



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia
Campus de Bauru



CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL - UM ESTUDO DE CASO**

Autora: Beatriz Arantes

Orientador: Prof. Dr. Alcides Padilha

BAURU

2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia
Campus de Bauru



CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL - UM ESTUDO DE CASO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Bauru, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Autora: Beatriz Arantes

Orientador: Prof. Dr. Alcides Padilha

BAURU

2013

Arantes, Beatriz.

Conforto térmico em habitações de interesse social
- Um estudo de caso / Beatriz Arantes, 2012.
99f.

Orientador: Alcides Padilha.

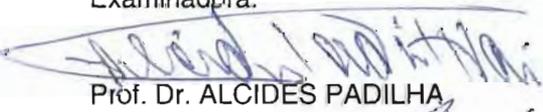
Co-orientador: Vicente Luiz Scalon.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012.

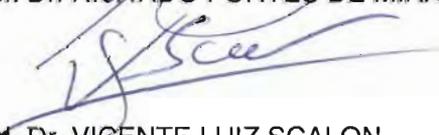
1. Simulação computacional. 2. Conforto térmico.
3. Habitações de interesse social. I. Universidade
Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II.
Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE BEATRIZ ARANTES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 14 dias do mês de dezembro do ano de 2012, às 14:00 horas, no(a) ANFITEATRO DA SEÇÃO TÉCNICA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ENGENHARIA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALCIDES PADILHA do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. RICARDO FORTES DE MIRANDA do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - UFU, Prof. Dr. VICENTE LUIZ SCALON do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de BEATRIZ ARANTES, intitulada "CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL - UM ESTUDO DE CASO". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. ALCIDES PADILHA


Prof. Dr. RICARDO FORTES DE MIRANDA


Prof. Dr. VICENTE LUIZ SCALON

Dedicatória

À minha família.

Agradecimentos

Agradeço a todos que colaboraram para a realização deste trabalho e, em particular:

ao Professor Doutor Alcides Padilha pela orientação, ensinamentos compartilhados e, incentivo para a realização do trabalho;

aos professores do Curso de Mestrado pela dedicação e atenção dispensadas durante as aulas;

aos colegas do curso de Mestrado, pelas amizades formadas e experiências compartilhadas;

ao Mestre Fernando Batochio, pelo incentivo para o início dessa etapa em minha vida;

à minha mãe, Maria Tereza, pelo constante apoio para a realização do curso.

Epígrafe

“A persistência é o menor caminho do êxito.”

Charles Chaplin

Sumário

| | |
|--|------------|
| Lista de figuras | VII |
| Lista de tabelas | IX |
| Resumo | X |
| 1 Introdução | 01 |
| 2 Revisão da literatura | 06 |
| 2.1 O homem e o ambiente construído | 06 |
| 2.2 O conforto ambiental | 08 |
| 2.3 O organismo humano e a temperatura | 10 |
| 2.3.1 Mecanismos de trocas térmicas | 12 |
| 2.3.2 O conforto térmico | 13 |
| 2.3.3 Determinação do índice de conforto térmico | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4 A edificação e o meio ambiente | 17 |
| 2.4.1 A influência das variáveis arquitetônicas no desempenho térmico do edifício | 18 |
| 2.4.2 Sustentabilidade | 27 |
| 2.4.3 A arquitetura sustentável | 28 |
| 2.4.4 A Arquitetura Bioclimática | 29 |
| 2.4.5 Eficiência energética | 32 |
| 2.4.5.1 O conforto térmico, a eficiência energética e a arquitetura. | 33 |
| 2.5 A habitação no Brasil | 34 |
| 2.5.1 A habitação de interesse social | 35 |
| 2.5.2 A produção da habitação de interesse social no Brasil | 37 |
| 2.5.3 A habitação de interesse social e a sustentabilidade | 38 |
| 2.6 As simulações de desempenho térmico e energético nas edificações | 39 |
| 3 Objetivos e justificativas | 43 |
| 3.1 Objetivos | 43 |
| 3.2 Justificativas | 44 |
| 4 Materiais e métodos | 46 |
| 4.1 Materiais | 46 |
| 4.1.1 A edificação estudada | 49 |
| 4.1.2 As simulações computacionais | 54 |
| 4.3 Métodos | 54 |
| 4.3.1 Os dados de entrada do programa <i>Energy Plus</i> | 55 |
| 4.3.2 A análise da influência do beiral | 57 |
| 4.3.3 Análise do posicionamento da edificação no lote | 57 |
| 4.3.4 Análise da eficácia dos forros | 59 |
| 4.3.5 Parâmetros para análises comparativas | 65 |
| 5 Resultados e discussões | 67 |
| 5.1 Análise da influência do beiral | 67 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2 Análise do método construtivo empregado (rotação da edificação no lote | 73 |
| 5.3 Análise da edificação com forro x edificação sem forro | 78 |
| 5.4 Análise forro horizontal x forro paralelo ao telhado | 84 |
| 6 Conclusões | 87 |
| 6.1 Considerações finais | 88 |
| Referências | 90 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 01: Trocas de calor através de paredes opacas. | 21 |
| Figura 02: Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas. | 22 |
| Figura 03: Localização esquemática da cidade de Bauru. | 46 |
| Figura 04: Vista frontal esquemática da edificação estudada. | 49 |
| Figura 05: Planta baixa esquemática da edificação estudada. | 50 |
| Figura 06: Tela principal do <i>Google SketchUp</i> . | 51 |
| Figura 07: <i>EnergyPlus</i> : elementos internos. | 52 |
| Figura 08: Possíveis orientações solares dos cômodos da residência em análise, de acordo com amaneira de implantação da edificação no lote. | 58 |
| Figura 09: Exemplo de forro de madeira pintado. | 60 |
| Figura 10: Exemplo de forro de gesso. | 62 |

| | |
|--|----|
| Figura 11: Exemplo de forro de PVC. | 64 |
| Figura 12: Perfis de temperaturas internas da “Sala”. | 68 |
| Figura 13: Perfis de temperaturas internas do “Quarto 01”. | 69 |
| Figura 14: Perfis de temperaturas internas do “Quarto 02”. | 70 |
| Figura 15: Perfis de temperaturas internas da “Instalação Sanitária”. | 71 |
| Figura 16: Perfis de temperaturas internas da “Cozinha”. | 72 |
| Figura 17: Perfis de temperaturas internas da “Sala”, de acordo com a orientação solar da fachada. | 74 |
| Figura 18: Perfis de temperaturas internas do “Quarto 01”, de acordo com a orientação solar da fachada. | 75 |
| Figura 19: Perfis de temperaturas internas do “Quarto 02”, de acordo com a orientação solar da fachada. | 76 |
| Figura 20: Perfis de temperaturas internas da “Instalação sanitária”, de acordo com orientação solar da fachada. | 77 |
| Figura 21: Perfis de temperaturas internas da “Cozinha”, de acordo com a orientação solar da fachada. | 78 |
| Figura 22: Perfis de temperaturas internas da “Sala” com forro. | 79 |
| Figura 23: Perfis de temperaturas internas do “Quarto 01” com forro. | 80 |
| Figura 24: Perfis de temperaturas internas do “Quarto 02” com forro. | 82 |
| Figura 25: Perfis de temperaturas internas da “Instalação sanitária” com forro. | 83 |
| Figura 26: Perfis de temperaturas internas da “Cozinha” com forro. | 84 |
| Figura 27: Eficiência dos forros na atenuação térmica. | 85 |

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 01 - Temperatura média mensal em Bauru (°C). | 48 |
| Tabela 02 - Média das Temperaturas mínimas e máximas em Bauru (°C). | 48 |
| Tabela 03 - Tabela 03 – Características da madeira. | 62 |
| Tabela 04 - Características do gesso acartonado. | 63 |
| Tabela 05 - Características do PVC. | 65 |
| Tabela 06 - Média das temperaturas mínimas e máximas em São Paulo - Fevereiro/2012 (°C). | 66 |
| Tabela 07 - Média das temperaturas mínimas e máximas em Bauru - Fevereiro/2012 (°C). | 66 |

ARANTES, B. **Conforto térmico em edificações de interesse social – Um estudo de caso**. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2012.

Resumo

Diante do elevado nível de consumo energético mundial, sabe-se que a procura por edificações sustentáveis, que proporcionem bons índices de conforto ambiental aos seus usuários, sendo energeticamente eficientes, tem se tornado cada vez maior. Levando-se em consideração que as edificações são tidas por muitos como um dos principais itens a serem analisados na busca pela sustentabilidade do planeta, considera-se de extrema importância a incorporação de soluções relacionadas a Arquitetura Bioclimática nas construções. Assim, na busca por edificações mais eficientes, utilizando-se o programa EnergyPlus, são muitos os estudos realizados através de simulações computacionais testando a eficiência energética da edificação a partir de diferentes soluções projetuais adotadas. Através de tal prática, pode-se testar a eficiência dos materiais adotados e identificar os elementos responsáveis pelo maior ou menor consumo energético das mesmas. Assim, tendo em vista a importância do tema sustentabilidade e a necessidade da redução do consumo de energia no planeta, acredita-se que os conceitos da Arquitetura Bioclimática e a busca pela eficiência energética devem ser uma tendência, estando presentes em projetos destinados à

todas as classes sociais, incluindo as habitações de interesse social. Dessa forma, com o desenvolvimento do presente trabalho objetivou-se analisar, através de simulações computacionais, as condições térmicas a que estão expostos moradores de um núcleo habitacional de interesse social localizado na cidade de Bauru – SP. Foram analisadas as maneiras de implantação das edificações, a interferência, em relação ao nível de temperatura interna, dos beirais adotados para as construções e, a eficiência de forros, método mais comumente adotado pelos moradores, para a melhoria do nível de conforto térmico dos cômodos da residência. Para a finalização do trabalho, foram propostas recomendações técnicas, visando a melhoria do conforto, e, conseqüentemente, a melhoria das condições ambientais existentes no interior dessas edificações.

Palavras-chave: Simulação computacional; Conforto térmico; Habitações de interesse social.

1 Introdução

Na arquitetura, um projeto concebido levando-se em conta, apenas, a forma, dimensões e quantidades de ambientes, não é o suficiente para que os usuários de uma edificação tenham suas necessidades supridas e, conseqüentemente, sua plena satisfação com os espaços garantida.

Deste modo, cita-se como um dos requisitos fundamentais para a criação de espaços, sejam destinados à moradias, lazer ou trabalho, com boas condições de habitabilidade ou permanência, a necessidade da aplicação de conceitos que proporcionem bons índices de conforto ambiental no interior dessas construções. Deve-se buscar, para projetos destinados aos mais diferentes fins e públicos, soluções que amenizem sensações humanas indesejadas, estando estas associadas ao prazer e funcionalidade.

Tal necessidade é identificada desde os primórdios da humanidade, quando o homem, ainda sem recursos industriais ou, intelectuais reconhecidos, através da sua

intuição e experiência prática, utilizava cavernas para se proteger de intempéries e, ter as sensações de desconforto causadas pelo clima atenuadas.

Para Frota e Schiffer (2001), p.17:

A arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange o seu conforto térmico. O homem tem melhores condições vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse, inclusive térmico. A arquitetura, como uma de suas funções deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas.

Silva (2002), afirma que uma edificação voltada para fins residenciais, deve ser entendida como um local destinado ao descanso e convívio familiar, sendo de grande importância para seus usuários, tanto do ponto de vista social, quanto do afetivo. Assim, o autor cita um amplo conjunto de atividades que podem ser desenvolvidas em tal edificação, sendo elas: dormir/descansar; preparar, servir e consumir alimentos; cuidar da higiene pessoal; limpar e arrumar; gerir orçamentos familiares ou de conjunto; tratar roupas e louças; criar e educar crianças; atender a enfermos; troca de afetividades; convivência e reunião; estar/receber; brincar e trabalhar.

Portanto, perante a variedade de atividades que podem ser desenvolvidas em edificações destinadas à habitação, visando o bem estar de seus usuários para o cumprimento de suas tarefas diárias e, considerando, para o pleno desenvolvimento dos trabalhos diários, o alto grau de importância dos momentos destinados ao descanso em ambientes adequados, a busca por bons índices de conforto ambiental no interior de residências deve se tornar item imprescindível a ser considerado nas soluções projetuais adotadas para tais edifícios.

De acordo com Fittipaldi (2008), são vários os discursos sobre o tema “habitação”, abrangendo desde seus aspectos físicos, até sua falta. Embora a constituição dê a todos o direito à moradia, visando uma vida mais digna, na maioria dos países há problemas com a questão habitacional e, a maior preocupação existente é em relação ao custo dessas moradias. Porém, é de extrema importância que as

propostas para habitações visem a melhoria da qualidade de vida e a proteção ao meio ambiente, visando a inclusão social e sustentabilidade.

Quando o assunto é habitações de interesse social, Xavier (2008), afirma que há um debate tradicional sobre o assunto, onde o foco é o custo das mesmas. Assim, no Brasil, nos últimos anos, muitas dessas residências foram construídas sem que, para a realização dos projetos, fossem consideradas as características climáticas e ambientais dos locais onde as mesmas seriam instaladas. Como resultado tem-se o excessivo consumo de energia para suprir o desconforto sentido no interior dessas edificações. Portanto, visando a não ocorrência de problemas como os citados, durante o processo de realização de um projeto arquitetônico, deve-se levar em conta os aspectos humano e social, de forma que seja garantido um bom nível de qualidade de vida aos usuários.

Diante do exposto, atualmente, são várias as discussões e de grande importância e enfoque assuntos relacionados a melhoria do nível de conforto ambiental oferecido pelas edificações voltadas à diferentes fins. Como resultado, nesse contexto surge a busca, cada vez maior, por soluções projetuais eficazes que garantam boas condições de habitabilidade e permanência nos edifícios.

Assim, os benefícios e assuntos relacionados à Arquitetura Bioclimática têm sido cada vez mais difundidos, contribuindo para o incremento dos estudos acerca do tema e, aplicações de tais conceitos.

Estudos relacionados ao desempenho térmico e acústico de materiais amplamente utilizados na construção civil estão se tornando cada vez mais recorrentes. A durabilidade e os impactos ambientais causados pelo consumo e produção dos mesmos, também são itens analisados em busca pela melhoria das edificações e da sustentabilidade do planeta.

A procura e pesquisa por novos materiais construtivos, de alta eficiência térmica, acústica e que não gerem danos ambientais também é cada vez maior, tanto para edificações de alto, quanto àquelas de menor padrão.

Diante da necessidade e benefícios gerados por ambientes confortáveis, atualmente, também são várias as análises pós-ocupação realizadas a fim de adaptar e propor mudanças nas construções já existentes, visando a melhoria da interação entre os ambientes construídos e seus usuários.

Tais análises se dão através de medições de temperatura, iluminação e ruídos, por exemplo, realizadas *in loco* ou, ainda, através de simulações computacionais possíveis a partir da coleta de informações do imóvel a ser estudado para, por meio de ferramentas computacionais, a posterior construção de um modelo tridimensional e, então realização de simulações para obtenção dos resultados almejados.

Porém, ressalta-se que assuntos relacionados às condições ambientais existentes no interior de um edifício podem ser resolvidos com maior eficácia e menor custo, quando pensados ainda na fase de projeto dos mesmos.

Embora muitos já tenham incorporado essa prática, visando a redução de custos com modificações realizadas após o término das construções e, edificações com melhores desempenhos térmico e energético, salienta-se a necessidade da conscientização dos projetistas da importância das adoções da maior quantidade possível de soluções ligadas à Arquitetura Bioclimática em seus projetos e, em conjunto, a prática de simulações computacionais visando prever os níveis de conforto e eficiência energética apresentados pelo edifício projetado.

No “Capítulo 2”, a fim de estudar as relações entre o ser humano, o meio ambiente, o ambiente construído e, algumas alternativas projetuais para a melhoria dos índices de conforto no interior das edificações, é apresentada uma revisão bibliográfica de temas variados.

O “Capítulo 3” do presente trabalho é composto pelos objetivos e pela justificativa para o desenvolvimento do mesmo. Já no “Capítulo 4” são descritos os materiais e a metodologia aplicada para a realização das análises propostas.

No “Capítulo 5” são apresentados os resultados das simulações computacionais realizadas para a análise do conforto térmico no interior da edificação, de acordo com

as situações definidas para a realização dos estudos. Por fim, no “Capítulo 6” constam as conclusões obtidas a partir das análises apresentadas no capítulo anterior, estando presentes no capítulo seguinte as “Referências” utilizadas como embasamentos para o desenvolvimento do trabalho.

2 Revisão da literatura

2.1 O homem e o ambiente construído

De acordo com Arantes (2011), desde os primórdios da humanidade o ser humano buscou, ainda sem tecnologia, a partir da utilização de meios e elementos disponíveis em seu ambiente, proteger-se de intempéries. Visava, em suas construções, soluções que amenizassem as sensações de calor, frio, umidade e secura do ar. Inovações na maneira de pensar e construir começaram a ser introduzidas de forma lenta, com o advento e evolução da tecnologia.

Assim, Oliveira e Ribas (1995), afirmam que a definição primária para qualquer edificação comporta o conceito de abrigo, já que é destinada à proteção contra o intemperismo do meio circundante.

Lamberts, Dutra e Pereira (1997), afirmam que, inicialmente, as construções se davam, geralmente, a partir do aproveitamento das características desejáveis do clima, de forma que as indesejáveis fossem evitadas. Assim, na Roma Antiga uma lei que garantia o direito do povo ao sol foi criada. Nas cidades romanas antigas o aquecimento

de água e de ambientes se dava através de túneis subterrâneos que funcionavam como fornalhas que aqueciam o ar dissipado. No deserto do Colorado e nos Estados Unidos, as habitações eram construídas de forma que ficassem protegidas pelas encostas de pedras: no verão quente e seco as edificações eram sombreadas, já no inverno, a menor inclinação do sol garantia a entrada de raios solares e, o conseqüente aquecimento das mesmas. Em cidades com climas muito severos, as edificações eram subterrâneas.

Lima (2010), afirma que os avanços tecnológicos de variados setores começaram a ocorrer a partir da Revolução Industrial, não ficando a construção civil de fora desse contexto. O constante desenvolvimento de novas técnicas e materiais construtivos, além do aumento da velocidade na circulação de mercadorias e produtos, fizeram com que a maneira de pensar as edificações sofresse mudanças drásticas. Os projetistas passaram a ter maior liberdade de criação e a possibilidade de desconsiderar aspectos já entendidos como imprescindíveis em projetos arquitetônicos.

Como resultado da despreocupação com adaptação do edifício ao seu local de implantação e, ao abandono do uso de materiais regionais nos projetos, Lima (2010), cita a criação das chamadas “soluções arquitetônicas internacionalizadas” (soluções que podem ser aplicadas nos mais variados tipos de projetos, em diferentes locais do mundo).

Almeida (2010), ressalta que, também devido ao desenvolvimento tecnológico e aumento do padrão de vida das sociedades modernas, a concepção de edifícios, quer para habitação, trabalho, ou lazer, passou a ser orientada por um conjunto de exigências funcionais nas quais o conforto, sendo de percepção direta e imediata do usuário, ganha particular destaque.

Diante da busca por bons níveis de conforto ambiental no interior dos edifícios concebidos sem que características do seu local de implantação sejam levadas em consideração, faz-se necessário o uso de sistemas artificiais de resfriamento e aquecimento, o que contribui para o baixo desempenho termo-energético das edificações.

Assim, como sinônimo de poder, começam a ser criados e exportados os edifícios “estufas”: edifícios sustentados por mega-estruturas de aço e concreto, com grandes cortinas de vidro, sofisticados sistemas de ar condicionado e, projetados sem que as características físicas e ambientais de seu local de implantação sejam consideradas.

Oliveira e Ribas (1995), ainda lembram que embora a tecnologia moderna permita controlar em grande parte as condições interiores de um edifício, a aplicação de elementos com certo grau de sofisticação tecnológica, principalmente nos países subdesenvolvidos, implica custos mais elevados, dependência de conhecimentos externos e, maior consumo energético.

Porém, atualmente, por conta das discussões cada vez mais freqüentes em torno de temas relacionados ao desenvolvimento sustentável do planeta, a maneira internacionalizada de concepção de edifícios tem sido substituída. Pode-se observar a preocupação crescente dos arquitetos e, a conscientização dos proprietários com aspectos relacionados não só ao conforto ambiental, mas também a eficiência energética dos edifícios.

Porto (2009), afirma que questionamentos a respeito de adoção de medidas sustentáveis nos projetos, que contribuam para a minimização do impacto ambiental, devem estar presentes no processo de concepção do projeto, pensando nas maneiras de otimização de sua operação. Deve-se considerar que ações individuais contribuem para a diminuição do impacto coletivo.

2.2 O conforto ambiental

Para Corbella e Yannas (2003), uma pessoa está confortável em relação a um acontecimento ou fenômeno quando pode observá-lo ou senti-lo sem preocupação ou incômodo.

Abrantes (2004), afirma que variáveis como características das edificações, arranjos físicos inadequados, poeiras, calor, radiação e iluminação, dentre outras, podem interferir de maneira negativa ou positiva no comportamento de uma pessoa.

Verdussen (1998 *apud* Bormio 2007), a partir do imediatismo de sua influência, classifica os fatores de interferência na sensação causada pelo ambiente como primários (temperatura, iluminação, ruído, vibrações, odores, cores) e secundários (arquitetura, relações humanas, remuneração, estabilidade, apoio social).

De acordo com Egan (1975, *apud* Malheiros 2005), o conforto ambiental, na arquitetura, é entendido como a combinação de aspectos fisiológicos (visuais, higiênicos, acústicos e térmicos), psicológicos (de reconhecimento, adaptação), funcionais (atividades, permanência, convivência) e dimensionais (espaços para as atividades, antropometria) que atuam, em conjunto, nos espaços construídos para o uso do homem, transmitindo ao mesmo, sensações agradáveis ao ocupar tais locais.

Menezes (2006), afirma que o conforto ambiental está relacionado às condições de habitabilidade oferecidas por determinado ambiente.

Lembrando que o conforto ambiental relacionado à arquitetura e ao ambiente é composto pelo conforto térmico, visual, acústico e ergonômico, para Grzybowski (2004), geralmente, o desconforto térmico é uma das maiores reclamações dentre os fatores que compõe o conforto ambiental.

De acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) – Projeto 02:136.01-001/1: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (Parte 1- Requisitos), as exigências do usuário relativas à habitabilidade, podem ser expressas pelos seguintes fatores:

- estanqueidade;
- conforto térmico;
- conforto acústico;
- conforto lumínico;

- saúde, higiene e qualidade do ar;
- funcionalidade e acessibilidade;
- conforto tátil e antropodinâmico.

2.3 O organismo humano e a temperatura

Segundo Frota e Schiffer (2001), o homem é um animal homeotérmico cujo organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante. Em um organismo saudável, essa temperatura é mantida entre 36,1 e 37,2°C. Já em caso de enfermidade, para sobrevivência, a temperatura interna do organismo tem como limite inferior 32°C e como superior 42°C.

De acordo com Kroemer e Grandjean (2005), a temperatura do corpo humano não é uniformemente distribuída. A chamada temperatura central constante, em torno de 37°C (encontrada no interior do cérebro, coração e órgãos abdominais), é pré-requisito para o funcionamento das funções vitais mais importantes. A temperatura periférica (aquela encontrada nos músculos, membros e acima de tudo, na pele), apresenta grandes variações, já que dependendo da necessidade do organismo, o calor é conservado ou dissipado.

Ruas (2002), explica que o hipotálamo, parte do cérebro ligada a diversas funções automáticas, como atividades vasomotoras ou humorais, também é o responsável pelo sistema de termo-regulação do corpo humano. É para essa região do cérebro que as células termo-sensíveis existentes na pele e nos músculos, entre outras partes do organismo, enviam impulsos nervosos. Assim, quando necessário, visando a manutenção da temperatura interna corporal, mecanismos que interferem nas trocas térmicas entre o corpo e o ambiente são ativados.

Segundo Grzybowski (2004), a termo-regulação do corpo se dá por três processos principais:

- vasoconstrição: com a sensação de frio, há a redução da circulação sanguínea junto a pele, reduzindo sua temperatura, tornando-a um bom isolante térmico e, conseqüentemente diminuindo a quantidade de calor perdida pelo corpo para o meio ambiente;
- vasodilatação: com a sensação de calor, há um incremento na circulação sanguínea e conseqüente elevação da temperatura da pele, aumentando as perdas de calor do corpo para o meio ambiente;
- sudação: a ativação das glândulas sudoríparas (liberação de suor pelos poros da pele) é iniciada quando atingida uma temperatura de 35°C. A descarga de suor implica em importantes perdas de calor visando a recuperação do equilíbrio térmico quando o homem está sujeito a um ambiente quente ou grande esforço físico.

Kroemer e Grandjean (2005), afirmam que dificilmente uma pessoa nota o clima no interior de uma sala enquanto ele é agradável, porém, quanto mais ele desvia de um padrão de conforto, tanto mais ele atrai a atenção, podendo até gerar alterações funcionais que podem afetar todo o corpo. O superaquecimento gera cansaço e sonolência, redução do desempenho físico e aumento de erros. Já o super-resfriamento, gera superatividade, reduzindo o estado de alerta e concentração, particularmente nas atividades mentais. Portanto, “a manutenção de um clima confortável é essencial para o bem estar e desempenho em eficiência máxima”.

Assim, Padilha (2010) lembra que, para a manutenção do equilíbrio térmico do corpo humano, as quantidades de calor gerado e absorvido pelo organismo devem ser contrabalanceadas com aquela perdida para o meio ambiente.

Deve-se citar ainda que, há mais de uma década, Ruas (1999), já afirmava que o conforto e o balanço térmico estão diretamente relacionados, já que a sensação de bem estar térmico depende do sistema termorregulador na manutenção do equilíbrio térmico do corpo humano. Quanto maior o trabalho do sistema para manter a temperatura interna corporal, maior será a sensação de desconforto.

2.3.1 Mecanismos de trocas térmicas

De acordo com Ruas (1999), o excesso de energia produzida pelo metabolismo humano é transformado em calor que, visando o manutenção da temperatura corporal constante, deve ser liberado para o meio ambiente.

Lamberts (2005), afirma que a quantidade de calor liberado pelo organismo varia de acordo com a atividade desenvolvida pelo homem. A dissipação de calor para o meio ambiente pode ocorrer por trocas secas (ocorrem em função da diferença de temperaturas entre o corpo e o meio ambiente por calor sensível), através da condução, convecção e radiação ou úmidas (quando há mudança de fase – através da evaporação o suor passa do estado líquido para o gasoso).

lida (2001) descreve o fenômeno da condução como a troca de calor entre corpos que estejam em contato e a diferentes temperaturas. A troca de calor por convecção ocorre a partir do movimento da camada de ar próxima a pele, que contribui para a dissipação do ar quente e sua substituição pelo ar frio. Já as trocas de calor por radiação ocorrem continuamente entre os corpos e/ou meio ambiente, através da irradiação de calor por ondas eletromagnéticas dos corpos de maior para os de menor temperatura.

De acordo com Oliveira e Ribas (1995), a propriedade fundamental de um material na transmissão de calor por condução é a condutibilidade térmica (depende da densidade, natureza química e umidade do material), sendo a resistência térmica o seu oposto. A utilização de materiais de construção, para conduzir ou para criar resistência ao calor, é otimizada quando são combinadas características de diferentes materiais.

Quando citam a convecção, os autores afirmam que a ventilação é fator determinante para a ocorrência da mesma. Assim, através da posição das aberturas, localização da vegetação ou criação do efeito chaminé nos telhados, a arquitetura de uma edificação pode contribuir para tal mecanismo de troca de calor.

Oliveira e Ribas (1995), ainda lembram que a radiação solar pode ser direta ou difusa. Assim, através de estudos sobre sombreamento (diagramas de sombra), é possível o controle da radiação direta com maior eficácia, a partir da adoção de diversas soluções projetuais. Para controlar a radiação difusa seria necessária a desumidificação do ar (não possível através de métodos passivos). Citam ainda como importante item a ser considerado no controle da insolação, o conhecimento das propriedades radiativas dos materiais.

A evaporação, troca úmida de calor entre o meio ambiente e o corpo humano, é explicada por Frota e Schiffer (2001) como a troca térmica ocorrida através da mudança do estado líquido para o gasoso. Esse fenômeno de troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente é conhecido como transpiração e, necessita de dispêndio de energia para ocorrer.

Oliveira e Ribas (1995), lembram que a presença de vegetação ou lâminas d'água otimiza o processo de troca de calor por evaporação.

Pizarro (2005), ainda lembra que a respiração também é um meio de perda ou ganho de calor pelo corpo humano.

Segundo Padilha (2010), a troca de calor por evaporação é a maneira mais eficiente de perda de calor do corpo para o meio ambiente, já que a dissipação de calor através da evaporação de suor resfria a superfície do corpo.

2.3.2 O conforto térmico

Oliveira e Ribas (1995), afirmam que a obtenção de conforto térmico se processa quando o organismo perde para o ambiente calor produzido compatível com sua atividade, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo-regulação.

De acordo com a ASHRAE Standard 55-92, (*apud* Lamberts e Xavier, 2002; p. 03):

Conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico.

Oliveira e Ribas (1995, p. 31), citam como fatores subjetivos individuais de destaque para a sensação de conforto térmico:

- Hábitos alimentares que afetam o metabolismo e justificam a dieta dos povos tropicais e árticos;
- idade e o sexo. Quanto mais idosa a pessoa maior preferência por ambientes mais aquecidos; assim como a mulher, que tem o metabolismo (produção de calor) inferior ao do homem prefere um grau, em média, mais elevado;
- a forma do corpo – a relação volume e superfície influencia na preferência térmica;
- a gordura do corpo – que funciona como isolante térmico;
- o estado de saúde. A pessoa enferma pode ter seus limites de conforto muito estreitos;
- o vestuário, que altera significativamente as trocas térmicas;
- o processo de aclimação dos indivíduos. As pessoas, em seus climas de permanência, tendem a produzir hábitos e alterações metabólicas (quantidade de sangue, capacidade de suor, etc.) que equilibra as condições térmicas adversas. Assim um siberiano, acostumado aos rigores do inverno, sentiria extremo desconforto no verão do Rio de Janeiro. A não ser que se aclimatasse, após algum tempo, ao clima carioca.

Ruas (1999), cita o conforto térmico como resultado da combinação satisfatória, em um ambiente, da temperatura radiante média (t_{rm}), umidade relativa (UR), temperatura do ambiente (t_a) e velocidade relativa do ar (v_r) com a atividade desenvolvida e com a vestimenta das pessoas”.

Segundo Frotta e Schiffer (2001), o homem possui melhores condições de vida e saúde, quando seu organismo pode funcionar sem que seja submetido a fadiga ou estresse, inclusive térmico (quando as trocas de calor entre o ambiente e o corpo são prejudicadas).

Para Grzybowski (2004), o calor cada vez mais intenso afeta o conforto e a eficiência dos ocupantes de determinado ambiente. O calor excessivo provoca efeitos sobre o indivíduo, deixando-o cansado, reduzindo sua atenção e aumentando as tendências a incorrer em erros ou acidentes, além de poder causar as chamadas doenças do calor.

Beraldo (2006), afirma que o clima e as estações do ano influenciam na sensação de conforto térmico. Porém, apesar de possível o controle do clima interno do edifício, o externo não pode ser controlado, devendo ser então minimizado através da envolvente do edifício e da interação deste com o meio ambiente.

Assim, de acordo com Ribeiro (2007), uma das funções da arquitetura é oferecer ao homem condições térmicas compatíveis ao conforto ambiental humano no interior dos edifícios, independente das condições climáticas externas.

Bormio (2007), também lembra que para a concepção de um ambiente adequado, em termos de conforto térmico, deve-se conhecer o local onde a edificação será instalada, analisando o clima local e estratégias projetuais que possam ser adotadas. São necessários estudos de bioclimatologia inseridos na arquitetura.

2.3.3 Determinação do índice de conforto térmico

São várias as maneiras existentes para a realização do cálculo do índice de conforto térmico de um ambiente, podendo ser citados, como os mais conhecidos para as condições climáticas brasileiras o “Índice de temperatura efetiva” e o “Índice de IBUTG”

- **Índice de temperatura efetiva**

Padilha (2010), explica que o índice de temperatura efetiva é definido como a temperatura de um ambiente de ar saturado e de velocidade nula que provoca, no ser

humano, a mesma sensação térmica resultante da combinação entre temperatura, umidade e velocidade relativa do ar.

Ainda de acordo com o autor, o método não é eficiente, já que não define um intervalo de temperatura que proporciona conforto à um número significativo de pessoas. Ressalta-se também que as experiências das quais resultaram as cartas de temperatura efetiva não levaram em consideração os efeitos da atividade e da vestimenta dos indivíduos, além de desprezar o efeito da temperatura radiante média.

- **Índice de IBUTG**

De acordo com Barbiero (2004), a estimativa do Índice de bulbo úmido – termômetro de globo (IBUTG) é utilizada para a avaliação do stress térmico a que um indivíduo se encontra exposto em situações ambientais extremas de frio e calor. A autora ainda lembra a Norma Regulamentadora – NR 15.

Padilha (2010), afirma que o método consiste num índice de sobrecarga térmica, definido por uma equação matemática que correlaciona alguns parâmetros medidos no ambiente. A equação utilizada para o cálculo do índice varia em função da presença, ou não, de carga solar.

Segundo a norma NR-15, para ambientes internos ou externos sem carga solar, deve ser utilizada a seguinte relação:

$$\text{IBUTG} = 0,7t_{bn} + 0,3t_g$$

e para ambientes externos com carga solar:

$$\text{BUTG} = 0,7t_{bn} + 0,1t_{bs} + 0,2t_g$$

Onde:

t_{bn} = temperatura de bulbo úmido natural (°C);

t_g = temperatura de globo (°C);

tbs = temperatura de bulbo seco (°C) – (em ambiente sem carga solar tbs = tg).

Temperatura de bulbo seco, segundo Padilha (2010), é a temperatura de equilíbrio da mistura ar e vapor, conforme indicado por qualquer termômetro. Já a temperatura de bulbo úmido é a temperatura observada em um termômetro comum, cujo bulbo é revestido por um tecido umedecido. O equipamento deve ser mantido em posição vertical e exposto a ventilação (natural ou forçada). Coutinho (2005), explicita que a temperatura de globo indica a intensidade de radiação térmica existente num ambiente.

2.4 A edificação e o meio ambiente

No século XXI a arquitetura, sem desprezar o belo e a plasticidade das formas, o conforto e a funcionalidade, terá que forçosamente reencontrar o meio ambiente cujo equilíbrio é de fundamental importância para a sobrevivência da espécie humana na Terra.

CONDE, L.P. Prefácio. *In*:CORBELLA e YANNAS (2003).

Atualmente são várias as alternativas para a adequação da edificação ao terreno e clima do local onde a mesma será implantada, de forma que as características e potencialidades da área sejam aproveitadas para a obtenção de um bom nível de conforto ambiental no interior da edificação. Ressalta-se que tal ação contribui, também, diretamente, para o menor dispêndio de energia e redução de níveis de agressão ao meio ambiente.

Grzybowski (2004) afirma que através do aumento na realização de estudos sobre soluções projetuais que contribuam para a obtenção de bons índices de conforto ambiental no interior das edificações, poder-se-á, futuramente, sugerir-se uma sequência de procedimentos a serem adotados visando a melhoraria do desempenho das construções.

Segundo Munhoz (2005), podendo gerar ganhos de calor e intermediando diferentes graus de aquecimento e luminosidade, a insolação pode ser aproveitada ou evitada no sentido de promover o bem estar dos usuários nos ambientes.

2.4.1 Influência das variáveis arquitetônicas no desempenho térmico do edifício

Maragno (2002), afirmando que são inúmeras as soluções arquitetônicas que afetam o condicionamento interno de um edifício, cita quatro maneiras de interação entre uma edificação e o meio ambiente:

- efetiva exposição solar dos elementos opacos e transparentes das envoltórias;
- efetivo ganho de calor solar pelos edifícios;
- razão entre o ganho e a perda de calor do ar ambiente;
- potencial de ventilação natural e refrigeração passiva do ambiente.

Assim, são muitas as variáveis arquitetônicas que contribuem para o melhor desempenho térmico e enérgico de uma edificação, devendo ser aplicados a cada tipo de construção os recursos construtivos mais adequados. Devem ser adotadas soluções que sejam condizentes com o padrão da edificação em construção, devendo-se, portanto, ressaltar a importância pelo planejamento e busca de soluções financeiramente viáveis para cada tipo de obra.

Para Gret (1986, *apud* Oliveira e Ribas, 1995), as respostas da arquitetura à questões climáticas podem ser apreendidas em diferentes níveis. Estas podem se dar através de dispositivos arquitetônicos (controle da insolação, inércia...); por dispositivos técnicos (ar condicionado, ventilação mecânica...); elementos construtivos (aberturas, telhados...), inserção no sítio (plano de massa, orientação...).

Lamberts, Dutra e Pereira (1997), também apresentam algumas das variáveis arquitetônicas que interferem diretamente no desempenho térmico e energético de uma edificação. Estas estão descritas a seguir:

- **A forma**

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a forma arquitetônica pode ter grande influência no conforto ambiental e na quantidade de energia consumida em uma edificação, já que interfere diretamente sobre os fluxos de ar no interior e exterior e, também, na quantidade de luz e calor solar recebidos pelo edifício.

Os autores ainda lembram que a quantidade de radiação solar incidente na edificação varia de acordo com a orientação de implantação da mesma e com a época do ano. Sendo assim, deve-se considerar que a forma arquitetônica é uma importante variável para as condições interiores de conforto e, conseqüentemente, para o desempenho energético da edificação. Assim, apenas a diferente distribuição de janelas em um volume, por exemplo, modificando-as de superfície ou suas áreas envidraçadas, já implica em variações térmicas e visuais do micro-clima interno.

Quando se trata da forma da edificação, Romero (*apud* Nakamura, 2006), apresenta as seguintes “regras” para a melhoria das condições ambientais internas:

- a concepção alongada favorece o acesso de luz natural e propicia ventilação natural cruzada;
- utilizar cobertura dupla ou com maior isolamento térmico;
- proteger as aberturas contra chuvas;
- criar zonas climáticas: localização dos núcleos de serviços (banheiros, escadas, elevadores) na orientação com maior incidência de radiação solar (proporcionando proteção e isolamento às demais áreas);
- quando a edificação possuir mais de um pavimento, projetar sombra sobre os pisos inferiores;

- evitar fachadas planas e “paredes” de vidros de pouca espessura;
- aproveitar os ventos para ventilação natural.

- **Função**

A função da edificação é de extrema importância para algumas decisões projetuais já que, um mesmo projeto arquitetônico, quando aplicados à diferentes fins (comércio ou habitação), pode apresentar comportamentos ambientais e energéticos diferentes (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997).

- **Fechamentos**

Os fechamentos podem ser opacos ou transparentes, funcionar ou não como barreiras para a radiação solar. Assim, a partir do conhecimento dos conceitos de transmissão de calor e comportamento térmico dos materiais, o projetista está apto a dimensionar e especificar corretamente as aberturas e materiais a serem empregados (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997).

Em fechamentos opacos a transmissão de calor ocorre quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interna e externa, sendo que o fluxo de calor ocorrerá, sempre, da superfície mais quente para a mais fria.

Baseado em esquema apresentado por Frota e Schiffer (2001), os mecanismos de trocas de calor nesse tipo de fechamento estão apresentados na Figura 01.

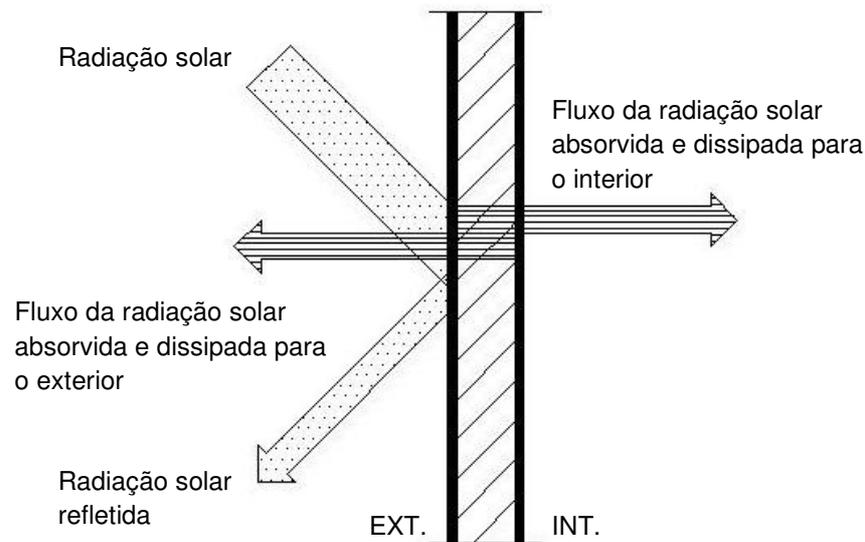


Figura 01 – Trocas de calor através de paredes opacas.
Fonte: Frota e Schiffer (2001).

A partir da realização de estudos a respeito da melhor solução a ser adotada, Frota e Shiffer (2001) citam o brise-soleil, e o beiral como elementos que contribuem para a diminuição da incidência solar e, conseqüentemente, para a redução de ganhos térmicos por fechamentos opacos.

Já em fechamentos transparentes ou translúcidos (como janelas e clarabóias) é onde ocorrem as principais trocas térmicas de uma edificação. As trocas podem ocorrer por condução ou convecção, como em fechamentos opacos ou, por radiação, quando, dependendo das características do vidro, uma parcela da radiação solar pode ser transmitida diretamente para o interior do ambiente (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA,1997).

A orientação e o tamanho das aberturas com esse tipo de fechamento contribuem para ou aumento ou diminuição da incidência de raios solares no ambiente. Outro fator que depende das dimensões dessas aberturas é a iluminação natural do ambiente. Portanto, é bastante importante o estudo da orientação solar para a implantação da edificação (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA,1997).

De maneira geral, de acordo com a trajetória do sol, para cada orientação têm-se o seguinte:

- fachada leste: ensolarada todas as manhãs durante todas as estações;
- fachada oeste: ensolarada em todas as tardes durante todas as estações;
- fachada norte: sol mais baixo durante todo o dia no inverno e em boa parte da primavera e outono. No verão, o sol está mais alto e incide poucas horas do dia;
- fachada sul: insolação inexistente no inverno, pouco presente no outono e primavera, no início e final do dia; sol mais presente no verão, no início e final do dia, desaparecendo por volta do meio-dia para a fachada.

Assim, para paredes transparentes ou translúcidas expostas à incidência de radiação solar e, sujeitas a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, baseado no desenho apresentado por Frota e Schiffer (2001), é apresentado na Figura 02 um esquema dos mecanismos de troca nesses fechamentos.

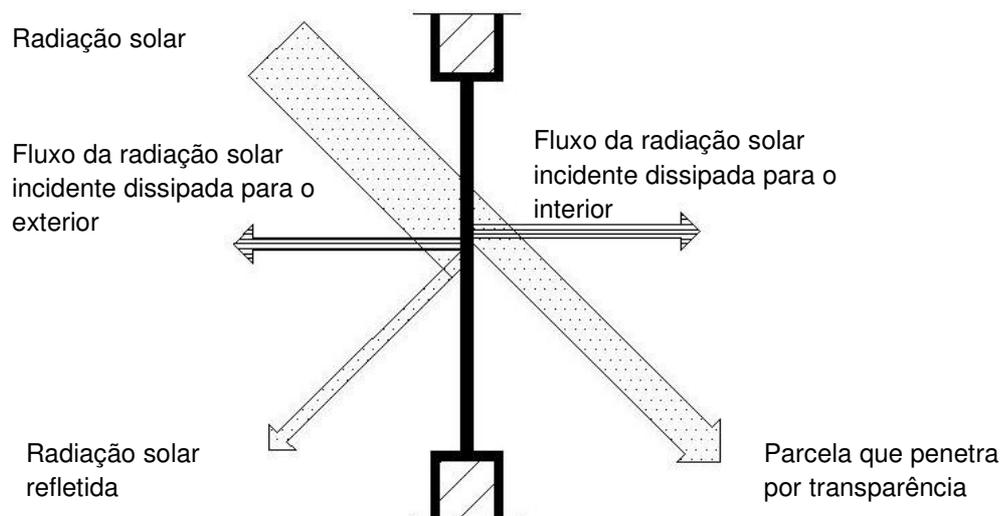


Figura 02 – Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas
 Fonte: Frota e Schiffer (2001).

Frota e Shiffer (2001) escrevem a respeito da proteção solar de paredes transparentes ou translúcidas. Os dispositivos utilizados podem ser internos ou externos ou, em caso de vidros duplos, localizar-se entre estes. A proteção externa, quando executada corretamente, tende a ser mais eficiente, barrando a radiação solar antes de sua penetração por transmissividade através do material. Porém, bons resultados

também podem ser obtidos com a utilização de proteções internas, já que estas devem ser projetadas de acordo com função, localização e orientação do edifício.

- **Sistemas de aquecimento de água**

No Brasil, o chuveiro elétrico é o sistema de aquecimento de água mais utilizado. Como alternativas disponíveis têm-se o aquecimento solar e o gás, devendo a edificação ser preparada com instalações bem isoladas termicamente caso tais alternativas sejam empregadas.

De acordo com Vizeu (2009), um estudo realizado na Escola Politécnica da USP, que levou em consideração o gasto com energia elétrica ou gás, dependendo do modelo e o gasto de água, mostra que o chuveiro elétrico é mais eficiente que o gás. O primeiro, apesar do dispêndio de energia, aquece a água com maior rapidez, diminuindo o desperdício da mesma.

Basso, et. al. (2010), aponta o sistema de aquecimento de água por energia solar como uma maneira de redução do consumo de energia elétrica no Brasil. Atribui também como outras vantagens, o fato de o sistema não causar poluição e possuir pouca manutenção, que se restringi à limpeza dos vidros.

De acordo com reportagem publicada na Revista Casa e Jardim (2011), o chuveiro elétrico é responsável por 25% do consumo energético mensal de uma residência, valor menor, apenas, do que aquele apresentado para a geladeira e freezer, responsáveis, juntos, por 30% do consumo. Em seguida vem a iluminação (20%), a televisão (10%), o ferro elétrico 10%), a máquina de lavar roupas (5%) e outros (4%).

Para Lamberts, Dutra e Pereira (1997), no caso de utilização de aquecimento solar, as superfícies coletoras de calor devem ser orientadas, no Brasil (hemisfério sul) a norte e, sua inclinação deve ser calculada de acordo com a disponibilidade de sol da região e do período (na maioria das vezes a inclinação do coletor deve ser próxima a latitude local).

Como possibilidades para o aquecimento de água, Serrador (2008), cita:

- utilização de aquecedores de água com condensadores;
- utilização de aquecedores solares de água;
- aquecimento distrital;
- utilização de bombas térmicas avançadas com custo competitivo para fornecer aquecimento e refrigeração;
- reaproveitamento do calor desperdiçado por condicionadores de ar e sistema de refrigeração, dentre outros, para aquecimento local de água.

- **Sistemas de iluminação**

Lamberts, Dutra e Pereira (1997), afirmam que a luz natural sempre foi a principal fonte de iluminação na arquitetura, porém, após a descoberta da eletricidade e a invenção da lâmpada a iluminação artificial passou a estar sempre presente nas edificações. Tal sistema torna possível a iluminação de edifícios de grande porte, pavimentos e de grandes ambientes, além de permitir ao homem a utilização das edificações no período da noite.

De acordo com Vianna e Gonçalves (2007), a combinação da luz natural e da artificial, em edifícios não residenciais pode gerar, mediante a eficiência do sistema, economias entre 30 e 70%. Embora o potencial de economia seja menor em edificações residenciais, o bom aproveitamento da luz diurna e dos raios solares diretos exerce um impacto positivo na qualidade de vida dos usuários da edificação. Ressalta-se também que projetos que fazem correto uso da luz natural, podem alcançar a iluminância requerida nos interiores.

Para o melhor desempenho da edificação, Serrador (2008), assegura que a readaptação de sistemas antigos de iluminação em edificações pode resultar em uma

economia de energia na ordem de 60%. Porém as seguintes ações podem aumentar a economia:

- utilização de lâmpadas e refletores de alta eficiência;
- controle automático de iluminação artificial em função da luz solar;
- utilização sensores que controlam a iluminação de um ambiente de acordo com sua taxa de ocupação;
- utilização de sistemas avançados de controle de luz suprimindo iluminação apenas nas áreas de trabalho imediato.

- **Climatização**

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), em função do clima local e da própria função a qual se destina o edifício, a adoção de sistemas artificiais de climatização se torna inevitável. Assim, tais estratégias de projeto devem ser pensadas ainda no momento de tomada do partido arquitetônico, de forma que os equipamentos necessários sejam empregados racionalmente, evitando o desperdício de energia.

A ventilação mecânica, asseguram os autores, pode ocorrer através de exaustores ou por ventiladores. Os primeiros são utilizados, normalmente, quando é necessária a retirada de impurezas do ar. O processo se dá através da criação de uma pressão negativa que suga o ar quente e impuro, mandando-o para fora do ambiente. Os depuradores também executam o trabalho de filtragem do ar, porém não retiram o calor do ambiente.

Os ventiladores são lembrados por Lamberts, Dutra e Pereira (1997), como equipamentos de baixo custo e fácil instalação, que refrescam o ambiente sem mudar sua temperatura. Estes podem ser móveis ou fixos no teto e, através da convecção que criam, ajudam na evaporação do suor e remoção do calor da pele, aumentando a sensação de conforto do usuário. Deve-se ressaltar que tais equipamentos também funcionam como exaustores, afastando insetos e fumaça.

Romero (*apud* Nakamura, 2006), em relação à aclimação passiva, cita as seguintes diretrizes para a melhoria do clima no interior das edificações:

- utilizar fachadas diferenciadas conforme a orientação;
- resfriamento evaporativo;
- sombreamento;
- incorporação de vegetação no isolamento da edificação, no resfriamento e no sombreamento;
- orientar o edifício na direção dos ventos predominantes;
- promover o resfriamento passivo noturno, por meio de vãos nas fachadas que permanecem abertos durante a noite, diminuindo, assim, a massa térmica a ser esfriada ou refrigerada no dia seguinte;
- aproveitamento da inércia térmica – massa térmica;
- camada de ar ventilada nas fachadas;
- captação da luz natural sem elevar excessivamente a carga térmica;
- utilizar vidros seletivos, que permitem a passagem de maior quantidade de radiação na faixa de luz visível e menos na faixa do infravermelho;
- utilização de dispositivos de proteção externos, verticais ou horizontais para minimizar a radiação solar direta no interior.

Já o aquecimento dos ambientes, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), pode ocorrer pela utilização, desde lareiras, até aparelhos de ar condicionado (ciclo reverso). Os autores citam como sistemas mais simples aqueles de aquecimento local ou direto, onde a fonte de energia utilizada pode ser eletricidade, gás, óleo ou combustíveis sólidos (lenha ou carvão, por exemplo). Porém, mencionam o sistema elétrico, devido a sua facilidade de instalação, baixo custo de transporte de energia, maneabilidade simples e ausência de combustão, como o mais difundido atualmente.

Tal sistema baseia-se no aquecimento elétrico provocado por uma corrente que passa através de uma resistência.

2.4.2 Sustentabilidade

Desenvolvimento sustentável não é somente a preservação dos recursos naturais, mas também a indústria e o consumo urbano, os quais constituem problemas centrais nesta temática. (...)

JHON, V. M. *In*: DIAS e DORNELAS (2007, p.113).

Segundo Nakamura (2006), há pelo menos três décadas assuntos relacionados à reação do meio ambiente ao crescimento demográfico e desenvolvimento. Porém, devido à desequilíbrios relacionados à destruição do planeta, como as alterações climáticas, reforçam a idéia de que todos são responsáveis pelas condições ambientais à que estão expostas as gerações futuras.

Diante de tal cenário, Nakamura (2006), afirma que o tema sustentabilidade passou a ser debatido em todas as atividades humanas, o que inclui a arquitetura, já que as cidades, com suas construções, atividades, serviços e transportes, consomem mais de 50% das fontes mundiais de energia disponíveis, além de serem geradoras de grande parte da emissão dos gases responsáveis pela mudança climática e serem consumidoras vorazes de matéria-prima.

Assim, de acordo com Dias e Dornelas (2007), temas relacionados ao desenvolvimento sustentável do planeta não são mais preocupações, apenas, de ecologistas e ambientalistas, estando presentes, também, na construção civil.

Os autores ainda afirmam que no Brasil, embora insuficientes, já são muitas as ações que têm sido implementadas relacionadas a assuntos como: gestão dos resíduos sólidos urbanos, reciclagem de entulhos para seu emprego na produção de concreto, argamassa e seus artefatos, além da eficiência energética.

2.4.3 A arquitetura sustentável

De acordo com Corbella e Yannas (2003, p.17), a arquitetura sustentável é:

(...) A arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações.

Silva, Pizzo e Fernandes (2005), afirmam que através da interação entre o ser humano e o meio ambiente que ocorre em construções sustentáveis e, do uso de materiais e tecnologias que não causem danos ao meio ambiente, obtêm-se a diminuição na degradação, tornando a construção ecologicamente correta. Ainda ressalta-se que a adoção de soluções projetuais sustentáveis é de grande importância, já que a construção civil é uma atividade econômica com efeitos adversos no meio ambiente, contribuindo para o esgotamento de recursos naturais, consumo de energia, poluição do ar e geração de resíduos.

Como proposições para a avaliação de sustentabilidade, Laerte Bernardes Arruda, *in* Dias e Dornelas (2007) cita a incorporação de diretrizes bioclimáticas; conforto térmico adequado da edificação em inverno e verão; otimização no uso da iluminação; uso de energias renováveis; uso de eletrodomésticos e equipamentos com selo de eficiência energética; garantia de um bom desempenho das janelas quanto à infiltração e vedação; redução do efeito de ilha de calor; conscientização do usuário e comissionamento em relação a eficiência energética.

Porto (2009), ressalta que o termo sustentabilidade não é sinônimo de conforto ambiental. Embora ambos estejam ligados à aspectos como isolamento, ventos dominantes, características do entorno, estudo de implantação, espessura de paredes e aberturas para ventilação, dentre outras coisas, para uma arquitetura sustentável fatores relacionados a aspectos econômicos, sociais e culturais devem ser considerados.

Segundo o autor, define-se como sustentável a arquitetura que em suas diferentes etapas (projeto, ocupação e uso e/demolição), avalie o entorno, a edificação

em si, os materiais, aspectos humanos e culturais. Assim, afirma que visando uma arquitetura bioclimática que controle iluminação, ruídos, ventilação, isolamento térmica, minimizando o uso de ar condicionado e evitando a emissão de CFC's (clorofluorocarbonetos – substâncias que deterioram a camada de ozônio na alta atmosfera), a latitude, longitude e topografia devem ser condicionantes projetuais.

Para Gonçalves e Duarte (2006, p. 54):

A arquitetura de baixo impacto ambiental não pressupõe um estilo ou um movimento arquitetônico, podendo ser encontrada tanto na arquitetura vernacular das mais variadas culturas como em muitos exemplos do modernismo e, ainda, na arquitetura mais recente, rotulada como *high-tech* ou *eco-tech*. Independentemente da vertente tecnológica, as soluções de projeto para o conforto ambiental e a eficiência energética relacionam os mesmos conhecimentos da física aplicada (transferência de calor, mecânica dos fluidos, física ondulatória e ótica) com os recursos locais e com a tecnologia apropriada.

Serrador (2008), afirma que no Brasil, o debate sobre sustentabilidade na construção é um tema recente e que, diferentemente do que ocorre nos países desenvolvidos, o governo não assumiu a liderança na promoção do conceito. Citando a preocupação do setor privado com os custos supostamente embutidos na aplicação de conceitos sustentáveis, o autor vê as Universidades como importantes instrumentos para, através de pesquisas, demonstrar que apesar dos maiores custos iniciais “a construção sustentável proporciona alta qualidade do ambiente construído, juntamente com melhor qualidade de vida e maior retorno financeiro à longo prazo”.

2.4.4 A Arquitetura Bioclimática

Para Maragno (2002), a Arquitetura Bioclimática é aquela que se baseia na correta aplicação de elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas em relação às características climáticas, melhorando o nível de conforto ambiental dos usuários de um ambiente e, poupando energia.

O objetivo do projeto de Arquitetura Bioclimática é prover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e precise da instalação da menor potência elétrica possível, o que também leva a mínima produção de poluição.

CORBELLA e YANNAS (2003; p.37).

Segundo Serrador (2008), de maneira mais concreta, a Arquitetura Bioclimática pode ser entendida como a busca por maior integração, adaptando a construção ao seu ambiente físico, sócioeconômico e cultural, através do uso de materiais local, formas e técnicas tradicionais, reduzindo o impacto ambiental e o consumo energético durante todo o processo de construção. Assim, o projeto deve ter como premissa a adequação ao clima e, de outros condicionantes naturais como o sol, ventos, topografia e vegetação, tirando proveito desses dados para gerar o conforto físico no espaço no espaço interno e um diálogo integrado à paisagem.

Cohen (2004), afirma que tal modo de projetar parte da premissa de que a cidade, como um instrumento para o desenvolvimento social, não poderia ter sua vida social organizada sem que o meio físico fosse considerado, sob o risco de gerar prejuízos à saúde da população.

Segundo Rotta (2009), visto que é crescente a preocupação da população com bons índices de conforto ambiental e, que soluções de condicionamento artificiais geram grande consumo de energia, a Arquitetura Bioclimática, através de estudos das características do clima local e seus efeitos sobre a edificação, se apresenta como importante ferramenta para a obtenção de ambientes termicamente mais confortáveis e, menos dispendiosos de energia.

De acordo com Grzybowski (2004), conceitos bioclimáticos e de eficiência energética devem ser aplicados de forma qualitativa desde o início do projeto.

Mascarello (2005), cita e descreve algumas das características que devem ser levadas em consideração quando se pensa na concepção de projetos arquitetônicos onde os conceitos relacionados à Arquitetura Bioclimática encontram-se presentes.

Assim, menciona o controle dos ganhos de calor, o uso da iluminação natural, a ventilação e o estudo da geometria solar.

- **Controle dos ganhos de calor**

Mascarello (2005), afirma que a radiação solar é fonte de calor e luz. Assim, tendo em vista que a radiação que entra pelas aberturas é absorvida pelas superfícies internas aumentando a temperatura do interior do edifício, esta pode ser interceptada antes de incidir nas superfícies verticais dos edifícios. O edifício deve ser posicionado no terreno de forma que obtenha cargas térmicas mínimas e, as aberturas podem ser protegidas, a fim de dificultar a entrada de sol.

- **Promover o uso da iluminação natural**

Para Mascarello (2005), o contato visual com o exterior e a correta utilização da iluminação natural são fatores fundamentais para a manutenção dos níveis de conforto visual e psicológico do usuário e, para o aumento da eficiência energética do edifício, através da diminuição na necessidade de iluminação artificial. Assim, explica que a luz artificial se converte em energia térmica que, somada ao calor dissipado por equipamentos e pelos usuários, aumenta a temperatura interna do ambiente. Lembra ainda, que grandes panos projetados visando a utilização, em abundância, da luz natural devem ser previstos de forma que não permitam a incidência solar direta no ambiente.

- **Ventilação**

A ventilação é importante por razões de conforto térmico e de salubridade, já que contribui para remoção de umidade e resfriamento dos ambientes. Ainda assegura que através de elementos arquitetônicos posicionados eficazmente em relação à direção

dos ventos, é possível a obtenção da chamada “ventilação cruzada” e, o estímulo à movimentação do ar por chaminés e diferenças de temperaturas. À medida que o ar circula em torno de uma edificação, zonas de alta pressão são criadas no lado que recebe os ventos e, de sucção no lado oposto (MASCARELLO, 2005).

A ventilação natural, como meio para o aumento do conforto térmico em regiões tropicais e subtropicais, deve ser destacada.

- **Estudo da geometria solar**

Através dos estudos a respeito das trajetórias do sol, torna-se possível a identificação da melhor posição de inserção do edifício no lote em relação ao astro durante as quatro estações do ano, a visualização das sombras produzidas por um edifício e as máscaras de sombra no céu projetadas por um objeto. Tais análises permitem a adoção de soluções projetuais que podem minimizar a carga térmica nas fachadas e aberturas da edificação (MASCARELLO, 2005).

2.4.5 Eficiência energética

Alves (2007), resume a eficiência energética como a quantidade de produto ou serviço provido por unidade de energia consumida para o seu provimento. Assim, esta pode ser medida a partir de diferentes indicadores (em função do equipamento, processo, tecnologia ou serviço estudado), sendo sua unidade, em qualquer caso, expressa, basicamente como unidade de produto/serviço por unidade de energia.

Laerte Bernardes Arruda, *in* Dias e Dornelas (2007), apresenta as seguintes políticas públicas sobre eficiência energética no Brasil:

- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL): criado em 1985;

- Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001: dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia;
- Norma Brasileira de Desempenho Térmico para Edificações 15220/2005: define o zoneamento bioclimático brasileiro e, diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

2.4.5.1 O conforto térmico, a eficiência energética e a arquitetura

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica no conjunto agregado de residências e do setor de comércio e serviços, cresceu 9% no mês de março de 2012, quando comparado ao mesmo mês do ano de 2011. Assim, registra-se a maior alta na baixa tensão desde dezembro de 2009, além de um incremento de 6,1% no consumo total da rede elétrica, quando comparado ao consumo com março de 2011.

Ainda segundo a EPE, o crescimento no consumo energético pelo setor industrial no mês de março de 2012, foi de 2,1%, quando comparado ao mesmo mês do ano anterior. Já o incremento registrado no setor de comércio e serviços foi de 10,6%, sendo este justificado pelo crescimento das atividades setoriais e, à diferença de dias úteis do mês de março, quando comparados os anos de 2012 e 2011.

Para o setor residencial, a empresa divulgou um crescimento, em um ano, de 8% do consumo de energia. Tal taxa de crescimento, é a maior registrada no ano e, deve-se, em parte, pelas condições climáticas observadas no mês de março.

Com efeito, condições climáticas, como temperaturas e chuvas, influem bastante no consumo residencial. Com exceção da região Norte, março deste ano teve, de modo geral, temperaturas médias acima das verificadas em março de 2011 e também menor número de dias chuvosos. Ambos os aspectos contribuem para aumento do consumo de energia, em razão da demanda pela climatização de ambientes.

(EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2012)

Assim, Gonçalves e Duarte (2006), afirmam que, considerando o desempenho ambiental da arquitetura atrelado ao conforto e à eficiência energética dentro do conceito de sustentabilidade, são oito os aspectos que exercem impacto no desempenho térmico do edifício, tendo papel determinante no uso de estratégias de ventilação natural, reflexão da radiação solar direta, sombreamento, resfriamento evaporativo, isolamento térmico, inércia térmica e aquecimento passivo. São eles:

- orientação solar e aos ventos;
- forma arquitetônica, arranjos espaciais, zoneamento dos usos internos do edifício e geometria dos espaços internos;
- características, condicionantes ambientais (vegetação, corpos d'água, ruído, etc.) e tratamento do entorno imediato;
- materiais da estrutura, das vedações internas e externas, considerando desempenho térmico e cores;
- tratamento das fachadas e coberturas, de acordo com a necessidade de proteção solar;
- áreas envidraçadas e de abertura, considerando a proporção quanto à área de envoltória, o posicionamento na fachada e o tipo de fechamento, seja ele vazado, transparente ou translúcido;
- detalhamento das proteções solares considerando o tipo e dimensionamento;
- detalhamento das esquadrias.

2.5 A habitação no Brasil

Atualmente, segundo Franco (2012), em artigo publicado no site da SAE (Secretária de Assuntos Estratégicos da Presidência da República), o Brasil possui um

déficit habitacional próximo a 8 milhões de moradias, o que equivale a 15% do total (954,8 milhões) de unidades existentes no território nacional.

O autor ainda afirma que a maior demanda (83% do total) por habitação concentra-se entre as famílias com renda inferior a dois salários mínimos e, apresenta uma projeção para o ano 2050, segundo a qual o país apresentará um déficit de 30 milhões de moradias.

De acordo com Freitas (2007), as crises geradas pela falta de habitação nas cidades brasileiras são de difíceis soluções devido ao fato do assunto abranger fatores de ordem social, política e tecnológica.

2.5.1 A habitação de interesse social

De acordo com Freitas (2007), a crise habitacional brasileira teve início na década de 1950, quando o êxodo rural teve significativo aumento por conta da industrialização e urbanização. O acelerado crescimento da população de baixo poder aquisitivo nas cidades, fez com que surgissem as moradias ilegais em áreas de periferia ou terrenos invadidos.

Segundo Rotta (2009), a partir das consequências geradas pela Revolução Industrial no plano urbano e seus reflexos nas construções, observa-se a massificação dos padrões construtivos das habitações destinadas à população de baixa renda e, pelo lado da política habitacional, a proliferação dos conjuntos habitacionais de baixa renda. Para Freitas (2007), nessa época, a população ficou dependente de programas de moradia governamentais, usados e instituídos, na maior parte das vezes, como estratégia de legitimação política.

Freitas (2007), assegura que exemplos de conjuntos habitacionais podem ser encontrados desde a presidência de Getúlio Vargas (1930 – 1945), quando são iniciados os debates evidenciando a industrialização, o operário e a habitação.

Para Holz e Monteiro (2008), as políticas habitacionais propostas foram, em sua maioria, ineficazes devido a diversos fatores políticos, sociais, econômicos e culturais. O resultado desse processo é que, atualmente, mais de 82% da população brasileira é urbana. O surgimento de políticas habitacionais realmente preocupadas em solucionar o alarmante problema é recente, tendo sido implementado na Constituição Federal de 1988, e regulamentado pelo Estatuto da Cidade (2001), que regula o uso da propriedade urbana em prol do interesse coletivo e do equilíbrio ambiental, sendo um instrumento inovador na política habitacional e importante ferramenta de regularização fundiária.

De acordo com texto publicado em livro da Coleção Habitare (Habitações sociais nas metrópoles brasileiras, 2007), apesar dos subsídios diretos e indiretos, as casas populares ainda são muito caras para a população de baixa renda nos países subdesenvolvidos. Assim há um grande problema: se o subsídio ocorre em maior escala, a produção quantitativa de casas é comprometida; porém a busca por um nível maior de eficácia, através do retorno do capital aplicado, exclui grande parcela da população de programas destinados à construção de habitações de interesse social.

No ano de 2005 foi instituído o SNHIS (Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social) que, de acordo com o Ministério das Cidades tem como objetivo principal a implementação de programas que promovam, para a população de baixa renda, o acesso à moradias dignas. Também “centraliza todos os programas e projetos destinados à habitação de interesse social, sendo integrado pelos seguintes órgãos e entidades: Ministério das Cidades, Conselho Gestor do Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social, Caixa Econômica Federal, Conselho das Cidades, Conselhos, Órgãos e Instituições da Administração Pública direta e indireta dos Estados, Distrito Federal e Municípios, relacionados às questões urbanas e habitacionais, entidades privadas que desempenham atividades na área habitacional e agentes financeiros autorizados pelo Conselho Monetário Nacional” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012).

O FNHIS (Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social) centraliza os recursos orçamentários dos programas de Urbanização de Assentamentos Subnormais e de Habitação de Interesse Social inseridos no SNHIS. “É composto por recursos do

Orçamento Geral da União, do Fundo de Apoio ao Desenvolvimento Social (FAZ), dotações, recursos de empréstimos externos e internos, contribuições e doações de pessoas físicas ou jurídicas, entidades e organismos de cooperação nacionais ou internacionais e receitas de operações realizadas com recursos do FNHIS. Esses recursos têm aplicação definida por Lei, como, por exemplo, a aquisição, construção, conclusão, melhoria, reforma, locação social e arrendamento de unidades habitacionais, a produção de lotes urbanizados para fins habitacionais, a regularização fundiária e urbanística de áreas de interesse social, ou a implantação de saneamento básico, infra-estrutura e equipamentos urbanos, complementares aos programas de habitação de interesse social” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012).

2.5.2 A produção da habitação de interesse social no Brasil

Segundo Palermo *et. al.* (2007), tendo como principal missão a redução do déficit de moradias no país, a política pública habitacional brasileira, restringe o assunto, na maior parte das vezes, a um olhar quantitativo, reduzindo o problema habitacional a uma questão numérica, de forma que os aspectos sociais relacionados ao assunto sejam desconsiderados.

Menezes (2006), assegura que, se levados em conta aspectos sociais e humanos, as habitações devem ser construídas de maneira que possam oferecer condições de conforto aos seus usuários.

A repetição de conjuntos habitacionais em séries de casas populares iguais, em lotes isolados, ou em idênticos edifícios de apartamentos, para as moradias de interesse social brasileiras, reproduz políticas e programas governamentais defasados, indiferentes à qualidade projetual, os quais afetam negativamente a qualidade de vida proporcionada pelo ambiente construído (...).

ROSA (2008, p.02).

Nerbas e Kuhn (2010), afirmam que as soluções adotadas no âmbito governamental visam a diminuição da defasagem de acesso a casa própria, porém diversas outras questões surgem desse processo. O processo de planejamento e construções de habitais de interesse social no Brasil busca solucionar problemas quantitativos de acesso, refletindo isso, na necessidade de diminuição de custos do processo de implantação desses empreendimentos. Assim, na maioria das vezes são adotados padrões construtivos que gerem economia de recursos e gerenciamento de procedimentos padrões.

Assim, acordo com Palermo *et. al.* (2007), visando a citada redução de custos de forma que as unidades construídas possam ser adquiridas por pessoas de baixa renda, ocorre a redução dimensional ou qualitativa e padronização excessiva das edificações, sendo condicionantes ambientais da região de implantação das mesmas e, as necessidades de seus futuros usuários, itens ignorados na realização dos empreendimentos. Como resultado, tem-se soluções de qualidade plástica duvidosa e espaços minúsculos, dispostos em edificações tecnicamente mal concebidas, além de mal executadas.

2.5.3 A habitação de interesse social e a sustentabilidade

De acordo com Vaghetti *et. al.* (2010, p.02)

Construir com qualidade e eficiência significa adaptar os melhores materiais e as melhores tecnologias dentro de um padrão técnico aceitável, buscando alternativas que viabilizem a execução da obra em um prazo mínimo a custo mínimo.

Porém, os autores afirmam que todo o esforço em busca da qualidade e eficiência apenas será válido se a construção atingir sua real função de abrigar seus moradores com adequado nível de conforto térmico, devendo o projetista lidar com três ingredientes considerados básicos na arquitetura: o clima, a edificação e as pessoas que a ocupam. Ainda como um trabalho mais desafiador é a realização de um projeto

de uma edificação voltada para uma camada da população que tem muitas carências básicas (como alimentação, vestuários, escolaridade, etc.) e de fatores de entorno (como infra-estrutura básica de água, esgoto e energia elétrica).

Assim, o objetivo do trabalho de Vagheti *et. al.* (2010), em contraposição ao mercado, é mostrar a viabilidade da construção de casas populares eficientes, ecológica e economicamente, agregando materiais e soluções sustentáveis visando o aproveitamento dos recursos ambientais disponíveis. Também há a busca pela conscientização da comunidade científica e de todos os profissionais ligados à tecnologia e construção da importância de moradias sustentáveis e de baixo custo voltadas para as populações de baixa renda.

Vislumbrando ampliar as discussões a respeito do assunto, Diligenti *et.al* (2010), apresentam uma “proposta de criação de um protótipo laboratorial de habitação para aplicação e avaliação de técnicas de baixo impacto ambiental em Habitações de Interesse Social”. A partir de estudos a respeito das diretrizes de sustentabilidade e do histórico do *déficit* habitacional no Brasil surgiu a idéia da construção de um protótipo que servirá como uma casa de testes de tecnologias e técnicas construtivas, em busca da melhoria de habitações já existentes e de inovações tecnológicas. Itens como o comportamento dos materiais, viabilidade e possibilidade de aplicação devem ser analisados durante todo o período de teste de forma que, à longo prazo, seja possível o desenvolvimento de cartilhas de uso e execução de determinadas técnicas, incluindo a formação de um banco de dados de inovações tecnológicas.

2.6 As simulações de desempenho térmico e energético nas edificações

Para Frota e Schiffer (2001), devido às novas propostas implícitas em um processo criativo, métodos para a previsão do desempenho térmico de uma edificação,

em nível quantitativo, são ferramentas indispensáveis para a adoção de melhores estratégias de projeto na fase inicial do mesmo.

De acordo com Pedrini e Szokolay (2005), as ferramentas computacionais para análise do desempenho termo-energético de edificações estão no mercado mundial a mais de uma década, porém, embora voltadas, em sua maior parte à arquitetos, normalmente são utilizadas nos projetos de edificações por consultores (normalmente engenheiros e físicos). Porém, frequentemente, os consultores passam a atuar nos projetos em fases mais detalhadas dos mesmos, não participando do início dos projetos, quando as decisões arquitetônicas devem ser tomadas. Assim, as soluções para a melhoria do projeto ficam restritas, já que os projetos em fase de detalhamento apresentam inúmeras limitações quanto a alterações.

A partir da utilização de programas, que permitem a simulação do desempenho termo-energético de edificações a partir dos materiais e soluções projetuais para ventilação e iluminação, dentre outras, adotadas, é possível a construção de edifícios que gerem menores agressões ao meio ambiente.

Assim, atualmente, são vários os estudos realizados visando a análise de projetos e de edifícios já construídos a fim de que seja investigado o desempenho termo-energético dos mesmos.

Versage (2009), avalia a ventilação natural e o desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares através de simulações como o modelo de rede *AirflowNetwork* do *EnergyPlus*, adotando o clima de Campo Grande – MS. O estudo é realizado a partir da simulação de fluxos de ar causados pela ação dos ventos em múltiplas zonas através de um modelo de rede. O modelo calcula a pressão em cada nó e o fluxo de ar em cada componente de acordo com a pressão do vento e as relações entre cada elemento de abertura de forma dinâmica em simulações horárias. Através das taxas de ventilação são calculados os valores de temperatura do ar e umidade relativa.

A fim de investigar a influência da arquitetura no desempenho de edifício de escritórios condicionados artificialmente e, justificar a consultoria de eficiência energética desde a concepção arquitetônica do projeto, Cavalcante (2010), com o

auxílio da ferramenta de simulação energética computacional *EnergyPlus*, estima uma série de modelos. Visando identificar o potencial de estratégias de eficiência energética associadas à envoltória na redução do consumo e custo de energia, objetiva analisar a influência da percentagem da área envidraçada da fachada, propriedades óticas e térmicas dos fechamentos transparentes, aplicação de persianas automatizadas como dispositivos de proteção solar, orientação e proporções da arquitetura do pavimento tipo. São analisadas variações do pavimento tipo de edifícios de escritório condicionados artificialmente e projetados para serem certificados LEED (sistema de certificação Leadership and Environmental Design), não sendo, portanto, considerados o consumo de cargas condominiais (iluminação de garagem e externa, elevadores, bombas de recalque de água, equipamentos de tomada de áreas comuns, exaustão de garagem e de escritório, pressurização de escadas e ventiladores para tomada de ar externo).

Beyer (2010), através de simulações computacionais realizadas no programa *EnergyPlus*, visando Green Building certificado na categoria LEED na categoria Core e Shell, analisa o desempenho térmico de um edifício de 21 andares, de uso comercial e localizado na cidade de Curitiba. A partir da construção da linha de base, deve ser simulado o consumo anual de energia. Para neutralizar o efeito de orientação solar, o edifício deve ser o primeiro simulado com a orientação do edifício proposto e, em seguida deve ser simulado mais três vezes, cada vez que rodado de 90 °. O consumo anual é a média dos cálculos para as quatro orientações solares. O edifício proposto deve gastar pelo menos 10% menos energia anual com relação ao consumo de construção da linha de base anual. No caso do Core e Shell, não é possível mudar o sistema de ar condicionado, o poder de iluminação e equipamentos, pois não será fornecido pelo construtor. É possível fazer alterações apenas na envolvente do edifício proposto e os sistemas fornecidos pelo construtor.

Lima (2010), estuda a influência do sombreamento e da absorvância da envoltória no desempenho térmico e consumo energético em edifícios residenciais multifamiliares localizados em Maceió – AL, de modo que os resultados contribuam para a concepção e especificação de projetos de habitação de interesse social com

melhores desempenhos termo-energéticos. Assim, a pesquisa tem como objetivo a avaliação de um modelo desenvolvido a partir de observações em tipologias construtivas correntes, definidos a partir de um levantamento documental e pesquisa de campo de empreendimentos implantados na cidade. A partir da adoção do modelo, foram realizadas análises paramétricas visando à comparação de seu desempenho termo-energético em face de alguns parâmetros propostos, através de simulações computacionais utilizando o programa *EnergyPlus*. Os parâmetros construtivos testados foram: dispositivo de proteção solar, o entorno e a absorvância das paredes externas. As análises foram realizadas a partir da variação de um parâmetro e por vez e, preservando as demais características do modelo de referência.

3 Objetivos e justificativas

3.1 Objetivos

São diversas as soluções projetuais que podem ser adotadas visando a melhoria do nível de conforto ambiental (térmico, lumínico entres outros) em uma edificação.

Diante disto, o trabalho desenvolvido tem como objetivo, através da construção de modelos tridimensionais e, de simulações computacionais, estudar alguns parâmetros de projetos que influenciam o comportamento das temperaturas internas, para cada ambiente de uma habitação de interesse social, selecionando-se um dia de verão, no mês de fevereiro.

Assim, tem-se como objetivo principal deste trabalho o estudo das condições de habitabilidade a que estão expostos os moradores de um conjunto habitacional, a partir de fatores de análises pré-estabelecidos.

Assim, para a realização deste trabalho, como objetivos gerais, pode-se mencionar as seguintes etapas:

- apresentar e avaliar, as condições térmicas ambientais a que estão expostos os moradores de um núcleo habitacional de interesse social;
- realizar uma análise sobre a orientação solar de implantação de cada cômodo, pensando-se no nível de conforto térmico no interior dos mesmos;
- analisar a eficiência dos beirais, elementos presentes em diversos tipos de edificações e, essenciais no tipo de construção estudada, devido ao seu baixo custo e fácil execução, para a amenização das temperaturas internas na edificação através do sombreamento das paredes;
- analisar a prática construtiva amplamente difundida em conjuntos habitacionais brasileiros, onde um único modelo de moradia é aplicado em terrenos com fachadas voltadas à diferentes orientações solares;
- verificar a eficácia dos forros, solução comumente adotada pelos moradores, na busca pela melhoria das condições térmicas ambientais existentes no modelo analisado;
- estabelecer recomendações técnicas e funcionais na tentativa de melhorar as condições ambientais oferecidas aos moradores de núcleos habitacionais com residências de interesse social.

3.2 Justificativas

De acordo com Cohen (2010), o estado de saúde do ser humano depende de diversos cenários, sendo a habitação o espaço mais vulnerável e sensível à saúde. Assim, visto o ambiente como fator determinante da saúde, é este o local que deve favorecer o cumprimento das funções biológicas e sociais mais elementares, podendo ser definido como “o espaço de construção da saúde e consolidação do meio ambiente”.

Nerbas e Kuhn (2010), ressaltam que as soluções projetuais adotadas e os materiais nas edificações empregados, são determinantes para a saúde e conforto de seus usuários.

Para Kuhn (2006), deve-se considerar de grande importância a realização de pesquisas relacionadas ao desempenho das edificações, o que deve abranger as habitações de interesse social, visto que, o desenvolvimento de tal ação para esse tipo de edificação permite a adoção de melhorias que podem ter efeito multiplicador.

Tendo em vista que o método de construção de conjuntos habitacionais se baseia na reprodução, em larga escala, de um modelo construtivo, ainda segundo Kuhn (2006), soluções projetuais identificadas para a melhoria do conforto ambiental dessas edificações podem ser reproduzidas em diversas unidades, resultando em benefícios em grande escala.

Portanto, de maneira mais abrangente, visando a melhoria da qualidade dos conjuntos habitacionais produzidos e, a conseqüente melhoria da condição de habitabilidade proporcionada por estes aos seus moradores, considera-se de grande importância a realização de estudos que analisem as condições de conforto ambiental encontradas no interior das edificações de interesse social além, do estudo da eficácia das soluções já projetuais adotadas para essas construções.

Assim, de maneira mais específica, considerando a influência positiva que ambientes termicamente confortáveis proporcionam para o desenvolvimento de qualquer tipo de atividade, seja ela de trabalho ou descanso e, levando-se em consideração o fato de que as populações de baixo poder aquisitivo possuem mínimas condições para a aquisição de equipamentos ou, realização de modificações nas construções, de forma que seja alcançado um bom índice de conforto térmico no interior das mesmas, é indiscutível a necessidade da realização de estudos a respeito das condições de moradia a que está sendo exposta essa classe social.

4 Materiais e métodos

4.1 Materiais

O ambiente escolhido para o estudo é uma casa de interesse social, localizada na cidade de Bauru – SP.



Figura 03: Localização esquemática da cidade de Bauru.
FONTE: <http://www.simpep.feb.unesp.br/comocheGAR>

A cidade de Bauru, com um território de aproximadamente 673,5km², pertence à Unidade Federativa do estado de São Paulo, distando 345km da capital e podendo ser acessada por quatro rodovias estaduais. Possui seis municípios limítrofes: Arealva, Reginópolis, Piratininga, Agudos, Pederneiras e Avaí (Prefeitura Municipal de Bauru) e uma população de 343.937.000 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010). Bauru constitui uma conurbação com a cidade vizinha de Piratininga, que possui um contingente populacional de 12.072.000 habitantes (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Bauru>).

O município possui altitude média de 526m (máxima de 615m) e as seguintes coordenadas geográficas:

Longitude: entre os meridianos 48 e 50 ao Oeste de Greenwich (22°18'54''S);

Latitude: entre os paralelos 21, 30 e 23 ao Sul do Equador (49°03'39''W).

O clima na cidade é o “Tropical de altitude Aw”: clima tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18°. É recorrente, entre outras, nas regiões Noroeste do estado de São Paulo (cepagri meteorologia – Unicamp).

Nas Tabelas 01 e 02, disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMET), são apresentadas, respectivamente, as médias mensais e as máximas e mínimas mensais das temperaturas para a cidade de Bauru nos últimos cinco anos.

Através da Tabela 01, observa-se que de acordo com os dados apresentados, as maiores médias de temperaturas mensais, com exceção do ano de 2007, ocorrem no mês de fevereiro de cada ano.

Ressalta-se ainda que, embora no ano de 2007 a maior média mensal de temperaturas tenha sido registrada no mês de março, com uma diferença de 0.5°C, as médias das temperaturas calculadas para o mês de fevereiro deste classificam como o segundo mês mais quente do ano.

Tabela 01 – Temperatura média mensal em Bauru (°C).

| Ano | 2011 | 2010 | 2009 | 2008 | 2007 |
|------|------|------|------|------|------|
| Jan. | 25.4 | 24.9 | 23.6 | 23.4 | 24.2 |
| Fev. | 25.6 | 25.7 | 25.1 | 24.4 | 25.1 |
| Mar. | 23.3 | 24.9 | 25.1 | 23.8 | 25.6 |
| Abr. | 23.1 | 22.4 | 22.9 | 22.6 | 23.9 |
| Mai. | 19.4 | 19.6 | 21.0 | 19.3 | 19.6 |
| Jun. | 17.8 | 18.9 | 17.4 | 19.2 | 20.6 |
| Jul. | 20.1 | 20.3 | 19.1 | 19.8 | 18.5 |
| Ago. | 21.2 | 20.6 | 20.3 | 21.2 | 21.0 |
| Set. | 22.4 | 22.6 | 22.5 | 20.6 | 23.9 |
| Out. | 23.2 | 22.0 | 22.4 | 23.4 | 24.6 |
| Nov. | 22.8 | 24.1 | 25.7 | 23.6 | 22.8 |
| Dez. | 24.6 | 24.8 | 24.5 | 24.1 | 24.4 |

FONTE: IPMET (2012).

Já através da Tabela 02, nota-se que de acordo com as médias das temperaturas mínimas apresentadas para os doze meses dos anos de 2007 a 2011, com exceção dos meses de janeiro e março/2007 com temperaturas mais elevadas e, de novembro de 2009, quando a temperatura mínima registrada é a mesma, nos outros três anos, o mês de fevereiro é aquele que se apresenta com as temperaturas mínimas mais elevadas.

Quando analisadas as temperaturas médias das máximas temperaturas registradas para todos os meses dos anos de 2007 a 2011, tem-se no ano de 2007 a maior temperatura registrada no mês março, no ano de 2008 em dezembro, em 2009 no mês de novembro e, nos anos de 2010 e 2011, no mês de fevereiro.

Tabela 02 – Média das Temperaturas mínimas e máximas em Bauru (°C).

| Ano | 2011 | | 2010 | | 2009 | | 2008 | | 2007 | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Min. | Máx. |
| Jan. | 20.1 | 30.7 | 20.3 | 29.5 | 19.1 | 28.1 | 19.0 | 27.8 | 20.4 | 27.9 |
| Fev. | 20.3 | 30.9 | 20.4 | 31.1 | 20.1 | 30.0 | 19.4 | 29.5 | 19.6 | 30.6 |
| Mar. | 19.5 | 27.2 | 19.5 | 30.3 | 19.8 | 30.4 | 18.8 | 28.7 | 19.8 | 31.5 |
| Abr. | 18.0 | 28.2 | 16.9 | 28.0 | 16.9 | 28.9 | 17.7 | 27.4 | 18.4 | 29.4 |
| Mai. | 13.9 | 24.8 | 14.2 | 25.0 | 15.4 | 26.6 | 14.6 | 23.9 | 14.1 | 25.0 |
| Jun. | 11.8 | 23.8 | 12.8 | 25.1 | 12.1 | 22.6 | 14.0 | 24.4 | 14.7 | 26.5 |
| Jul. | 14.4 | 25.8 | 14.7 | 26.0 | 14.2 | 23.9 | 13.6 | 26.0 | 12.7 | 24.2 |
| Ago. | 14.7 | 27.7 | 13.3 | 27.9 | 14.4 | 26.2 | 15.2 | 27.1 | 14.4 | 27.5 |
| Set. | 14.5 | 30.3 | 16.4 | 28.9 | 17.1 | 27.9 | 14.1 | 27.1 | 17.0 | 30.7 |
| Out. | 17.2 | 29.2 | 15.7 | 28.3 | 16.7 | 28.1 | 17.0 | 29.0 | 17.9 | 31.4 |
| Nov. | 16.3 | 29.4 | 17.8 | 30.3 | 20.1 | 31.2 | 17.3 | 30.0 | 17.1 | 28.4 |
| Dez. | 18.4 | 30.8 | 19.4 | 30.2 | 19.6 | 29.5 | 17.6 | 30.6 | 18.9 | 29.9 |

FONTE: IPMET (2012).

4.1.1 A edificação estudada

A edificação escolhida para o estudo na cidade Bauru faz parte de um conjunto habitacional de interesse social.

A construção, com área total de 34m², está inserida em um terreno de medidas 10x25m (250m²), possuindo recuo lateral do lado direito de 1m, do lado esquerdo de 3,50m e, frontal de 5m.

Pode-se citar como materiais construtivos utilizados, alvenaria revestida com reboco e pintura nas paredes, cobertura com estrutura em madeira e telhas cerâmicas, janelas com estrutura de ferro e fechamento em vidro na sala, cozinha e no banheiro e, janelas com venezianas e vidros nos quartos.

Devido a inexistência de forro no interior da casa, o pé direito da mesma varia entre 2,8m (áreas próximas as paredes que dividem o meio externo do interno da construção) e 3,7 (cumieira do telhado), acompanhando a inclinação da cobertura que, possui beiral de 0,50m.

Na Figura 04 é apresentada uma vista frontal esquemática da edificação descrita.

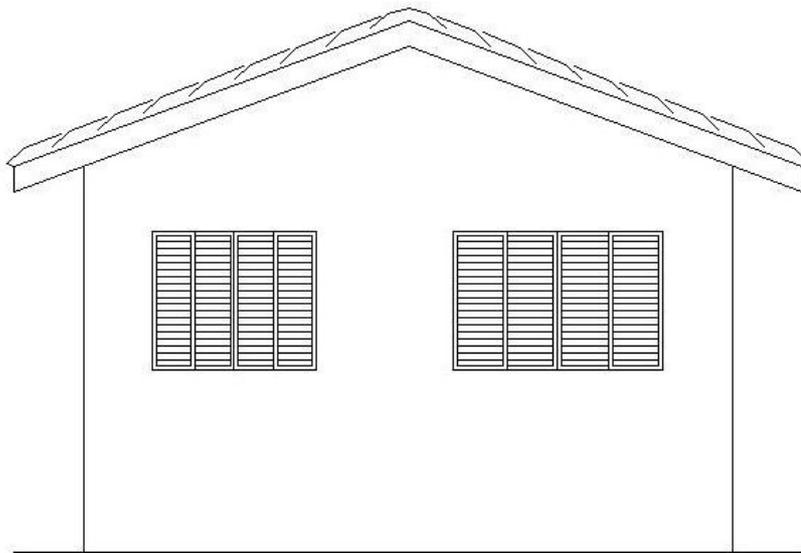


Figura 04 - Vista frontal esquemática da edificação estudada.

A habitação é constituída por uma sala, cozinha, um banheiro e dois dormitórios, sendo sua planta baixa apresentada na Figura 05.



Figura 05 - Planta baixa esquemática da edificação estudada.

4.1.2 As simulações computacionais

Para a obtenção dos resultados desejados são utilizados três programas de computador disponíveis gratuitamente na internet e, denominados por *Google SketchUp*, *EnergyPlus* e *OpenStudio*.

- **Google SketchUp**

Programa que permite a realização de modelagens tridimensionais.

A versão utilizada é a 8 e, a ferramenta encontra-se disponibilizada gratuitamente na internet. Na Figura 06 é apresentada a tela principal do programa.

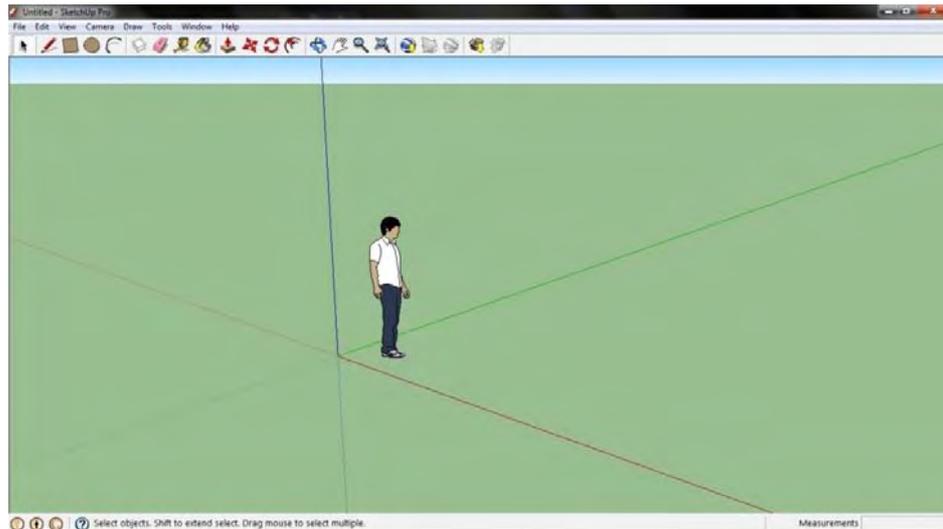


Figura 06: Tela principal do *Google SketchUp*.

- **O *EnergyPlus***

O *EnergyPlus* é um programa de simulação térmica e energética de edificações integrada com seus sistemas. Através do *EnergyPlus* pode-se desenvolver estudos para melhoria da eficiência energética de edificações existentes ou em fase de projeto.

(WESTPHAL, 2006; p.3)

O programa é uma ferramenta para a avaliação do desempenho do edifício, desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, que permite simular os sistemas de aquecimento, iluminação e ventilação, de forma a quantificar seu consumo de energia (<http://www.otecweb.com.br/page11.aspx>).

O *EnergyPlus* realiza o cálculo da carga térmica necessária para manter limites pré-determinados de temperatura, bem como cálculo de consumo de energia dos sistemas principal e secundário de condicionamento de ar e de outros, como de iluminação e equipamentos de tomada (CAVALCANTE, 2010).

O programa compreende vários módulos que, com base na descrição de um edifício, trabalham em conjunto para calcular a capacidade requerida para aquecimento e resfriamento utilizando diferentes fontes de energia, segundo determinadas rotinas de operações e diferentes condições ambientais. Com base nas descrições do edifício também podem ser obtidos dados referentes a temperatura, ventilação ou iluminação, por exemplo.

Em apostila (*Getting started with EnergyPlus*, 2010), disponibilizada gratuitamente na internet, juntamente com o programa, afirma-se que, diferentemente de outros programas que realizam cálculos de cargas térmicas simulando os sistemas e a planta de maneira sequencial, o cálculo realizado pelo *EnergyPlus* se dá a partir da integração de todos os componentes.

Ainda na apostila citada acima, o diagrama apresentado na Figura 07 é descrito como um esquema para que se tenha uma visão geral da integração entre os importantes elementos de simulação energética de um edifício.

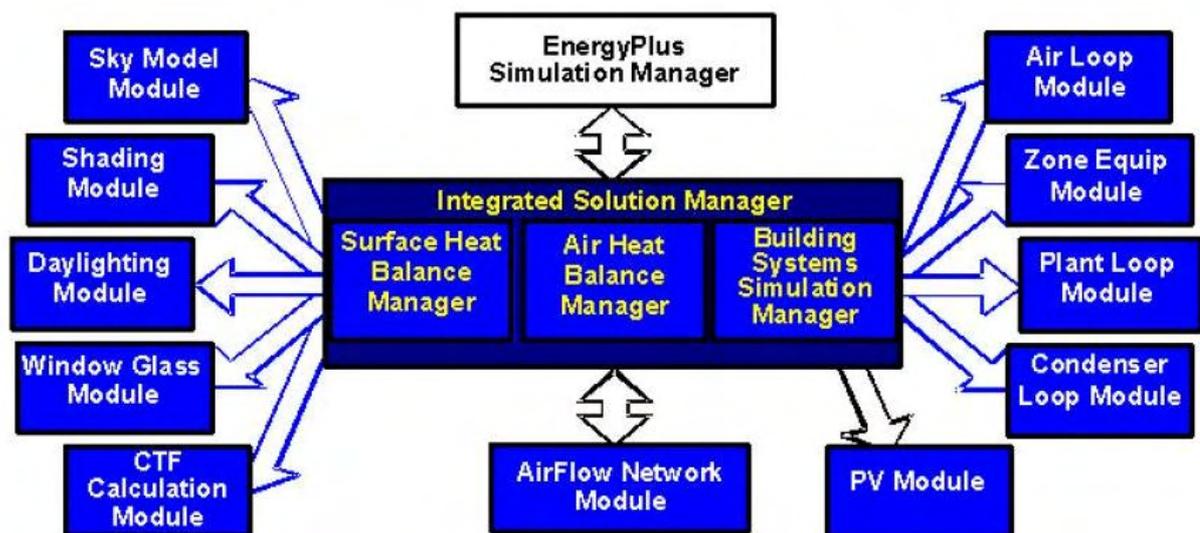


Figura 07 - *EnergyPlus*: elementos internos.
Fonte: Apostila "*Getting started with EnergyPlus*", 2010.

Cavalcante (2010) afirma que os principais componentes do programa são o gerenciador dos módulos de balanço térmico de superfícies e de massa e, o gerenciador do módulo dos sistemas do edifício e, explica o seguinte:

- o gerenciador de simulação dos sistemas do edifício (Building systems simulation manager) é responsável pela comunicação entre os módulos de balanço térmico e os vários módulos ou circuitos do sistema de condicionamento de ar (serpentina, unidades de aquecimento, resfriamento e bombas, dentre outros);

- os circuitos de ar e de água do sistema de climatização são as partes centrais do gerenciador da simulação dos sistemas do edifício (Surface heat balance manager);

- os balanços térmicos internos e externos, além dos sistemas de condução, convecção, radiação e transferência de massa são simulados pelo módulo de balanço térmico de superfície (Air heat balance manager);

- o módulo de balanço de massa (Airflow network module) trabalha com fluxos de ar, ventilação, exaustão e infiltração, considerando a massa térmica das zonas e os ganhos de calor por convecção.

Para o cálculo das luminâncias internas, o programa realiza a distribuição de luminâncias no céu utilizando a sobreposição de quatro tipos de céus padrões desenvolvidos pela C.I.E. (Comissão internacional de iluminação), além de abordagem de céu dinâmico desenvolvido a partir de dados empíricos por Perez, *et.al.* (1990). Os cálculos de iluminância interna são realizados por um algoritmo que utiliza arquivos com informações climáticas respeito do local de inserção do edifício analisado.

- **OpenStudio**

A interação das interfaces dos dois referidos programas é feita pela utilização do terceiro programa denominado *OpenStudio*. Tal programa funciona como *plugin*, ou seja, um programa de computador usado para adicionar funções a outros programas maiores, provendo alguma funcionalidade especial ou muito específica (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Plugin>).

O *OpenStudio* permite a utilização das ferramentas padrões do *SketchUp* para criar e editar zonas e superfícies de trabalho utilizadas pelo *EnergyPlus*. Assim, proporciona a exploração dos arquivos de entrada do programa *EnergyPlus*, utilizando os recursos do Google *SketchUp*, possibilitando a visão geométrica de qualquer ponto de vista, aplicação de diversos tipos de renderização e avaliação dos efeitos de sombreamento. Torna possível que seja iniciada uma simulação do modelo por meio da utilização do *EnergyPlus* obtendo os resultados no *SketchUp* (<http://www.sketchup4architect.com/sketchup-plugins/OpenStudio.htm>).

Encontra-se na versão 1.0.6 e é disponibilizado onde gratuitamente pelos seus criadores, através do site do Departamento de Energia dos Estados Unidos: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.

4.3 Métodos

O desenvolvimento do trabalho se deu, inicialmente através da realização de pesquisas bibliográficas objetivando o entendimento das relações de conforto entre o homem e o espaço construído e, das edificações com o meio ambiente.

Assim, nesta primeira etapa buscou-se definições e informações a respeito das variáveis de conforto ambiental e, da importância do mesmo na vida do ser humano. Sabendo-se que o conforto ambiental abrange o térmico, visual, acústico e ergonômico, neste estudo o enfoque é dado ao primeiro.

Também foram realizadas pesquisas a respeito de soluções projetuais viáveis para a obtenção de bons índices de conforto térmico no interior das edificações, assim conceitos relacionados à Arquitetura Bioclimática foram estudados.

Ainda nesta fase foram realizadas pesquisas a respeito dos programas utilizados, de forma que as aplicações e maneiras de utilização dos mesmos pudessem ser apreendidas.

Posteriormente foram realizadas visitas à área de estudo, de forma que todas as informações a respeito da mesma, necessárias para a realização das análises pretendidas, pudessem ser obtidas e observadas.

A partir da obtenção da planta baixa e locação da casa no terreno (recuos), identificação do norte geográfico e dos materiais construtivos empregados, utilizando o programa *Google SketchUp*, foram construídos os modelos tridimensionais a serem analisados. Em seguida, a utilização do *plugin OpenStudio* permitiu que os modelos construídos pudessem ter suas temperaturas transientes internas calculadas, através de simulações computacionais realizadas no programa *EnergyPlus*.

Foram realizadas simulações computacionais para a obtenção das temperaturas transientes no interior da edificação, durante as 24 horas do dia 14 mês de fevereiro (meio do mês), já que, de acordo com o Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPEMET), durante o ano de 2011, as maiores médias de temperatura para a cidade de Bauru foram registradas neste mês.

Foram feitas simulações de forma a obter as médias das temperaturas internas dos ambientes para intervalos de tempo de uma hora. Ressalta-se que as simulações foram executadas com condições ambientais idênticas para todos os modelos estudados.

A partir dos dados obtidos é realizada uma análise sobre a orientação solar de implantação de cada cômodo da edificação, pensando-se no nível de conforto térmico no interior dos mesmos.

Para a análise do índice de conforto térmico nos cômodos dos modelos em estudo, o parâmetro utilizado foi definido a partir da afirmação de Padilha (2010), segundo o qual o corpo humano sente-se confortável a uma temperatura média de 23°C.

4.3.1 Os dados de entrada do programa *Energy Plus*

Para a realização das simulações computacionais, algumas informações de entrada devem ser fornecidas ao programa.

Tendo em vista que os dados do projeto referem-se a uma residência, localizada na cidade de Bauru – SP, porém não há dados disponíveis de incidência solar, para a referida cidade no banco de dados do *Energy Plus*, utilizou-se, para a realização dos estudos, a cidade mais próxima com informações sobre incidência solar registradas no banco de dados do programa. Assim, os itens relativos ao local de implantação da edificação foram preenchidos com dados referentes a cidade de São Paulo.

O dia de verão escolhido para a análise foi o meio do mês de fevereiro (dia 14).

Considerou-se que a casa é moradia de uma família composta por 4 pessoas e, o número de pessoas na residência, varia de acordo com o decorrer do dia:

Durante a semana: Até as 8:00hs - 4 pessoas; até as 12:00hs – 1 pessoa (crianças na escola e marido trabalhando); até as 14:00hs = 4 pessoas (almoço); até as 19:00hs – 3 pessoas; até 24:00hs – 4 pessoas.

Para finais de semana ficou definida a ocupação máxima: 4 pessoas durante todo o dia.

Como materiais de construção utilizados, foram acrescentados ao programa a telha cerâmica (classificada como elemento com média rugosidade) e, o concreto (considerado rugoso).

No ítem “Ganhos internos”, considerou-se 0,1333 pessoas/m² em cada cômodo. Nos ítems “Iluminação residencial” e “Equipamentos residenciais” foram utilizados os valores sugeridos por apostila explicativa desenvolvida pela Universidade Federal de Santa Catarina. Assim, tem-se para a iluminação 1w/m² e as taxas radiantes e visíveis, respectivamente 0,72 e 0,18. Já para os equipamentos, têm-se 1w/m² para cada cômodo.

Para o fluxo de ar por cômodo, foi utilizado o ítem “Taxa de fluxo de projeto” (*Design Flow Rate*), com unidade de medida em m³/s. Assim, estabeleceu-se, de acordo com os cálculos sugeridos pela apostila desenvolvida pela Universidade Federal de Santa Catarina, as seguintes taxas:

infiltração sala: 0,0097 m³/s;

infiltração quarto 01: 0,0055m³/s;

infiltração quarto 02: 0,0063 m³/s;

infiltração instalação sanitária: 0,0016 m³/s;

infiltração cozinha: 0,0029 m³/s.

Como resultado de saída, no ítem “*Output: variable*”, definiu-se que seria calculada a temperatura por zona (ou cômodo).

4.3.2 Análise da influência do beiral

Sabe-se que, uma das funções do beiral nas construções é o sombreamento das paredes, o que pode contribuir diretamente para melhorias das condições térmicas internas de uma edificação.

Por sua fácil execução, já que não precisa de mão de obra especializada, baixo custo, além de simples e escassa manutenção, este é um elemento recorrente na maior parte das construções. Muito presente em obras residenciais, pode se apresentar de vários tamanhos, porém, normalmente é utilizado com medidas que variam entre 0,50 e 0,80m.

Tendo em vista a existência de um beiral de 0,50m na edificação em análise, considerando a viabilidade da utilização desse elemento em habitações de interesse social devido ao seu baixo custo e maneira de execução/manutenção e, levando-se em conta o objetivo de análise das condições térmicas existentes no interior da residência, a eficiência do beiral é analisada.

Assim, foram construídos dois modelos tridimensionais da residência em estudo, sendo um com beiral (como o exemplar visitado no Núcleo Habitacional) e o outro sem. Posteriormente, através da utilização do programa *EnergyPlus* foram simuladas as temperaturas internas de cada cômodo para ambos os modelos.

4.3.3 Análise do posicionamento da edificação no lote

Sabe-se que é prática comum nos núcleos habitacionais brasileiros a utilização de uma só planta de residência, que é posicionada da mesma forma em todos os lotes, independentemente da orientação solar dos mesmos.

Assim, em um mesmo empreendimento, pode-se ter residências com quartos, por exemplo, voltados para leste, oeste, norte ou sul, dependendo da localização do terreno no loteamento. Como resultado, em algumas residências, tem-se cômodos voltados para orientações solares não adequadas para as atividades desenvolvidas no mesmo.

Tal maneira de construção vai contra os atuais conceitos relacionados a Arquitetura Bioclimática e sustentabilidade, tão em evidência nos dias atuais.

Visando a análise do nível de conforto térmico nos cômodos das residências do Núcleo Habitacional estudado e, da metodologia construtiva anteriormente descrita e amplamente difundida, a edificação estudada foi rotacionada no terreno, de forma que os níveis de conforto térmico nos cômodos pudessem ser analisados para os quatro tipos de implantação da edificação no lote utilizados.

Na Figura 08 são apresentas as possíveis orientações solares as quais os cômodos da edificação são submetidos, de acordo com a maneira utilizada de disposição das mesmas no lote.

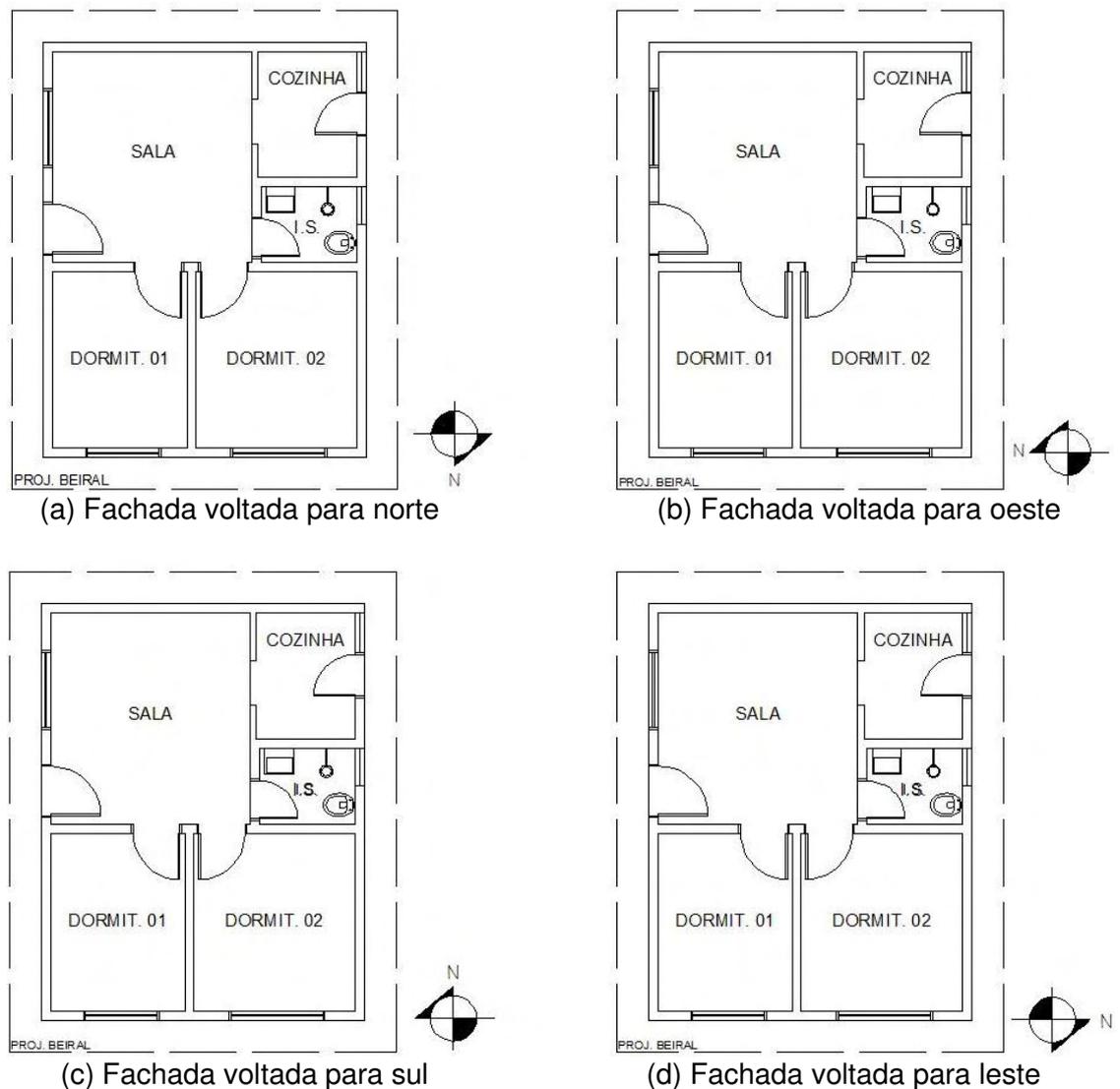


Figura 08 – Possíveis orientações solares dos cômodos da residência em análise, de acordo com a maneira de implantação da edificação no lote.

4.3.4 Análise da eficácia de forros

De acordo com Rabello (1997), os forros são barreiras instaladas no interior das edificações, entre a cobertura e os recintos, como elementos voltados para diferentes finalidades, como conforto térmico, absorção ou isolamento acústico, abrigo de instalações sanitárias e acabamentos estéticos, dentre outras. Assim, devido a grande variedade de materiais existentes no mercado hoje, antes de especificar determinado forro, suas funções predominantes e desempenho possíveis na edificação, devem ser analisados.

Para Paiva, *et.al.* (2009), não há nenhuma opção que, sozinha, barre o som e calor, sendo necessário, para tal efeito, que o mesmo seja acompanhado por manta de lã de rocha ou de vidro.

As residências do Núcleo Habitacional, assim como a maior parte, se não a totalidade das habitações de interesse social edificadas no Brasil, são entregues sem a colocação de forros.

Assim, como primeira intervenção realizada para melhoria do nível de conforto, tanto visual quanto térmico, pela maior parte dos moradores, nota-se a colocação de forro em suas residências.

Dentre os materiais mais comuns existentes no mercado e, usualmente aplicados a edificações com fins residenciais, atualmente, cita-se a madeira, o gesso e o PVC.

Diante disso, a partir da obtenção de dados necessários, foram realizadas simulações computacionais para avaliar a interferência de tais elementos no nível de conforto térmico de cada cômodo da residência estudada.

Além da espessura de cada forro, foi necessária a obtenção da condutibilidade ou condutividade térmica de cada material. Tal coeficiente quantifica a habilidade dos materiais para conduzir calor, sendo, portanto, quanto mais alto, mais rápida a dissipação de calor por condução.

As características dos materiais necessárias para a realização das simulações são a condutividade térmica, densidade e calor específico

Foram realizadas simulações para duas maneiras de colocação dos forros. A primeira simulação foi realizada com o forro horizontal, instalado a 2,70m de altura. A segunda simulação foi realizada com o forro acompanhando a inclinação do telhado, sendo fixado a 0,10m de distância do mesmo.

- **O forro de madeira**



Figura 09 – Exemplo de forro de madeira pintado.
Fonte: <http://casa.abril.com.br/materia/como-instalar-e-manter-forros-de-madeira-gesso-bambu-e-pvc>.

A utilização da madeira como forro pode ser observada desde a antiguidade, ainda na Renascença, até nas mais modernas obras.

Segundo Paiva, *et.al.* (2009), as régua de cedrinho, angelim, perobinha e jatobá, devido a sua elevada resistência a cupins, são boas opções para forros.

Julien (2010), recomenda que para forros sejam utilizadas madeiras mais duras e que sejam resistentes a umidade, já que podem ser utilizadas em ambientes úmidos, como banheiros. Assim recomenda a utilização de cumaru, ipê, jatobá, itaúba, garapeira e teca.

Diante da grande variedade de madeiras utilizadas em forros, como pode-se observar nos dois parágrafos anteriores, a madeira utilizada nas simulações foi o jatobá, recomendado por ambos os autores.

De acordo com Moreschi (2010), a massa específica (densidade) é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira já que depende da massa específica a maior parte das propriedades físicas e tecnológicas, além de servir para a classificação deste material. Normalmente as madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras, porém são de mais difícil trabalhabilidade.

O autor ainda afirma que o calor específico da madeira depende do teor de umidade do material, sendo independente da espécie ou densidade.

Julien (2010), alerta que tão importante quanto a escolha do material a ser utilizado, é que este apresente-se completamente seco para receber o acabamento, objetivando sua proteção.

Assim, para a realização das simulações buscou-se o valor referente ao peso específico da madeira seca e de densidade elevada (madeiras mais duras). Visando a análise da situação crítica, o valor de massa utilizado é o mais baixo apresentado para a madeira utilizada.

Em estudo realizado a respeito de soluções bioclimáticas para uma habitação popular na cidade de Florianópolis – SC, Abreu *et. al.* (2005), apresenta o valor de 10mm como espessura dos forros de madeira utilizados, sendo portanto, essa a medida adotada neste trabalho.

De acordo com Projeto 02:135.07-001/2 da NBR 15220 (2003), tem-se as seguintes propriedades para madeira:

Tabela 03 – Características da madeira.

| Tipo de madeira | Condutividade térmica | Densidade ou massa específica | Calor específico |
|---|--|--|------------------|
| Madeiras com densidade de massa aparente elevadas | 0,29 (W/m.K) | 800 – 1000 (kg/m ³) | 1340 (J/Kg.K) |
| Madeiras pouco densas (Carvalho, freijó, faia, pinho, casquinha, cedro, abeto) | 0,23 (W/m.K) 0,15 (W/m.K) 0,12 (W/m.K) | 600 – 750 (kg/m ³) 450 – 600 (kg/m ³) 300 – 450 (kg/m ³) | 1340 (J/Kg.K) |

FONTE: NBR15220 (2003).

- **O forro de gesso**



Figura 10 – Exemplo de forro de gesso.

Fonte: <http://casa.abril.com.br/materia/como-instalar-e-manter-forros-de-madeira-gesso-bambu-e-pvc>.

De acordo com Rabello (1997), há anos o gesso, principalmente sob forma de placas quadradas, lisas ou texturizadas, é utilizado para a confecção de forros. A autora afirma que mais recente é a utilização de forros acartonados de gesso que,

em sua forma original de placas maciças, tal forro apresenta como principais vantagens o preço e sua versatilidade no uso, porém, em contrapartidas técnicos destacam sua baixa resistência acústica e sua difícil montagem e remontagem para manutenção.

Cavalcanti (2012), descreve o painel de gesso acartonado, utilizado nos forros, como um “sanduíche de cartão – gesso – cartão”, sendo o “recheio” obtido a partir da mistura de gesso com aditivos que aumentam a porosidade da pasta para tornar o painel de gesso acartonado leve, a resistência mecânica e aderem o cartão ao gesso.

O autor ainda afirma que a união bem sucedida de materiais tão diferentes como o gesso e um papel especial, para a composição do gesso acartonado, formando um “sanduíche”, impede que ocorram trincas, devido a constantes dilatações do material com as amplitudes térmicas e a secagem da massa de gesso, já que este já sai da indústria envolto no papel que lhe dá rigidez e, impede o amarelamento do gesso.

De acordo com trabalho disponibilizado em seu site pela Universidade Federal de Santa Catarina, as placas de gesso acartonado possuem de 12,5 a 15mm de espessura (http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2005-1/gesso/drywall.html).

Assim, visando a análise da situação crítica, para a simulação, foi determinada para o forro de gesso, a espessura de 12,5mm para placa.

Ainda visando a análise da situação crítica, o valor de massa utilizado é o mais baixo apresentado (750 kg/m^3).

Tabela 04 – Características do gesso acartonado

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Condutividade térmica | 0,35 (W/m.K) |
| Densidade ou massa específica | 750 - 1000 (kg/m^3) |
| Calor específico | 840 (J/Kg.K) |

FONTE: NBR15220 (2003).

- **O forro de PVC**



Figura 11 – Exemplo de forro de PVC.

Fonte: http://www.tigre.com.br/pt/catalogos_tecnicos.php.

De acordo com Rabello (1997), o forro de Policloreto de Vanila (PVC), pode ser utilizado em qualquer ambiente, principalmente, quando em tons claros, em áreas externas, porém, se exposto a excesso calor pode apresentar manchas ou deformações.

Para Kenji, *apud* Alves (2012), esse tipo de forro é bem versátil e tem maior uso em ambientes comerciais, sendo utilizados em residências quando há a busca por menores custos, apresentando ainda um visual agradável. Ainda afirma que o material é termicamente interessante, sendo utilizado, normalmente, na área de sótãos de projetos residenciais.

Silva, *apud* Alves (2012), afirma que embora possua lâminas de diversas larguras, a montagem do forro de PVC é retilínea, não sendo, portanto, muito versátil para o uso como acabamento decorativo nas residências.

De acordo com o Catálogo Técnico de forros de PVC disponibilizado por um fabricante do produto, o mesmo pode ser considerado como um produto bastante durável, sendo resistente a umidade, atmosferas salinas e cupim. Ainda possui baixa manutenção, não necessitando pinturas periódicas e, no caso de manutenção das redes ocultas pelo forro (como elétrica, água e esgoto), é necessário, apenas, o desencaixe das lâminas (http://www.tigre.com.br/pt/catalogos_tecnicos.php).

Ainda segundo o fabricante, as lâminas de PVC utilizadas no forro, possuem 8mm de espessura (http://www.tigre.com.br/pt/catalogos_tecnicos.php).

Tabela 05 – Características do PVC

| | | |
|--|--------------|---|
| Condutividade térmica para (produtos moldados e outros compostos) | PVC rígido | 0,14 – 0,28(W/m.K) |
| | PVC flexível | 0,14 – 0,17(W/m.K) |
| Densidade ou massa específica | PVC rígido | Moldados: 1400 – 1500 (kg/m ³) Filmes e/ou laminados: 1400 – 1450 (kg/m ³) Fibras:1400 (kg/m ³) Resina: 1380 – 1400 (kg/m ³) |
| | PVC flexível | Moldados: 1,100 – 1,450 (kg/m ³) |
| Calor específico (produtos moldados e outros compostos) | PVC rígido | 800 – 900 (J/kg.K) |
| | PVC flexível | 1000 – 2000 (J/kg.K) |

FONTE: Rodolfo Jr., *et. al.* (2006).

Tendo em vista que nem todos os fabricantes do produto garantem que o mesmo possui o nível máximo de isolamento térmica, as simulações foram realizadas considerando a situação crítica, onde a condutividade térmica do forro de PVC é de 0,28W/m.k. Os valores da densidade e do calor específico adotados são, respectivamente, 1400 kg/m³ e, 800 J/Kg.K.

Assim, diante dos materiais apresentados e, da metodologia de trabalho descrita, foi possível a obtenção dos resultados apresentados no capítulo seguinte.

4.3.5 Parâmetros para análises comparativas

Como citado, os dados da incidência solar para a realização das simulações computacionais, por sua existência no banco de dados do programa empregado, são os registradas para a cidade de São Paulo.

Assim, como parâmetros para a realização das análises das temperaturas internas das residências estudadas, foram utilizadas as temperaturas médias

máximas e mínimas registradas para a cidade de São Paulo no mês de fevereiro do ano de 2012, conforme Tab. 05.

Tabela 06 – Média das temperaturas mínimas e máximas em São Paulo - Fevereiro/2012 (°C).

| | |
|--------------------|----|
| Temperatura máxima | 28 |
| Temperatura mínima | 18 |

FONTE: The Weather Chanel (2012).

Ressalta-se que, tal método foi empregado pelo fato da cidade de São Paulo apresentar, normalmente, temperaturas mais baixas que a cidade de Bauru (se a residência não é termicamente adequada à cidade de São Paulo, não será à de Bauru). Tal afirmação é explicitada quando são observadas as médias das temperaturas máximas e mínimas registradas para a cidade de Bauru no mês de fevereiro do ano de 2012, como apresentadas na Tab. 06.

Tabela 07 – Média das temperaturas mínimas e máximas em Bauru - Fevereiro/2012 (°C).

| | |
|--------------------|------|
| Temperatura máxima | 31,7 |
| Temperatura mínima | 20,2 |

FONTE: IPEMET (2012).

5 Resultados e discussões

A seguir, são apresentados os gráficos construídos a partir dos dados obtidos nas simulações computacionais realizadas para o cálculo das temperaturas internas de cada cômodo da residência analisada, de acordo com a análise e as hipóteses propostas.

5.1 Análise da influência do beiral

As curvas nas figuras de 12 a 16 ilustram os resultados obtidos nas simulações computacionais realizadas para a obtenção das temperaturas internas dos ambientes da edificação estudada durante um dia de grande intensidade solar no verão.

Na Fig. 12, são apresentadas as temperaturas calculadas para o ambiente denominado “Sala”, que possui duas paredes que trocam calor com o meio externo, estando uma voltada pra leste (possui uma porta e uma janela) e outra para o sul. Há troca de calor também, com o meio externo, pela cobertura existente.

A orientação solar para qual este cômodo encontra-se instalado resulta na maior incidência de raios solares em sua parede leste (período da manhã), o que justifica o incremento das temperaturas internas no período das 8 às 14 horas, tanto na edificação com, quanto na sem beiral.

É no período do dia onde as temperaturas internas do cômodo são mais altas (período vespertino) que se nota a contribuição do elemento beiral da edificação, na diminuição significativa de suas temperaturas. Já no período noturno tal elemento apresenta pequena interferência nas temperaturas do ambiente.

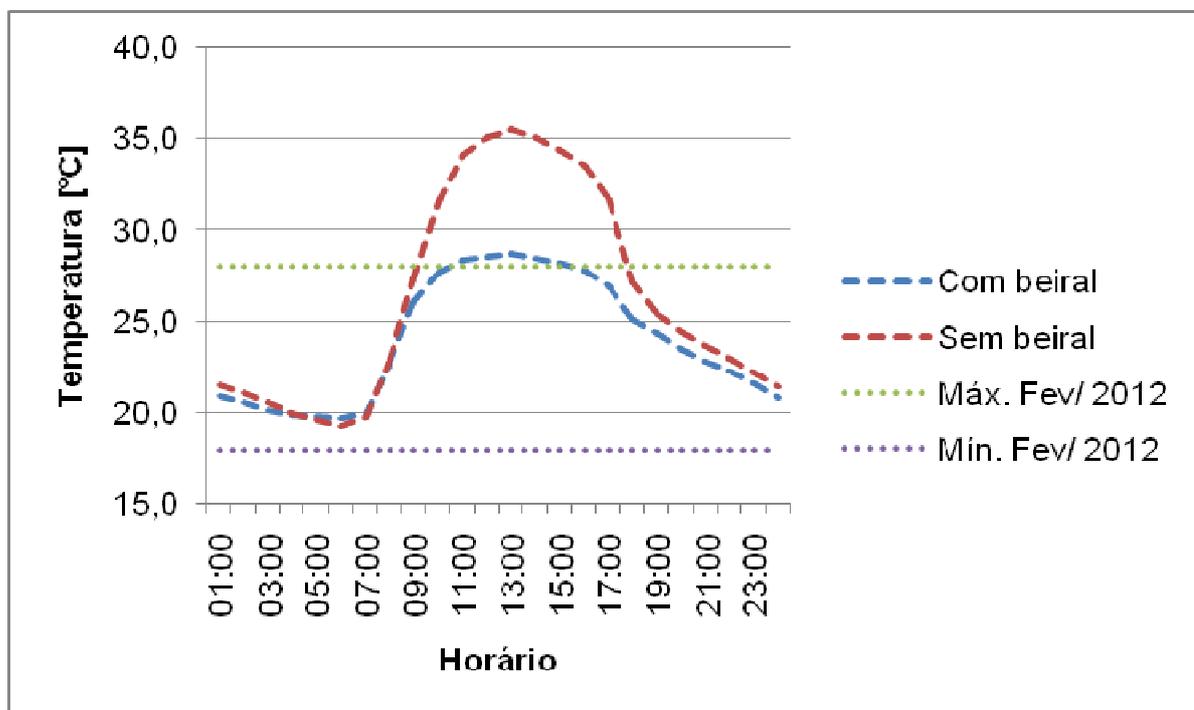


Figura 12 – Perfis de temperaturas internas da “Sala”.

As curvas apresentadas na Fig. 13 ilustram os perfis de temperaturas internas encontradas para o ambiente “Quarto 01” que, além da cobertura, também possui duas paredes que trocam calor com o meio externo, estando uma voltada para norte (com uma janela) e outra para leste, o que justifica o aumento das temperaturas internas desse cômodo no período das 7 às 13 horas.

Ainda através dos dados apresentados na Fig. 13, observa-se uma melhoria no nível do conforto térmico no ambiente, em seus períodos críticos (vespertino, onde as temperaturas são mais altas), a partir da adoção do beiral.

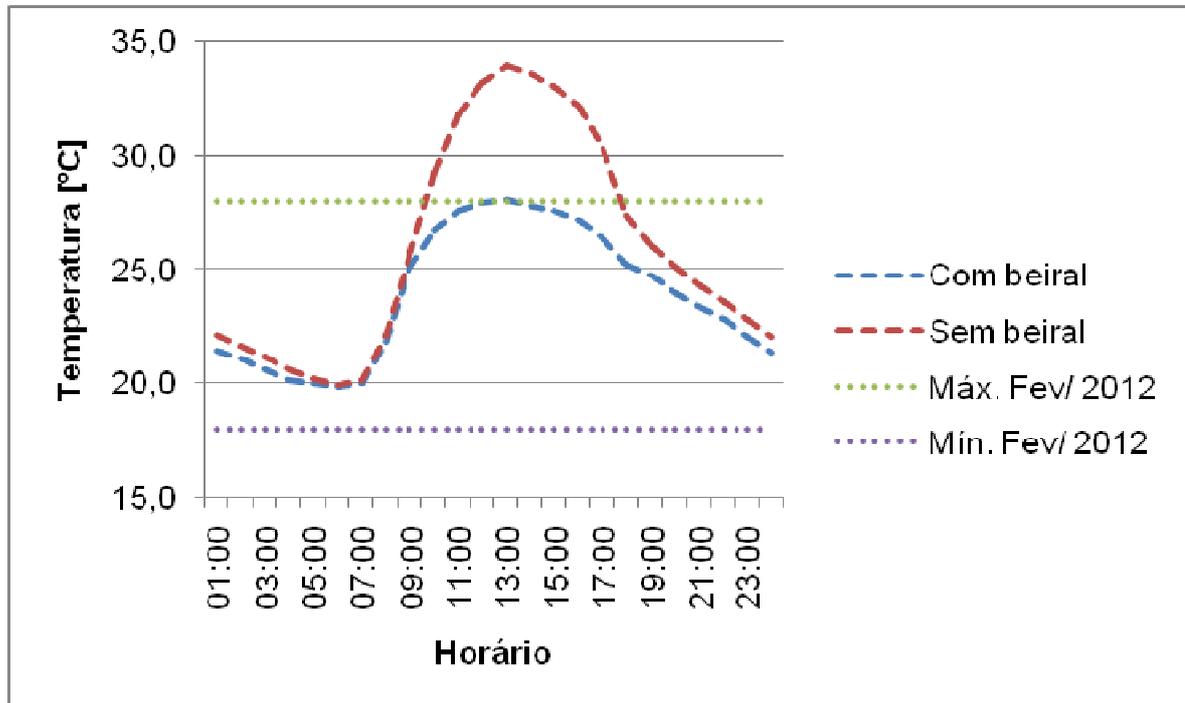


Figura 13 – Perfis de temperaturas internas do “Quarto 01”.

Na Fig. 14, são apresentadas os perfis de temperaturas internas calculadas para o ambiente “Quarto 02”. Este troca calor com o meio externo através de uma parede à norte (com janela) e, uma de maior extensão voltada à oeste, além da troca na área da cobertura.

Devido a orientação desse cômodo, as temperaturas em seu interior aumentam no período das 7 às 16 horas, o que não é considerado como ideal para a função para a qual o mesmo é destinado. Assim, em dias de altas temperaturas, como, por exemplo, no verão, a perda de calor do cômodo para o meio externo fica prejudicada, o que resulta em altas temperaturas internas ainda no período da noite, o que torna o local desfavorável para o descanso.

Observa-se também, que, através da utilização do beiral na edificação, embora os níveis de temperaturas internas do ambiente ainda se encontrem altos (acima dos 25°C), há significativa e indiscutível amenização de tais temperaturas no período crítico do dia.

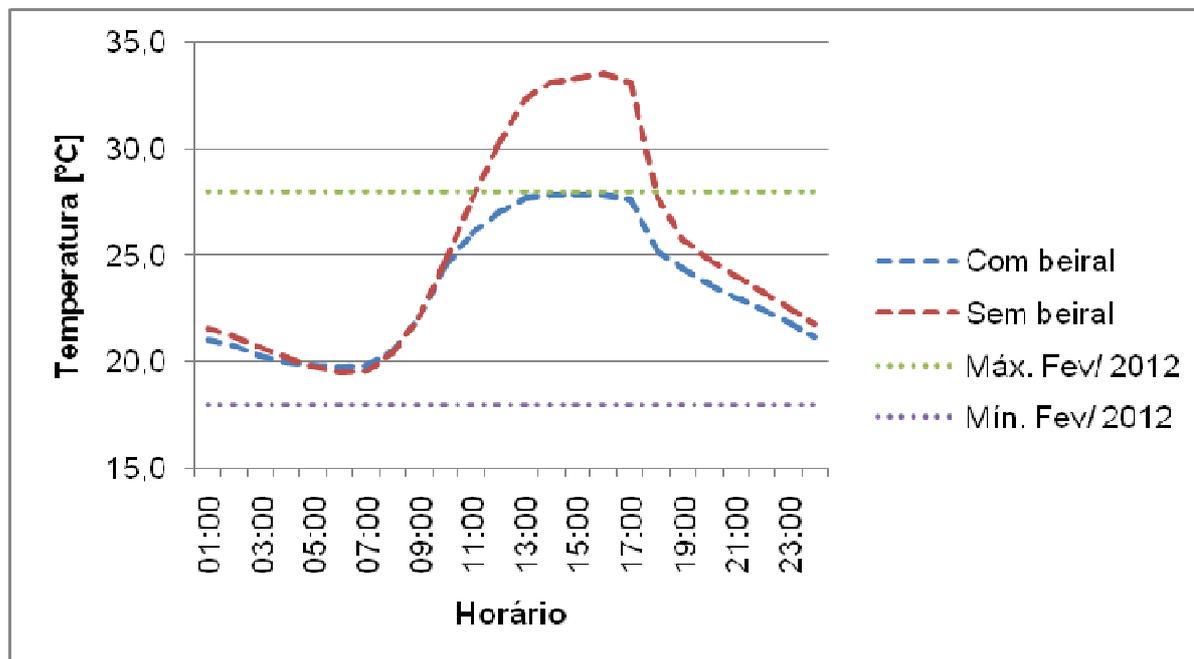


Figura 14 - Perfis de temperaturas internas do “Quarto 02”.

A Fig. 15 apresenta as curvas com as temperaturas internas calculadas para a “Instalação Sanitária (I.S.)”.

O cômodo em análise, troca calor com o meio externo apenas pela cobertura e por uma parede voltada para oeste, que conta com uma pequena janela com fechamento em vidro.

Por sua orientação, o ambiente recebe grande incidência de raios solares em sua parede que se encontra em contato direto com o meio externo, resultando no aumento das temperaturas internas das 8 às 17 horas. Ressalta-se, porém, que para as funções do cômodo, tal configuração de temperaturas internas não prejudica a utilização do mesmo, como ocorreria em ambientes destinados ao descanso.

A Fig. 15, ainda permite afirmar que é notável a influência do beiral na diminuição das temperaturas internas do ambiente no período da tarde, quando há maior quantidade de raios solares incidentes em sua parede externa (voltada à leste) e cobertura.

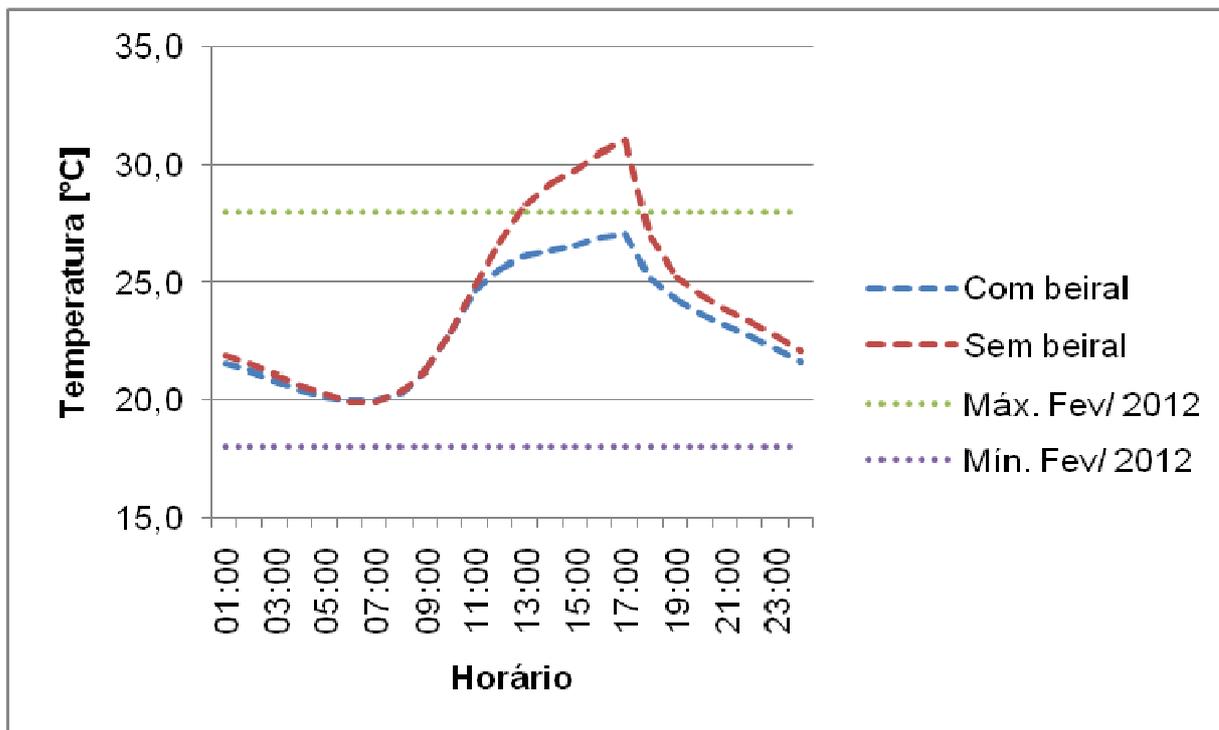


Figura 15 – Perfis de temperaturas internas da “Instalação Sanitária”.

Através da Fig. 16, é possível observar os perfis das temperaturas internas calculadas para o ambiente denominado “Cozinha”.

Este realiza troca de calor com o meio externo pela cobertura, uma parede provida de uma porta e janela à oeste e uma parede cega (sem aberturas) voltada à sul.

O incremento das temperaturas nesse ambiente, por sua orientação, se dá das 7 às 17 horas.

Devido ao seu uso, tal configuração térmica pode gerar alto grau de desconforto térmico aos usuários do ambiente, principalmente nos dias de verão.

Os dados apresentados ainda asseguram a relevância da presença do beiral para a diminuição das temperaturas internas ambientais no período vespertino.

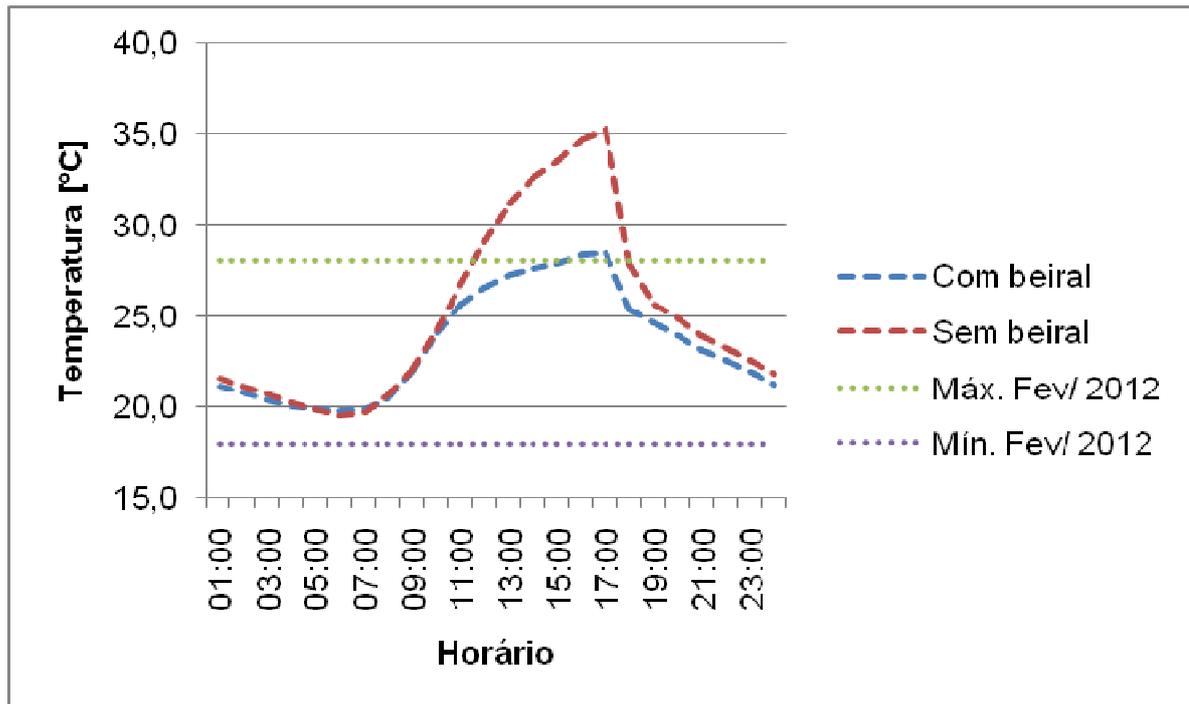


Figura 16 – Perfis de temperaturas internas da “Cozinha”.

Assim, a partir dos gráficos apresentados, pode-se afirmar que o beiral é sim um elemento construtivo que interfere, relevantemente, no nível de conforto térmico no interior de uma edificação.

Deve-se ressaltar que em alguns casos, seja na análise da interferência do beiral ou qualquer outra, a temperatura no interior do cômodo é maior do que aquela do meio ambiente. Isso se dá devido a incidência de raios solares diretos na edificação e, ao fato de que a troca de calor entre o meio interno e externo é prejudicada em determinadas horas do dia, principalmente no período vespertino, devido as altas temperaturas externas.

Assim, como resultado do aquecimento de envoltórias do ambiente e, conseqüente transmissão de calor para o ambiente por condução, conveccção e radiação, além deficiente perda de calor para o meio ambiente, têm-se o acúmulo de calor no interior dos ambientes, resultando em temperaturas internas maiores do que as externas.

5.2 Análise do método construtivo empregado (rotação da edificação no lote)

As figuras de 17 a 21 permitem a observação das histórias das temperaturas internas de cada cômodo da casa estudada, quando a mesma é rotacionada no terreno. A partir disso, é analisada a eficácia do método construtivo bastante difundido atualmente em conjuntos habitacionais, onde uma mesma planta baixa é aplicada para diferentes orientações solares.

Assim, a Fig. 17 ilustra as histórias das temperaturas obtidas para o ambiente denominado “Sala”.

Para tal ambiente, as maiores médias de temperaturas são identificadas no período da manhã quando a edificação possui sua fachada voltada para norte. Este resultado se deve ao fato que, com tal orientação de implantação do edifício, a maior parede deste ambiente em contato com o meio externo fica voltada à leste, ou seja, exposta, principalmente, aos raios solares matutinos.

Durante o decorrer do dia, são observadas altas temperaturas nesse ambiente quando a construção possui sua fachada voltada para oeste, ficando assim, a maior parede existente da “Sala” em contato com o meio externo voltado para norte, o que resulta na incidência de raios solares na mesma na maior parte do dia.

Um pico de temperatura é notado no final do dia quando a referida parede, em contato com o meio externo é orientada para oeste (fachada principal voltada para o sul), devido ao ganho de calor do ambiente no decorrer do período vespertino.

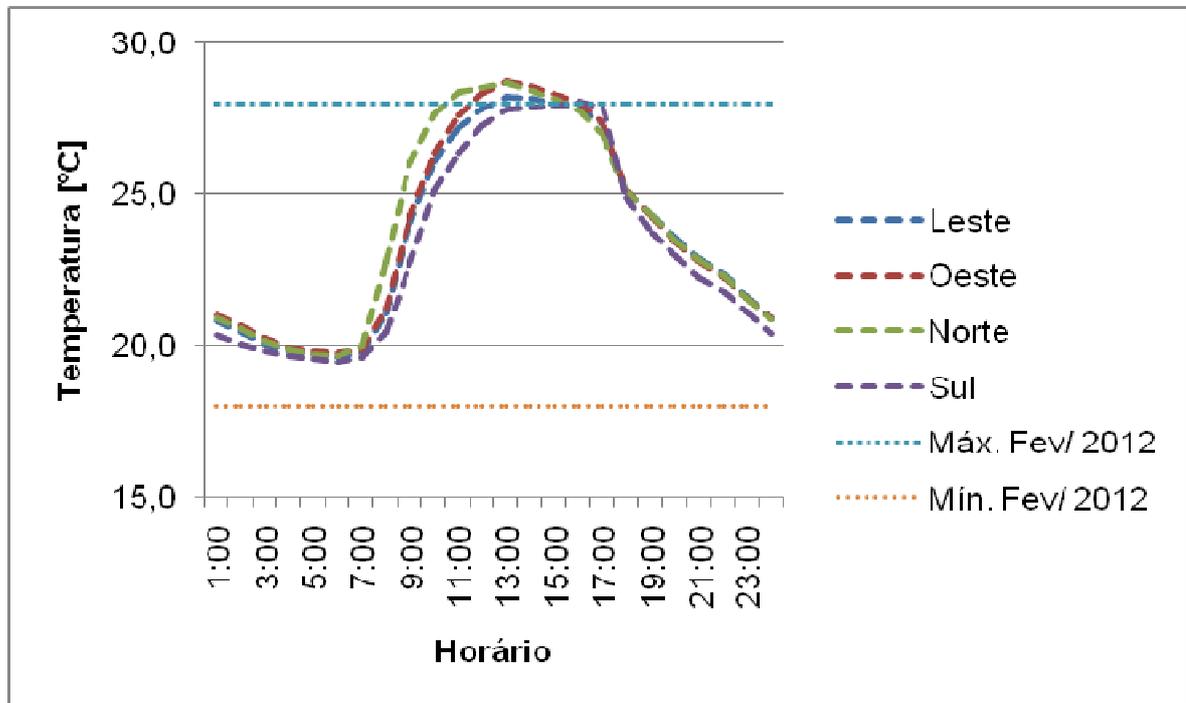


Figura 17 - Perfis de temperaturas internas da “Sala”, de acordo com a orientação solar da fachada.

Através da Fig. 18, nota-se que as temperaturas mais altas registradas para o “Quarto 01” ocorrem, analisando o período da noite, quando se tem a implantação do edifício com sua fachada principal voltada à leste, oeste e norte.

Neste caso, deve ser dada principal atenção ao período noturno por ser este o tempo de maior ocupação do cômodo. É no período da noite que quartos devem apresentar seus melhores índices de conforto ambiental e, principalmente térmico, visando a satisfação e o bem estar durante o repouso de seus usuários.

Tendo em vista que altas temperaturas em ambientes destinados ao descanso tornam os mesmos inadequados para tal função, considera-se que, para este cômodo, visando melhores índices térmicos, a mais adequada orientação solar de implantação da edificação é aquela com a fachada principal voltada para sul.

Ressalta-se que, neste caso, embora com a orientação solar indicada como a mais adequada, uma das paredes do cômodo esteja orientada para oeste, recebendo grande quantidade de calor no período da tarde, a outra parede do cômodo em contato com o meio externo fica voltada para sul, não recebendo raios solares diretos em nenhum período do dia.

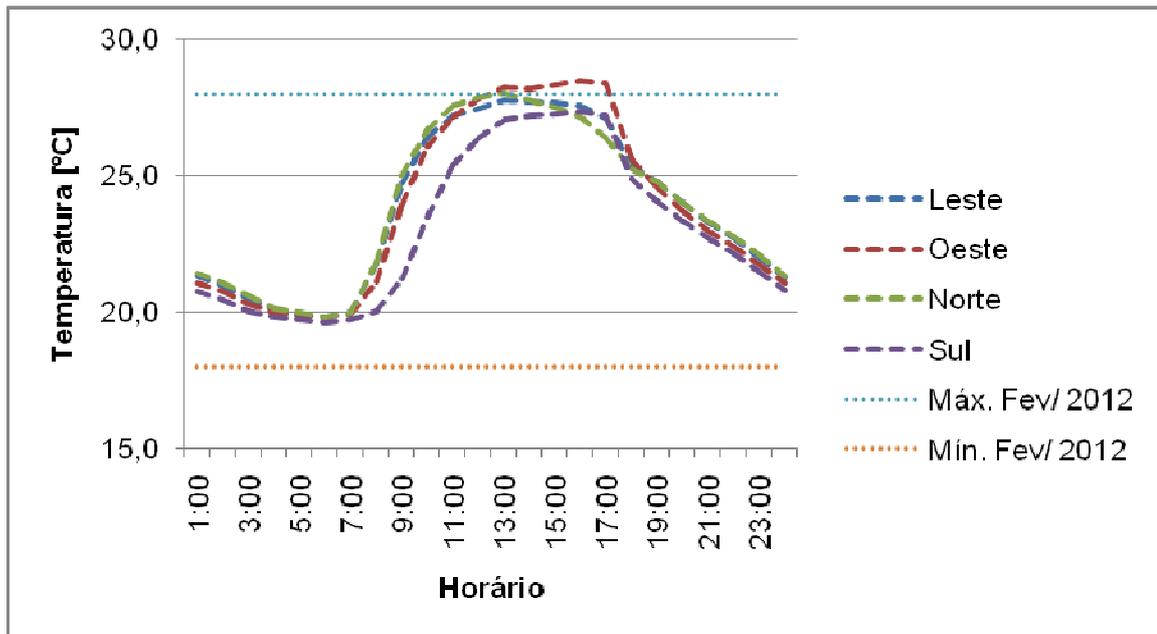


Figura 18 - Perfis de temperaturas internas do “Quarto 01”, de acordo com a orientação solar da fachada.

Na Fig. 19, são apresentadas as histórias das temperaturas obtidas, através das simulações realizadas, para o cômodo denominado “Quarto 02”.

Assim como no “Quarto 01”, neste cômodo o conforto térmico deve ser garantido, principalmente no período noturno, sendo, portanto, quando pensadas as condições térmicas existentes no interior do “Quarto 02”, a implantação com a fachada principal da edificação voltada para norte considerada a mais inadequada. Isso se deve ao fato de que, com esta implantação, a grande parede do cômodo analisado que se encontra em contato com o meio externo, fica voltada para oeste, recebendo assim, grande quantidade de raios solares no período da tarde. Há também a parede em contato com o meio externo voltada à norte que recebe calor o dia todo.

Portanto, visando o bom desempenho térmico deste cômodo, no período da noite, a implantação do edifício com sua fachada principal orientada para o sul é a mais indicada.

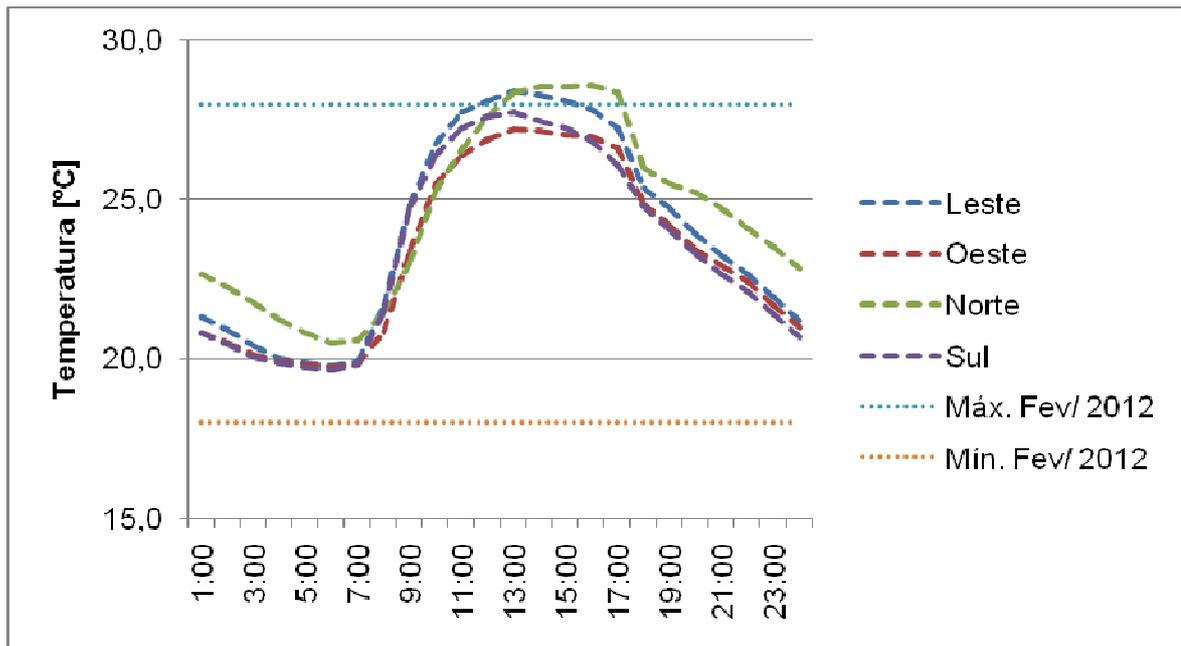


Figura 19 - Perfis de temperaturas internas do “Quarto 02”, de acordo com a orientação solar da fachada.

As curvas apresentadas na Fig. 20 são as histórias das temperaturas obtidas para o ambiente denominado “Instalação sanitária”.

Através das mesmas observa-se que suas maiores temperaturas internas ocorrem no período matutino e noturno, respectivamente, quando a fachada principal da edificação é direcionada para sul e norte. Nessas hipóteses a única parede do cômodo em contato com o ambiente externo fica voltada, no primeiro caso para leste, recebendo o sol da manhã e, no segundo caso, para oeste, onde recebe os raios solares diretos no período da tarde.

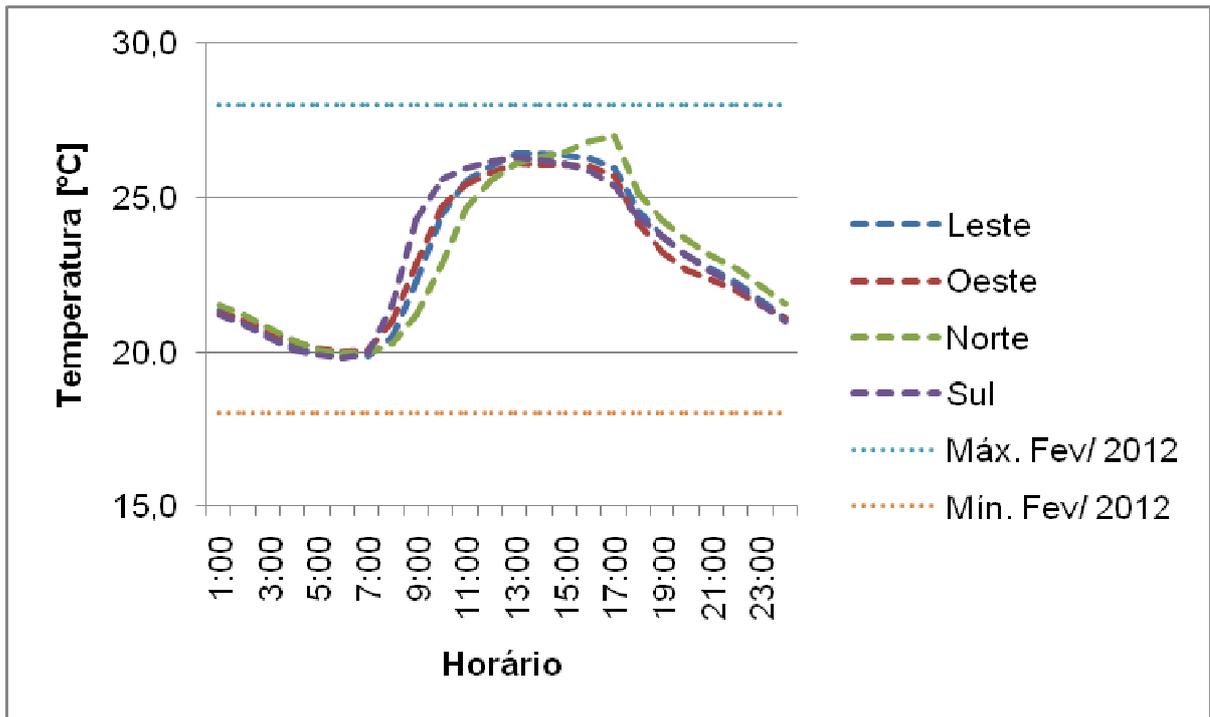


Figura 20 – Perfis de temperaturas internas da “Instalação sanitária”, de acordo com a orientação solar da fachada.

Na Fig. 21, são ilustrados as intensidades das temperaturas encontradas no ambiente “Cozinha”.

Observa-se que no período da manhã (até as 12:00hs), as maiores temperaturas são registradas quando a maior parede do cômodo em contato com o meio externo está voltada para leste (orientação da fachada principal da edificação para sul). É para esta orientação também, que são registradas as menores temperaturas no período da noite.

Quando analisadas as menores temperaturas no período da manhã, têm-se que a implantação ideal da residência é com sua fachada voltada para norte. Porém, ressalta-se que, é nesta situação que são obtidas as maiores temperaturas no período da noite, já que a mencionada parede em contato com o meio externa fica orientada, então, para oeste.

Assim, tendo em vista os horários de maior utilização desse cômodo e, uma pequena diferença identificada nas temperaturas internas no período da manhã, visando o melhor índice de conforto térmico no interior do mesmo, cita-se a

implantação da residência de forma que sua fachada fique orientada a leste como a mais indicada.

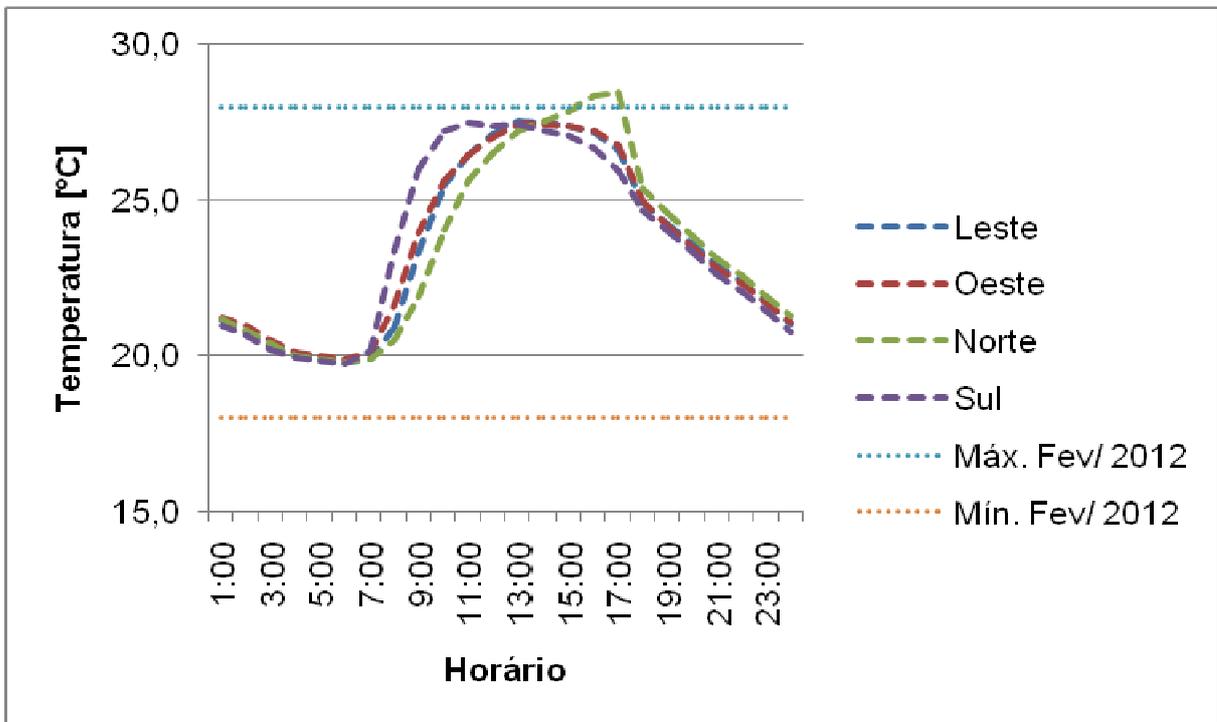


Figura 21 - Perfis de Temperaturas internas da “Cozinha”, de acordo com a orientação solar da fachada.

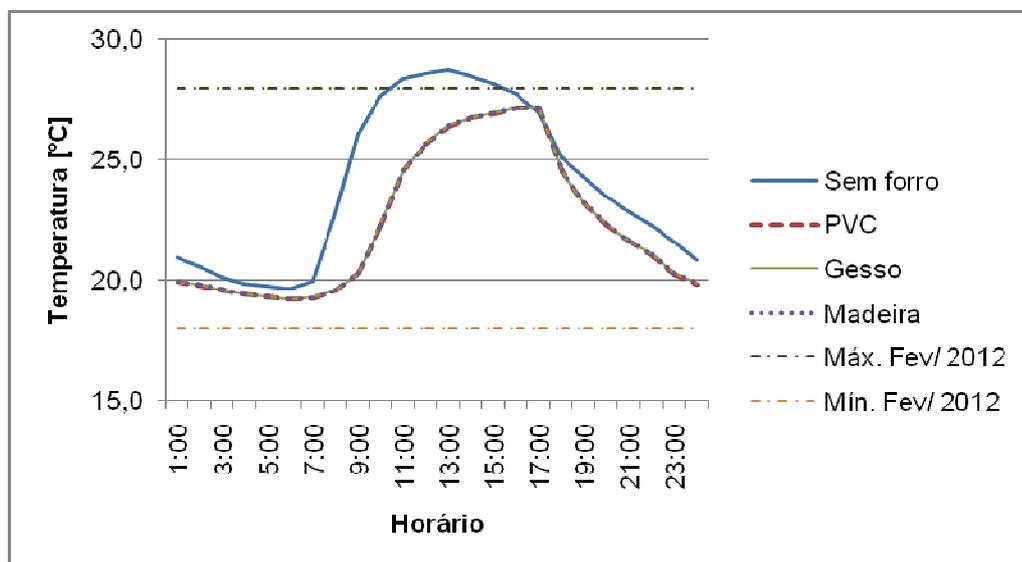
A partir das diferenças apresentadas entre as temperaturas internas de um mesmo cômodo quando este é submetido a diferentes orientações solares, é incontestável a necessidade de que, ao se projetar determinada edificação, a orientação solar dos cômodos no lote, pensada a partir dos horários de maior utilização dos mesmos, seja uma condicionante projetual.

5.3 Análise edificação com forro x edificação sem forro

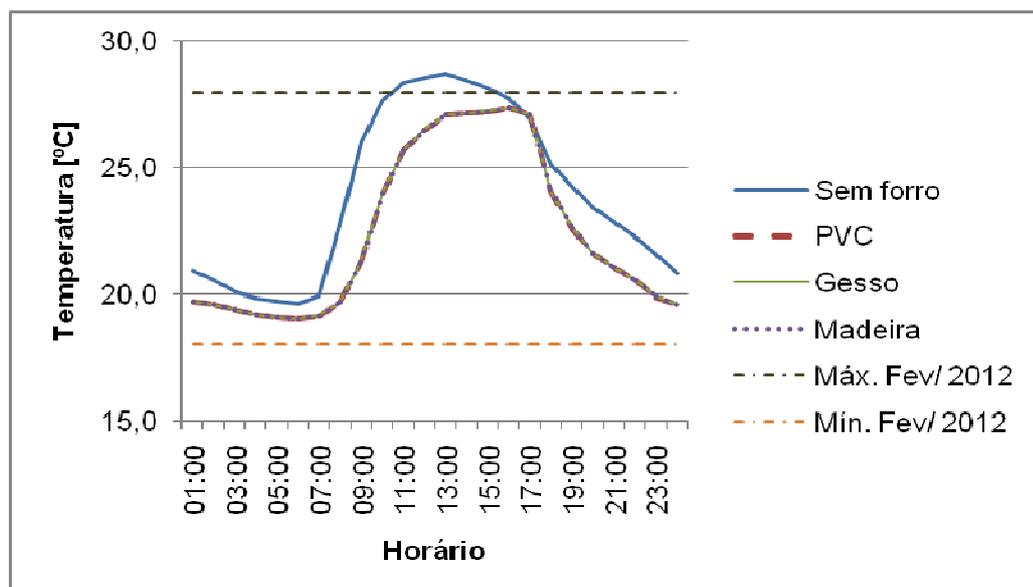
Nas figuras 22, 23, 24, 25 e 26 pode-se comparar as temperaturas internas dos diferentes cômodos da edificação estudada sem, e com a utilização de diferentes tipos de forro (PVC, gesso e madeira). Ressalta-se que tais resultados foram obtidos a partir de simulações realizadas com a fachada principal da residência orientada para norte.

Fato de grande relevância, também, é que quando comparadas as eficiências dos forros de PVC, gesso e madeira, para os casos estudados, não há significativa ou considerável diferença entre a atenuação das temperaturas internas ambientais a partir da utilização de um ou outro.

A Fig. 22 ilustra que a utilização de forros (tanto os instalados de forma horizontais, como inclinados (paralelo a telhagem) amenizam de maneira significativa as temperaturas internas do ambiente denominado “Sala”, tanto no período da manhã, quanto da noite.



(a) Forro horizontal instalado a 2,70m de altura.

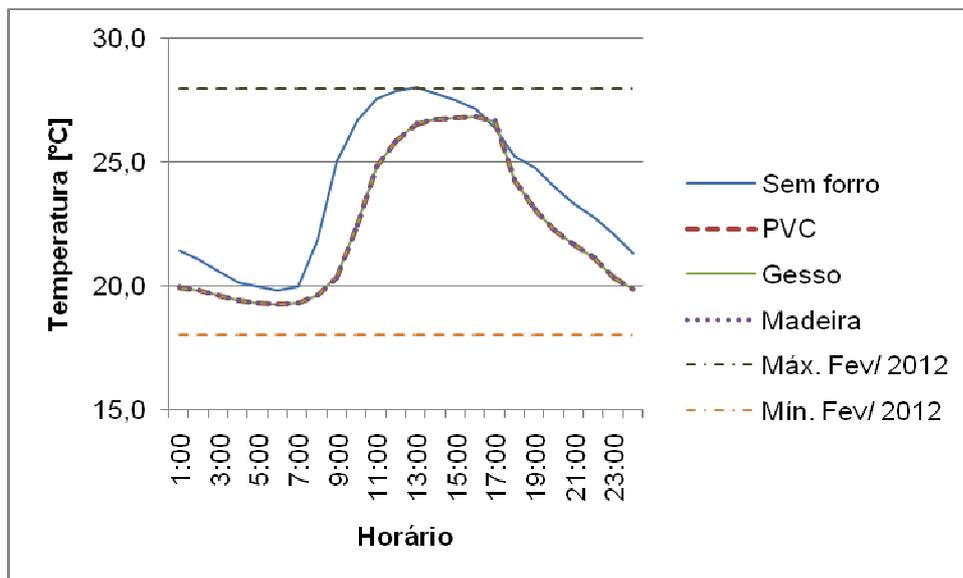


(b) Forro inclinado instalado paralelo a telhagem (parte mais baixa a 2,70 de altura).

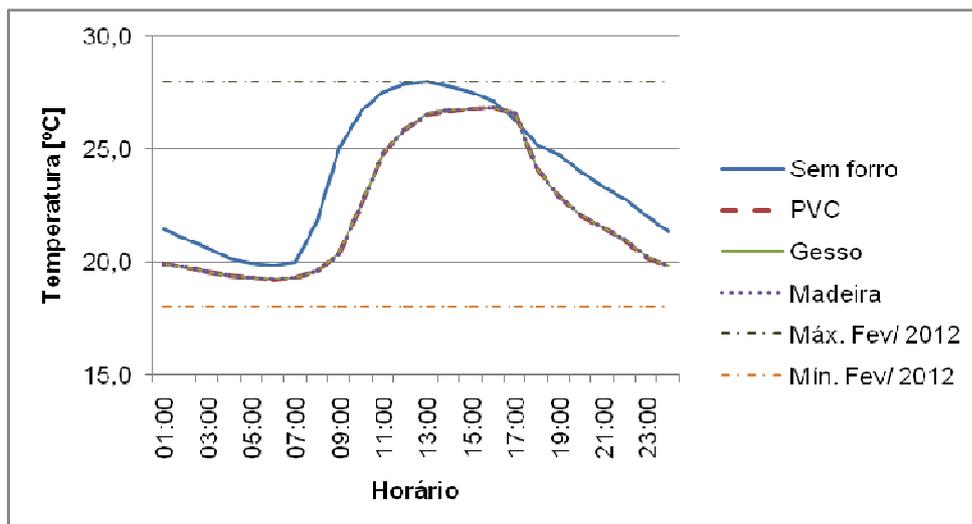
Figura 22 – Perfis das temperaturas internas da “Sala” com forro.

Na Fig. 23 são apresentadas as atenuações das temperaturas resultantes da utilização de forros no “Quarto 01”.

Nota-se considerável contribuição deste elemento para a melhoria do nível de conforto ambiental em todos os períodos do dia. Porém deve-se ressaltar a diminuição das temperaturas internas no período noturno, quando, na condição de “ambiente de descanso”, este cômodo deve apresentar os melhores índices de conforto térmico, visando o bem estar de seus usuários.



(a) Forro horizontal instalado a 2,70m de altura.



(b) Forro inclinado instalado paralelo a telhagem (parte mais baixa a 2,70m de altura).

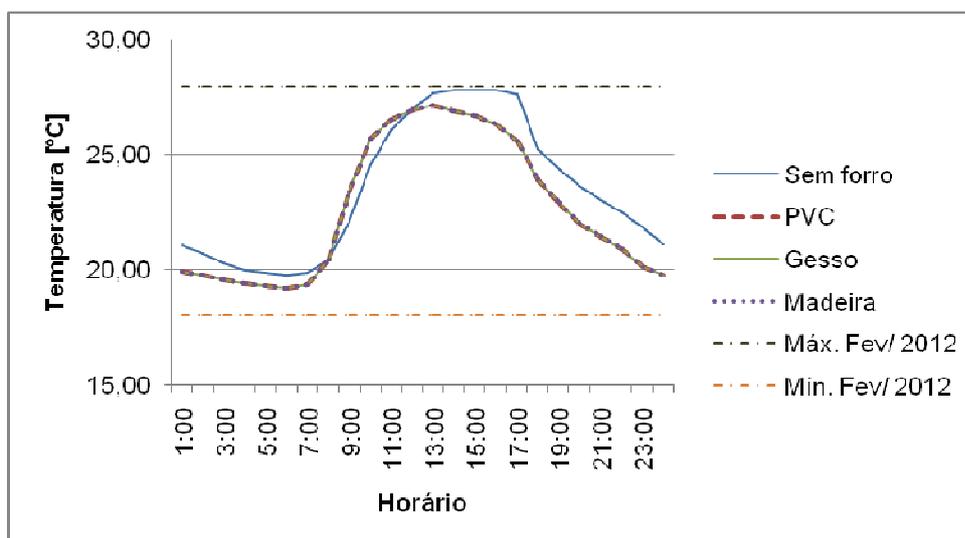
Figura 23 - Perfis de temperaturas internas do “Quarto 01” com forro.

A eficácia do elemento “forro” para o “Quarto 02” é apresentada pela Fig. 24.

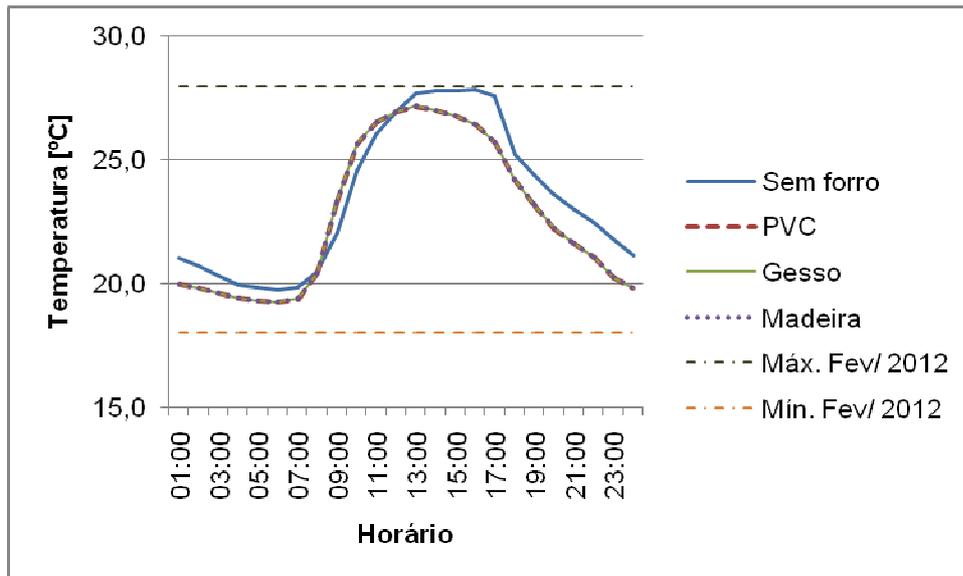
Observa-se, assim como no caso do cômodo anterior (“Quarto 01”) a diminuição das temperaturas ambientais internas, devido a presença do elemento em análise (forro).

Neste caso, ressalta-se ainda, que a atenuação das temperaturas se dá, principalmente no período da tarde, quando realmente há essa necessidade, já que, pela implantação aqui estudada, o cômodo em questão, possui uma de suas paredes em contato com o meio externo voltada para oeste.

Já no período da manhã, pelo fato deste cômodo não receber raios solares diretamente em nenhuma parede (não há paredes em contato com o meio externo orientadas para leste), a utilização do forro pode causar pequenos incrementos nas temperaturas, podendo tal elemento se caracterizar como uma “barreira” que diminui o volume de circulação de ar no ambiente.



(a) Forro horizontal instalado a 2,70m de altura.

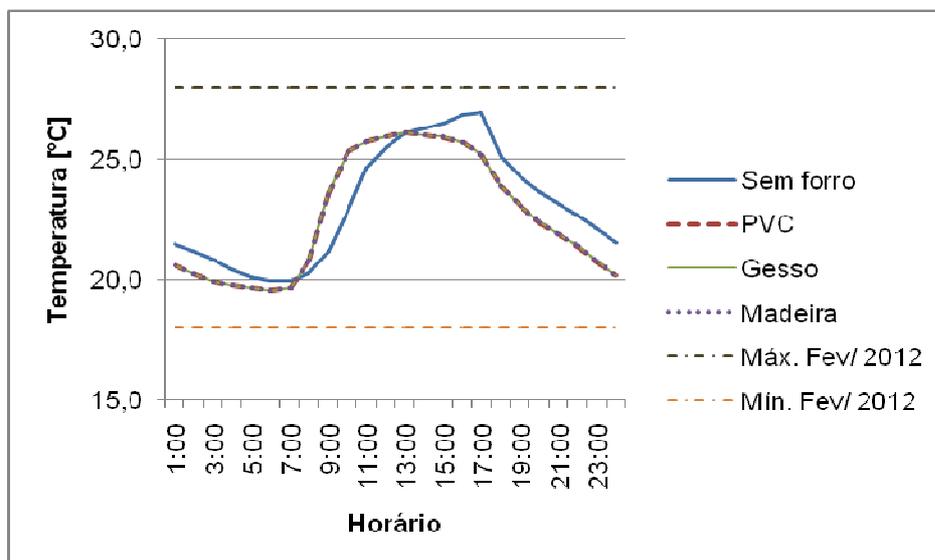


(b) Forro inclinado instalado paralelo a telhagem (parte 2,70m de altura).

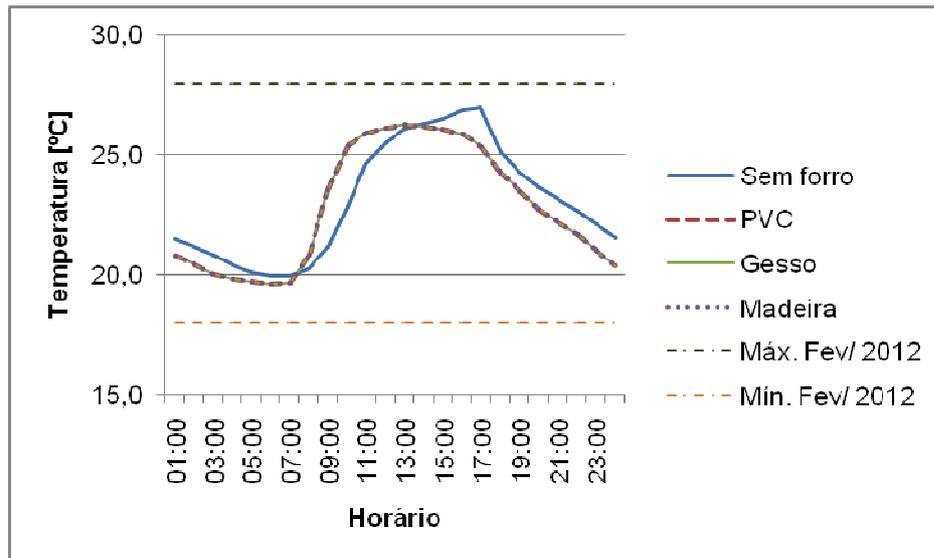
Figura 24 - Perfis de temperaturas internas do “Quarto 02” com forro.

Através dos dados apresentados na Fig. 25, observa-se a eficiência na diminuição das temperaturas internas do cômodo denominado “Instalação sanitária” no período vespertino, quando há incidência direta de raios solares em uma das paredes do mesmo.

No período da manhã, o aumento de temperatura ambiental, mais uma vez, pode ser atribuído à diminuição de área para a circulação de ar no interior do cômodo, devido a presença do forro.



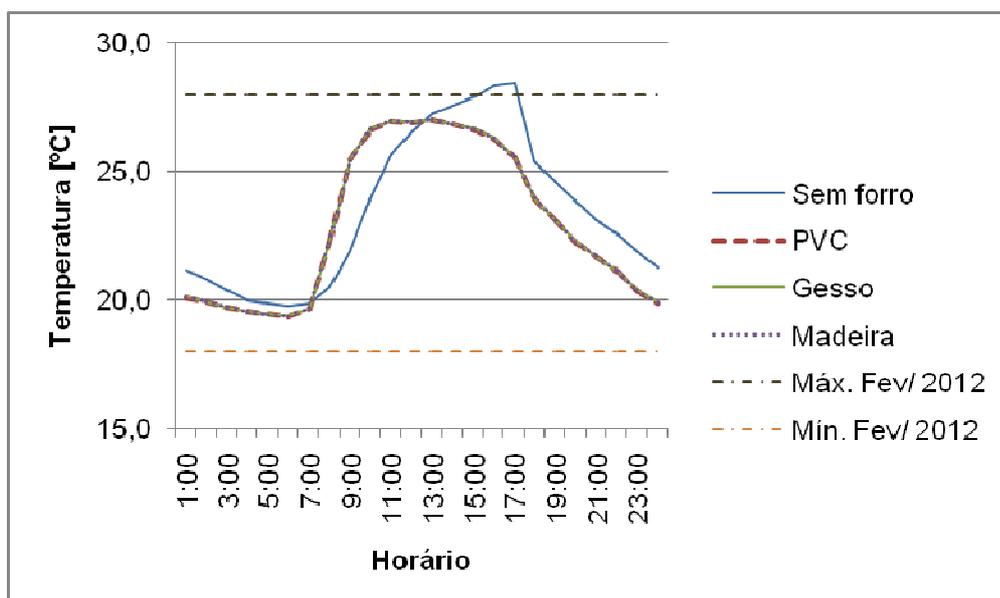
(a) Forro horizontal instalado a 2,70m de altura.



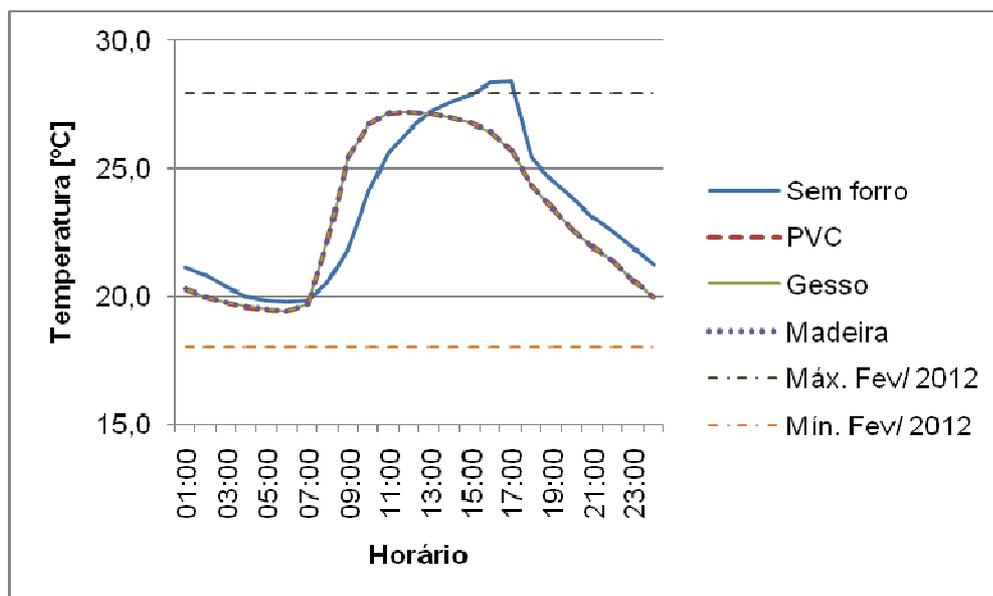
(b) Forro inclinado instalado paralelo a telhagem (parte mais baixa a 2,70m de altura).

Figura 25 - Perfis de temperaturas internas da “Instalação sanitária” com forro.

Através da Fig. 26 nota-se que, assim como ocorre nos cômodos “Quarto 02” e “Banheiro”, a presença de forros no ambiente “Cozinha” garante a melhoria das condições térmicas ambientais, no período vespertino do dia, em que há grande incidência de raios solares em uma de suas paredes em contato com o meio externo (parede voltada a oeste). Já no período da manhã este elemento torna-se, mais uma vez, um obstáculo para a circulação do ar no interior do cômodo.



(a) Forro horizontal instalado a 2,70m de altura.



(b) Forro inclinado instalado paralelo a telhagem (parte mais baixa a 2,70m de altura).

Figura 26 - Perfis de temperaturas internas na “Cozinha” com forro.

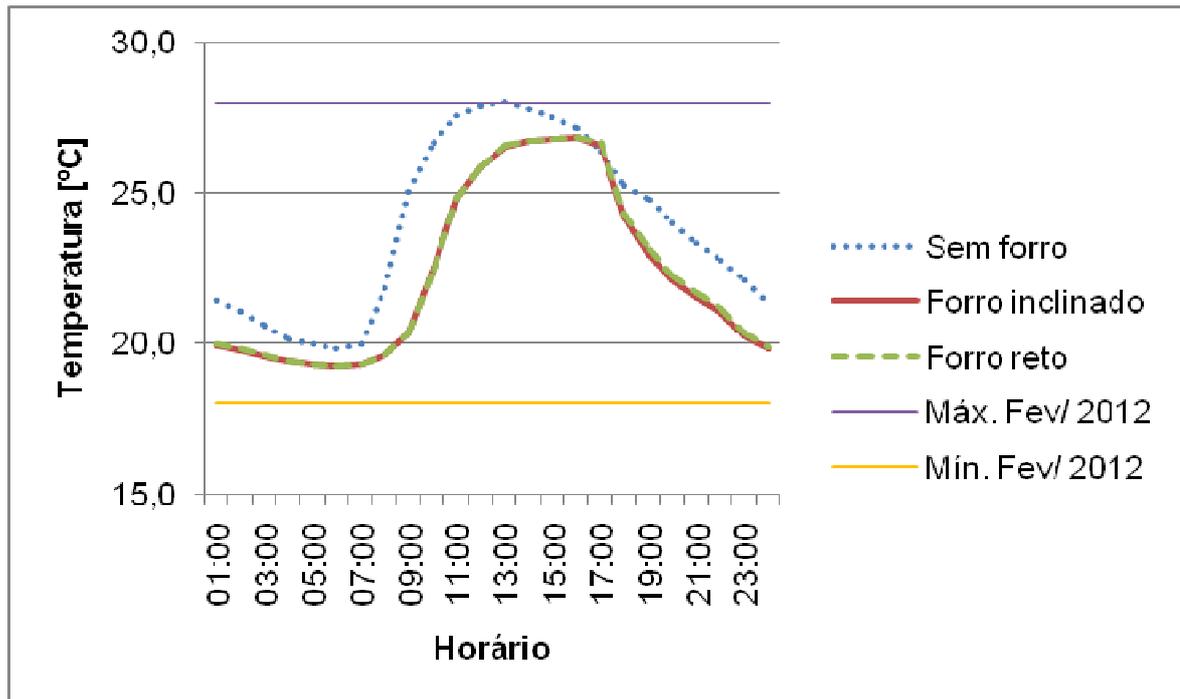
5.4 Análise forro horizontal x forro paralelo ao telhado

Através da Fig. 27, são ilustradas as histórias das temperaturas internas dos cômodos “Quarto 01” e “Quarto 02”, visando comparação da eficiência das duas maneiras de instalação estudadas (forro horizontal e inclinado, paralelo ao telhado), de forma que haja a identificação da mais eficiente forma de utilização deste elemento.

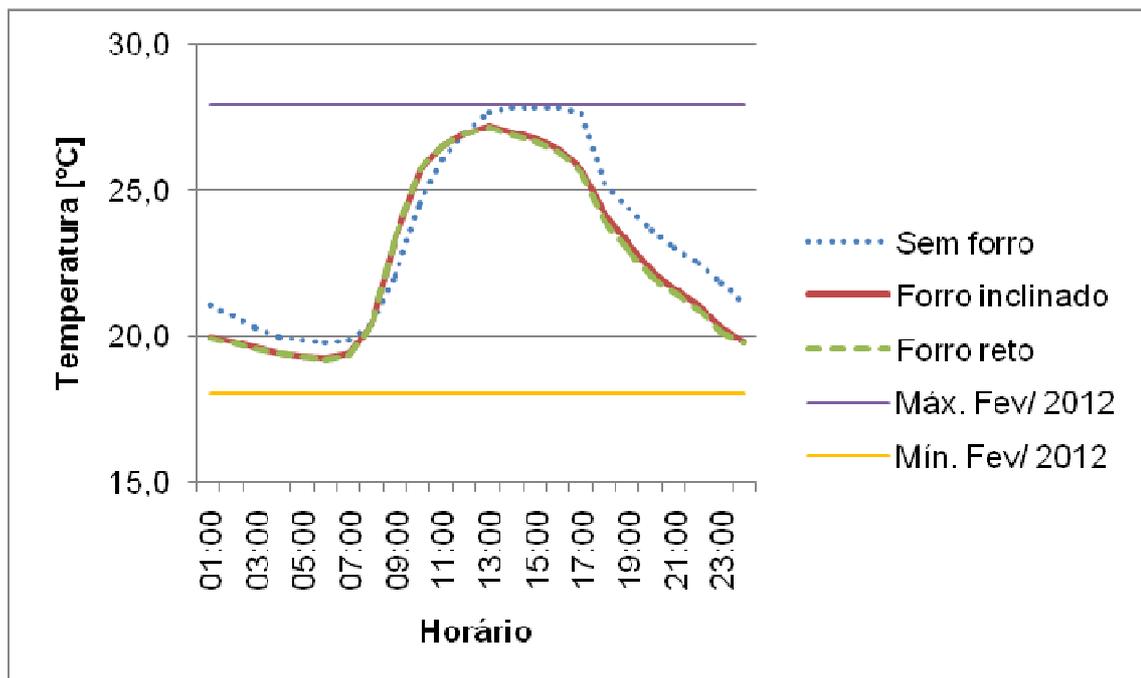
Tal análise é realizada nos ambientes citados, por se considerar que boas condições térmicas em ambientes destinados ao descanso devem ser imprescindíveis.

Assim, a partir das curvas obtidas para o forro de madeira e apresentadas nas figuras é possível observar que, quando comparados os dois modos de instalação aqui estudados, ambos apresentam eficiências próximas.

Tais resultados devem ao fato de que o ar quente existente no ambiente, normalmente acumulado próximo aos forros ou a cobertura (o ar quente é menos denso que o ar frio), em nenhum dos dois casos, possui sistema de exaustão.



(a) "Quarto 01".



(b) "Quarto 02".

Figura 27 - Eficiência dos forros na atenuação térmica.

Assim, após a apresentação dos resultados obtidos a partir dos estudos propostos, visando o bom nível de conforto térmico no interior de edificações, alerta-se para a importância da realização de estudos para a identificação da melhor forma

de implantação das mesmas. Também merece destaque a importância de elementos que contribuam para a melhoria dos níveis térmicos dos cômodos dos modelos estudados.

6 Conclusões

A partir dos resultados e das análises apresentadas a respeito das simulações computacionais realizadas sobre as temperaturas ambientais internas, de cada ambiente da casa estudada, conclui-se que, a orientação solar de implantação da edificação e a utilização de beirais de 0,50m, não são soluções projetuais suficientes para que sejam garantidas boas condições de conforto térmico durante todo um dia de verão no interior da residência.

Em grande parte do período diurno analisado, as temperaturas encontram-se, em todos os cômodos, acima dos 23°C que, segundo Padilha (2010), é a temperatura limite para a existência de um bom índice de conforto térmico em diversos tipos de ambientes.

Embora, no caso estudado, não seja suficiente, é indiscutível a eficiência do beiral, como elemento de sombreamento das paredes, na diminuição das temperaturas internas nos cômodos em seus horários críticos de insolação.

O forro também deve ser entendido como um importante elemento para a melhoria das condições térmicas no interior da residência, mas para que sua plena eficiência seja garantida, estudos a respeito da melhor maneira de instalação dos

mesmos (paralelos a telhagem ou horizontalmente no ambiente) e, materiais devem ser realizados. Nos casos analisados, embora contribuam de maneira significativa para a atenuação das temperaturas, não são suficientes para a garantia da existência de bons índices de conforto térmico no interior dos ambientes.

As simulações computacionais realizadas também permitem concluir que a prática construtiva amplamente difundida em conjuntos habitacionais brasileiros, onde geralmente um único modelo de moradia é aplicado, em terrenos com fachadas voltadas à diferentes orientações solares, não resulta na construção de residências que proporcionem boas condições de habitabilidade aos seus moradores. Tal prática não resulta em casas com cômodos que proporcionem bons índices de conforto térmico aos seus usuários.

Tendo em vista a importância dos momentos de descanso no dia-a-dia das pessoas e, assim, a necessidade de bons índices de conforto térmico em ambientes destinados para tais fins (quartos), pode-se afirmar que as residências do núcleo habitacional analisado, que possuem suas fachadas orientadas para o sul, são aquelas que proporcionam melhores condições térmicas aos seus habitantes. Ressalta-se, porém, que ainda neste caso, o nível de conforto térmico existente no interior dessas edificações não são os ideais.

6.1 Considerações finais

Do exposto no presente trabalho, a partir das simulações computacionais realizadas visando a identificação das condições térmicas a que estão expostos os moradores de núcleo habitacional de interesse social analisado, conclui-se que as residências de tal conjunto habitacional de interesse social apresentam deficiências quando analisadas de acordo com os preceitos que regem o “conforto térmico”.

Através do comportamento das temperaturas no interior dos modelos analisados observa-se, em um dia de verão, que as mesmas encontram-se acima dos 23°C (segundo Padilha (2010), a temperatura limite para a existência de um bom índice de conforto térmico em diversos tipos de ambientes). Assim, tais

ambientes não podem ser entendidos como locais que garantem bons níveis de habitabilidade aos seus moradores.

Embora o beiral empregado e a utilização de forros no interior da residência contribuam, inegavelmente, para a melhoria das temperaturas internas da edificação, algumas modificações garantiriam maior eficiência aos mesmos:

1- uma das alternativas para a melhoria das condições térmicas existentes nessas residências é o aumento da largura do beiral empregado nessas edificações. Tal prática resultaria no aumento das áreas sombreadas das paredes e, conseqüentemente diminuição da quantidade de raios solares incidentes diretamente nas mesmas em alguns períodos do dia;

2- tendo em vista que o ar quente é menos denso que o ar frio e que, por tal fato, ambientes fechados normalmente formam uma “camada de ar quente” nas proximidades dos forros ou suas coberturas. Para tanto, considera-se que a abertura de janelas próximas a tais forros ou coberturas para a saída do ar quente do interior dos cômodos, contribuiria, de maneira significativa, para o aumento do nível de conforto térmico nas residências.

Para trabalhos futuros sugere-se alguns tópicos, tais como:

- obtenção dos dados locais de incidência solar em diversas cidades do País e estudo para inserção de tais dados nas subrotinas do programa *EnergyPlus*, facilitando o acesso dos projetistas aos referidos dados;
- estudos da influência das dimensões das janelas e da presença de cortinas nos perfis de temperaturas dos ambientes;
- influência das cores das tintas nas paredes externas nas temperaturas internas dos ambientes;
- estudo de tipos de exaustão da “camada de ar quente” junto ao teto, facilitando o resfriamento dos ambientes em tempos menores.

Referências

ABRANTES, A. F. **Atualidades em ergonomia – logística, movimentação de materiais, engenharia industrial, escritório.** 1ª Edição – São Paulo: IMAM, 2004.

ABREU, A. L. P. de, *et. al.* **Estudo arquitetônico de habitação popular com considerações bioclimáticas, aproveitamento de águas pluviais e energia solar para aquecimento de água.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

ALMEIDA, H. S. **Análise do conforto térmico de edifícios utilizando as abordagens analítica e adaptativa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa. Lisboa, 2010.

ALVES, E. **Forro de PVC tem baixo custo.** Disponível em <http://londrina.odiario.com/imoveis/noticia/570690/forro-de-pvc-tem-baixo-custo/>, acessado em 18/05/2012.

- ALVES, S.S. **Tipificação dos instrumentos de políticas de apoio à eficiência energética: a experiência mundial e o cenário nacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- ARANTES, B. **Análise do conforto térmico e lumínico de uma oficina mecânica**. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02:136.01-001/1: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (Parte 1- Requisitos)**. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 Desempenho térmico de edificações (Parte 1- Definições símbolos e unidades)**. Rio de Janeiro, 2003.
- BARBIERO, Miriam. **Avaliação das percepções quanto ao ambiente térmico em uma indústria metalúrgica: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia – categoria Profissionalizante – Ênfase em Ergonomia) – Porto Alegre, 2004.
- BASSO, L.H. et. al. **Análise de um sistema de aquecimento de água para residência rurais, utilizando energia solar**. Engenharia Agrícola, v. 30, n.1; p. 14-21. Jaboticabal, 2010.
- BERALDO, J. C. **Eficiência energética em edifício: avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- BEYER, P. O. **Green building certification – a core & shell case**. 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering (ENCIT): Uberlândia, 2010.
- BORMIO, M. F. **Avaliação pós-ocupação ambiental de escolas da cidade de Bauru (SP) e Lençóis Paulista (SP): um estudo ergonômico visto pela metodologia EWA**.

Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2007.

CAVALCANTE, R. de C. D. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

CAVALCANTI, E. **Gesso acartonado (Dry Wall)**. Disponível em <http://www.blogdaengenharia.com/2012/03/03/gesso-acartonado/>, acessado em 16/05/2012.

CEPAGRI Meteorologia – Unicamp. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>; acessado em 18/01/2012.

COHEN, S. C. **Habitação saudável como caminho para a promoção da saúde**. Tese (Doutorado em Ciências – Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública. Rio de Janeiro, 2004.

COHEN, S. C. **Arquitetura social e da família como caminho para a habitação saudável, sustentável e segura**. Congresso Internacional: Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social. Porto Alegre, 2010.

COLEÇÃO HABITARE. **Habitação social nas metrópoles brasileiras – Uma avaliação das políticas habitacionais em Belém, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo no final do séc. XX**. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

CORBELLA, O. e YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.

CHAVES, L. O. R. C e CUNHA, J. **Simulação numérica de painéis pré-fabricados em materiais compostos utilizados como elementos de vedação de edifícios**. Revista Horizonte Científico, v. 3, n. 1, 2009. Disponível em

<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/4342/3204>, acessado em 15/05/2012.

DIAS, J.F. e DORNELAS, R. C. **A construção e o desenvolvimento sustentável**. Em Extensão, v. 6, p. 109-120. Uberlândia, 2007.

DILIGENTI, M. et. al. **Habitação unifamiliar sustentável: projeto de Casa-laboratório**. Congresso internacional – Sustentabilidade e habitação de interesse social. Porto Alegre, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo de energia nas residências, comércios e serviços cresce 9% em março**. Disponível em http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/20120426_1.pdf; acessado em 08/05/2012.

FACULDADE DE ENGENHARIA UNESP – BAURU (FEB). **Como chegar**. Disponível em <http://www.simpep.feb.unesp.br/comocheugar.php>; acessado em 27/01/2012.

FITTIPALDI, M. **Habitação social e arquitetura sustentável em Ilhéus/BA**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento regional e meio ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, 2008.

FREITAS, S. A. de. **Habitação popular em Goiânia: Vila Mutirão – Mil casas em um dia**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 5ª Edição – São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GONÇALVES, J. C. S. e DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p.51-81, out./dez. 2006.

GRZYBOWSKY, G. T. **Conforto térmico nas escolas públicas em Cuiabá – MT: estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em física e meio ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2004.

IIDA, I. Ergonomia – **Projeto e produção**. 7ª Edição – São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2001.

HOLZ, S. e MONTEIRO, T. V. de **A. Política de habitação social e o direito a moradia no Brasil**. X Simpósio Internacional de Geocrítica. Barcelona, 2008. Disponível em <http://www.ub.edu/geocrit/-xcol/158.htm>, acessado em 11/05/2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades: Bauru - SP**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>; acessado em 19/01/2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS (IPEMET). **Dados históricos**. Disponível em http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/estacao/historico.php; acessado em 15/03/2012.

JULIEN, P. **A madeira invadiu o banheiro**. Revista Casa & Construção, ed. 56, 2010.

KROEMER, K. H. E; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia – Adaptando o trabalho ao homem**. 5ª Edição – Porto Alegre: Bookman, 2005.

KUHN, E. A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de edificações**. Apostila do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. e PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 1ª Edição – São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. de P. **Conforto térmico e stress térmico**. Apostila do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – UFSC. Florianópolis, 2002.

LIMA, R. G. **A influência do sombreamento e da absorvância da envoltória no desempenho termoenergético de edifícios na cidade de Maceió – AL.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, 2010.

MALHEIROS, F. V. A. **Desempenho térmico de pavilhões industriais: estudo de caso em Panambi/RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

MARAGNO, G. V. **Adequação bioclimática da arquitetura de Mato Grosso do Sul.** Ensaios e Ciências, Campo Grande, v. 6, n. 003, p. 13-37. 2002.

MASCARELLO, V. L. **Princípios bioclimáticos e princípios de arquitetura moderna – evidências no edifício hospitalar.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema nacional de habitação de interesse social.** Disponível em <http://www.cidades.gov.br/index.php/sistema-nacional-de-habitacao-de-interesse-social-snhis.html>; acessado em 19/05/2012.

MOREIRA, F. **O déficit habitacional.** Disponível em <http://www.sae.gov.br/site/?p=10601> acessado em 19/05/2012.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira.** Apostila do curso de Engenharia Industrial Madeireira - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010. Disponível em: http://www.madeira.ufpr.br/ceim/index.php?option=com_content&view=article&id=397:propriedades-tecnologicas-da-madeira&catid=53:notas-de-aula&Itemid=78; acessado em 11/05/2012,

MUNHOZ, F. C. **Análise térmica do ambiente de repouso do trabalhador em casas populares.** Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2005.

NAKAMURA, J. **A respeito do meio ambiente.** Revista Arquitetura e Urbanismo. N, 142, jan. 2006. Disponível em <http://revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/142/artigo21833-1.asp>; acessado em 19/05/2012.

NERBAS, P. de F. e KUHN, E. A. **Desafios à inserção de requisitos de sustentabilidade ambiental em projetos-padrão para habitação de interesse social: o caso Casa Cerâmica.** Congresso internacional – Sustentabilidade e habitação de interesse social. Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, T. A. de; RIBAS, O. T. **Sistemas de controle das condições ambientais de conforto.** Ministério da Saúde. Brasília, 1995.

PADILHA, A. **Higiene do trabalho – Módulo: Temperaturas extremas.** Apostila do Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. Bauru, 2010.

PAIVA, S. *et. al.* **Como instalar e manter forros de madeira, gesso, bambu e PVC.** Disponível em <http://casa.abril.com.br/materia/como-instalar-e-manter-forros-de-madeira-gesso-bambu-e-pvc>, acessado em 16/05/2012,

PEDRINI, A. e SZOKOLAY, S.. **Recomendações para o desenvolvimento de um ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p.39-54, jan./mar. 2005.

PIZARRO, P. R. **Estudo das variáveis de conforto térmico e luminoso em ambientes escolares.** Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2005.

PORTO, M. **O processo de projeto e a sustentabilidade na produção da arquitetura.** 1ª Edição – São Paulo: C4, 2009.

RABELLO, S. **Qualidade na cabeça.** Disponível em <http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/qualidade-na-cabeça-85371-1.asp>; acessado em 16/05/2012.

RIBEIRO, G. S. **Conforto ambiental, sustentabilidade, tecnologia e meio ambiente: estudo de caso Hospital Sarah Kubitschek – Brasília.** III Fórum de pesquisa FAU – Mackenzie. São Paulo, 2007.

ROSA, S. **Indicadores de sustentabilidade urbana aplicados em conjuntos habitacionais de Catalão/Goiás.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

ROTTA, R. **Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria – RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

RUAS, A.C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho.** São Paulo: Fundacentro, 1999.

RUAS, A.C. **Sistematização de avaliação de conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

SERRADOR, M. E. **Sustentabilidade em arquitetura: referências para projeto.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

SILVA, G. H.; PIZZO, H. da S. e FERNANDES, V. M. C. **Construção sustentável: reuso da água e fontes alternativas de energia como opções para a sustentabilidade habitacional.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005.

SILVA, V. S. **Manual de habitação.** 1ª Edição – Porto: Campo das Letras, 2002.

THE WEATHER CHANEL. **Médias e registros mensais – São Paulo, Brasil.** Disponível em <http://br.weather.com/weather/climatology/BRXX0232?dayofyear=32>; acessado em 17/09/2012.

VAGHETTI, M. A. O; et. al. **Casa popular eficiente: um benefício ambiental aliado a um custo mínimo.** Congresso internacional – Sustentabilidade e habitação de interesse social. Porto Alegre, 2010.

VERSAGE, R. de S. **Ventilação natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura.** 3ª Edição. São Paulo: Hammer Gráfica & Editora Ltda., 2007.

XAVIER, A. L. **Estudo da utilização dos softwares EnergyPlus e Desktop Radiance na cidade de Cuiabá – MT.** Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2008.

VIZEU, R. **Chuveiro elétrico consome mais energia, mas gasta menos água.** Folha de São Paulo, 2009. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u551959.shtml>; acessado em 08/02/2012.

WESTPHAL, F. S. **Curso: Introdução ao EnrgyPlus.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Estadual de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

___ **Bauru.** Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Bauru>; acessado em 19/01/2012.

___ **Chuveiro elétrico ou chuveiro a gás: qual é o mais econômico?** Revista Casa e Jardim, 2011. Disponível em <http://casa-e-jardim.hagah.com.br/especial/pr/decoracao-pr/19,0,3268465,Chuveiro-eletrico-ou-chuveiro-a-gas-qual-e-o-mais-economico.html>; acessado em 08/02/2012.

___ **Condutividade térmica.** Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Condutividade_t%C3%A9rmica, acessado em 28/05/2012.

___ **EnergyPlus.** Disponível em <http://www.otecweb.com.br/page11.aspx>; acessado em 07/02/2012.

___ **Forros de PVC Tigre – Catálogo técnico.** Disponível em http://www.tigre.com.br/pt/catalogos_tecnicos.php; acessado em 18/05/2012.

___ **Gesso acartonado.** Disponível em http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2005-1/gesso/drywall.html; acessado em 16/05/2012.

___ **Getting started with EnergyPlus.** Disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf>; acessado em 14/06/2011.

___ **OpenStudio.** Disponível em <http://www.sketchup4architect.com/sketchup-plugins/OpenStudio.htm>; acessado em 05/12/11.

___ **Plugin.** Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Plugin>; acessado em 12/04/2012.