobel; 2003
- [20] Dimensionamento de sistemas de aquecimento de água com energia solar associado a sistema de climatização por adsorção Disponível em: <http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2011>
- [21] POLUIÇÃO DO AR DE INTERIORES: UMA AVALIAÇÃO DE CASOS RELACIONADOS À CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL Disponível em:<http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/Carla-Alice-Theodoro-Batista.pdf>
- [22] engenharia e arquitetura *Sistemas mistos de climatização*; Disponível em www.engenhariaarquitectura.com.br
- [23] FARRET, Felix A.; *Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica*; 2a ed.; Santa Maria; Editora da UFSM; 2010; 244p
- [24] Catálogo de produtos da loja online minhacasasolar; Disponível em <http://minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br/>
- [25] AFAY, Jean-Marc Stephane *Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás*
- [26] RAIMO, Patrícia A.; *Aquecimento de Água no Setor Residencial*; 2007.
- [27] BERMAN, Célio; *Estudo de Viabilidade para Substituição do Chuveiro Elétrico por Aquecedores a Gás*; 2000.
- [28] PEREIRA, Décio; *Ar Condicionado*

- [29] BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Chisthina *Ventilação Natural em Edificações*, Procel Edifica; 2010
- [30] Estatísticas de vento e condições atmosféricas de Porto Alegre; disponível em: http://pt.windfinder.com/windstatistics/porto_alegre
- [31] HERNANDEZ N., Alberto;BUENO BUORO, Anarrita *Ventilação natural e climatização*; 2013; disponível em: <http://www.engenhariae arquitetura.com.br/noticias/773/Ventilacao-natural-e-climatizacao.aspx>
- [32] DE BENEDETTO, G. S. 2007. *Avaliação da aplicação do modo misto na redução da carga térmica em edifícios de escritórios nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura; Universidade de São Paulo, 2007; 204 páginas.
- [33] PROCEL, *Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração - ANEXO Tabelas-*