

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JOÃO OCTÁVIO SOUZA PAULA

**ANALISE DE CONFORTO TÉRMICO EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES
NO MUNICÍPIO DE APARECIDA DO TABOADO – MS**

DOURADOS - MS

2018

JOÃO OCTÁVIO SOUZA PAULA

**ANALISE DE CONFORTO TÉRMICO EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES
NO MUNICÍPIO DE APARECIDA DO TABOADO – MS**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado para obtenção do grau de
engenheiro no Curso de Engenharia de
Produção da Universidade Federal da
Grande Dourados, UFGD.

Orientador: Prof.^a M.^a Larissa Freitas Diniz

DOURADOS - MS

2018

JOÃO OCTÁVIO SOUZA PAULA

**ANALISE DE CONFORTO TÉRMICO EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES
NO MUNICÍPIO DE APARECIDA DO TABOADO – MS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção na Universidade
Federal da Grande Dourados, pela comissão formada por:

Orientador: Prof.^a M.^a Larissa Freitas Diniz

Prof.^a Dr.^a Mariana Lara Menegazzo Algarte

Prof. Dr. Rogério da Silva Santos

Dourados - MS, 19 de julho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Ao Universo, por permitir a minha existência e inserir em meu caminho seres capazes de me guiar e confortar.

A minha família, por ser meu apoio em meio as adversidades, por me ensinar o caminho da verdade, do amor, do respeito e da compaixão.

Aos meus amigos, que me permitem errar e evoluir, chorar e sorrir, e por fazerem do meu mundo um lugar feliz.

Aos meus orientadores, Wagner da Silveira e Larissa Freitas Diniz, pela compreensão, auxílio e disposição na elaboração do presente trabalho.

A minha mãe, pelo exemplo de dignidade, caráter e força.

“Olhe de novo: não existem brancos, não existem amarelos, não existem negros. Somos todos arco-íris!”

(Ulisses Tavares)

RESUMO

Frente as problemáticas ambientais causadas pelo homem, faz-se necessária a melhor utilização dos recursos naturais e a redução dos impactos causados. A redução do consumo energético residencial com condicionamento térmico artificial se mostra uma variável a ser considerada, visto que, o baixo desempenho térmico das residências ocasiona uma maior utilização de energia elétrica para este fim. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo buscar arranjos construtivos que melhorem o desempenho térmico de edificações residenciais, de modo a proporcionar aos usuários um melhor conforto térmico. Afim de se obter dados comparativos, calculou-se a taxa de transferência de calor através do telhado das residências localizadas no município de Aparecida do Taboado – MS, sendo essas oriundas do financiamento da Caixa Econômica Federal através do Programa Minha casa, Minha vida. Realizou-se a aplicação de questionário acerca da satisfação dos usuários quanto ao conforto térmico nas residências, posteriormente fez-se registros de temperatura em cinco residências em dois períodos distintos. Utilizando como base os valores de transmitância térmica e capacidade térmica de diferentes arranjos construtivos propostos pela literatura, observou-se as melhorias esperadas com a utilização dos mesmos. Como conclusão, argumentou-se sobre a importância das melhorias propostas e a precariedade do arranjo utilizado nas residências avaliadas.

Palavras-chave: Conforto térmico. Habitações de interesse social. Desempenho térmico. Taxa de transferência de calor.

ABSTRACT

Facing the environmental problems caused by man, it is necessary to make better use of natural resources and reduce the impacts caused. The reduction of the residential energy consumption with artificial thermal conditioning shows a variable to be considered, since the low thermal performance of the residences causes a greater use of electric energy for this purpose. In this way, the present work aims to find constructive arrangements that improve the thermal performance of residential buildings, in order to provide users with better thermal comfort. In order to obtain comparative data, the heat transfer rate was calculated through the temperature of the roof of the residences located in Aparecida do Taboado - MS, which were financed by Caixa Econômica Federal through the Minha casa, Minha vida program. A questionnaire was applied on user satisfaction regarding thermal comfort in the residences, after which temperature was recorded in five residences in two different periods. Using the thermal transmittance and thermal capacity values of different constructive arrangements proposed in the literature, the expected improvements with the use of the same were observed. In conclusion, it was argued about the importance of the proposed improvements and the precariousness of the arrangement used in the residences evaluated.

Keywords: Thermal comfort. Social housing. Thermal performance. Heat transfer rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Déficit habitacional brasileiro 2008.....	28
Figura 2 - Composição do déficit habitacional segundo regiões geográficas	29
Figura 3 - Variações climáticas no estado de Mato Grosso do Sul	32
Figura 4 - Trocas de calor através de paredes opacas.....	36
Figura 5 - Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas	37
Figura 6 - Esquema de refletância especular e difusa	38
Figura 7 - Planta baixa das residências analisadas	40
Figura 8 - Vista Frontal das residências avaliadas	41
Figura 9 - Vista lateral das residências avaliadas	41
Figura 10 - Vista panorâmica das residências avaliadas	42
Figura 11 - Termo Higrômetro Digital	42
Figura 12 - Aceitação do Ambiente Térmico	45
Figura 13 - Período de maior desconforto térmico.....	46
Figura 14 - Satisfação térmica apenas com o uso de ventilador.....	46
Figura 15 - Melhoria no conforto térmico através do aumento no número de entradas e saídas de ar.....	47
Figura 16 - Valores de transmitância térmica e capacidade térmica para arranjo construtivo telha de cerâmica-camada de ar-forro PVC.....	50
Figura 17 - Valores de transmitância térmica e capacidade térmica para arranjo construtivo telha de cerâmica-camada de ar-laje pré-moldada com cerâmica	51
Figura 18 - Valores de transmitância térmica e capacidade térmica para arranjo construtivo telha de cerâmica-camada de ar-laje pré-moldada com EPS.....	52
Figura 19 - Valores de transmitância térmica e capacidade térmica para arranjo construtivo poliuretano envolto em telha metálica - camada de ar - laje maciça.....	53
Figura 20 - Comparativo de transmitância térmica entre os arranjos analisados	54
Figura 21 - Comparativo de capacidade térmica entre os arranjos analisados.....	54
Figura 22 - Carga térmica recebida por edificações térreas e isolada	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos de refletância	38
Tabela 2 - Especificações da residência	47
Tabela 3 - Propriedades dos materiais utilizados	48
Tabela 4 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura	48
Tabela 5 - Absortância para radiação solar e emissividade para radiações a temperaturas comuns.....	49
Tabela 6 - Registro de Temperatura Vespertino.....	49
Tabela 7 - Registro de Temperatura Matutino.....	50
Tabela 8 - Comparativo de custos entre arranjos analisados.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
°C	Graus Celsius
kg	Quilograma
m ³	Metro cúbico
cm	Centímetro
q	Intensidade de fluxo de calor
k	Condutividade térmica do material
L	Espessura da parede
T 1	Temperatura da superfície 1
T 2	Temperatura da superfície 2/fluido
RT	Resistência térmica total da parede
K	Coefficiente global de transmissão térmica
E	Espessura da camada
σ	Constante de radiação
ε	Emissividade da superfície
R	Resistência térmica do material
R t	Resistência térmica da parede
A	Área
Ser	Resistência térmica da superfície externa
Rsi	Resistência térmica da superfície interna
U	Transmitância térmica
Ct	Capacidade térmica
ρ	Densidade
c	Calor específico
R\$	Real
m ²	Metro quadrado
m	Metro
W	Watt
K	Kelvin

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	20
Equação 2	20
Equação 3	21
Equação 4	21
Equação 5	21
Equação 6	22
Equação 7	22
Equação 8	22
Equação 9	22
Equação 10	23
Equação 11	23
Equação 12	23
Equação 13	24
Equação 14	24

SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivos gerais.....	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.2	Justificativa.....	16
1.3	Estrutura	16
2	Referencial Teórico	18
2.1	Transferência de calor	18
2.1.1	Formulações	20
2.1.1.1.	Condução.....	20
2.1.1.2.	Convecção	21
2.1.1.3.	Radiação	21
2.1.1.4.	Resistência térmica.....	22
2.1.1.5.	Transmitância térmica	23
2.1.1.6.	Capacidade térmica	23
2.1.1.7.	Caixa de transferência de calor	24
2.2	Conforto Térmico	24
2.3	Construções habitacionais de interesse social	26
2.4	Programa “Minha Casa/Minha Vida”	28
2.5	Características climáticas no Mato Grosso do Sul.	31
2.6	Influência dos materiais no desempenho térmico do edifício	32
2.6.1	Coberturas residenciais	34
2.6.2	Fechamentos.....	35
2.6.3	Tintura externa	37
3	Materiais e Métodos	40
3.1	Materiais	40
3.1.1	Habitações estudadas	40
3.1.2	Termo higrômetro digital	42
3.2	Métodos	43

3.2.1 Pesquisa bibliográfica	43
3.2.2 Pesquisa de campo	43
3.2.3 Análise.....	44
4 Discussão de Resultados	45
4.1 Análise do questionário	45
4.2 Características das edificações	47
4.3 Propriedades Térmicas	47
4.4 Registros de temperatura	49
4.5 Calculo do Fluxo de calor através do telhado da residência	50
4.6 comparativo com outros arranjos construtivos.....	51
4.6.1 Telha de cerâmica – camada de ar – laje pré-moldada com cerâmica	51
4.6.2 Telha de cerâmica – camada de ar – laje pré-moldada com EPS.....	52
4.6.3 Poliuretano envolto em telha metálica – camada de ar – laje maciça	52
4.6.4 Comparativo.....	53
4.6.5 Custo de implantação	55
4.7 Coloração externa.....	55
4.8 Redução no consumo energético	56
5 Considerações Finais.....	57
Referências	58
Anexo A	64
Anexo B.....	66

1 INTRODUÇÃO

Projetar uma edificação, até meados do século XX, exigia obrigatoriamente a consideração das condições climáticas locais, pois os recursos tecnológicos para o condicionamento do ambiente eram escassos. Com a rápida evolução tecnológica pós-Revolução Industrial houve o surgimento de diversos mecanismos que possibilitavam a mudança nas condições térmicas dos ambientes de maneira artificial, utilizando-se de fontes de energia elétrica (LAMBERTS et al, 1997).

Porém, com a grande elevação no gasto energético residencial mostrou-se necessário a reconsideração dos modelos construtivos a fim de se diminuir esse consumo. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), no ano de 2015 o setor residencial foi responsável pela utilização de 24,9% de toda energia elétrica produzida no país. Deste total, estima-se que 26% estão direcionados para a climatização artificial de residências (PROCEL, 2007).

A utilização desses equipamentos tem aumentado exponencialmente e, para suprir essa demanda energética, se faz necessário um alto investimento financeiro na execução de obras que, em sua totalidade, causam impactos ambientais. Conseqüentemente, surgiu-se a necessidade de redução deste consumo e, como resposta a essa problemática, a engenharia busca projetar edifícios eficientes energeticamente.

Lamberts et al (1997) aponta a eficiência energética como a capacidade de um edifício em apresentar condições ambientais agradáveis aos usuários com um menor consumo de energia, sendo o conforto térmico uma dessas condições. Do ponto de vista pessoal, o conforto térmico é uma condição mental que expressa a satisfação com o ambiente térmico, do ponto de vista físico, o ambiente é termicamente confortável se suas condições permitem a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de que o organismo acione os mecanismos termorreguladores (LOPES, 2008).

No Brasil, a engenharia acompanha a evolução das tecnologias, materiais e sistemas construtivos de forma regular, sendo refletido no desenvolvimento da sociedade, no crescimento econômico e nos programas de habitação e infraestrutura urbana, que visam o bem-estar e o desenvolvimento social como uma melhoria na qualidade de vida dos cidadãos. O mercado nacional tem se adequadado ao panorama mundial na busca por sustentabilidade, pelo uso racional da energia e por uma maior eficiência nas fases de projeto, construção e ocupação das edificações.

De acordo com a NBR 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), a avaliação de uma edificação quanto ao desempenho térmico pode ser feita na fase do projeto, a partir de cálculos que utilizem índices como transmitância, capacidade e atraso térmicos, entre outros, dos materiais que serão empregados nos fechamentos laterais, no sistema de cobertura, na tinta utilizada na pintura interna e externa, pode ser feita também com o auxílio de programas computacionais ou com a realização de medições e avaliação dos dados obtidos após a conclusão da obra.

Tendo em vista o clima predominantemente tropical no Mato Grosso do Sul, onde a temperatura média anual é de 26°C, podendo atingir temperaturas entorno de 39°C no verão (RIBEIRO, 2010). O presente trabalho busca materiais que apresente um melhor desempenho térmico para serem utilizados na cobertura e tinta externa de habitações de interesse social, de modo provocar uma redução na temperatura interna e, conseqüentemente, no consumo energético para condicionamento térmico dessas residências.

Assim, este trabalho tem a finalidade de definir quais arranjos construtivos proporcionam um melhor conforto térmico aos moradores de habitações de interesse social, onde observou-se uma precariedade nos arranjos já instalados e uma insatisfação dos usuários quanto ao ambiente térmico.

Para isso calculou-se o fluxo de calor através do telhado de residências já entregues há população e a influência da coloração externa no fluxo de calor por radiação solar absorvido pelas paredes externas das mesmas. Comparou-se os valores obtidos com o de outros materiais e analisou-se o custo de implantação de cada um.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar possíveis melhorias no conforto térmico em habitações de interesse social oferecidas no primeiro nível do programa Minha Casa/Minha Vida, a partir de mudanças no isolamento de cobertura, fechamento e coloração utilizada na pintura externa.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicação de questionário de satisfação dos moradores acerca do conforto térmico no interior da residência;

- Observação dos materiais utilizados na cobertura das residências avaliadas e das cores utilizadas na pintura externa;
- Avaliação dos materiais existentes do mercado e sua contribuição para a melhoria do conforto térmico nas residências;
- Análise das alternativas de melhorias.

1.2 JUSTIFICATIVA

O aumento das temperaturas nas regiões tropicais do planeta são reflexos de um fenômeno conhecido como “El Niño” e interfere diretamente no clima brasileiro. Conseqüentemente, é obtido um aumento significativo no consumo de energia elétrica residencial que, além da implantação de novas tecnologias no parque de equipamentos elétricos, necessitam de um maior gasto com o controle da temperatura interna das residências.

A sobrecarga do sistema de abastecimento elétrico provocou um aumento no custo da energia para o cliente final, impactando o setor residencial com um aumento de aproximadamente 6,4% no valor da conta de energia. Visto o atual cenário econômico brasileiro e a baixa renda dos moradores das residências do primeiro nível do programa Minha Casa/Minha Vida, faz-se necessário a implantação de melhorias construtivas nas residências ofertadas pelo programa a fim de se reduzir o gasto elétrico e proporcionar uma moradia digna e confortável a todos os usuários.

1.3 ESTRUTURA

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. No primeiro capítulo é realizada uma breve introdução do assunto a ser discutido, são também apresentados os objetivos e a justificativa da pesquisa.

No segundo capítulo, Revisão Bibliográfica, são apresentados os conceitos que têm relevância na análise, como as definições acerca do conforto térmico e de moradias de interesse social, a caracterização climática da região, a influência dos materiais no desempenho térmico de edificações, além de exibir a normatização regente para o assunto.

No terceiro capítulo são apresentados os equipamentos utilizados durante a pesquisa, as habitações analisadas e a metodologia aplicada no tratamento de dados.

No quarto capítulo realiza-se a análise do questionário aplicado aos usuários, afim de se formular a problemática, e posteriormente são exibidos os dados coletados, sendo feito uma análise comparativa entre diferentes arranjos construtivos propostos pela literatura.

Finalmente, no quinto capítulo são feitas considerações finais sobre o trabalho, expondo as possíveis melhorias para a problemática encontrada.

Quais arranjos construtivos provocariam uma melhora no conforto térmico de habitações de interesse social e qual o custo de implantação de cada um dele?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Costa (1991) aponta a transferência de calor como uma busca por equilíbrio térmico entre duas regiões do espaço, ou seja, esse fenômeno ocorre quando a energia térmica do ambiente com maior temperatura transfere-se para um ambiente com menor temperatura a fim de se obter uma similaridade térmica entre ambos.

O calor é definido como a energia transferida entre sistemas que se encontram em temperaturas distintas até que se atinja o equilíbrio térmico. O aumento da temperatura ocorre quando um corpo, ao receber essa energia em forma de calor, transforma em energia interna. A transferência de calor ocorre por três processos: condução, convecção e radiação. (CAVALCANTI, 2001).

De acordo com Costa (1991, apud Armelin e Cherry, 2004), os mecanismos de transferência de calor podem ser definidos como:

- a) Condução – a transferência de energia ocorre de partícula para partícula, não havendo transporte de matéria entre os meios. A energia cinética dos átomos e moléculas é transferida por colisões entre átomos e moléculas próximas a elas, deste modo o calor flui das moléculas com maior energia cinética para as moléculas com menor energia cinética;
- b) Convecção – a transferência de calor ocorre de molécula a molécula, simultaneamente, verificando-se o transporte de matéria de região para região. Nesse mecanismo de transferência de energia ocorre quando o ar em movimento entra em contato com uma superfície, existindo uma diferença de temperatura entre a superfície e o fluido (ar);
- c) Irradiação ou radiação térmica – a energia radiante transportada de um corpo através de ondas eletromagnéticas, que se propagam em diversos meios, até mesmo no vácuo. Trata-se da energia calorífica emitida sob a forma de radiações semelhantes à luz.

Givoni (1998) define condutividade em edificações como “[...] um processo de transferência de calor através de materiais sólidos (paredes e telhados) do lado quente para o lado frio do elemento da edificação. A taxa do fluxo depende da condutividade do material e da espessura do elemento da envoltória em quentão”.

Em definição, Costa (2000) cita a condução como "a passagem de calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou de corpos diversos em íntimo contato, devido ao movimento molecular dos mesmos, sem que se verifiquem deslocamentos materiais no corpo ou sistema considerado". A temperatura interfere diretamente nas vibrações de um corpo sólido, de modo que as amplitudes das vibrações sofram uma elevação devido ao aquecimento, assim, o calor é transmitido para o corpo através de ressonância (sempre da maior para a menor temperatura).

A convecção é um processo de transporte de energia em decorrência da combinação de condução de calor, armazenamento de energia e movimento de massa. Givoni (1998) ressalta que a convecção pode ocorrer de dois modos: naturalmente (causada pela diferença de temperatura) ou de forma forçada. A convecção natural ocorre quando o ar, após entrar em contato com uma superfície aquecida, se expande e eleva-se. Após entrar em contato com uma superfície mais fria, perde-se calor e ocorre o processo inverso (o ar é resfriado, fica mais denso e desce). O fluxo, da transferência de calor, ocorre decorrente a diferença de temperatura, assim como da posição da superfície aquecida. O fluxo é maior quando a superfície mais aquecida é o piso, e menor quando o teto é a superfície mais quente.

Em superfícies horizontais, considera-se que o sentido do fluxo de ar pode ser ascendente ou descendente conforme a temperatura interna seja maior ou menor do que a externa. A quantidade de calor transmitido nas duas situações depende das facilidades do deslocamento do ar que sofre convecção (GIVONI, 1998).

A energia térmica (calor) é encontrada em todos os corpos (os quais a transformam em energia radiante através da emissão de ondas eletromagnéticas). "Os corpos não só emitem radiações infravermelhas, como absorvem tais radiações de suas vizinhanças. Estas radiações são chamadas Radiações Térmicas". A radiação é considerada um fenômeno superficial, este fato se dá devido a emissão do calor através da radiação ocorrer nas moléculas que se situam a uma distância menor do que 1 μm em relação à superfície (considerando-se o enfoque na análise de edificações). Deste modo a radiação se define como sendo a troca de calor entre dois corpos – a partir da capacidade de emitir e de absorver energia térmica - situados a certa distância. Esta forma de transferência de calor pode ocorrer até mesmo no vácuo, pois não é necessário que haja um meio para propagação. Em relação à radiação solar, o comportamento dos materiais é seletivo segundo a radiação incidente, de modo que a quantidade de energia

absorvida, refletida e transmitida varia conforme o comprimento de onda (considerando-se os espectros ultravioleta, visível e infravermelho) (GIVONI, 1998).

A transmitância térmica representa o desempenho térmico de um edifício. Esta define-se como:

O fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente (RORIZ, 2008, p. 13).

2.1.1 FORMULAÇÕES

2.1.1.1. CONDUÇÃO

Para mensuração da condução em paredes planas pode-se utilizar a Lei de Fourier, representada pela Equação 01 (SOUZA, 2010; RODRIGUES, 2010):

$$q = k \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

Equação 1

Onde:

q – intensidade de fluxo de calor;

k – condutividade térmica do material;

L – espessura da parede;

T1 – temperatura da superfície 1;

T2 – temperatura da superfície 2.

O valor para “q” também pode ser encontrado através da Equação 02:

$$q = \frac{(T_1 - T_2)}{RT}$$

Equação 2

Onde RT é a resistência total da parede.

Em paredes heterogêneas (compostas por duas ou mais camadas de diferentes matérias), emprega-se a Equação 1 no cálculo do fluxo de calor. Entretanto, necessita-se da determinação do coeficiente global de transmissão térmica (*k*), obtido a partir da Equação 3 (FINGER, 2003 citado por ARAÚJO, 2004).

$$\frac{1}{k} = \frac{e1}{k1} + \frac{e2}{k2} + \dots + \frac{en}{kn}$$

Equação 3

Onde:

e_n é a espessura da camada;

k_n é condutividade térmica do material.

2.1.1.2. CONVECÇÃO

Rodrigues (2010) expressa a mensuração da convecção através da Equação 4.

$$q = \hbar(T1 - T2)$$

Equação 4

Onde:

q – intensidade de fluxo de calor;

\hbar – coeficiente médio de transferência de calor por convecção;

$T1$ – temperatura da superfície;

$T2$ – temperatura do fluido.

De acordo com Souza (2010), “ \hbar representa a quantidade de calor que se transfere da superfície até o fluido (ar), por unidade de tempo e unidade de área, quando a diferença de temperatura entre a superfície e o fluido é de 1°C”.

2.1.1.3. RADIAÇÃO

Para o cálculo da radiação térmica, Bezerra (2013) indica o uso da Equação 5.

$$q = \sigma\varepsilon(T1 - T2)$$

Equação 5

Onde:

q – intensidade de fluxo de calor;

σ – constante de radiação ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$);

ε – emissividade da superfície;

$T1$ – temperatura da superfície 1;

$T2$ – temperatura da superfície 2.

Ainda acerca da radiação, Souza (2010) ressalta que parte da energia radiante que incide sobre um corpo se perde em função da sua capacidade de absorver, refletir e transmitir calor.

2.1.1.4. RESISTÊNCIA TÉRMICA

Para resistência térmica de matérias, Roriz (2008; SOUZA, 2010) expressa o cálculo a partir da Equação 06.

$$R = \frac{L}{k}$$

Equação 6

Onde:

L – espessura da parede;

k – condutividade térmica do material.

Em paredes com camadas constituídas de apenas um material, emprega-se a Equação 7 para o cálculo de R_t (SOUZA, 2010)

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Equação 7

Realizando a interação entre as Equações 06 e 07, obtém-se a seguinte expressão:

$$R_t = \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \dots + \frac{L_n}{k_n}$$

Equação 8

Em paredes heterogêneas, Souza (2010) aponta a utilização da Equação 9.

$$R_t = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

Equação 9

Onde:

A_n – área de cada camada;

R_n – resistência térmica de cada camada.

Entretanto, se torna necessário a consideração das resistências superficiais, que representa a resistência do ar que se encontra em contato com a superfície da parede, e

as das camadas de diferentes materiais que a constituem (SOUZA, 2010). Sua formulação pode ser observada na Equação 10.

$$RT = Rse + Rsi + Rt$$

Equação 10

Onde:

RT – resistência térmica total;

Rse – resistência térmica da superfície externa;

Rsi – resistência térmica da superfície interna;

Rt – somatório das resistências das camadas (incluindo as camadas de ar).

2.1.1.5. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

Souza (2010) define transmitância térmica como uma medida de calor que flui por unidade de tempo e a área, transferida através de um sistema de construção, constituído por uma ou mais camadas de material, estando as faces plano paralelo, quando há um gradiente térmico de 1°C (274 K) de temperatura entre os dois ambientes.

A ABNT (2013) define a transmitância térmica como o inverso da resistência térmica total (RT), e pode ser calculada a partir da Equação 11.

$$U = \frac{1}{RT}$$

Equação 11

2.1.1.6. CAPACIDADE TÉRMICA

Define-se a capacidade térmica de corpo como a quantidade de calor que ele necessita receber ou ceder para que sua temperatura varie uma unidade. A quantificação da capacidade térmica (CT) pode ser obtida através da Equação 12 (ABNT, 2013).

$$CT = \sum_{i=1}^n ei ci \rho 1$$

Equação 12

Onde:

ρ – densidade do material;

e – espessura da camada;

c – calor específico do material da camada.

Para paredes heterogêneas, a capacidade térmica pode ser encontrada a partir da Equação 13.

$$CT = \frac{A1 + A2 + \dots + An}{\frac{A1}{C1} + \frac{A2}{C2} + \dots + \frac{An}{Cn}}$$

Equação 13

Onde A representa a área de cada camada analisada.

2.1.1.7. TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

De acordo com Çengel e Ghajar (2013), a taxa de transferência de calor através de qualquer seção de paredes e tetos de edifícios sob condições permanentes pode ser definida a partir da Equação 14.

$$\dot{Q} = U.A.\Delta t$$

Equação 14

\dot{Q} – taxa de transferência de calor

U – transmitância térmica

A – área

$$\Delta T = T_e - T_i$$

Sendo:

T_e – temperatura externa

T_i – temperatura interna

2.2 CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico representa uma característica, apresentada pelo meio ambiente e pelas edificações, onde o ser humano se encontra satisfeito com o ambiente térmico a sua volta. Sendo assim, pode ser definido como uma condição que demonstra a satisfação do indivíduo com o ambiente térmico (SANTOS E ANDRADE, 2008).

Araújo (2001) alega que esta sensação de satisfação, denominada conforto térmico, está relacionada com as trocas de calor realizadas entre o organismo humano e o meio ambiente, não ocasionando fadiga ou estresse e otimizando a capacidade de trabalho do homem.

Dentre as principais variáveis que influenciam no conforto térmico estão a temperatura, a umidade, a velocidade do ar, a temperatura radiante média, a atividade

desenvolvida e a resistência térmica das vestimentas utilizadas pelo indivíduo. A união dessas variáveis proporciona uma perda de calor em maior ou menor quantidade do que a produzida pelo organismo, ocasionando um ambiente frio, quente ou neutro, caso ocorra um equilíbrio entre as trocas de calor (ARAÚJO, 2001).

Na arquitetura, o conforto ambiental é visto como uma combinação de aspectos funcionais (atividade, permanência e convivência), aspectos dimensionais (espaço para as atividades, antropometria), aspectos psicológicos (de reconhecimento e adaptação) e aspectos fisiológicos (visuais, higiênicos, acústicos e térmicos) que proporcionam ao ser humano sensações de bem-estar ao permanecerem em determinados locais (Egan 1975, apud Malheiros 2005).

A radiação solar é um dos fatores fundamentais para a análise do desempenho térmico em edificações, pois dependendo das propriedades das superfícies atingidas pela radiação, ocorrem diferentes processos de transferência de calor entre a habitação e o meio ambiente (CASTRO, 2005).

De acordo com Simpson e Mcpherson (1997), o clima em torno das construções desdobra-se por vários fatores climáticos como a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e a velocidade dos ventos. Influencia-se diretamente por esses fatores a transferência de calor ocorrida entre as habitações e o meio ambiente, tendo como meio de transferência as paredes, telhados, porta e janela. Como receptor final, o usuário pode ter a percepção de desconforto térmico em dias mais quentes, o que acarreta no uso de ferramentas tecnológicas como ventiladores, climatizadores e ar condicionados, elevando o consumo elétrico residencial.

O organismo humano apresenta um sistema termorregulador, este tem como função a manutenção da temperatura interna do organismo e o comando de reduções de ganhos e aumentos de perdas de calor. Porém, apesar de ser um meio natural de regulação da temperatura corporal, a termo regulamentação exige um esforço extra do organismo e, conseqüentemente, proporciona uma queda no potencial de trabalho do ser humano.

Segundo Gonzales et al. (1986), quanto maior a redução dos esforços necessários para a regularização do organismo em obter conforto térmico com o meio em que se encontra, maior é sua proximidade com a denominada “Zona de Bem-Estar Térmico”. Esta pode ser definida como uma condição térmica ambiente onde uma maior quantidade de pessoas se sentem confortáveis e expressão não manifestarem nem frio e nem calor, sentindo-se bem.

De acordo com Roriz (2008), a energia térmica no corpo do ser humano pode ser absorvida ou dissipada a partir do meio externo, conforme o gradiente de calor. Os principais meios de transferência de calor utilizada nesse processo são a condução, a radiação e a convecção.

Por estarem em constante movimentação vibratória, as moléculas da pele transmitem essa energia cinética para o meio, que se for mais frio, aumenta a velocidade das moléculas presentes no ar até que seja atingido um estado de equilíbrio. A pele e os tecidos subcutâneos funcionam como um isolante natural, visto que a camada adiposa conduz o calor a uma velocidade equivalente a 1/3 dos demais tecidos (MAGALHÃES et al., 2001).

Segundo Magalhães et al (2001), a radiação corresponde à emissão de calor sob forma de ondas eletromagnéticas, mais precisamente, ondas infravermelhas. Este processo está presente em qualquer matéria em que a temperatura não seja o zero absoluto e o grau de radiação depende de cada matéria. Caso a temperatura do corpo humano seja superior à temperatura do meio externo, será irradiada uma maior quantidade de calor a partir do corpo do que será irradiada para o corpo, ou seja, ocorre uma perda de calor por parte do organismo.

Na transferência de calor por convecção o processo é feito por partículas capazes de transferir energia de um lugar para o outro, possibilitando trocas constantes de calor com todo o meio externo na presença de correntes de ar. Este processo envolve variáveis como vestimentas e a presença de aparelhos condicionadores de ar ou que promovem a movimentação do mesmo, como os ventiladores (MAGALHÃES et al., 2001).

2.3 CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL

Castilho (2016) afirma que a partir da década de 1950, período de aprofundamento do padrão de acúmulo capitalista urbano e industrial brasileiro, a cidade de São Paulo tornou-se um dos maiores centros populacionais do país ao concentrar um grande número de indústrias que atraiu milhares de trabalhadores advindos de diversas regiões do Brasil. Esse explosivo fluxo migratório em direção à São Paulo agravou a crise de acesso à habitação e gerou uma intensa expansão urbana por meio do surgimento de diversos loteamentos na periferia, na maioria erguidos predominantemente por meio da autoconstrução.

Com a instauração da ditadura militar em 1964, a intervenção do Estado em política urbana e habitacional visando criar condições para o "assentamento" habitacional da classe trabalhadora empregada na indústria e garantir a expansão do processo de industrialização, tornou-se mais efetiva com a criação de todo um aparato institucional direcionado ao financiamento habitacional, com destaque para a criação e regulamentação de uma série de leis (muitas por decreto), planos e instituições (federais, estaduais e municipais), como o caso das Companhias de Habitação Popular (COHABs), fundadas para financiar moradias à famílias com renda entre um e cinco salários mínimos (CASTILHO, 2016).

Desde então, os programas e instituições do Sistema Financeiro de Habitação (SFH) criado pela ditadura militar brasileira - e que servem como modelo de política habitacional até hoje -, ampliaram o crédito imobiliário no Brasil e os agentes financeiros ligados a ele, possibilitando que a produção em larga escala de moradias estimulasse o setor financeiro e a indústria da construção civil que, conseqüentemente, aqueceu outros setores da economia que a acompanha (metalurgia, siderurgia, mineração, eletrodoméstico, moveleiro etc.) (CASTILHO, 2016).

De acordo com a política nacional de habitação implantada pela ditadura militar brasileira, as companhias de habitação popular (COHABS) foram fundadas para ampliar a eficiência do processo construtivo de moradias em larga escala, seguindo as normas técnicas e critérios estabelecidos pelos governos locais (municipal e estadual) em concordância com a legislação federal. Por isto, as moradias populares financiadas pelas COHABs possuíam pequenas dimensões e utilizam soluções arquitetônicas "uniformizantes" e "padronizantes", garantindo assim maior rendimento do processo construtivo e, portanto, melhor retorno dos investimentos aplicados.

Em 1964, quando foi criado o Banco Nacional de Habitação, suas fontes de recursos para o financiamento habitacional advinham da extração compulsória de 1% do salário de todos os trabalhadores regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). A partir de 1966, quando foi criado o FGTS em substituição à estabilidade de emprego, constituído pela contribuição compulsória de 8% dos salários dos trabalhadores, o BNH tornou-se o gestor desse fundo a partir de 1967, ampliando consideravelmente as fontes de recursos destinadas ao Sistema Financeiro da Habitação (SFH). No mesmo ano, quando foi criado o Sistema Brasileiro de Poupanças e Empréstimos (SBPE), composto por poupanças voluntárias dos trabalhadores

movimentadas pelas Caixas Econômicas Federais e Estaduais, e por bancos privados, o BNH também incorporou a gestão desses recursos (BONDUKI, 2004).

2.4 PROGRAMA “MINHA CASA/MINHA VIDA”

O Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) foi desenvolvido pelo Governo Federal como resposta ao déficit habitacional Brasileiro que, segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2008 representava 7,9 milhões de moradias, correspondendo a 21% da população brasileira na época. Com o objetivo de proporcionar aos cidadãos brasileiros acesso à casa própria, tanto em perímetro urbano, quanto em rural, o programa foi lançado em 2009 fornecendo condições especiais de financiamento, através de parcerias com os estados federativos, municípios, empresas e entidades sem fins lucrativos.

Tendo como principal objetivo diminuir o déficit populacional brasileiro, o programa almeja uma redução de 14% desse contingente, cujo qual está concentrado na população de baixa e de baixíssima renda. A necessidade de reposição ou aumento do estoque de moradias é exposto por esse indicador, sendo uma resposta a falta de habitações em condições adequadas para ocupação, devido a ocorrência de coabitação forçada ou o ônus excessivo com aluguel urbano (WÜSTH, 2015; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2013).

A Figura 1 representa o déficit habitacional ano de 2008, nela é exibida a porcentagem correspondente a cada estado brasileiro.

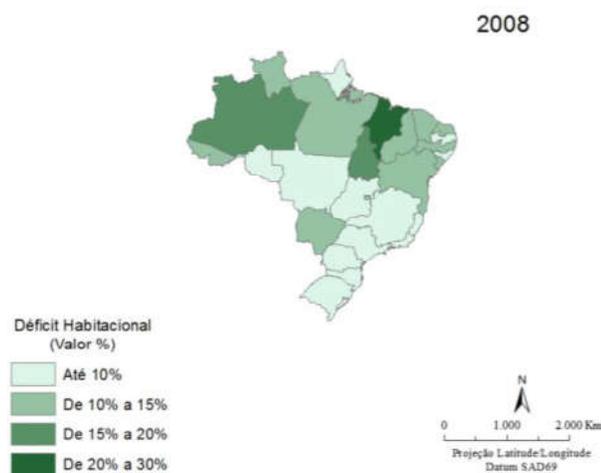


Figura 1 - Déficit habitacional brasileiro 2008 (Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008).

O conceito de Déficit Habitacional está relacionado às deficiências do estoque de moradias e é calculado com base em quatro componentes, sendo eles: Habitações Precárias, Coabitação Familiar, Ônus Excessivo com Aluguel e Adensamento Excessivo de Moradores em Domicílios Alugados (FJP, 2007).

A Fundação João Pinheiro (2008) apontam que as Habitações Precárias são compostas pelos domicílios rústicos, sem paredes de alvenaria ou madeira aparelhada, e pelos domicílios improvisados, sendo esses imóveis e lugares não destinados a moradia, como imóveis comerciais, barcos, pontes, viadutos e etc. A Coabitação Familiar é compreendida pela soma das famílias conviventes secundárias que moram com outra família no mesmo domicílio e das que vivem em cômodos, com exceção aos que são cedidos pelo empregador.

O Ônus Excessivo com Aluguel Urbano é calculado pelo número de famílias urbanas com renda familiar de até três salários mínimos que moram em domicílios urbanos duráveis e que despendem mais de 30% de sua renda com aluguel. Já o Adensamento Excessivo de Moradores em Domicílios Alugado é dado pelo número médio de moradores superior a três pessoas por dormitório, em domicílios alugados onde o morador não tem a possibilidade de aumentar, reformar ou vender o domicílio para torná-lo mais adequado às necessidades de moradia da sua família por não ser proprietário do imóvel (FJP, 2008).

A Figura 2 exhibe a composição do déficit habitacional em casa região brasileira, fazendo um comparativo entre os anos de 2007 e 2008.

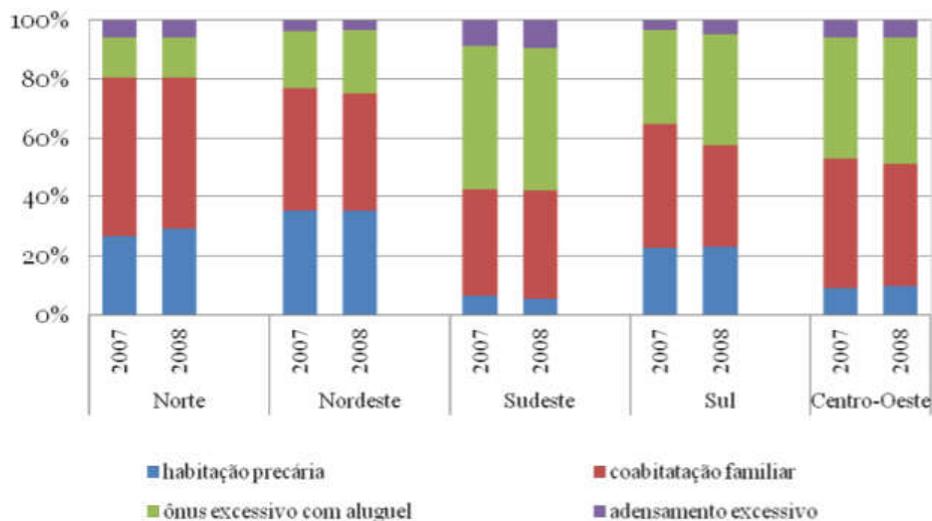


Figura 2 - Composição do déficit habitacional segundo regiões geográficas (FONTE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008).

De acordo com Foragi (2012), o programa consiste "basicamente em subsídios e descontos para as famílias e incentivos para as empresas envolvidas". Sua premissa principal é a facilitação na realização de financiamentos, tanto para construção quanto para a reforma de habitações populares no perímetro urbano para famílias com renda entre três a dez salários mínimos, visando menos taxas de juros, assistência financeira e melhores prazos de pagamento.

Em seu lançamento, a meta do Governo Federal era construir um milhão de habitações até 2012 com um orçamento estimado em 34 bilhões de reais (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010). Essa meta foi atingida logo no início da implementação do programa e por isso o PMCMV realizou novos contratos de financiamento, o que continua a ser feito desde então.

De acordo com Governo do Brasil, até março de 2015 o programa já havia beneficiado 3,857 milhões de famílias. Desde sua implantação em 2009, os bancos haviam liberado R\$ 139,6 bilhões em financiamento, tendo como principal instituição a Caixa Econômica Federal. O governo realizou um investimento entre 2009 e 2015 de um total de R\$ 114,8 bilhões para subsidiar imóveis das famílias que se enquadram na faixa 1 de renda.

Para o ano de 2017, o governo anunciou que pretendem contratar 600 mil unidades habitacionais, a serem entregues no prazo de dois anos.

Atualmente, o Minha Casa, Minha Vida passa pela sua terceira fase. Em sua última modificação, feita no início de 2017, ocorreram ajustes nas faixas de renda e nas condições de financiamento. Pelas regras atuais, de acordo com a Caixa Econômica Federal, os financiamentos podem se enquadrar nas seguintes faixas:

Faixa 1: são as famílias com renda mensal de até **R\$ 1,8 mil**. O financiamento nestes casos pode ser feito em até 120 meses, com prestações mensais que variam de R\$ 80,00 a R\$ 270,00, dependendo da renda bruta familiar.

Faixa 1,5: inclui as famílias com renda mensal até **R\$ 2.600,00**. Neste caso, o financiamento do imóvel é feito a uma taxa de juros de 5% ao ano e com um prazo de pagamento de até 30 anos. Conta com subsídios do governo de até R\$ 47,5 mil.

Faixa 2: para famílias com rendimento mensal até **R\$ 4 mil**. Nesta faixa de renda, o governo subsidia até R\$ 29 mil na compra do imóvel. Além disso, a taxa de juros anual varia entre 5,5% e 7% e o prazo de financiamento é de 30 anos.

Faixa 3: é para as famílias com renda de até **R\$ 9 mil mensais**. Para as que apresentam um rendimento entre R\$ 4 mil e R\$ 7 mil, a taxa de juros fica em 8,16% ao

ano. Já para aqueles com renda entre R\$ 7 mil e R\$ 9 mil, a taxa de juros anual é de 9,16%. O prazo limite para o financiamento também é de 30 anos.

2.5 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS NO MATO GROSSO DO SUL.

O clima é um conjunto de fenômenos meteorológicos que definem a atmosfera de um determinado lugar. Ao considerar o clima, observa-se que ele apresenta uma grande diversidade de características, ainda que em lugares próximos entre si. A ele somam-se outros aspectos locais, como os materiais de construção, o desenvolvimento tecnológico e as condições socioeconômicas, que imprimem ao espaço arquitetônico um caráter diferente e próprio do lugar (FRANCISCO, 2012).

Francisco (2012) afirma que é grande a diversidade climática no território brasileiro em consequência de fatores como as características geográficas, a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar, este de suma importância porque atua diretamente tanto na temperatura quanto na pluviosidade, provocando as diferenciações climáticas para cada região.

A maior parte do território brasileiro possui clima tropical, que é caracterizado por temperaturas elevadas. Isso é ocasionado pelo fato de grande parte das terras brasileiras estão localizadas em uma região da Terra que recebe maior quantidade de calor da luz solar – são as áreas situadas entre os trópicos de Câncer e Capricórnio (FREITAS, 2013).

No Mato Grosso do Sul, as manifestações climáticas são as mais variadas, porém, o clima predominante é o tropical, com duas estações bem definidas, uma chuvosa (verão) e outra seca (inverno). Nesses locais a temperatura média varia de acordo com o relevo, pois nas partes mais baixas a temperatura média anual é de 26°C, enquanto que nos planaltos é de 23°C. Os índices pluviométricos chegam a 1.500 mm ao ano (RIBEIRO 2010).

Existem fatores que influenciam na variação do clima, como pode ser observado na Figura 3.

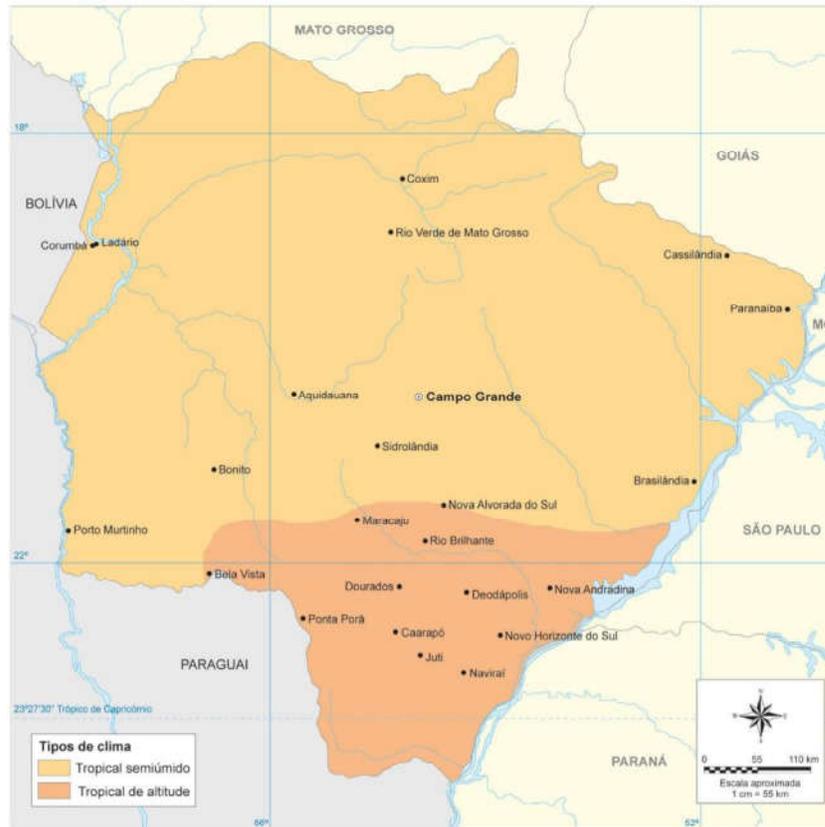


Figura 3 - Variações climáticas no estado de Mato Grosso do Sul (Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Observa-se que apesar do clima predominante ser o tropical semiúmido, que se caracteriza por apresentar verões quentes e chuvosos e o inverno seco e pouco frio, no extremo sul do estado, nas proximidades com o estado do Paraná, existe uma variação climática para tropical de altitude. Tal fato ocorre devido à presença de relevo de planalto, onde apresenta-se verões quentes e inverno com temperaturas mais amenas, podendo até ocorrer geadas no inverno, mais ao sul do estado e as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano (SILVEIRA 2015).

2.6 INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS NO DESEMPENHO TÉRMICO DO EDIFÍCIO

Nos países de clima tropical, como o Brasil, variáveis como a ventilação, resistência térmica e capacidade de refletância de materiais e a radiação solar são extremamente importantes para o desempenho térmico das edificações, principalmente quando essas não contam com sistemas de condicionamento térmico. Akutsu & Vittorino (1997) ressaltam que nessas edificações, o parâmetro avaliado deixar de ser o

consumo energético e passa a se tornar, principalmente, o conforto térmico dos ocupantes.

Em habitações de interesse social, tendo em vista que a maior parte é desprovida de sistemas de ar-condicionado, o método avaliativo de desempenho térmico visa adequar as condições climáticas internas do ambiente a condições salubres de conforto térmico para os ocupantes.

Existem inúmeras soluções arquitetônicas que afetam o conforto térmico de um edifício, dentre elas estão:

- 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.

Portanto, são muitas as variáveis arquitetônicas que contribuem para o melhor desempenho térmico e energético de uma edificação, aplicando-se a mais cabível a cada caso. Deve-se adotar soluções que sejam condizentes com o padrão da edificação em construção, ressaltando a importância do planejamento e busca de soluções financeiramente viáveis para cada tipo de obra (MARAGNO, 2002).

Segundo Gret (1986, apud Oliveira e Ribas, 1995), as soluções da arquitetura frente as questões climáticas podem ser executadas em diferentes níveis, podendo ser através de dispositivos arquitetônicos (controle da insolação, inércia, etc.), por dispositivos tecnológicos (ar condicionado, ventilação mecânica, climatizadores, etc.), elementos construtivos (aberturas, telhados, janelas, etc.) ou inserção no ambiente (plano de massa, orientação, etc.).

No Brasil, a normatização de desempenho térmico em edifícios está em vigor desde maio de 2005, esta é derivada do Projeto de Norma da ABNT (1998) e vinculada a comissão de estudos (CE-02:135.07) do Comitê Brasileiro de Construção Civil (CB-02) e faz parte do processo de Normatização em Conforto Ambiental. A normatização está dividida em 5 tópicos, sendo eles:

- Projeto 02:135.07-001:1998 - Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Projeto 02:135.07-002:1998 - Parte 2: Métodos de cálculos das propriedades térmicas de elementos e componentes de edificações;

- Projeto 02:135.07-003:1998 - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Projeto 02:135.07-004:1998 - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Projeto 02:135.07-005:1998 - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluxométrico.

Todas as partes do projeto estão atualmente em vigor como Normas Técnicas da ABNT (NBR 15220 – 04/2005).

2.6.1 COBERTURAS RESIDENCIAIS

De acordo com o Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (1988) a cobertura pode ser definida como a parte superior das edificações que protege das intempéries. Guerra et al (2010) acrescenta à cobertura a função de isolamento térmica e acústica das edificações, visando o conforto dos usuários e inclui também funções estéticas e econômicas. Cardão (1981, p. 66-67) afirma que a cobertura “[...] deverá apresentar propriedades isolantes, principalmente de isolamento térmico, para que possa ser atingido o máximo de comodidade e conforto no interior dos edifícios. ”. É destacado também pelo autor a função estética da cobertura em prédios de menores alturas, incorporando-a na arquitetura.

Amplia-se as funções de um sistema de cobertura ao citar a prevenção da saúde dos usuários da edificação, protegendo contra a infiltração de umidade, além da proteção dos demais sistemas da edificação. Entretanto, destaca-se a predominância da cobertura na influência direta no conforto térmico e acústico do interior das edificações (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008).

Cerca de 80% do calor e do frio entram no ambiente através dos telhados, tendo esse, portanto, o papel principal no alcance do conforto térmico ambiental em um edifício.

De acordo com Castro (2005), por estar diretamente exposta à radiação solar, a superfície externa da cobertura é responsável por um aumento na temperatura interna das construções. Nesse caso, existem várias propriedades do material que interferem na temperatura interna, como a cor, a refletância, a resistência térmica, a capacidade

térmica, entre outros. Quando se considera a espessura do material que compõe o sistema de cobertura, a inércia térmica passa a prevalecer sobre a influência da cor.

Por ser a parte da construção com maior exposição à radiação solar, a cobertura tem um papel importante dentro da avaliação do desempenho térmico de uma edificação. A combinação entre a radiação solar e a temperatura do ar pode elevar a temperatura da superfície da cobertura em até 80°C. De acordo com Basso, Lucini e Roriz (1991), a definição de desempenho térmico para coberturas envolve três pontos principais: a capacidade de proporcionar conforto térmico aos usuários no interior da edificação, a diminuição do consumo de energia e a prevenção de patologias, resultantes da movimentação excessiva devido a processos de dilatação e contração.

Simioni e Clezar (2003) realizaram estudos para determinação do desempenho térmico de coberturas, concluíram que ao se utilizar telhas em cores mais claras obtém-se uma maximização da refletância e, conseqüentemente, uma redução na transferência de calor por radiação para o ambiente interno. Os estudos apontam também o baixo custo de manutenção, visto que ela se resume a limpeza das superfícies claras.

Com o decorrer do tempo a refletância de uma cobertura pode ser alterada, devido a sua exposição a insalubridades, por isso devem ser efetuadas limpezas periódicas para amenização do problema. Segundo Levinson et al (2005) a exposição desses materiais ao ambiente natural pode reduzir sua refletância em cerca de 15% no primeiro ano de exposição, caso não exista uma manutenção periódica.

Em coberturas com alta refletância à radiação solar, a superfície do material tende a permanecer “fria” quando expostas à radiação solar. Em comparação com uma cobertura convencional, este tipo de cobertura transfere menos calor para o interior da edificação. Conseqüentemente, observa-se uma melhoria do conforto térmico no interior da edificação. Nota-se também, devido à diminuição da dilatação térmica, o aumento da vida útil das telhas da cobertura (LEVINSON et al., 2005; LEVINSON; AKBARI; REILLY, 2007).

2.6.2 FECHAMENTOS

Destaca-se em relação ao desempenho térmico a relevância do sistema construtivo como forte influência na performance da edificação. Deste modo, as escolhas feitas perante os componentes construtivos podem ser aproveitadas como estratégias para se adequar às condições climáticas naturais. A inércia térmica é uma importante estratégia para edificações ventiladas naturalmente em climas quentes e

úmidos, seja no inverno ou mesmo no verão, quando aplicadas em fechamentos verticais. Em edificações com problemas para se atingir a inércia, as variações de temperatura interna acompanham quase que instantaneamente as variações externas, enquanto as edificações com propriedades que proporcionam uma boa inércia permanecem com uma baixa variação de temperatura interna (PAPST, 1999; SORGATO, 2009).

Podendo ser opacos ou transparentes, os fechamentos podem funcionar ou não como barreiras para a radiação solar. Deste modo, usando dos conceitos de transmissão de calor e comportamento térmico dos materiais, um projetista pode dimensionar e especificar corretamente as aberturas e materiais empregados em cada projeto a ser construído (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997).

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

A Figura 4 exibe um esquema proposto por Frota e Schiffer (2001) que exemplifica os mecanismos de troca de calor em fechamentos opacos.

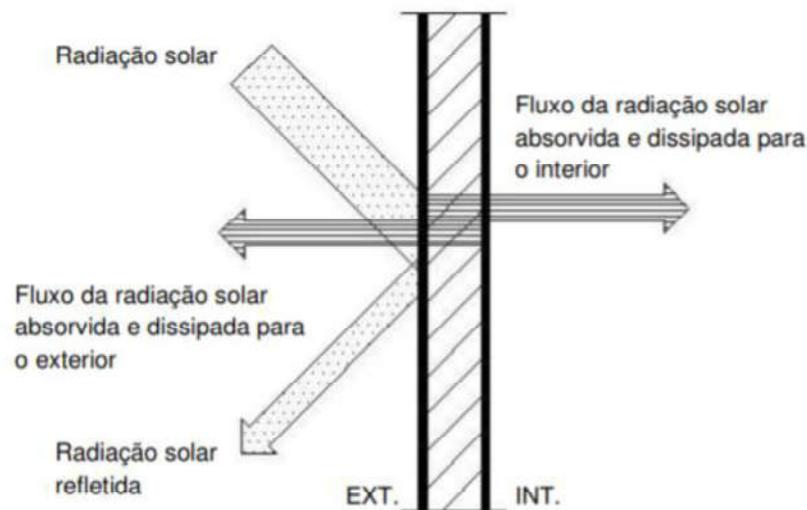


Figura 4 - Trocas de calor através de paredes opacas (Fonte: Frota e Schiffer, 2001).

Os fechamentos transparentes ou translúcidos (como janelas, portas de vidro e etc.) são responsáveis pelas principais trocas térmicas em uma edificação. Essas trocas ocorrem por condução ou convecção (em casos fechamentos opacos), ou por radiação (quando as características do vidro permitem que uma parcela da radiação solar seja transmitida diretamente para o interior do ambiente).

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

Frota e Schiffer (2001) propõe o modelo observado na Figura 5 para paredes transparentes ou translúcidas expostas à incidência de radiação solar e sujeitas a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa.

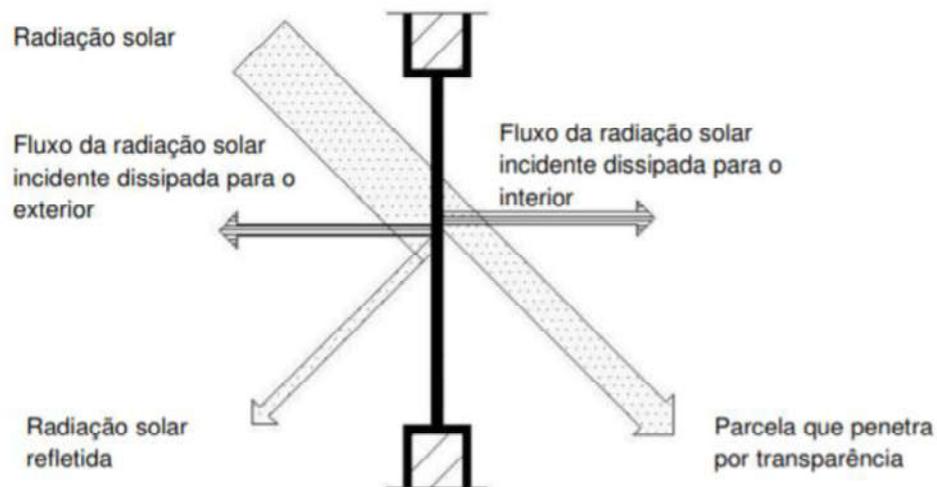


Figura 5 - Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas (Fonte: Frota e Schiffer, 2001).

Ainda sobre paredes transparentes ou translúcidas, Frota e Shiffer (2001) atentam a importância da proteção solar nesse modelo e indicam a possibilidade de os dispositivos utilizados serem internos, externos ou, em caso de vidros duplos, localizar-se entre eles. Quando aplicada corretamente, a proteção externa se apresenta mais eficiente por barrar a radiação solar antes que sua penetração no material por transmissividade. Entretanto, também é possível se obter excelentes resultados com a utilização de proteções internas caso o projetista as adeque de acordo com função, localização e orientação do edifício.

2.6.3 TINTURA EXTERNA

A intensidade da radiação solar emitida pelo sol varia de acordo com o intervalo de comprimento de onda onde ela está situada. A refletância é uma propriedade física fundamental para se entender o comportamento térmico dos materiais. De acordo com a

NBR 15220-1 de desempenho térmico de edificações, refletância é o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre ela. Os valores de refletância variam de 0 a 1 (ou de 0 a 100%), sendo 1 (100%) o valor correspondente à superfície que reflete toda a radiação incidente.

Como observado na Figura 6, o comportamento refletivo de determinado material depende de sua refletância especular e de sua refletância difusa. A especular é observada quando a superfície do material reflete toda a luz incidente em um mesmo ângulo, em uma situação parecida com a que ocorre em um espelho. No caso da difusa, a luz incidente é refletida em diversos ângulos devido as irregularidades existentes na superfície.

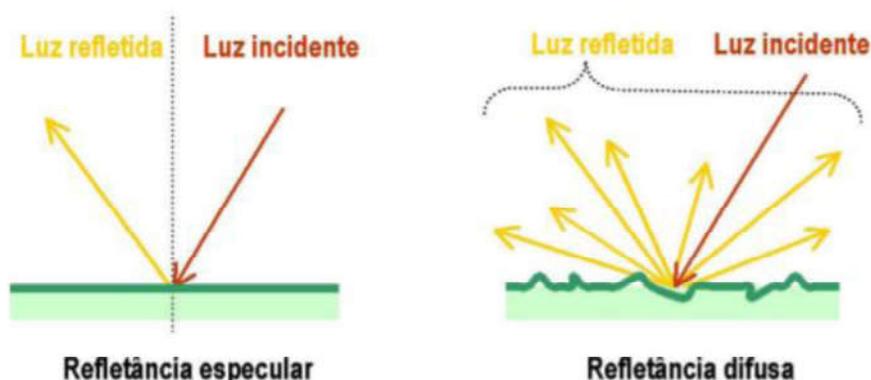


Figura 6 - Esquema de refletância especular e difusa (Fonte: SHIMADZU, 2006, adaptado).

Studervant (2000) apresenta valores típicos de refletância para vários materiais, obtidos através da média de valores medidos no decorrer de um dia. A Tabela 1 apresenta valores de alguns materiais, observa-se que quanto mais clara a superfície, maior é o seu valor de refletância.

Material	Refletância (%)
Revestimento reflexivo branco	85
Tinta branca	60
Concreto	22
Betumem (asfalto)	9
Água (amplo ângulo de incidência)	7

Tabela 1 - Valores típicos de refletância (Fonte: Studervant, 2000, adaptado).

Assim como a maioria dos materiais de construção civil, as tintas são de natureza não metálica e, por suas propriedades, absorvem grande parte da energia

térmica de onda longa incidente e a irradiam novamente para o ambiente (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003). De modo geral, podem ser classificadas como “materiais seletivos frios” se apresentarem alta emissividade e alta reflexão à radiação solar (CASTRO, 2005).

A utilização de cores claras em superfícies externas pode contribuir para a redução dos ganhos de calor em localidades de temperatura elevada, tendo em vista que essas são mais refletivas apresentando, portanto, menor potencial de absorção da radiação solar. Destaca-se a potencialização de seus efeitos no uso conjunto de soluções com menor capacidade térmica e transmitância térmica (AKUTSU, 1998; LAMBERTS; NARANJO, 2007).

A partir de estudos, Bretz, Akbari e Rosenfeld (1997) mostraram que existem várias modificações que, ao serem realizadas nas edificações, acarretariam em uma melhoria do seu desempenho térmico. Ao se pintar telhados e paredes cores claras e ao substituir os materiais de cobertura dos telhados por telhas de metal, de concreto ou de cerâmica na cor branca, observa-se uma elevação na refletância das habitações. Enquanto uma superfície cinza ou preta possui refletância próxima de 10%, uma superfície branca apresenta uma refletância de 50% maior em média. Com o aumento da refletância em coberturas, obtém-se uma diminuição do aquecimento do ar e, conseqüentemente, do efeito do calor nos usuários (LUXMOORE; JAYASINGHE; MAHENDRAN, 2005).

Em estudos feitos por Dornelles e Roriz (2007) comprovou-se que valores de refletância e absortância apenas para a região visível do espectro solar não são suficientes para caracterizar quais são as porcentagens da radiação solar refletidas e absorvidas por uma superfície. Medições realizadas em amostras que apresentavam a mesma cor (mesma absortância na região visível), mas com diferentes composições químicas (látex acrílico ou látex PVA, fosca ou semi-brilho) resultaram em diferentes valores de absortância solar total. Por outro lado, algumas amostras com cores distintas apresentaram absorbâncias solares praticamente iguais, confirmando que absorbâncias e refletâncias não dependem apenas das cores.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão definidos os materiais e a metodologia utilizada na busca dos resultados estabelecidos no presente trabalho.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 HABITAÇÕES ESTUDADAS

Para realização do estudo proposto foram avaliadas cinco habitações sociais, sendo elas construídas com os mesmos materiais e apresentando a mesma estrutura construtiva. As residências contêm 2 quartos, 1 sala, 1 cozinha e 1 banheiro social e estão localizadas no bairro Tia Chica na cidade de Aparecida do Taboado – MS.

Essas residências financiadas a partir do programa “Minha Casa/Minha Vida” foram entregues a população de baixa renda cadastrada em programas sociais na cidade, os beneficiados são avaliados individualmente e, caso cumpram os requisitos, são contemplados com as residências e pagam uma parcela mensal de 80,00 reais durante 120 meses.

A Figura 7 representa a planta baixa das casas, onde pode ser observado a disposição dos cômodos internos e a metragem dos mesmos.

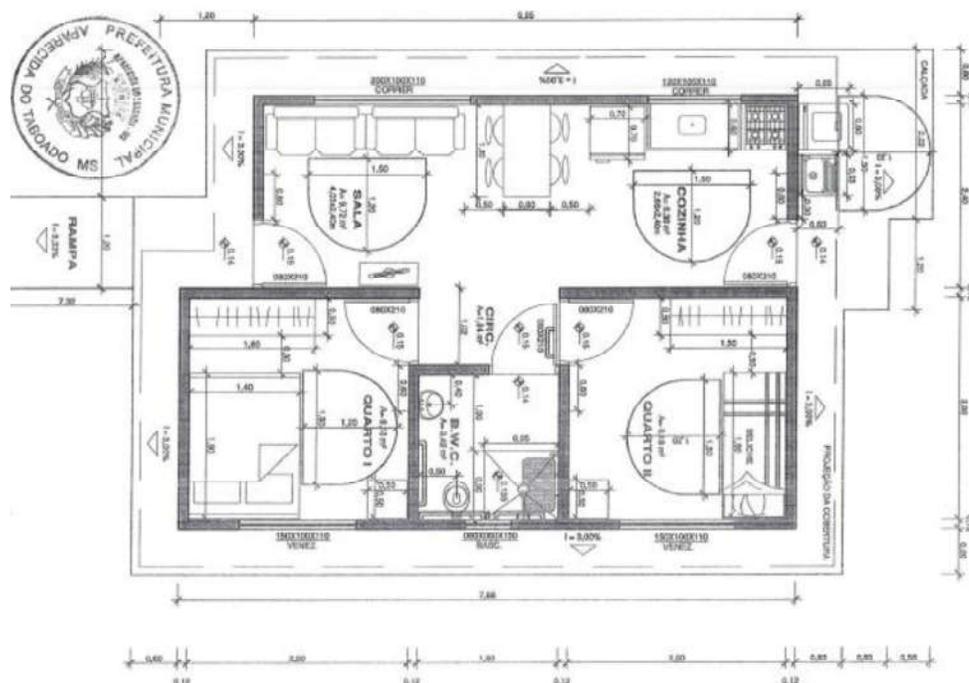


Figura 7 - Planta baixa das residências analisadas (Fonte: Prefeitura Municipal de Aparecida do Taboado, 2014).

O sistema construtivo empregado foi alvenaria de vedação e cobertura de telhas de cerâmica, não apresentando laje, como pode ser observado nas Figuras 8 a 10. O material utilizado no forro das residências é PVC e não foi utilizado manta térmica. A tinta externa da casa é acrílica na cor “Areia”.



Figura 8 - Vista Frontal das residências avaliadas (Fonte: Próprio autor, 2018).



Figura 9 - Vista lateral das residências avaliadas (Fonte: Próprio autor, 2018).



Figura 10 - Vista panorâmica das residências avaliadas (Fonte: Próprio autor, 2018).

3.1.2 TERMO HIGRÔMETRO DIGITAL

Para a medição da temperatura interna e externa da habitação foi utilizado o Termo Higrômetro da marca HOMIS, observado na Figura 11. O instrumento possui sensores que são capazes de medir a temperatura e a umidade ambiente.



Figura 11 - Termo Higrômetro Digital (Fonte: Homes Equipamentos Industriais).

3.2 MÉTODOS

O método de pesquisa utilizado foi dividido em etapas, sendo elas:

- Pesquisa Bibliográfica – um levantamento de estudos importantes realizados na área e a partir desses obter dados e informações que auxiliem no desenvolvimento do trabalho, afim de se evitar possíveis erros (MARCONI e LAKATOS; 2003).
- Pesquisa de Campo – tem como objetivo a coleta de dados e de informações sobre determinado fato para entendimento de suas causa e busca de possíveis soluções (PRODANOV e FREITAS, 2013; MORESI, 2003).
- Análise – avaliação e interpretação dos dados obtidos através da pesquisa de campo (MORESI, 2003).

3.2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica foi realizada a partir de teses, artigos publicados, dissertações, monografias e livros sobre conforto térmico e seus desdobramentos. Buscou-se explicações para as possíveis variáveis que constituem o assunto, bem como formulações matemáticas para mensurar o fluxo de calor através do telhado e das paredes.

3.2.2 PESQUISA DE CAMPO

Nesta fase realizou-se duas visitas nas casas avaliadas para a coleta das medidas de temperatura interna e externa, afim de obter-se os dados necessários para os cálculos, e, ao final da segunda visita, aplicou-se um questionário acerca do conforto térmico nas residências de modo a se obter a percepção dos moradores sobre o fenômeno (ANEXO A). A etapa seguiu os seguintes passos:

1º visita:

- Antes de iniciar as medições, foi explicado aos moradores o trabalho que seria realizado e pediu-se autorização para o registro das medidas;
- Ligou-se o aparelho no exterior da casa e, após o tempo de espera para se normatizar a temperatura, registrou-se o valor exibido pelo aparelho;

- No interior da residência, reiniciou-se o aparelho e, após o tempo de espera para normatização da temperatura, registrou-se o valor exibido pelo aparelho;
- Repetiu-se o processo em todas as cinco residências.

2º visita:

- Ligou-se o aparelho no exterior da casa e, após o tempo de espera para se normatizar a temperatura, registrou-se o valor exibido pelo aparelho;
- No interior da residência, reiniciou-se o aparelho e, após o tempo de espera para normatização da temperatura, registrou-se o valor exibido pelo aparelho;
- Com o questionário em mãos, iniciou-se a entrevista com um dos moradores da residência e anotou-se as respostas na folha impressa;
- Repetiu-se o processo em todas as cinco residências.

3.2.3 ANÁLISE

Com as respostas obtidas nos questionários, avaliou-se a necessidade de mudanças para melhoria do conforto térmico das residências, observando as principais críticas dos moradores e moldando a problemática.

Com o registo das temperaturas, utilizou-se as formulações matemáticas apresentadas anteriormente e calculou-se a taxa de transferência de calor atrás do telhado, comparando esses resultados com alternativas existentes no mercado que melhorem o condicionamento térmico das residências e fez-se colocações acerca da coloração utilizada nas paredes externas.

4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO

A aplicação do questionário ocorreu na manhã do dia 03 de junho de 2018, tendo como público alvo os moradores das residências avaliadas. Dentro dos usuários abordados, todos se autodeclaram do sexo feminino e a faixa etária se encontra entre 17 e 56 anos. A partir das respostas obtidas no questionário aplicado aos usuários, pode-se observar diversos fatores acerca do conforto térmico nas residências avaliadas e verificar a satisfação dos moradores quanto a esse conforto.

A Figura 12 exibe a aceitação térmica do ambiente pelos usuários e ressalta a necessidade de melhoria para que o ambiente se comporte de forma eficaz e proporcione conforto térmico a todos os moradores.

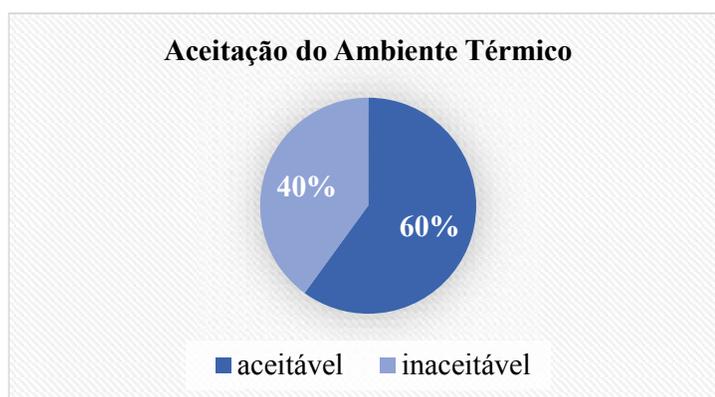


Figura 12 - Aceitação do Ambiente Térmico (Fonte: Próprio autor, 2018).

Dentro da problemática observou-se também que todos os usuários consultados indicaram o período da tarde como sendo o que mais causa desconforto térmico nas residências, como pode ser observado na Figura 13. O dado se mostra importante, pois esse é também o período de maior incidência solar nas residências.



Figura 13 - Período de maior desconforto térmico (Fonte: Próprio Autor, 2018).

Nas residências avaliadas não existiam nenhum outro mecanismo de condicionamento térmico além de ventiladores, porém ao serem questionados se apenas o uso de ventiladores era suficiente para se atingir um conforto térmico nas residências, a resposta foi negativa para a maioria das pessoas, como é observado na Figura 14.



Figura 14 - Satisfação térmica apenas com o uso de ventilador (Fonte: Próprio autor, 2018).

A Figura 15 mostra que, dentre os fatores abordados, os usuários apontam que a existência de mais entradas e saídas de ar na residência provocaria um melhor conforto térmico no ambiente.



Figura 15 - Melhoria no conforto térmico através do aumento no número de entradas e saídas de ar (Fonte: Próprio autor, 2018).

4.2 CARACTERÍSTICAS DAS EDIFICAÇÕES

As características construtivas que serviram de base para os cálculos podem ser observadas na Tabela 2. Tais dados foram fornecidos pela Prefeitura Municipal de Aparecida do Taboado/MS, especificamente pelo setor responsável pela realização das obras.

Área construída	38,01 m²
Altura média das paredes	2,68 m
Altura média entre forro e telhado	0,57 m
Coloração externa	Tintura acrílica cor Areia
Material utilizado na cobertura	Telha de cerâmica vermelha
Material utilizado para o forro	PVC sem manta isolante

Tabela 2 - Especificações da residência (Fonte: Prefeitura municipal de Aparecida do Taboado/MS, 2014).

4.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS

As propriedades térmicas dos materiais utilizados no arranjo construtivo estão dispostas na Tabela 3, tais dados são especificados pela ABNT e servem de base para os cálculos de transferência de calor pelos mesmos.

	Telha Cerâmica	Forro PVC
Densidade (kg/m³)	1300 – 1600	1200 – 1400
Condutividade Térmica (W/mK)	0,90	0,20
Calor Específico (KJ/KgK)	0,92	-

Tabela 3 - Propriedades dos materiais utilizados (Fonte: ABNT, 2003)

A resistência térmica da camada de ar existente entre a telha e o forro pode ser observada na Tabela 4, tais valor são especificados pelo Projeto 02:135.07-001/002:2003 e variam de acordo com a emissividade das superfícies envoltórias, a largura da camada e a direção do fluxo de ar.

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R _{ar} m ² .K/W		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal ⇔	Ascendente ↑	Descendente ↓
Superfície de alta emissividade ε > 0,8	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 < e ≤ 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 5,0	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade ε < 0,2	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,29	0,23	0,29
	2,0 < e ≤ 5,0	0,37	0,25	0,43
	e > 5,0	0,34	0,27	0,61

Notas:
1 ε é a emissividade hemisférica total.
2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Tabela 4 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura (Fonte: ABNT, 2003).

A emissividade (ε) e absorvância (α) dos materiais utilizados pode ser observada na Tabela 5, também especificado pela normatização.

Tipo de superfície		α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiçação nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Tabela 5 - Absortância para radiação solar e emissividade para radiações a temperaturas comuns (Fonte: ABNT, 2003).

4.4 REGISTROS DE TEMPERATURA

Nas duas visitas realizadas nas casas analisadas, foram coletadas medidas de temperatura interna e externa das mesmas. Tais medidas podem ser observadas nas tabelas 6 e 7 e também serviram como base para os cálculos realizados.

1º dia – período da tarde

	Temperatura Interna (°C)	Temperatura Externa (°C)
1º residência	29,07	31,46
2º residência	29,20	31,46
3º residência	28,89	31,46
4º residência	29,12	31,46
5º residência	28,95	31,46
Média (ΔT)	29,05	31,46

Tabela 6 - Registro de Temperatura Vespertino (Fonte: Próprio Autor).

2º dia – período da manhã

	Temperatura Interna (°C)	Temperatura Externa (°C)
1º residência	27,28	26,33
2º residência	27,03	26,33
3º residência	27,15	26,33
4º residência	26,38	26,33
5º residência	27,19	26,33
Média (ΔT)	27,01	26,33

Tabela 7 - Registro de Temperatura Matutino (Fonte: Próprio Autor).

4.5 CALCULO DO FLUXO DE CALOR ATRAVÉS DO TELHADO DA RESIDÊNCIA

Os valores de transmitância térmica e capacidade térmica de um arranjo construtivo de telhado isolado composto por telhas de cerâmica, camada de ar e forro de PVC podem ser observados nas especificações do INMETRO para determinado arranjo e está exposto na Figura 16.

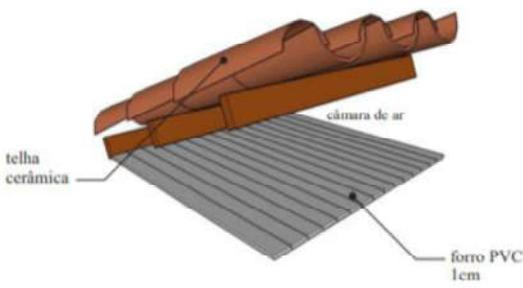
	Descrição:	6						
	Forro PVC (1,0cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha cerâmica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th> <th>C_T</th> </tr> <tr> <th>[W/(m²K)]</th> <th>[kJ/m²K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1,75</td> <td style="text-align: center;">21</td> </tr> </tbody> </table>	U	C _T	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	1,75	21
U	C _T							
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]							
1,75	21							

Figura 16 - Valores de transmitância térmica e capacidade térmica para arranjo construtivo telha de cerâmica-camada de ar-forro PVC (Fonte: INMETRO, 2013).

A partir destes valores calculou-se a taxa de transferência de calor do telhado das residências analisadas com a utilização da Equação 14, utilizando como temperatura interna uma média das temperaturas obtidas nas cinco residências analisadas.

$$Q_{manhã} = 1,75 \times 38,01 \times 0,68$$

$$Q_{tarde} = 1,75 \times 38,01 \times 2,41$$

O valor obtido para taxa de transferência de calor \dot{Q} no período da manhã foi de 44,97 W e no período da tarde foi de 160,57 W. Observa-se no período da manhã uma

temperatura interna superior à temperatura externa nas residências, este fato ocorre pelo efeito estufa provocado pelo fechamento de todas as entradas e saídas de ar do local pelos usuários.

A partir do valor de transmitância térmica pode-se calcular também a resistência térmica total do sistema com a utilização da Equação 11.

$$1,75 = \frac{1}{RT}$$

A resistência total para o arranjo construtivo empregado é de 0,57 m²K/W.

A capacidade térmica (Ct), neste caso, é relativamente baixa, Ct = 21 kJ/m²k, o que ocasiona uma rápida transferência de calor para o meio interno e um déficit na inércia térmica das residências.

4.6 COMPARATIVO COM OUTROS ARRANJOS CONSTRUTIVOS

4.6.1 TELHA DE CERÂMICA – CAMADA DE AR – LAJE PRÉ-MOLDADA COM CERÂMICA

A figura 17 representa um arranjo construtivo composto por telha de cerâmica, camada de ar com largura superior a 5,0 cm e laje pré-moldada com cerâmica. Nela está presente os valores tabelados de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (Ct) total do sistema. O sistema de laje pré-moldada com cerâmica foi escolhido por ser o mais comum utilizado na construção civil.

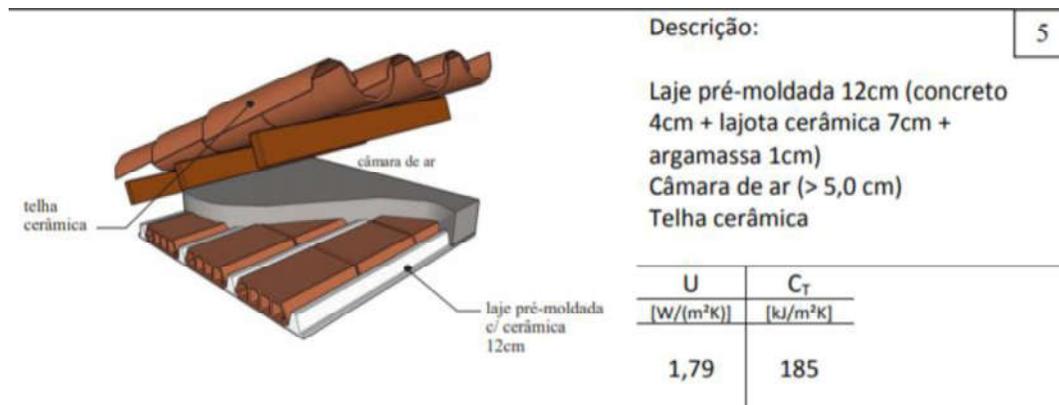


Figura 17 - Valores de transmitância térmica e capacidade térmica para arranjo construtivo telha de cerâmica-camada de ar-laje pré-moldada com cerâmica (Fonte: INMETRO, 2013).

Observa-se que nesse arranjo construtivo o valor de transmitância térmica se altera em 0,04 unidade, 2,2% superior ao arranjo adotado nas construções avaliadas, porém a capacidade térmica do sistema é grandemente superior ao adotado,

aproximadamente 780%. Neste caso, ocorre uma melhoria significativa na inércia térmica nas residências construídas com esse arranjo, ou seja, o fluxo de calor entre o meio externo e interno sofreria um retardo, ocasionando uma melhoria no conforto térmica das residências.

4.6.2 TELHA DE CERÂMICA – CAMADA DE AR – LAJE PRÉ-MOLDADA COM EPS

A figura 18 representa um arranjo construtivo composto por telha de cerâmica, camada de ar com largura superior a 5,0 cm e laje pré-moldada com EPS. O sistema de laje pré-moldada com EPS insere “novas” tecnologias em arranjos construtivos clássicos, ocasionando uma melhora nos valores de transmitância térmica do sistema.

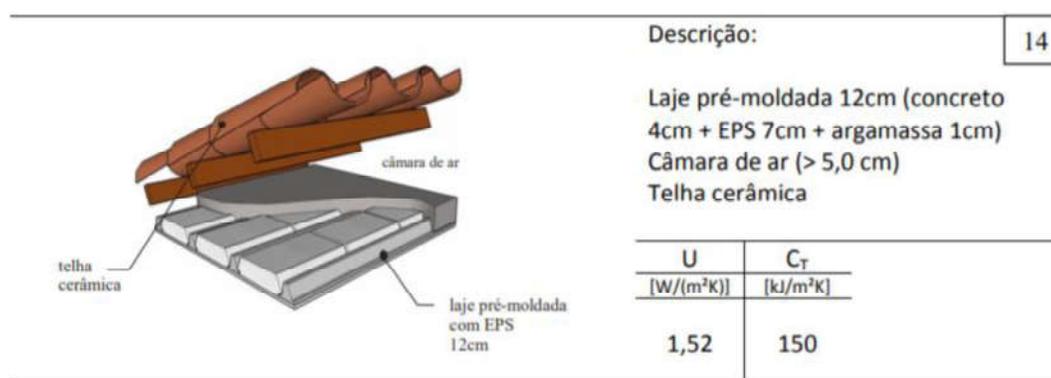


Figura 18 - Valores de transmitância térmica e capacidade térmica para arranjo construtivo telha de cerâmica-camada de ar-laje pré-moldada com EPS (Fonte: INMETRO, 2013).

Neste arranjo observa-se um valor de transmitância térmica aproximadamente 13% inferior ao do arranjo utilizado nas residências avaliadas e a capacidade térmica do sistema com laje pré-moldada com EPS se mostra aproximadamente 614% superior ao do modelo utilizado. Neste caso, obtém-se um menor fluxo de calor para o meio interno e uma melhor inércia térmica do sistema.

4.6.3 POLIURETANO ENVOLTO EM TELHA METÁLICA – CAMADA DE AR – LAJE MACIÇA

A figura 19 representa o arranjo construtivo com melhor desempenho térmico encontrado na normatização. Nele observa-se a utilização de telha metálica de duas faces com camada de poliuretano entre elas, camada de ar superior a 5,0 cm e laje de concreto maciço.

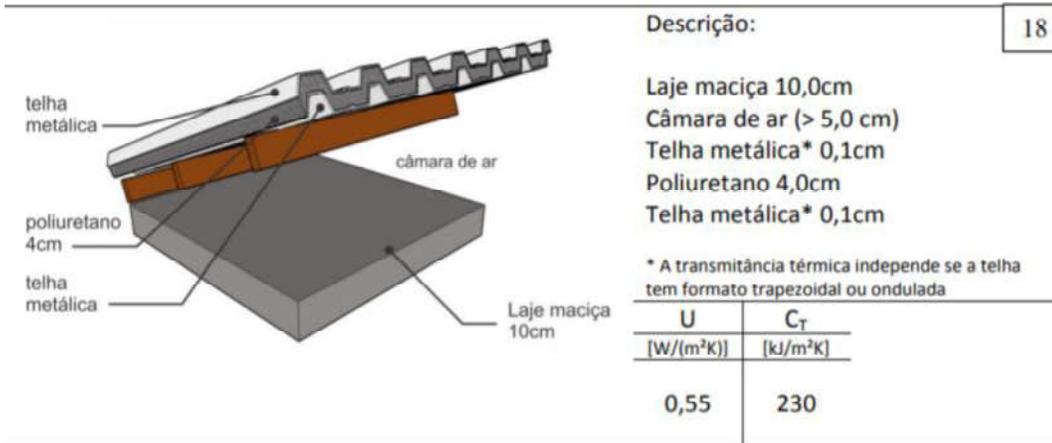


Figura 19 - Valores de transmitância térmica e capacidade térmica para arranjo construtivo poliuretano envolto em telha metálica - camada de ar - laje maciça (Fonte: INMETRO, 2013).

Os valores de transmitância térmica e capacidade térmica desse arranjo são consideravelmente melhores do que os observados no arranjo utilizado nas residências analisadas. Em comparativa com o arranjo telha de cerâmica-camada de ar-forro de PVC, este apresenta um valor de transmitância térmica aproximadamente 69% inferior e de capacidade térmica 995% superior.

4.6.4 COMPARATIVO

A figura 20 exibe o comparativo entre os valores de Transmitância térmica dos arranjos construtivos analisados anteriormente. Por ser uma variável inversamente proporcional a resistência térmica, os arranjos que apresentam uma menor transmitância térmica são capazes de reduzir a taxa de calor transferida entre o meio interno e externo.

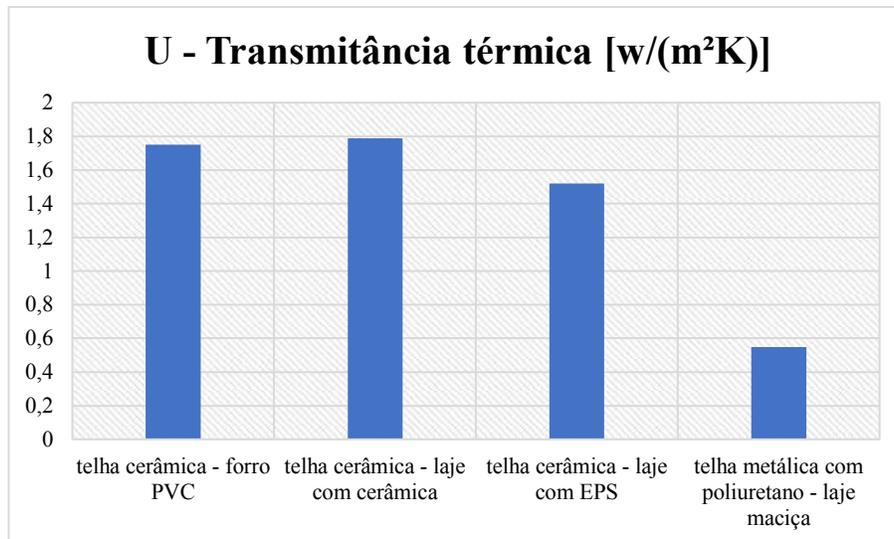


Figura 20 - Comparativo de transmitância térmica entre os arranjos analisados (Fonte: Próprio Autor)

Para os arranjos analisados, o composto por telha metálica com poliuretano e laje maciça apresenta o menor valor de transmitância.

Na Figura 21 observa-se o comparativo entre as capacidades térmicas dos sistemas anteriormente analisados. Uma elevada capacidade térmica indica que será necessária uma grande quantidade calor para se elevar a temperatura no mesmo, provocando um retardamento nas trocas de calor entre os meios.

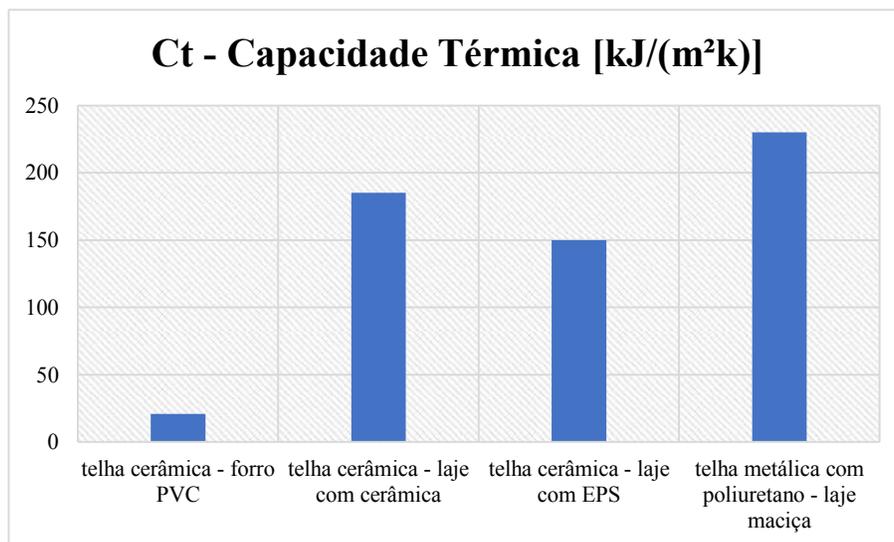


Figura 21 - Comparativo de capacidade térmica entre os arranjos analisados (Fonte: Próprio Autor)

O sistema de telha metálica com poliuretano e laje maciça apresenta também o melhor desempenho de capacidade térmica.

4.6.5 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

A tabela 8 mostra o comparativo de custo entre os arranjos construtivos analisados anteriormente, nela é possível observar também o aumento do valor custo em relação ao sistema empregado nas residências avaliadas.

	Telha (R\$/m²)	Forro/Laje (R\$/m²)	Total (R\$/m²)	Total R\$ para 38,01m²	Aumento de custo em %
Telha cerâmica - forro PVC	20,00	24,00	44,00	1672,44	-
Telha cerâmica - laje pré- moldada com cerâmica	20,00	38,00	58,00	2204,58	31,80
Telha cerâmica - laje pré- moldada com EPS	20,00	35,00	55,00	2090,55	25,00
Telha metálica com poliuretano - laje maciça	46,00	60,00	106,00	4029,06	140,90

Tabela 8 - Comparativo de custos entre arranjos analisados (Fonte: Próprio autor, 2018)

Apesar de apresentar o menor custo de implantação, o arranjo utilizado nas residências analisadas apresenta os piores resultados de desempenho térmico, o que exige um maior gasto energético para condicionamento das residências. O investimento em arranjos construtivos com melhor desempenho acarreta na redução desse consumo e pode ser recuperado a longo prazo com a abatimento na fatura de energia.

4.7 COLORAÇÃO EXTERNA

Na prática, a escolha da coloração externa Branca acrílica, a de maior emissividade encontrada no mercado, pouco interfere na transferência de calor por radiação neste caso, visto que a cor Areia, utilizada nas residências analisadas, e a cor Branca possuem valores próximos de emissividade.

Em paredes externas, o fluxo de calor por radiação é calculado juntamente com o fluxo de calor por convecção, e este não é o objetivo do presente trabalho. Para esses cálculos são utilizados valores de absorvância distintos para cada coloração, e podem ser encontrados na Tabela de Absortância Solar para Superfícies Opacas definida pela portaria do INMETRO n°50/2013 (ANEXO B).

4.8 REDUÇÃO NO CONSUMO ENERGÉTICO

De acordo com Tavares (2006) o consumo de energia elétrica em uma residência unifamiliar de baixa renda, contendo 1 sala, 1 cozinha, 1 banheiro e 2 quartos com ocupação média de 4 pessoas é de 140 kwh/mês.

Para edificações térreas e isoladas, estima-se que a maior parcela de carga térmica é recebida através da cobertura (SILVEIRA et al, 2004). A figura 22 ilustra a diferença quando se comparam as parcelas de carga térmica recebidas pelas paredes e cobertura nesse modelo de edificação.

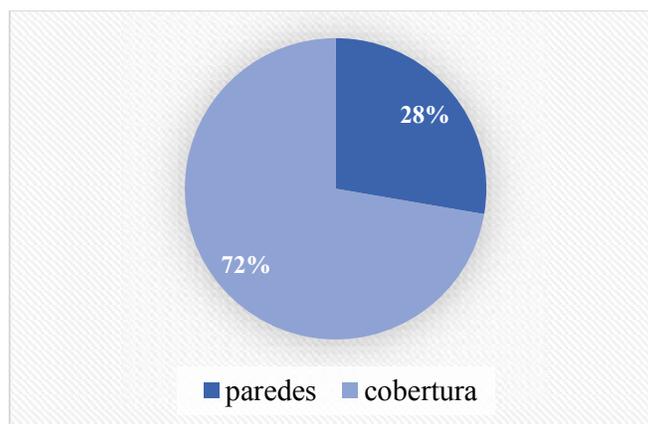


FIGURA 22 - Carga térmica recebida por edificações térreas e isolada (Fonte: Mascaró, 1992).

Tendo em vista que 26% de todo gasto energético residencial está direcionando ao condicionamento artificial, qualquer redução do fluxo de calor através do telhado resultaria na redução do consumo energético. O aumento da capacidade térmica dessa componente arquitetônica também atua de forma positiva, pois interfere diretamente na inércia térmica das edificações, amortecendo a variação de temperatura interior ao longo do dia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos questionários nos proporcionou a visualização da insatisfação dos usuários quanto ao conforto térmico das residências analisadas e salientou a existência de um déficit na inércia térmica das construções. Deste modo, a melhoria no arranjo construtivo se faz necessária para proporcionar ao usuário um melhor conforto térmico e, conseqüentemente, reduzir a utilização de condicionamento térmico artificial.

Dentre os diferentes arranjos térmicos propostos, todos apresentaram uma melhor capacidade térmica, portanto, todos eles provocariam uma melhoria na inércia térmica das residências. Em todos os casos a melhoria supera os 500%, ressaltando a precariedade do arranjo utilizado atualmente.

Os arranjos compostos por Telha de cerâmica-laje pré-moldada com EPS e Poliuretano envolto em telha metálica-laje maciça apresentam melhorias significativas no valor de transmitância térmica, aumentando portanto a resistência da cobertura ao calor. A redução nesta variável interfere positivamente na taxa de transferência de calor, sendo o telhado responsável por 72% do ganho de calor total em uma residência, o impacto provocado por essa redução proporciona uma melhor eficiência térmica no modelo construtivo.

O investimento necessário nesses possíveis modelos construtivos é diretamente abatido no gasto energético com condicionamento térmico. É válido salientar que as residências são ocupadas por moradores menos favorecidos socialmente e que, em sua maioria, não têm acesso a aparelhos de ar condicionado, utilizando apenas o ventilador para o condicionamento térmico artificial que, como exposto no questionário, não é suficiente para se atingir o conforto térmico.

Deste modo, observou-se a necessidade de um maior investimento nos modelos construtivos adotados em construções de interesse social, de forma que seja entregue ao usuário final residências com melhor conforto térmico e maior eficiência energética.

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; PERDROSO, N.G. Critérios Mínimos de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares. Anexo 5: Conforto Térmico. São Paulo: IPT, 1995. p.35-47.

ARAÚJO, Virgínia Maria Dantas de. Parâmetros de Conforto Térmico para Usuários de Edificações Escolares no Litoral Nordeste Brasileiro: o caso de Natal/RN. Natal: EDUFRN, 2001.

ARMELIN, H. S.; CHERRY, N. Avaliação do uso e desempenho de barreiras de radiação térmica na construção civil. e-Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil. Vol. 1, nº1, p. 79-82, Maio 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). Desempenho térmico de edificações Parte 1: definições, símbolos e unidades. 2003. NBR 15220. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte1_S ET2004.pdf>. Acesso em: 15/06/18.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). Desempenho térmico de edificações Parte 2 : métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. 2003. NBR 15220. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte2_S ET2004.pdf>. Acesso em: 15/06/18.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). Desempenho térmico de edificações Parte 3 : zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes para habitações unifamiliares de interesse social. NBR 15220. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte3_S ET2004.pdf>. Acesso em: 15/06/18.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-5: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho – parte 5: requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2008.

BASSO, A.; LUCINI, H. C.; RORIZ, M. Desempenho térmico de coberturas para edifícios habitacionais. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Brasil - Porto Alegre, RS. 1991. p. 15-20

BRETZ, S.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A. practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. Atmospheric Environment vol. 32, nº1, pág. 95-101 (1997)

BUNDUKI, Nabil. Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria. São Paulo: Estação Liberdade, 2004, p. 242.

Caixa Econômica Federal – Minha Casa, Minha Vida: Habitação Urbana, 2017. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/urbana/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 01/02/2018.

CARDÃO, C. Técnica da Construção. 5. ed. Belo Horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1981. v. 2.

CASTILHO, Edimilson Peres. A Companhia Metropolitana de Habitação de São Paulo (COHAB-SP): o principal agente da política de habitação popular da ditadura militar brasileira (1964-1985), 2016. Disponível em: <http://www.snh2015.anpuh.org/resources/anais/39/1434419770_ARQUIVO_Artigo_Edimilson_Castilho_Simposio_Nacional_ANPUH_2016.pdf>. Acesso em 01/02/2018.

CASTRO, A. P. A. S. et al. Refletância de cores para pintura externa em função das regiões do espectro solar. Anais Encac – Cotedi. Curitiba 2003.

CAVALCANTI, J. R. S. Estudo experimental comparativo entre resfriamento evaporativo e radiativo em ambientes cobertos com telhas de fibrocimento em região de clima quente e úmido. Dissertação de mestrado pela Universidade de São Paulo – Escola Politécnica da USP – Departamento de Construção Civil, São Paulo, 2001.

COSTA, E. C. – Arquitetura ecológica – condicionamento térmico natural. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2000.

COSTA, E. C. Capítulo 6: transmissão de calor. In: COSTA, E. C. Física aplicada à construção: conforto térmico, 4ª edição, 1991

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. A ilusão das cores na identificação da absorvância solar de superfícies opacas. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. p. 590-599.

DORNELLES, Kelen Almeida. Absorvância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008

Foragi, Rafael. Uma análise do Programa Minha Casa, Minha Vida, 2012. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/69963>>. Acesso em: 01/02/2018.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira. "Climas do Brasil "; Brasil Escola; 2012. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/brasil/os-climas-brasil.htm>>. Acesso em 02/05/2018.

FREITAS, Eduardo de. "Clima brasileiro"; Brasil Escola; 2013. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/brasil/clima-brasileiro.htm>>. Acesso em 02/05/2018.

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

Fundação João Pinheiro – Déficit Habitacional Brasileiro, 2013. Disponível em <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos/2742-deficit-habitacional-no-brasil-3>>. Acesso em 01/02/2018.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. Déficit habitacional no Brasil 2007. Convênio PNUD/Ministério das Cidades, Belo Horizonte, 2008.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. Déficit habitacional no Brasil 2008. Convênio PNUD/Ministério das Cidades, Belo Horizonte, 2010.

GIVONI, B. Man, Climate Considerations in Urban and Building Design. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GONZALEZ, E.; HINZ, E.; OTEIZA, P de; QUIROS, C. Projeto, Clima e Arquitetura. Mexico Ediciones G. Gili, S.A. de C.V. 1, 1986

Governo do Brasil – Infraestrutura: Programa Minha Casa, Minha Vida, 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/05/minha-casa-minha-vida-atinge-3-857-milhoes-de-moradias>>. Acesso em: 03/02/2018.

GUERRA, J.; MAGALHÃES, B.; GOMES, M.; FONSECA, R. Materiais de Construção II: coberturas. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2010. Disponível em: <<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Construcoes/Coberturas.pdf>>. Acesso em: 07/02/2018.

IBGE – Resultados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio, 2009. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2008/>>. Acesso em 01/02/2018.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de edificações. Cobertura com estrutura de madeira e telhados com telha de cerâmica: manual de execução. São Paulo: IPT; Sinduscon-SP, 1988.

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

LEVINSON, R., AKBARI, H., REILLY, J. Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. Building and Environment, vol. 2, issue 7, 2007.

LEVINSON, R.; BERDAHL, P.; ALBARI, H. Solar spectral optical properties of pigments – Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. Solar Energy Materials & Solar Cells, n°89, p. 319-349, 2005.

LOPES, Eurídice F. M. Conforto Térmico, 2008. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/3678153/Conforto-Termico>>. Acesso em 10/06/2018.

LUXMOORE, D. A.; JAYASINGHE, M. T. R.; MAHENDRAN, M. Mitigating temperature increases in high lot density sub-tropical residential developments. Energy and Buildings, 37 p. 1212-1224 (2005).

MAGALHÃES, S.; ALBUQUERQUE, R.R.; PINTO, C.J.; MOREIRA, A.L. Termorregulação. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto. 2001. Disponível em: < <http://www.uff.br/WebQuest/downloads/Termorreg.pdf>>. Acesso em: 01/02/2018.

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. Ensaio e Ciências, Campo Grande, v. 6, n. 003, p. 13-37. 2002.

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lucia Elvira Raffo (Coordenadores). Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios. Porto Alegre, Editora Sagra-dc Luzzatto, 1992.

MINIASTÉRIO DAS CIDADES. PLANHAB - Plano Nacional de Habitação, 2009-2013. 2010. 212p.

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

RIBEIRO, Thiago. "Aspectos naturais de Mato Grosso do Sul"; Brasil Escola; 2010. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/aspectos-naturais-mato-grosso-sul.htm>>. Acesso em 07/02/2018.

RODRIGUES, Edmundo. Processos de Transmissão de Calor. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf>. Acesso em: 10/03/2016.

RORIZ, L. Energia Solar em Edifícios. Lisboa: Edições Orion, 2008.

SANTOS, R.L.; ANDRADE, H.O. Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-Bahia, Brasil. Revista de Geografia Norte Grande, n.40, p.77-84, 2008.

SILVEIRA, Sanderlei. "Clima do estado de Mato Grosso do Sul"; 2015. Disponível em < <http://sanderlei.com.br/PT/Ensino-Fundamental/Mato-Grosso-do-Sul-Historia-Geografia-27> >. Acesso em 07/05/2018.

SILVEIRA, W. J. C. et al. Habitações de interesse social em Florianópolis (SC): critério para definição de coberturas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUTIVO – ENTAC 2004 – São Paulo – SP.

SIMIONI, W. I.; CLEZAR, C. A. Desempenho térmico de coberturas: uma análise utilizando diferenças finitas. Anais Encac – Cotedi. Curitiba 2003.

SIMPSON, J.R; MCPHERSON, E.G. The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. Energy and Buildings 25 (1997) 127-137.

SORGATO, Marcio José. Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente. 2009. Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de. Módulo 6: Conforto Térmico III. 2010. Curso de Arquitetura Bioclimática, Universidade Cruzeiro do Sul, 2010.

TAVARES, S. F.; Metodologia De Análise Do Ciclo De Vida Energético De Edificações Residenciais Brasileiras. Tese de doutorado, Engenharia Civil-UFSC, 225p, 2006.

VITTORINO, F., SATO, N. M. N., AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. ENCAC – COTEDI, Curitiba, 2003.

ANEXO A

QUESTIONÁRIO – CONFORTO TÉRMICO RESIDENCIAL

Data: __/__/__

Cidade: _____

Sexo: _____ Data de Nascimento: __/__/__

1. Qual é a sua sensação térmica neste momento?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Com muito calor | <input type="checkbox"/> Levemente com frio |
| <input type="checkbox"/> Com calor | <input type="checkbox"/> Com frio |
| <input type="checkbox"/> Levemente com calor | <input type="checkbox"/> Com muito frio |
| <input type="checkbox"/> Neutro | |

2. Você preferiria estar:

- Mais aquecido
- Assim mesmo
- Mais resfriado

3. Para você este ambiente térmico é:

- Aceitável
- Inaceitável

4. Qual período você sente mais calor dentro da residência?

- Manhã
- Tarde
- Noite

5. Como você se sente com relação ao movimento do ar neste momento?

- Inaceitável, pouco movimento do ar
- Inaceitável, muito movimento do ar
- Aceitável, pouco movimento do ar
- Aceitável, movimento do ar suficiente
- Aceitável, muito movimento do ar

6. Em dias quentes, apenas o uso do ventilador é suficiente para se sentir confortável dentro da residência?

Sim

Não

Não sei opinar

7. Você acredita que o aumento no número de janelas/saídas e entradas de ar melhoraria o conforto térmico dentro da residência?

Sim

Não

Não sei opinar

8. Você está satisfeito com a qualidade do telhado utilizado na casa?

Sim

Não

Indiferente

9. Quais mudanças na cor da parede, entrada e saída de ar, telhado poderiam ser feitas para melhorar o conforto térmico dentro da residência?

10. Fora os tópicos abordados (saídas e entradas de ar, telhado e coloração das paredes) você consegue observar alguma mudança a ser realizadas que melhoraria o conforto térmico dentro da residência?

Sim, _____.

Não

Não sei opinar

Observações:

ANEXO B

Tabela de Absortância Solar para Superfícies Opacas

Tipo	Número	Cor	Nome	α	Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrilica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	46,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	15,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4	47		Pêssego	39,5	
	09		Concreto	74,5	Acrilica Fosca	48		Alecrim	64,0
	10		Flamingo	49,5		49		Azul ball	48,9
	11		Jade	52,3		50		Branco Neve	10,2
	12		Marfim	33,6		51		Branco Gelo	29,7
	13		Palha	36,7		52		Camurça	55,8
	14		Pérola	33,0		53		Concreto	71,5
	15		Pêssego	42,8		54		Marfim	26,7
	16		Tabaco	78,1		55		Marrocos	54,7
	17		Terracota	64,6		56		Mel	41,8
Acrilica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7		57		Palha	27,2
	19		Amarelo Terra	68,6		58		Pérola	22,1
	20		Azul	79,9		59		Pêssego	35,0
	21		Branco Gelo	36,2		60		Telha	70,8
	22		Cinza	86,4		61		Vanila	23,9
	23		Cinza BR	61,1	Látex PVA Fosca	62		Amarelo Canário	25,2
	24		Crepúsculo	66,0		63		Areia	35,7
	25		Flamingo	47,3		64		Azul Profundo	76,0
	26		Marfim	33,9		65		Branco Neve	16,2
	27		Palha	39,6		66		Branco Gelo	28,1
	28		Pérola	33,9		67		Camurça	53,2
	29		Preto	97,1		68		Cerâmica	65,3
	30		Telha	69,6		69		Concreto	71,6
	31		Terracota	68,4		70		Flamingo	44,4
32		Verde Quadra	75,5	71			Marfim	24,5	
33		Vermelho	64,2	72			Palha	26,4	
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3		73		Pérola	22,9
	35		Amarelo Terra	61,4		74		Pêssego	29,8
	36		Areia	39,0	75		Preto	97,4	
	37		Azul angra	32,3	76		Vanila	27,7	
	38		Bianco Sereno	26,6	77		Verde Musgo	79,8	
	39		Branco	11,1	78		Vermelho Cardinal	63,3	

* As imagens das cores aqui apresentadas podem não representar com exatidão a cor da tinta quando aplicada sobre as superfícies construídas.

* α : 300 a 2500 nm (Espectro solar total).