

MARINA LOPES RODRIGUES

Avaliação de técnicas passivas para conforto térmico visando à racionalização do uso de sistemas de ar condicionado em casas populares

Marina Lopes Rodrigues

Avaliação de técnicas passivas para conforto térmico visando à racionalização do uso de sistemas de ar condicionado em casas populares

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Alex Mendonça Bimbato
Coorientador: Prof. Dr. Rubens Alves Dias
Coorientador: Prof. Dr. José Antônio Perrella Balestieri

Guaratinguetá - SP
2021

R.696a Rodrigues, Marina Lopes
Avaliação de técnicas passivas para conforto térmico visando à racionalização do uso de sistemas de ar condicionado em casas populares / Marina Lopes Rodrigues – Guaratinguetá, 2021.
107 f : il.
Bibliografia: f. 101-105

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Alex Mendonça Bimbato
Coorientadores: Prof. Dr. Rubens Alves Dias
Prof. Dr. José Antônio Perrella Balestieri

1. Energia elétrica – Consumo. 2. Ar condicionado. 3. Arquitetura de habitação. I. Título.

CDU 669.86(043)

MARINA LOPES RODRIGUES

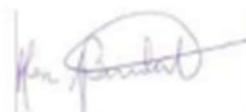
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: MESTRADO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Profa Dra. Ivonete Avila
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:



PROF. DR. ALEX MENDONÇA BIMBATO
Orientador - UNESP/FEG
participou por videoconferência



PROF. DR. MATEUS RICARDO NOGUEIRA VILANOVA
UNESP/SJC
participou por videoconferência



PROF. DR. CARLOS BARREIRA MARTINEZ
Universidade Federal de Itajubá
participou por videoconferência

DADOS CURRICULARES

MARINA LOPES RODRIGUES

NASCIMENTO 03.07.1991 – Guaratinguetá / SP

FILIAÇÃO Humberto Lopes Rodrigues
Francisca Alves dos Santos Rodrigues

2011/2016 Graduação em Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - Unesp

dedico este trabalho
de modo especial, ao meu pai.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos;

aos meus pais *Francisca e Humberto*, por todo amor, incentivo e apoio incondicional oferecidos;

ao meu orientador, *Prof. Dr. Alex Mendonça Bimbato*, e aos meus coorientadores *Prof. Dr. José Antônio Perrella Balestieri e Prof. Dr. Rubens Alves Dias* por todo o auxílio prestado, conselhos e orientações durante o período do mestrado;

À Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da UNESP, seu corpo docente, direção e administração pela oportunidade e assistência conferida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade”.

Nikola Tesla

RESUMO

Determinar o conforto térmico de uma residência tem se mostrado cada vez mais importante, principalmente quando a intenção é o uso eficiente de energia elétrica. Para tanto, evitar o uso de sistemas de ar condicionado, na medida do possível, torna-se desejável no contexto da sustentabilidade energética. Uma maneira de evitar ou diminuir o uso de sistemas de ar condicionado, consiste em aplicar técnicas arquitetônicas que contribuam para menor insolação direta na residência, para aumentar a ventilação natural, e melhorar a capacidade térmica e o bioclima externo. O trabalho analisa as condições de conforto térmico em uma moradia popular, considerando três cenários, sendo o cenário 1, a situação convencional (como foi realizado o projeto), o cenário 2, situação na qual fez-se a alteração do projeto original com a inserção de técnicas passivas de resfriamento, como a aplicação de isolante térmico nas paredes, adição de brises e alteração do tipo de telhas na cobertura, e o cenário 3, também com as modificações através de estratégias passivas, sendo a utilização de isolantes térmicos, cobertura vegetal na parede, cortinas nas janelas, películas nos vidros e uma pérgola. Em todos os cenários estudados o cálculo da carga térmica da residência foi realizado com base na norma NBR 16655-3, além disso, uma avaliação da eficiência energética também foi feita, objetivando à racionalização da aplicação de um sistema de ar condicionado. Com a implementação das modificações propostas neste estudo, obteve-se uma redução de ao menos 30% na carga térmica total do ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico. Ar condicionado. Eficiência energética. Arquitetura bioclimática.

ABSTRACT

Determining the thermal comfort of a home has been shown to be increasingly important, especially when the intention is the efficient use of electrical energy. Therefore, avoiding the use of air conditioning systems, as far as possible, is desirable in the context of energy sustainability. One way to avoid or decrease the use of air conditioning systems, is to apply architectural techniques that contribute to less direct sunlight in the residence, to increase natural ventilation, and to improve the thermal capacity and the external bioclimate. The work analyzes the conditions of thermal comfort in a popular housing, considering three scenarios, being scenario 1, the conventional situation (how the project was carried out), scenario 2, a situation in which the original project was changed with the insertion of passive cooling techniques, such as the application of thermal insulation on the walls, addition of solar shading and alteration of the type of tiles on the roof, and scenario 3, also with the modifications through passive strategies, being the use of thermal insulators, green wall, curtains on the windows, films on the glass and a pergola. In all the studied scenarios, the calculation of the thermal load of the residence was carried out based on the NBR 16655-3 standard, in addition, an energy efficiency assessment was also made, aiming at the rationalization of the application of an air conditioning system. With the implementation of the modifications proposed in this study, a reduction of at least 30% in the total thermal load of the environment was obtained.

KEYWORDS: Thermal comfort. Air conditioning. Energy efficiency. Bioclimatic architecture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Carta psicrométrica | 28 |
| Figura 2 - Posição do sol no inverno e verão | 33 |
| Figura 3 - Radiação solar em superfícies transparentes | 36 |
| Figura 4- Brise vertical..... | 33 |
| Figura 5- Brise horizontal..... | 38 |
| Figura 6 – Ventilação natural pela diferença de temperatura | 39 |
| Figura 7 -Ventilação cruzada..... | 34 |
| Figura 8 - Ventilação unilateral | 40 |
| Figura 9 – Circulação cruzada | 40 |
| Figura 10 – Janelas mais baixas..... | 35 |
| Figura 11 - Posição invertida das janelas | 40 |
| Figura 12 – Efeito chaminé e ventilação cruzada..... | 41 |
| Figura 13 – Abertura nas paredes | 41 |
| Figura 14 – Abertura na cumeeira | 41 |
| Figura 15 – Abertura nos tijolos | 42 |
| Figura 16 – Sombreamento com árvores | 42 |
| Figura 17 - Vegetação fixada na parede..... | 37 |
| Figura 18 - Vegetação estrutura de fixação | 43 |
| Figura 19 - Vegetação aplicada através de suportes | 43 |
| Figura 20 – Camadas do telhado verde | 44 |
| Figura 21 - Diferença entre um telhado claro e um escuro | 45 |
| Figura 22 – Planta baixa | 52 |
| Figura 23 – Corte lateral da moradia | 53 |
| Figura 24 – Fachada da moradia | 53 |
| Figura 25 - Disposição da construção no terreno | 56 |
| Figura 26 - Disposição da construção no terreno | 66 |
| Figura 27 - Composição da parede externa | 67 |
| Figura 28 - Composição da cobertura..... | 67 |
| Figura 29 - Aplicação das janelas | 68 |
| Figura 30 – Exemplo de janela com veneziana | 69 |
| Figura 31 - Brise com hastes horizontais..... | 63 |

| | |
|--|----|
| Figura 32 – Brise com hastes verticais | 69 |
| Figura 33 – Modelo de aplicação da vegetação na parede | 71 |
| Figura 34 – Cobertura vegetal na parede..... | 71 |
| Figura 35 – Exemplo de aplicação da lã de rocha na parede externa..... | 72 |
| Figura 36 – Telha de cerâmica esmaltada branca | 72 |
| Figura 37– Inserção de manta térmica na cobertura..... | 73 |
| Figura 38 – Vista lateral da pérgola..... | 74 |
| Figura 39 – Vista frontal da pérgola | 74 |
| Figura 40 – Posição da Pérgola | 75 |
| Figura 41– Exemplo de cortina | 76 |
| Figura 42 – Fluxo de vento para o cenário 1 | 88 |
| Figura 43 – Fluxo de vento para o cenário 2 | 89 |
| Figura 44 – Fluxo de vento para o cenário 3 | 89 |
| Gráfico 1 – Carga térmica total para o cenário 1 | 82 |
| Gráfico 2 – Carga térmica total para o cenário 2..... | 85 |
| Gráfico 3 – Carga térmica total para o cenário 3 (Com cortina e pérgola) | 87 |
| Gráfico 4 – Carga térmica total para o cenário 3 (Película)..... | 88 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----------|
| Tabela 1 - Taxa metabólica para cada atividade | 24 |
| Tabela 2 - Índices da resistência térmica | 25 |
| Tabela 3 – Materiais e sua condutividade térmica..... | 35 |
| Tabela 4 – Valores da absorvância das cores..... | 36 |
| Tabela 5 - Características dos diferentes tipos de vidro | 37 |
| Tabela 6 – Temperatura e horário | 54 |
| Tabela 7 - Condições para o ar externo | 55 |
| Tabela 8 - Condições para o ar interno | 55 |
| Tabela 9 - Coeficientes de transmissão de calor através de superfícies opacas (paredes, pisos, lajes e telhados) externos..... | 57 57 |
| Tabela 10 - Coeficientes de transmissão de calor através de superfícies opacas (paredes, pisos, lajes e telhados) internos | 58 58 |
| Tabela 11 – Fator de sombreamento para o vidro de 6mm | 59 |
| Tabela 12 – Fator de ganho de calor..... | 59 |
| Tabela 13 – Fator de carga de resfriamento em função do horário (CLF) | 60 |
| Tabela 14 - Carga térmica interna em função de pessoas, iluminação e equipamentos | 63 |
| Tabela 15 – Carga térmica interna em função da iluminação..... | 64 |
| Tabela 16 - Potência unitária dos equipamentos | 65 |
| Tabela 17 – Propriedades da vegetação | 71 |
| Tabela 18 - Parâmetros do IC_{maxD} | 77 |
| Tabela 19 - Parâmetros do IC_{min} | 77 |
| Tabela 20 - Classificação da eficiência energética da envoltória | 78 |
| Tabela 21-Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas | 80 |
| Tabela 22 - Transmissão de calor por superfície transparente..... | 81 |
| Tabela 23 – Carga térmica de infiltração e renovação do ar..... | 81 |
| Tabela 24 – Carga térmica relativa às pessoas..... | 82 |
| Tabela 25 – Carga térmica dos equipamentos | 82 |
| Tabela 26 - Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas | 83 |
| Tabela 27 - Transmissão de calor por superfície transparente..... | 84 |
| Tabela 28 - Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas | 86 |
| Tabela 29 - Transmissão de calor por superfície transparente (Cortina e pérgola) | 87 |

| | |
|---|----|
| Tabela 30 - Transmissão de calor por superfície transparente (Película) | 87 |
| Tabela 31 – Indicadores de consumo..... | 89 |
| Tabela 32 – Níveis de eficiência energética dos cenários 1 e 2..... | 90 |
| Tabela 33 – Níveis de eficiência energética do cenário 3..... | 90 |
| Tabela 34 - Nível de eficiência energética de acordo com a transmitância..... | 90 |
| Tabela 35 – Investimento cenário 2 | 91 |
| Tabela 36 – Investimento cenário 3 (com cortina e pérgola)..... | 91 |
| Tabela 37 – Investimento cenário 3 (com película)..... | 91 |
| Tabela 38 – Aparelhos de ar condicionado..... | 92 |
| Tabela 39 – RCB para 10 anos e 5% de juros ao ano..... | 92 |
| Tabela 40 – RCB para 10 anos e 10% de juros ao ano | 92 |
| Tabela 41 – RCB para 20 anos e 5% de juros ao ano..... | 93 |
| Tabela 42 – RCB para 20 anos e 10% de juros ao ano | 93 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Descrição do ambiente e suas superfícies | 57 |
| Quadro 2 - Descrição dos elementos da envoltória | 67 |
| Quadro 3- Descrição dos elementos da envoltória | 73 |
| Quadro 4 – Fator de sombreamento | 75 |
| Quadro 5 – Comparação dos cenários para superfícies opacas | 94 |
| Quadro 6 – Comparação dos cenários para superfícies transparentes..... | 94 |
| Quadro 7 – Comparação dos cenários para carga térmica total | 95 |
| Quadro 8 – Nível de eficiência energética..... | 96 |
| Quadro 9 – Valor de investimento e relação custo-benefício com juros de 5% ao ano..... | 97 |
| Quadro 10 – Valor de investimento e relação custo-benefício com juros de 10% ao ano..... | 97 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ASHARE | <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> |
| CLF | <i>Cooling Load Factor</i> |
| CLTD | <i>Cooling Load Temperature Differences</i> |
| DECEA | Departamento de Controle de Espaço Aéreo |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| RTQ-C | Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos |
| SC | <i>Shade Cooling Load Factors</i> |
| SHGF | <i>Solar Heating Gain Factor</i> |
| TBS | Temperatura de Bulbo seco |
| TBU | Temperatura de Bulbo úmido |
| IC _{máx} | Indicador de consumo máximo |
| IC _{mín} | Indicador de consumo mínimo |
| IC _{env} | Indicador de consumo da envoltória |
| RCB | Relação Custo-Benefício |
| CT | Custo apropriado do projeto |
| FRC | Fator de Recuperação de Capital; |
| EE | Energia Elétrica Conservada |
| CE | Custo Evitado de energia |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 20 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA..... | 20 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 21 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 21 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 21 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 22 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 23 |
| 2.1 CONFORTO TÉRMICO..... | 23 |
| 2.1.1 Taxa metabólica | 23 |
| 2.1.2 Vestimenta | 24 |
| 2.1.3 Temperatura do ar | 25 |
| 2.1.4 Temperatura radiante média | 26 |
| 2.1.5 Umidade do ar | 26 |
| 2.1.5.1 Psicrometria..... | 27 |
| 2.1.6 Velocidade do ar | 28 |
| 2.2 CARGA TÉRMICA..... | 29 |
| 2.2.1 Conceitos dos fatores aplicados no cálculo | 30 |
| 2.2.1.1 Diferença de temperatura da carga de resfriamento (CLTD - <i>Cooling load temperature differences</i>)..... | 30 |
| 2.2.1.2 Fator de carga de resfriamento (CLF - <i>Cooling load factor</i>)..... | 30 |
| 2.2.1.3 Fator de ganho de calor por insolação (SHGF - <i>Solar heating gain factor</i>)..... | 31 |
| 2.2.1.4 Fator de sombreamento (SC - <i>Shade cooling load factors</i>)..... | 31 |
| 2.3 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS..... | 31 |
| 2.3.1 Técnicas passivas para resfriamento do ambiente | 32 |
| 2.3.1.1 Orientação solar..... | 33 |
| 2.3.1.2 Elementos da envoltória..... | 34 |
| 2.3.1.2.1 <i>Desempenho térmico das estruturas opacas</i> | 34 |
| 2.3.1.2.2 <i>Desempenho térmico das estruturas transparentes</i> | 36 |
| 2.3.1.3 Proteção solar para sombreamento..... | 37 |
| 2.3.1.3.1 <i>Proteções Internas</i> | 37 |
| 2.3.1.3.2 <i>Proteções Externas</i> | 38 |
| 2.3.1.4 Mecanismos de ventilação..... | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.1.4.1 Ventilação natural por diferença de temperatura..... | 39 |
| 2.3.1.4.2 Ventilação natural por diferença de pressão causada pelo vento..... | 39 |
| 2.3.1.4.3 Aplicação composta..... | 40 |
| 2.3.1.4.4 Aberturas no teto para ventilação..... | 41 |
| 2.3.1.5 Implementação de vegetação..... | 42 |
| 2.3.1.6 Telhado verde..... | 43 |
| 2.3.1.7 Telhado branco..... | 44 |
| 2.4 APLICAÇÕES NO MUNDO..... | 45 |
| 2.5 APLICAÇÕES NO BRASIL..... | 48 |
| 3 MATERIAL E MÉTODO | 51 |
| 3.1 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO DA MORADIA POPULAR..... | 51 |
| 3.1.2 Valores psicrométricos para Guaratinguetá..... | 53 |
| 3.2 CENÁRIO 1: SITUAÇÃO CONVENCIONAL DA MORADIA POPULAR..... | 55 |
| 3.2.1 Orientação no terreno..... | 55 |
| 3.2.2 Cálculo da carga térmica..... | 56 |
| 3.2.2.1 O cálculo da transmissão de calor pelas superfícies externas e internas..... | 56 |
| 3.2.2.2 Carga térmica pela transmissão de calor por superfícies transparentes..... | 58 |
| 3.2.2.3 Renovação e infiltração de ar..... | 60 |
| 3.2.2.3.1 Cálculo da vazão de ar em volume infiltrado ou de renovação..... | 60 |
| 3.2.2.3.2 Cálculo da vazão em massa de ar infiltrado ou de renovação..... | 60 |
| 3.2.2.3.3 Cálculo da carga de ar externo total..... | 61 |
| 3.2.2.4 Cálculo da carga térmica interna..... | 62 |
| 3.2.2.4.1 Calor interno relacionado às pessoas..... | 62 |
| 3.2.2.4.2 Calor interno relacionado à iluminação..... | 63 |
| 3.2.2.4.3 Calor interno relacionado aos equipamentos..... | 64 |
| 3.2.2.5 Somatória das cargas térmicas..... | 65 |
| 3.3 CENÁRIO 2: SITUAÇÃO PROPOSTA..... | 65 |
| 3.3.1 Orientação no terreno de acordo com a radiação solar..... | 65 |
| 3.3.2 Alteração dos materiais da envoltória..... | 66 |
| 3.3.3 Configuração das janelas e aberturas do ambiente..... | 68 |
| 3.3.4 Sombreamento..... | 69 |
| 3.3.5 Cálculo da carga térmica..... | 70 |
| 3.4 CENÁRIO 3: SITUAÇÃO PROPOSTA..... | 70 |

| | |
|--|----|
| 3.4.1 Orientação no terreno de acordo com a radiação solar | 70 |
| 3.4.2 Alteração dos materiais da envoltória | 70 |
| 3.4.3 Sombreamento | 73 |
| 3.5 ESTUDO ENERGÉTICO DE ACORDO COM O PROCEL..... | 76 |
| 3.5.1 Índice de eficiência energética da envoltória | 76 |
| 3.6 ANÁLISE DE CUSTOS..... | 78 |
| 3.7 ANÁLISE COMPARATIVA..... | 79 |
| 4 RESULTADOS | 80 |
| 4.1 CARGA TÉRMICA E CONFORTO TÉRMICO..... | 80 |
| 4.1.1 Cenário 1: Situação real | 80 |
| 4.1.1.1 Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas..... | 80 |
| 4.1.1.2 Transmissão de calor por insolação..... | 81 |
| 4.1.1.3 Carga térmica de infiltração e renovação..... | 81 |
| 4.1.1.4 Carga térmica referente às pessoas, equipamentos e iluminação..... | 81 |
| 4.1.1.5 Resumo das cargas térmicas e total final..... | 82 |
| 4.1.2 Cenário 2: Situação proposta | 83 |
| 4.1.2.1 Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas..... | 83 |
| 4.1.2.2 Transmissão de calor por insolação..... | 84 |
| 4.1.2.3 Carga térmica de infiltração e renovação..... | 84 |
| 4.1.2.4 Carga térmica referente às pessoas, equipamentos e iluminação..... | 84 |
| 4.1.2.5 Resumo das cargas térmicas e total final..... | 84 |
| 4.1.3 Cenário 3: Situação proposta | 85 |
| 4.1.3.1 Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas..... | 85 |
| 4.1.3.2 Transmissão de calor por insolação..... | 85 |
| 4.1.3.3 Carga térmica de infiltração e renovação..... | 86 |
| 4.1.3.4 Carga térmica referente às pessoas, equipamentos e iluminação..... | 86 |
| 4.1.3.5 Resumo das cargas térmicas e total final..... | 87 |
| 4.2 ANÁLISE DO ESCOAMENTO DE AR..... | 88 |
| 4.3 ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA..... | 89 |
| 4.4 ANÁLISE DE CUSTOS..... | 91 |
| 4.4.1 Cálculo dos custos | 91 |
| 4.4.2 Relação Custo-Benefício (RCB) | 92 |
| 4.5 ANÁLISE COMPARATIVA..... | 93 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 5. CONCLUSÕES | 99 |
| REFERÊNCIAS | 101 |

1 INTRODUÇÃO

Em países com climas predominantemente quentes é comum procurar meios de manter o ambiente interno, tanto em casas, quanto em edifícios comerciais, o mais agradável possível em termos de temperatura. Para obter esse resultado, geralmente pensa-se como melhor solução a instalação de sistemas de refrigeração do ar, como o aparelho de ar condicionado.

Este tipo de aparelho tem um consumo energético alto, o que não traz benefícios ambientais e tampouco econômicos. O aumento da base instalada de equipamentos de ar condicionado residencial em operação trouxe como consequência um aumento na demanda (capacidade; W) e no consumo de energia elétrica (quantidade; Wh), com risco de sobrecarga no sistema de geração e de distribuição (ABNT, 2019).

Nos setores comercial e público, o consumo de energia elétrica é fortemente influenciado pela quantidade de energia térmica gerada no interior das edificações. Diferentemente das edificações residenciais, edifícios comerciais e públicos contam com maior densidade de usuários, equipamentos e lâmpadas, ocasionando uma elevação na temperatura interior, mesmo em situações nas quais o clima exterior indica conforto térmico (GOULART, 2007).

O conforto térmico é uma característica importante em uma construção. De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), define-se conforto térmico como a satisfação psicofisiológica de um indivíduo em relação às condições térmicas do ambiente.

Seja numa residência, prédio público ou comercial, ter um ambiente higrotérmico (ausência de desconforto térmico) é importante. A maior parte das pessoas passa muitas horas em espaços fechados, nomeadamente no trabalho ou em casa. É, portanto, da maior importância o seu conforto, para que possam se concentrar ao máximo, ou então tirar o maior proveito do seu tempo de relaxamento (PIMENTA et al., 2015).

Com o objetivo de conquistar o equilíbrio entre a temperatura do corpo e do local, a primeira solução pensada é a utilização de ar condicionado ou aquecedores. A aplicação dessas máquinas encarece as instalações e aumenta o consumo de energia elétrica, além de poder piorar a qualidade do ar caso não se tenha um filtro de boa qualidade ou não se aplique a manutenção correta.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o sistema de ar condicionado tem alta participação no consumo final de energia elétrica, sendo estimada em 10,5% em relação ao consumo total (PROCEL, 2013).

Salienta-se que, com o desenvolvimento social crescente, a diminuição dos preços dos aparelhos e com a construção de edificações não adequadas ao clima, a aquisição de aparelhos de ar condicionado será cada vez maior, problema que tende a ser agravado com o passar do tempo (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). Pensando nisso, evitar o uso de ar condicionado ou aquecedores torna-se uma iniciativa importante.

Com o intuito de racionalizar o uso de energia elétrica, têm-se buscado formas de manter o ambiente com uma temperatura agradável e manter um consumo energético sustentável. Uma maneira viável seria o planejamento da construção de forma a harmonizar a propriedade com as condições climáticas do ambiente. As decisões do projeto influenciam fortemente o desempenho térmico, visual e energético da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

É mais urgente a necessidade de integração entre sistemas naturais e artificiais (tanto de condicionamento de ar quanto de iluminação), visto que o uso dos sistemas artificiais pode ser imprescindível para a boa produtividade no espaço interior (GOULART, 2007). Porém, minimizar a utilização do sistema de ar condicionado ou até mesmo evitar sua aplicação pode ser possível se forem tomados os devidos cuidados com o projeto do imóvel ou forem adotadas algumas adaptações em prédios ou casas prontas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo comparar a carga térmica e a energia elétrica consumida em uma residência popular com a utilização de sistema de condicionamento de ar e com a utilização de técnicas de esfriamento natural (passivo).

1.2.2 Objetivos específicos

Também fazem parte do escopo do estudo os seguintes pontos:

- Demonstrar como é possível ter conforto térmico sem a utilização de aparelhos de ar condicionado ou com mínimo uso dos mesmos;
- Importância da eficiência energética nas construções;
- Verificação de quais técnicas passivas de resfriamento têm maior eficiência no conforto térmico.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema a ser estudado, apresenta o contexto que motivou o estudo e os objetivos a serem alcançados com o mesmo.

O segundo capítulo consiste em uma revisão da literatura sobre o assunto do trabalho. Os temas abordados neste capítulo envolvem a definição do que é conforto térmico, carga térmica relacionada às moradias e seus fatores, além da explicação das técnicas passivas de resfriamento, alguns exemplos e a indicação de trabalhos publicados com o tema.

O terceiro capítulo apresenta o método utilizado para determinar a carga térmica da construção, considerando a aplicação das técnicas passivas, cálculos para obtenção do selo de eficiência energética, de acordo com o PROCEL/INMETRO e a relação de custo-benefício.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos através da aplicação dos métodos e a análise dos mesmos.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONFORTO TÉRMICO

De acordo com a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2001), o conforto térmico tem como definição uma condição mental que expressa a satisfação com o ambiente térmico. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (LAMBERTS, 2016).

Conforme a NBR 16401-2 (ABNT, 2017), existem grandes variações fisiológicas e psicológicas de pessoa para pessoa, de forma que é muito difícil satisfazer a todos em um mesmo ambiente. Por esse motivo, pode-se afirmar que as condições ambientais que resultam em conforto térmico não são as mesmas para todos. Existe hoje um grande número de dados medidos em laboratório e em campo que embasam estatisticamente a definição das condições nas quais uma percentagem mínima de ocupantes se sentirá termicamente confortável.

As principais variáveis que devem ser consideradas, na definição de conforto térmico, abordadas pela NBR 16401-2 (ABNT, 2017) são:

- Taxa metabólica;
- Isolamento da vestimenta;
- Temperatura do ar;
- Temperatura radiante média;
- Umidade do ar;
- Velocidade do ar.

A taxa metabólica e o isolamento da vestimenta são variáveis relativas aos ocupantes, e as restantes, ao ambiente térmico.

2.1.1 Taxa metabólica

Fator relacionado ao corpo humano, tendo variação de acordo com o organismo de cada pessoa. É o processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos, ou seja, através do metabolismo, o organismo adquire energia. Porém, de toda

energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% é transformada em potencialidade de trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo seja mantida em equilíbrio. Isto acontece porque a temperatura interna do organismo humano deve ser mantida praticamente constante em 37°C (variando entre 36,1°C e 37,2°C) (LAMBERTS, 2016).

Caso o ambiente não apresente um equilíbrio térmico agradável às condições do corpo humano, a resposta do organismo é se adequar, através de um sistema termorregulador, recebendo ou doando calor.

De acordo com o Lamberts (2016), quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade realizada, experimenta-se a sensação de conforto térmico.

Para cada atividade realizada por um indivíduo tem-se uma taxa metabólica dada em watts por metro quadrado. Na Tabela 1 pode-se ver alguns valores para as rotinas mais comuns das pessoas.

Tabela 1 - Taxa metabólica para cada atividade

| Atividade | Metabolismo (W/m ²) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Dormindo | 40 |
| Deitada reclinada | 45 |
| Sentada | 60 |
| Descansando | 70 |
| Caminhando 3,2 km/h (0,9 m/s) | 115 |
| Caminhando 4,3 km/h (1,2 m/s) | 150 |
| Caminhando 6,4 km/h (1,8 m/s) | 220 |

Fonte: Adaptada de ASHRAE (2001).

2.1.2 Vestimenta

As roupas têm como função proteger de intempéries, manter a temperatura do corpo e evitar a perda da umidade oriunda do organismo devido a transpiração. Assim, inibem a troca de calor com o ambiente, o que influencia na sensação de conforto térmico.

De acordo com Frota e Schiffer (2001), a vestimenta funciona como isolante térmico — que mantém, junto ao corpo, uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, seu ajuste ao corpo e a porção de corpo que cobre. Além disso, reduz o ganho de calor relativo à radiação solar direta, as perdas em condições de baixo teor de umidade, o efeito refrigerador do suor e também a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar. Sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra e do ajuste ao corpo, devendo ser medida através das trocas secas relativas de quem a usa. Sua

unidade, “clo”, equivale a $0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A Tabela 2 contém os índices de resistência térmica de acordo com o tipo de roupas utilizadas, tendo como unidade clo.

Tabela 2 - Índices da resistência térmica

| Vestimenta | Índice de resistência térmica – Icl (clo) |
|-------------------------------|--|
| Meias | 0,03 |
| Meia calça | 0,03 |
| Calcinha | 0,03 |
| Cueca | 0,04 |
| Camisa manga curta | 0,17 |
| Camisa manga comprida | 0,25 |
| Camisa flanela manga comprida | 0,34 |
| Saia fina | 0,14 |
| Saia grossa | 0,23 |
| Vestido leve manga curta | 0,29 |
| Vestido grosso manga comprida | 0,47 |
| Suéter grosso | 0,22 |
| Bermuda | 0,06 |
| Calça fina | 0,24 |
| Calça grossa | 0,28 |
| Calça moletom | 0,30 |
| Botas | 0,10 |
| Sandálias | 0,20 |

Fonte: Adaptada ASHRAE (2001).

2.1.3 Temperatura do ar

É a variável mais relevante para as condições de conforto térmico. A diferença de temperatura entre o ar do ambiente e a pele do corpo humano influencia na sensação de bem-estar, uma vez que a perda de calor tem como causa a variação térmica. Quando a temperatura do ar está elevada, o calor corporal, produzido pelo metabolismo, tem perdas pequenas e, quando está baixa, o mesmo tem perdas maiores.

Outro ponto importante é que a variação térmica atua na ventilação do local. A diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar, chamada de convecção natural: a parte mais quente torna-se mais leve e sobe enquanto a mais fria, desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente (LAMBERTS, 2016).

Analisando as características do ambiente, as definições da temperatura podem variar. Verificam-se as seguintes denominações: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e temperatura operativa. Lamberts (2016), define a temperatura de bulbo seco (TBS) como a temperatura do ar, que costuma ser medida com a temperatura de bulbo úmido através

do psicrômetro giratório. Já a temperatura de bulbo úmido (TBU) é a medida com um termômetro semelhante ao usado para medir a TBS, porém, com um tecido no bulbo do termômetro de forma que a umidade seja considerada (LAMBERTS, 2016).

Para o conforto, é interessante conhecer também a temperatura operativa. Essa grandeza resume as perdas de calor do corpo, que está submetido a um ambiente real com efeitos desiguais por todos os lados (LAMBERTS, 2016). De acordo com a NBR 16401-2, 2017, a temperatura operativa tem como definição a temperatura uniforme das superfícies de um ambiente imaginário no qual o ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme.

2.1.4 Temperatura radiante média

A temperatura radiante média é uma variável-chave para fazer cálculos térmicos para o corpo humano. É a temperatura uniforme de um compartimento imaginário no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual ao calor radiante transferido no compartimento não uniforme real (ISO, 1998). Medições do termômetro de globo, temperatura do ar e velocidade do ar podem ser combinadas para estimar a temperatura radiante média. A precisão da temperatura radiante média determinada desta maneira varia consideravelmente, dependendo do tipo de ambiente e da precisão das medições individuais, sendo a mesma definida em relação ao corpo humano, onde a forma do sensor também é um fator determinante. A configuração esférica do termômetro do globo fornece uma aproximação razoável de uma pessoa sentada; um sensor em forma de elipsoide oferece uma melhor aproximação do corpo de um humano, de pé e sentado (ASHRAE, 2001).

2.1.5 Umidade do ar

Creder (2004) explicou o termo "umidade" como a quantidade de vapor d'água presente na mistura ar-vapor, ou seja, a água em estado gasoso inclusa no ar úmido em relação à quantidade do mesmo contida no ar saturado, considerando-se valores mensurados de temperatura e pressão. O vapor é formado através do processo de evaporação, que produz a alteração do estado líquido para o gasoso, mantendo a mesma temperatura. O termo saturado refere-se ao valor máximo que a presença de água em forma gasosa no ar pode ocorrer, sem que aconteça a condensação, mecanismo no qual o vapor excedente passa para o estado líquido.

Pode-se relacionar a quantidade de massa de água em vapor contida no ar e com isso

encontrar a porcentagem de comparação com a mistura de gases saturada. Assim, tem-se uma umidade denominada absoluta e uma relativa.

Creder (2004) define a umidade absoluta por ser a quantidade de vapor presente na mistura ar-vapor, sendo expressa em kg de vapor d'água por m³ de ar, e a umidade relativa pela relação entre a umidade absoluta existente e a máxima umidade absoluta a uma dada temperatura, ou seja, quando o ar se encontra saturado de vapor.

A alta umidade do ar reduz a evaporação do suor e conduz ao estresse térmico. No que se refere às trocas por evaporação entre a pessoa e o ambiente, a umidade específica do ar é o parâmetro que deve ser levado em consideração, e é frequentemente expressa sob a forma de pressão parcial de vapor de água. De acordo com a NBR 16401-2, a pressão parcial de vapor de água de uma mistura de ar úmido é a pressão que o vapor d'água contido nesta mistura exerceria se ocupasse sozinho o volume ocupado pelo ar úmido, à mesma temperatura (ABNT, 2017).

A água em estado gasoso no ambiente em conjunto com a velocidade do ar intervém na perda de calor por evaporação. Como aproximadamente 25% da energia térmica gerada pelo organismo é eliminada sob a forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração), é importante que as condições ambientais favoreçam estas perdas. Quando a temperatura do ar é superior à da pele, a pessoa ganharia calor por convecção, mas ao mesmo tempo se produz um fenômeno de efeito contrário, já que a circulação do ar acelera as perdas por evaporação. No momento em que o balanço começa a ser desfavorável, ou seja, quando apenas se tem ganho de calor, a umidade do ar torna-se importante. Se o ar está saturado, a evaporação não é possível, o que faz a pessoa começar a ganhar mais calor assim que a temperatura do ar seja superior à da pele. No caso em que o ar está seco, as perdas continuam ainda com as temperaturas mais elevadas (LAMBERTS, 2016).

2.1.5.1 Psicrometria

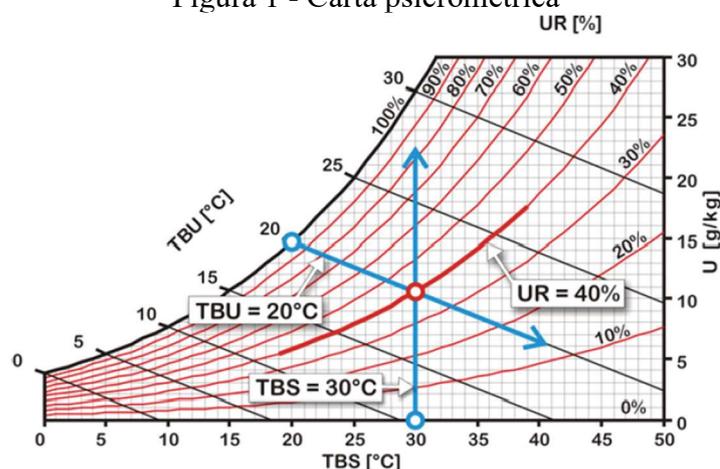
De acordo com Britto (2010), a psicrometria pode ser definida como a ciência que estuda o envolvimento das propriedades do ar úmido (uma mistura de ar seco e vapor d'água) e do processo (secagem, umidificação, resfriamento, aquecimento) na mudança da temperatura ou do conteúdo de vapor d'água da mistura. Sua importância se dá por possibilitar a análise das propriedades do ar úmido para diversas condições de temperatura e pressão.

Uma forma eficaz de encontrar as características do composto de gases presentes no ambiente terrestre e sua umidade é através da carta psicrométrica, a qual está ilustrada na Figura

1. Segundo a ASHRAE (2001), essa ferramenta representa graficamente as propriedades termodinâmicas da mistura de ar.

No caso de misturas, como é o ar úmido, são necessárias três propriedades para então definir o estado da substância. Portanto, para uma dada pressão barométrica, para a qual a carta psicrométrica foi traçada, é necessário conhecer mais duas propriedades do ar úmido para obtenção de todas as outras propriedades. Por exemplo, medindo o valor da temperatura de bulbo seco e da temperatura de bulbo úmido, através da carta psicrométrica é possível conhecer a umidade relativa da condição do ar no momento da medição (LAMBERTS et al., 2016).

Figura 1 - Carta psicrométrica



Fonte: Lamberts (2016).

2.1.6 Velocidade do ar

A ventilação é o processo de movimentação do ar, através do ganho de velocidade e uma direção. Atua na renovação de ar do ambiente, sendo responsável por sua qualidade, evitando que impurezas se acumulem, assim inibindo possíveis odores e outros aspectos indesejáveis.

O deslocamento da mistura de gases pode ser um mecanismo natural ou forçado. O movimento espontâneo da corrente de ar tem como causa a diferença de temperatura no ambiente pelo fenômeno chamado convecção natural, que se dá pela elevação do ar quente e descida do ar frio. Já a ocorrência da circulação do ar de forma artificial, como ventiladores, denomina-se de convecção forçada.

A velocidade do ar tem destaque como fator que intervém no conforto térmico pelo fato de facilitar as trocas de calor, através da convecção e evaporação, entre o meio e a pele. O deslocamento do ar aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em

contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor (LAMBERTS et al., 2011).

De acordo com a NBR 16655-3, deve-se considerar, para um projeto, o valor mínimo de 1 L/s.m^2 ($3,6 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$) para a vazão de renovação do ar em cada ambiente residencial.

2.2 CARGA TÉRMICA

A carga térmica é a quantidade de calor que é adicionada ao ar da sala. Para determinar essa quantidade, é necessário estimar a transmissão de calor para dentro ou para fora da sala. Por sua vez, isso requer a análise de todos os três modos de transferência de calor - condução, convecção e radiação - dentro da “envoltória da construção”, entre e em seus arredores. (Aqui, o termo envoltória da construção refere-se às paredes, telhados, pisos e fenestrações que compõem a mesma) (SPITLER, 2009).

A estimativa da carga térmica tem por objetivo avaliar os valores de calor sensível (mudança de temperatura), e de calor latente (mudança da umidade), de um ambiente e, desta forma, a partir dos valores da carga térmica selecionar o equipamento necessário para manter as condições desejadas. O valor deve ser calculado na condição mais crítica. Recomenda-se não acrescentar fatores de segurança no cálculo da carga térmica; a seleção do equipamento pode ser feita pelo valor aproximado e não necessariamente maior (NBR 16655-3, 2019).

Na NBR 16655-3 (2019), indica-se que, para a estimativa da carga térmica, é necessário:

- a) Escolher os valores de projeto da temperatura de bulbo seco e a temperatura de bulbo úmido do ar externo em função da latitude e da altitude do local;
- b) Escolher as temperaturas de projeto do ambiente condicionado adequadas às pessoas em função de sua idade, atividade e roupas;
- c) Averiguar possíveis condições especiais, como recintos adjacentes não condicionados, insolação, sombreamento externo etc.;
- d) Escolher os coeficientes de transferência de calor das distintas paredes da edificação com base no seu projeto. Paredes que separam ambientes na mesma temperatura devem ser ignoradas. Os coeficientes de transmissão de calor para inverno (aquecimento) e para verão (resfriamento) podem ser diferentes;

e) Estimar a taxa de infiltração (parcela não controlada), conforme ABNT NBR 15575-1, e/ou de ventilação com ar externo (com base nas características construtivas da edificação, no programa de operação do sistema, nos valores de projeto da velocidade do vento e da diferença de temperatura).

Para mensurar a carga térmica da moradia, aplicou-se o sistema de cálculos adotados pela NBR 16655-3. O processo empregado por essa norma é o da carga de resfriamento pela diferença de temperatura (CLTD), fatores de carga de resfriamento solar (SCL) e fatores de carga térmica interna, que tem como referência o ASHRAE Handbook – Fundamentals (ASHRAE, 2001), pois é o que para o cálculo manual melhor se aplica.

2.2.1 Conceitos dos fatores aplicados no cálculo

O sistema de cálculos empregado na NBR 16655-3 baseia-se no método da ASHRAE, que possui alguns parâmetros específicos para o cálculo da carga térmica. Para melhor compreensão dos conceitos aplicados faz-se necessária a exposição das definições dos termos em questão. Verifica-se como os principais fatores:

- Diferença de temperatura da carga de resfriamento;
- Fator de carga de resfriamento;
- Fator de ganho de calor por insolação;
- Fator de sombreamento.

2.2.1.1 Diferença de temperatura da carga de resfriamento (CLTD - *Cooling load temperature differences*)

A diferença da temperatura usada no cálculo de transmissão de calor por superfícies opacas, que leva em consideração a resistência térmica à transmissão do calor, sua inércia térmica, o efeito do sol e a diferença da temperatura interna e externa (NBR 16655-3, 2019).

2.2.1.2 Fator de carga de resfriamento (CLF - *Cooling load factor*)

Fator que corrige os valores de carga térmica em função do efeito de retardamento da

incidência do calor da radiação emitida por equipamentos, iluminação e pessoas devido a sua temperatura de superfície e da radiação solar (NBR 16655-3, 2019).

2.2.1.3 Fator de ganho de calor por insolação (SHGF - *Solar heating gain factor*)

Potência de insolação específica que considera a latitude e o período do ano para a incidência máxima da radiação solar em superfícies transparentes. O fator é expresso em watts por metro quadrado (W/m²) (NBR 16655-3, 2019).

2.2.1.4 Fator de sombreamento (SC - *Shade cooling load factors*)

Fator que corrige a radiação solar transmitida para o ambiente em função de características físicas do vidro, como espessura, característica ótica de reflexão ou absorção e forma construtiva de vidro duplo ou fachada dupla (NBR 16655-3, 2019).

2.3 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

A arquitetura bioclimática consiste em equilibrar o projeto da construção com o entorno, buscando reduzir o impacto no meio ambiente e obter a eficiência energética; satisfazendo as condições de conforto térmico sem que seja necessária a aplicação de sistemas artificiais para tanto. Estas estratégias, corretamente utilizadas durante a concepção do projeto da edificação, podem proporcionar melhoras nas condições de conforto térmico e redução no consumo de energia (LAMBERTS et al., 2011).

As estratégias de projeto da arquitetura bioclimática resgatam a integração da arquitetura com o meio ambiente quando tiram partido do clima, da vegetação, do desenho urbano e das soluções técnicas (CAMPOS et al., 2012).

Também se caracteriza por tirar proveito das condições naturais do local, e implementar a racionalização da utilização dos recursos, redução da produção de resíduos e conseqüentemente evitar a poluição ambiental.

Além das variáveis climáticas, Campos et al. (2012) citam as variáveis humanas e arquitetônicas como forma de se obter o conforto do usuário e a melhoria do desempenho termo energético. A seguir são apresentados os itens considerados:

a) Variáveis arquitetônicas: forma, função, fechamentos opacos, fechamentos transparentes,

sombreamento da edificação, cores, sistemas de iluminação, sistemas de aquecimento de água, climatização artificial, carga térmica, sistemas de ventilação natural, resfriamento evaporativo, vegetação, materiais, sistemas de proteção solar, massa térmica dos materiais.

b) Variáveis climáticas: Macroclima - radiação solar, latitude, altitude, vento, massas de ar, temperatura, umidade. Microclima – topografia, vegetação, superfície do solo (natural e construído).

c) Variáveis Humanas: Co aquecer, arrefecer, ventilar e iluminar.

Campos et al. (2012) ressaltam que, com a crescente preocupação ambiental e energética, torna-se cada vez mais necessária a busca de alternativas para solucionar essa dependência por meio de estratégias passivas de climatização natural e de geração de energia de maneira alternativa.

Para fins do estudo, que tem como base a análise do ganho térmico na estação do verão, serão consideradas as técnicas passivas para moderar a temperatura do ambiente interno da construção.

2.3.1 Técnicas passivas para resfriamento do ambiente

As técnicas arquitetônicas passivas podem ser definidas como as medidas empregadas na construção para oferecer o conforto térmico no ambiente, sem que seja necessário o consumo de energia elétrica.

As estratégias para um projeto passivo variam conforme o clima de cada região em que são aplicadas, mas, em geral, utilizam a forma da edificação, a disposição das aberturas e o desempenho térmico dos materiais (VETTORAZZI; RUSSI; SANTOS, 2010).

Existem diversas formas de resfriamento passivo, que vão desde aplicações simples até as mais tecnológicas; podem ser inseridas no projeto inicial dos prédios e casas, ou colocadas através da reforma do local.

Os métodos passivos focam na análise do ganho de carga térmica, com o intuito de reduzi-la. Para isso, a primeira questão é evitar a radiação solar direta. Há várias maneiras de alcançar o objetivo citado, das quais destacam-se as aplicações de dispositivos de sombreamento, orientação no terreno e vegetação do entorno.

Outra forma de reduzir a carga térmica adquirida é através da escolha dos tipos de materiais usados no edifício. Isso inclui pensar em materiais adequados para a estrutura, isolamentos e vidros. Tem grande relevância a determinação dos insumos, pois implicam diretamente no desempenho da envoltória, assim alterando a temperatura interna do local.

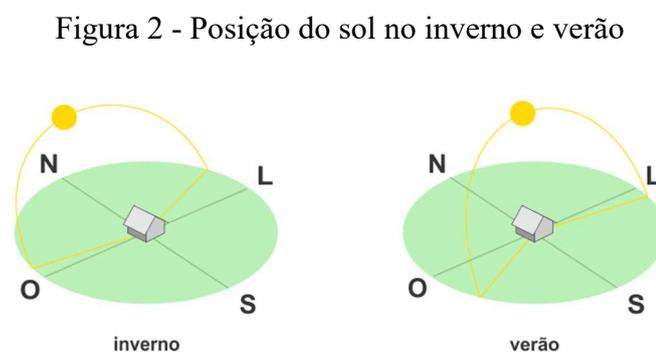
2.3.1.1 Orientação solar

Nas localidades onde o clima é predominantemente quente, deve-se evitar que a radiação solar direta atinja as construções e penetre excessivamente nos ambientes, prevenindo-se, assim, ganhos demasiados de calor.

A posição no terreno controla sua resposta ao ganho de calor e à direção do vento. Por este meio, orientar para o norte solar em vez do magnético aprimora os resultados do projeto. Além disso, é recomendável orientar a construção para a melhor exposição ao vento e mitigar a transmitância da radiação solar no verão, garantindo ao mesmo tempo as melhores radiações solares e a não excessiva rajada de vento no inverno (ALLAM, 2019).

Para proteger a envoltória de uma edificação, seja com elementos construídos, seja com vegetação, é necessário determinar a posição do sol para o local em questão na época do ano em que se deseja barrar seus raios diretos. Para tal, tem-se que recorrer a algumas noções básicas da geometria da insolação, a qual possibilitará determinar, graficamente, os ângulos de incidência do sol, em função da latitude, da hora e da época do ano (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Adequa-se a orientação da construção no terreno de acordo com os períodos e posições de maior insolação, fator que varia de acordo com a estação do ano. Para o estudo, faz-se mais relevante entender o trajeto do sol durante as horas no solstício de verão e inverno, como evidencia-se na Figura 2.



Fonte: VIVADecORA (2019)¹.

¹ Disponível em: < www.vivadecora.com.br >. Acesso em julho de 2019.

2.3.1.2 Elementos da envoltória

A envoltória da construção tem a função de proteger seu interior. O INMETRO (2012) explica o termo como o conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, tendo como exemplo as fachadas, empenas, cobertura, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem. Quando ocorre de a composição da mesma ser ineficiente, o desempenho térmico é ruim, assim proporcionando temperaturas elevadas na estação do verão e baixas na do inverno. Com intuito de evitar temperaturas internas extremas, deve-se escolher cuidadosamente os elementos de composição da envoltória, pensando nas características das matérias-primas e seus respectivos coeficientes de isolamento térmico.

As paredes e janelas (vidros) são os itens que têm maior impacto no desempenho térmico da envoltória. Denominam-se as paredes como estruturas opacas e os vidros, que fazem parte das janelas, como estruturas transparentes.

2.3.1.2.1 Desempenho térmico das estruturas opacas

Segundo o INMETRO (2012), as superfícies opacas são as paredes externas. Em um fechamento opaco a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior. O sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria. Outra característica importante das estruturas opacas é sua inércia térmica. Em princípio, os fechamentos absorvem calor tanto do exterior quanto do interior, dependendo de onde o ar tem a maior temperatura. A cor do material também pode incrementar a temperatura em sua superfície externa quando esta está exposta ao sol.

Ao conduzir o calor para o outro extremo, o material retém uma parte no seu interior, consequência de sua inércia térmica. Quanto maior a inércia térmica, maior o calor retido, e este pode ser devolvido ao interior quando for necessário. Com a intenção de melhorar a eficácia da envoltória e manter uma temperatura interior agradável, deve-se utilizar componentes que possuem a capacidade de reduzir a transferência de calor.

Podem-se citar as seguintes aplicações que ajudam no desempenho térmico das paredes:

- a) Isolantes térmicos;
- b) Escolha de materiais com baixa condutibilidade;
- c) Pintura com tintas claras.

a) Isolantes térmicos

Isolante térmico é um tipo de material que tem a capacidade de reduzir a entrada ou saída de calor de um ambiente para o outro. Pode ser constituído por lã de poliéster, fibra de vidro e poliestireno expandido, entre outros materiais.

b) Escolha de materiais com baixa condutibilidade

Quando há elevação da temperatura externa, o diferencial criado para a temperatura interior cria um fluxo de calor entre as superfícies externa e interna do fechamento. Nesta fase a troca térmica ocorrerá por condução e o fluxo de calor terá intensidade proporcional à condutividade térmica do material (CEPEL, 2014). Assim, faz-se importante selecionar os elementos que compõem a envoltória, de acordo com a condutividade de cada um. Na Tabela 3, pode-se comparar os materiais mais comuns na construção e sua capacidade de condução do calor.

Tabela 3 – Materiais e sua condutividade térmica

| Material | Condutividade (W/m.K) |
|-----------------|------------------------------|
| Concreto | 1,5 |
| Tijolo | 0,65 |
| Madeira | 0,14 |
| Isopor | 0,03 |

Fonte: CEPEL (2014).

c) Pintura com tintas claras

Na transferência de calor por radiação, destaca-se a importância do parâmetro absorptância (α) do material (CEPEL, 2014). Esse fator relaciona a capacidade de absorção do elemento, que é influenciado pela cor da pintura da parede. De acordo com CEPEL (2014), as paredes claras possuem, em geral, baixa absorptância, resultando em menores ganhos de calor por absorção da radiação solar. Na Tabela 4, tem-se uma relação das cores e sua absorptância.

Tabela 4 – Valores da absorvência das cores

| Pintura | Absorvência (α) |
|--------------|--------------------------|
| branca | 0,2 |
| amarela | 0,3 |
| verde claro | 0,4 |
| “alumínio” | 0,4 |
| verde escuro | 0,7 |
| vermelha | 0,74 |
| preta | 0,97 |

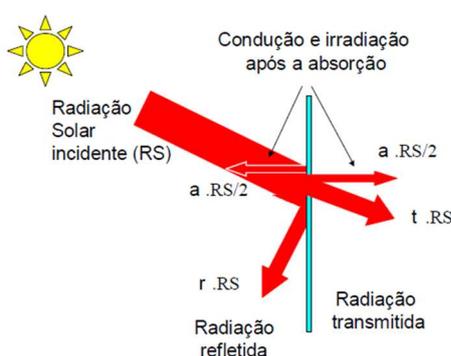
Fonte: Adaptada da NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Para que a envoltória seja energeticamente eficaz, deve-se escolher cores mais claras para as tintas utilizadas, dando preferência para a cor branca que possui o menor fator de absorvência.

2.3.1.2.2 Desempenho térmico das estruturas transparentes

As estruturas transparentes são as que contém aplicação de vidros. Esses são definidos como os materiais transparentes às radiações visíveis que permitem a iluminação natural do espaço interior estabelecendo uma conexão visual com o exterior. Porém, podem gerar problemas térmicos, acústicos e econômicos. Quando a energia radiante incide sobre uma superfície transparente ela é absorvida, refletida ou transmitida como se pode observar na Figura 3 (LAMBERTS, 2016).

Figura 3 - Radiação solar em superfícies transparentes



Fonte: Lamberts (2016).

O principal problema em um fechamento transparente é controlar as parcelas transmitidas diretamente e absorvida e reemitida para o interior. Esses fatores podem ser modificados através da escolha correta do vidro adotado nas janelas, ou aplicação de películas no mesmo. Geralmente nos prédios e casas são aplicados vidros simples que não oferecem redução da

absorção da radiação solar. Para amenizar as consequências térmicas criadas pelo vidro comum foram desenvolvidos outros tipos de vidro como os vidros absorventes (ou atérmicos) e os vidros refletivos (LAMBERTS, 2016). Na Tabela 5, tem-se alguns tipos de vidros e a relação com o percentual transmitido, absorvido e refletido.

Tabela 5 - Características dos diferentes tipos de vidro

| Tipo de vidro | Transmissão | Absorção | Reflexão |
|----------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Comum | 0,85 | 0,07 | 0,08 |
| Absorvente claro | 0,52 | 0,41 | 0,07 |
| Absorvente médio | 0,31 | 0,63 | 0,06 |
| Absorvente escuro | 0,09 | 0,86 | 0,05 |
| Refletor médio | 0,25 | 0,42 | 0,33 |
| Refletor escuro | 0,11 | 0,42 | 0,47 |

Fonte: Adaptada de Rivero (1986).

Segundo CEPEL- CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA (2014) outra forma de evitar o calor excessivo é implementando películas protetoras, pois fornecem características adicionais de reflexão e de absorção de calor sem a necessidade de substituição dos vidros. Também para redução da transmissão de calor por condução, existem conjuntos de vidros duplos, que além do isolamento térmico proporcionam melhoria do isolamento acústico.

2.3.1.3 Proteção solar para sombreamento

Tanto para os elementos opacos e para os transparentes é interessante procurar formas de evitar a radiação direta da luz solar. Para tanto os dispositivos para proteção solar são efetivos.

A aplicação de proteções solares em aberturas permite reduzir os ganhos de calor nas edificações, sendo de grande importância para o consumo de energia em prédios climatizados artificialmente. Por outro lado, sua adoção está geralmente associada à redução da disponibilidade de luz natural nas aberturas em questão, sendo, portanto, recomendada atenção no uso desse recurso no projeto ou no *retrofit* de edificações. As proteções podem ser basicamente divididas em dois tipos – internas e externas (CEPEL, 2014).

2.3.1.3.1 Proteções Internas

Os exemplos mais comuns de proteções internas são cortinas ou persianas, as quais têm como vantagem a facilidade de operação pelos usuários, sendo abertas ou fechadas de forma gradual, conforme a necessidade. Apresentam o inconveniente de não impedirem a passagem da radiação solar através do fechamento transparente, causando um “efeito estufa” no ambiente

(CEPEL, 2014).

2.3.1.3.2 Proteções Externas

As proteções externas bloqueiam a radiação direta, antes que esta atinja o fechamento transparente, evitando tanto a absorção de calor radiante pelo material (vidro, por exemplo) quanto a sua transmissão ao interior do edifício (CEPEL, 2014).

De acordo com CEPEL (2014) para melhor aproveitamento do efeito de sombreamento e permitir o controle da entrada de luz natural, essas proteções externas também podem ser móveis, com acionamento manual ou automático.

Segundo Frota e Schiffer (2001) o controle da insolação através de elementos de proteção solar pode ser feito por um quebra-sol (*“brise-soleil”* ou brise), que representa um importante dispositivo para o projeto do ambiente térmico.

As prateleiras de luz podem ser tanto horizontais quanto verticais. Dividem em duas porções e interceptam a radiação solar direta e redirecionam a luz para o forro, evitando ganhos excessivos de calor. Nas Figuras 4 e 5 pode-se ver exemplos de brises.

Figura 4- Brise vertical



Figura 5- Brise horizontal



Fonte: VIVADecORA (2019)².

Para Lamberts, Dutra e Pereira (2013), além do *“brise-soleil”* tem-se como outras formas de proteção do sol:

- Varandas – funcionam como brises horizontais com a função adicional de espaço de transição entre o interior e o exterior;

² Disponível em: < www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/o-que-e-brise/ >. Acesso em julho de 2019.

- Marquises – funcionam como brises horizontais;
- Volumes salientes- ambientes salientes ou reentrantes podem criar sombreamento;
- Beirais de telhado – funcionam como brises horizontais.

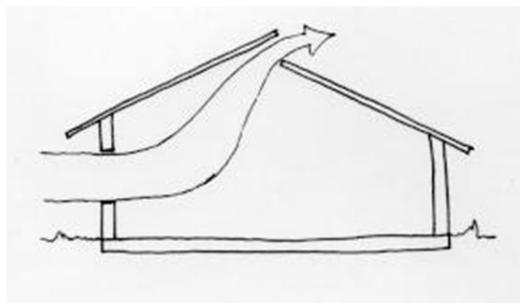
2.3.1.4 Mecanismos de ventilação

A vazão de ar no ambiente contribui para o conforto térmico do mesmo, por isso os mecanismos de ventilação devem ser considerados no projeto da construção. Como técnicas passivas para aumentar as correntes de vento no local pode-se pensar na ventilação natural por diferença de temperatura e na ventilação cruzada.

2.3.1.4.1 Ventilação natural por diferença de temperatura

De acordo com Lamberts et al. (2016) tem como referência a diferença entre as temperaturas do ar interior e exterior provocando um deslocamento da massa de ar da zona de maior para a de menor pressão. Quando, nestas condições, existem duas aberturas em diferentes alturas, se estabelece uma circulação de ar da abertura inferior para a superior, denominada efeito chaminé. Demonstra-se o processo na Figura 6.

Figura 6 – Ventilação natural pela diferença de temperatura



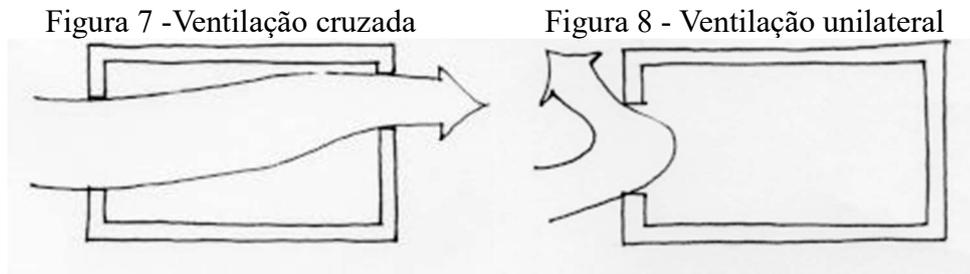
Fonte: Lamberts et al. (2016).

2.3.1.4.2 Ventilação natural por diferença de pressão causada pelo vento

Para que a edificação seja ventilada devido à diferença de pressão provocada pelo vento não basta que a mesma seja simplesmente exposta ao vento. É necessário que os ambientes sejam atravessados transversalmente pelo fluxo de ar, mostrado na Figura 7.

A ventilação cruzada ocorre, essencialmente, devido à existência de zonas com diferentes pressões, ou seja, na face de incidência do vento existe uma zona de alta pressão e na face

oposta, uma zona de baixa pressão. No caso de ambientes sem abertura para saída do vento, tem-se a ventilação unilateral, como mostra a Figura 8 (LAMBERTS, 2016).



Fonte: Lamberts et al. (2016).

Lengen (2004) explica que a circulação cruzada é mais eficiente com aberturas na parte baixa das portas, como pode-se ver na Figura 9. Outros fatores mencionados pelo autor foram a relação da posição das janelas e aberturas do local. Janelas colocadas em pontos mais baixos trazem uma brisa que areja o ambiente, conforme a Figura 10, e quando colocadas em posições opostas, como a Figura 11, proporcionam uma ventilação eficaz.

Figura 9 – Circulação cruzada

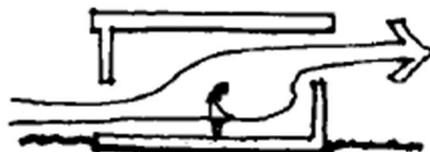


Fonte: Lengen (2004).

Figura 10 – Janelas mais baixas



Figura 11 - Posição invertida das janelas

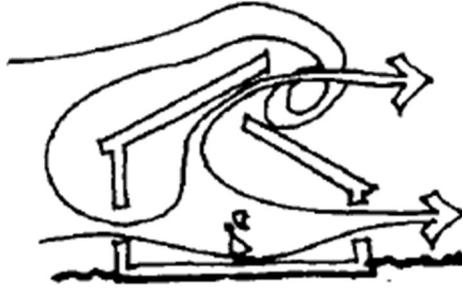


Fonte: Lengen (2004).

2.3.1.4.3 Aplicação composta

Para que a ventilação seja mais efetiva em termos de controle da qualidade do ar e aumento do conforto térmico na construção, pode-se misturar as diferentes técnicas. Na Figura 12 nota-se a composição do movimento do ar através de mais de uma técnica arquitetônica.

Figura 12 – Efeito chaminé e ventilação cruzada

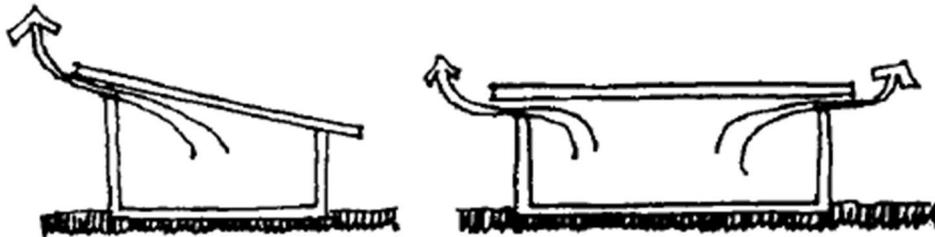


Fonte: Lengen (2004).

2.3.1.4.4 Aberturas no teto para ventilação

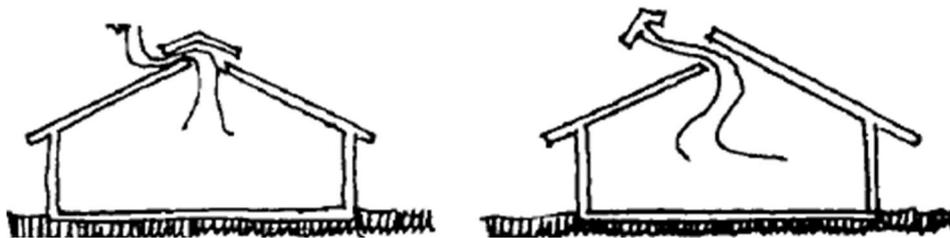
Segundo LENGEN, 2004 uma forma de evitar o calor no interior da casa é fazer aberturas na parte superior das paredes, ou no teto, para que o ar quente dos quartos possa sair. Nas Figuras 13, 14 e 15 têm-se exemplos de aplicação da técnica.

Figura 13 – Abertura nas paredes



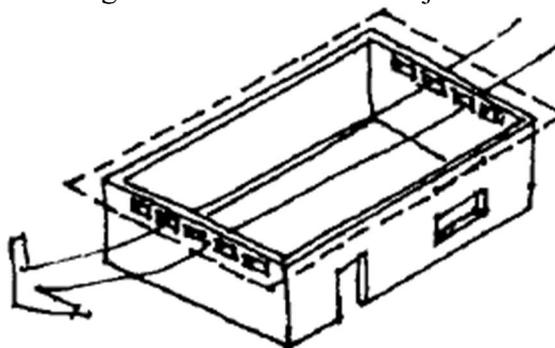
Fonte: Lengen (2004).

Figura 14 – Abertura na cumeeira



Fonte: Lengen (2004).

Figura 15 – Abertura nos tijolos



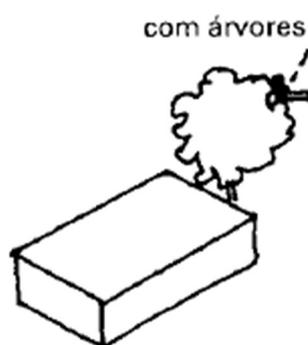
Fonte: Lengen (2004).

2.3.1.5 Implementação de vegetação

A implementação de vegetação, seja na envoltória ou no entorno da construção, pode ser um meio eficaz de alcançar o equilíbrio térmico reduzindo a necessidade de resfriamento do interior.

As árvores, alpinistas, arbustos altos e pérgulas, por exemplo, podem fornecer um sombreamento eficaz para as paredes e janelas do edifício. A grande cobertura das plantas reduz a radiação solar refletida e a radiação de ondas longas emitidas para o edifício, diminuindo assim os ganhos de calor solar e de ondas longas. O processo de evapotranspiração também esfria o ar ambiente e as superfícies próximas (STATE; ODIMEGWU; ANAMBRA, 2019). Na Figura 16, demonstra-se como a vegetação externa também influencia no sombreamento das paredes.

Figura 16 – Sombreamento com árvores



Fonte: Lengen (2004).

Além disso, os escaladores sobre as paredes podem reduzir a velocidade do vento ao lado das superfícies da parede e fornecer isolamento térmico quando a temperatura do ar exterior for

maior que a das paredes (STATE; ODIMEGWU; ANAMBRA, 2019).

Existem diferentes formas de aplicação de cobertura vegetal na envoltória. A aplicação diretamente na parede pode ser vista na Figura 17; outra forma é inserção através de uma estrutura metálica ilustrada na Figura 18 e também pode-se verificar na Figura 19 uma terceira forma que implica na plantação com suportes e em solos ou floreiras.

Figura 17 - Vegetação fixada na parede

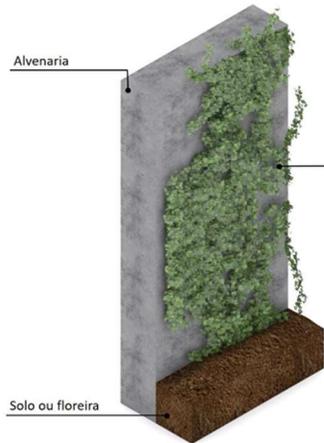
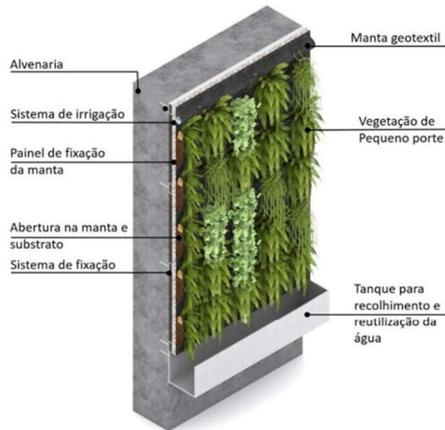


Figura 18 - Vegetação estrutura de fixação



Fonte: IMED EDU (2019)³.

Figura 19 - Vegetação aplicada através de suportes



Fonte: IMED EDU (2019)³.

2.3.1.6 Telhado verde

Consiste na implementação da vegetação na cobertura da construção. Composto por camadas, com parte feita de material impermeável, uma de terra e outra com plantas, a implementação desse tipo de cobertura modifica as condições de conforto do ambiente, atuando

³ Disponível em: < www.seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/2693/1871>. Acesso em julho de 2019.

como isolante evitando a transferência de calor, frio e ruído para o interior da edificação, assim evitando a necessidade do uso de sistemas artificiais de refrigeração ou aquecimento, sendo uma solução para a redução do consumo energético.

O telhado verde pode atingir uma temperatura de 10°C a 30°C abaixo da superfície exposta do telhado, dependendo da construção do mesmo, detalhes de plantio e condições do ambiente (STATE; ODIMEGWU; ANAMBRA, 2019). Na Figura 20, tem-se a composição de um exemplo de telhado verde e sua forma final quando aplicado em uma casa.



Fonte: ICF CONSTRUTORA (2019)⁴.

2.3.1.7 Telhado branco

Um telhado branco ou frio (*cool roof*) é uma forma de cobertura de um edifício que tem como função reduzir a demanda de resfriamento. Possuem superfícies destinadas a refletir a luz solar e emitem calor com mais eficiência do que os telhados quentes ou escuros, o que lhes permite permanecer mais frios ao sol (BORGE-DIEZ et al., 2013).

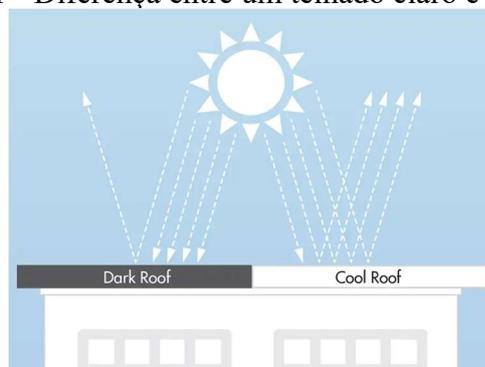
O programa “*Energy Saver*” do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América define que as coberturas denominadas frias podem ser feitas de um tipo de tinta altamente reflexiva, uma cobertura de folha ou telhas altamente refletivas. Também comenta que, assim como o uso de roupas de cores claras pode ajudar a manter um indivíduo fresco em um dia ensolarado, os materiais para telhados são projetados para refletir mais luz solar e absorver menos calor do que um telhado comum. Os telhados padrão ou escuros podem atingir

⁴ Disponível em: < www.icfconstrutora.com.br/diferenciais/telhado-verde-teto-jardim >. Acesso em agosto de 2019.

temperaturas de 150 °F (65 °C) ou mais sob o sol do verão. Um teto frio sob as mesmas condições pode ficar com mais do que 50 °F (10 °C) a menos na temperatura e economizar energia e dinheiro moderando o uso de sistemas de ar-condicionado.

Como benefícios da implantação da cobertura branca tem-se a redução do consumo energético, diminuição da necessidade de sistemas artificiais de refrigeração, obtenção de menor temperatura interna, e conseqüentemente, aumento do conforto térmico. Na Figura 21 pode-se verificar a ação dos telhados brancos na construção.

Figura 21 - Diferença entre um telhado claro e um escuro



Fonte: GAF (2019)⁵.

2.4 APLICAÇÕES NO MUNDO

Com o intuito de mostrar as possíveis aplicações das técnicas passivas para diminuir a temperatura do ambiente e dar contexto ao estudo, selecionaram-se alguns trabalhos para demonstração das metodologias verificadas em uma escala global.

Uma análise da eficiência da vegetação vertical pode ser vista no trabalho de Morakinyo et al. (2019), que analisou o efeito da aplicação desse tipo de cobertura vegetal nas paredes de uma construção; na cidade de Hong Kong. A metodologia da pesquisa visou compreender a influência da técnica em relação à obtenção do conforto térmico, considerando o decréscimo da temperatura interna do local. Para a verificação foram feitas simulações do ambiente. Como resultado, foi verificado que, para a aplicação da vegetação em 30% a 50% da superfície da área, obtém-se uma redução de aproximadamente 1 °C da temperatura interna. O artigo traz também como outra conclusão o fato de o uso da vegetação em paredes acompanhada de outras

⁵ Disponível em: < www.gaf.com/en-us/for-professionals/resources/cool-roof-solutions >. Acesso em agosto de 2019.

técnicas passivas poderem ser uma solução para alcançar o conforto térmico e a eficiência energética.

No que diz respeito a dispositivos para sombreamento pode-se citar Sghouri et al. (2018), que em seu estudo, em Marrocos, verificam o efeito de proteções solares externas otimizadas para melhorar o conforto térmico. O método empregado para a análise consistiu na simulação da ação desses componentes em um edifício, considerando três cidades diferentes: Marrakech, Casablanca e Oujda. Com os resultados, concluíram que a temperatura interna diminuiu, obtendo-se um conforto térmico maior, e as proteções solares, bem elaboradas, reduziram a necessidade de resfriamento por meios artificiais.

No que se relaciona aos materiais da envoltória, a pesquisa de Friess e Rakhshan (2017) analisa a eficácia das medidas passivas, em edifícios nos Emirados Árabes Unidos, na redução do consumo de energia. Como forma de estudo, utilizou a revisão de diversos artigos sobre o assunto. Os resultados confirmam a importância dos seguintes fatores para estruturas com menor consumo de energia: orientação do edifício, isolamento térmico (que pode gerar mais de 20% de economia de energia, principalmente no contexto residencial), tipo e orientação de vidros apropriados em edifícios de escritórios com vidros altos (economia de energia de até 55%), níveis excessivos de luz e ofuscamento e ventilação natural, que podem reduzir o consumo de energia em até 30%, considerando vilas, ou em até 79%, em prédios com combinação de técnicas para ventilação.

Pode-se considerar outro exemplo de materiais para a envoltória em Ibrahim et al. (2018), que teve como intuito analisar as aplicações de revestimento de baixa superfície (low-e) em edifícios em Lyon, na França. O método implicou no emprego de simulações para investigar o comportamento térmico e higrotérmico de envelopes com revestimento low-e. Através dos resultados, confirmaram que a contribuição benéfica é obtida quando feita a simulação do uso do revestimento low-e acoplado ao gesso de aerogel interno, onde são alcançadas economias de energia de 21% e 30% para 0,5 cm e 1 cm de gesso de aerogel, respectivamente.

Continuando na parte de materiais da envoltória, Liuzzi, Rubino e Stefanizzi (2017) fizeram um estudo sobre a aplicação de resíduos de oliveira na argila e gesso na composição da parede em um edifício de teste, localizado em um clima mediterrâneo. A conclusão do estudo foi que, ao considerar um cenário não condicionado (sem sistema HVAC), a pasta de argila leva a uma melhoria do desempenho higrotérmico, diferentemente das coberturas tradicionais do gesso. No entanto, na presença do sistema HVAC, ocorrem variações significativas em termos de economia de energia.

Também na parte de escolha dos insumos da envoltória, Lawson e Stav (2012) fizeram

um estudo da relação entre a aplicação de vegetação de forma vertical nas paredes e o consumo de energia da construção em cidades subtropicais. O método utilizado foi a simulação térmica através do software *EnergyPlus* configurado para refletir as características especiais da vegetação vertical. Os resultados da simulação mostraram que a economia anual de energia de resfriamento pode chegar até 25% em ambientes subtropicais.

Quanto aos tipos de cobertura, pode-se citar a pesquisa de He et al. (2020), que teve como objetivo quantificar as diferenças no desempenho térmico e energético entre os dois tipos de telhado sob o clima de Xangai. A forma de verificar isso foi através da observação do desempenho térmico do telhado verde, telhado branco e telhado comum no verão e inverno. Com os resultados concluíram que, comparados ao telhado comum, o telhado branco teve um efeito de resfriamento médio de 3,3 °C na superfície externa do *deck* em verão, enquanto o telhado verde teve apenas um efeito de resfriamento de 2,9 °C. Outros pontos demonstrados foram que o teto verde pode reduzir as cargas de resfriamento e aquecimento do topo em 3,6% e 6,2%, respectivamente. A cobertura na cor clara pode reduzir a carga de resfriamento em 3,6% e carga de aquecimento em 10,4%.

Um estudo que explorou o impacto da ventilação natural no conforto térmico e na qualidade do ar foi o de Heracleous e Michael (2019), que teve como objetivo investigar as condições de conforto interno em uma sala de aula típica de uma escola secundária em Chipre. Para os fins do estudo, as condições ambientais internas e externas foram monitoradas. O trabalho comprovou as melhorias potenciais, com a aplicação da técnica, na obtenção de uma melhor qualidade do ar e condições de conforto térmico.

Castaldo et al. (2018) propuseram um novo método que implica em alterações no projeto das construções com o intuito de aprimorar o microclima, em multiescala, verificando a influência dessas implementações na energia térmica da edificação, em um distrito residencial de energia quase zero, na Itália central. Para tanto, foram instalados *designs* conscientes de vegetação ao ar livre no distrito de casas unifamiliares e, assim, uma simulação de microclima foi realizada, elaborando arquivos climáticos realistas, usados na simulação da carga térmica do edifício, a fim de avaliar o impacto do microclima local na construção do desempenho de energia térmica e na produção de energias renováveis. Através da análise microclimática, obtiveram a conclusão de que as condições locais afetam o conforto ao ar livre e que podem ser consideradas como técnicas que, se aplicadas no projeto em estágios iniciais, produzem uma melhoria da eficiência energética em escala de construção, podendo reduzir a necessidade de energia do edifício para HVAC em até 10%.

2.5 APLICAÇÕES NO BRASIL

Após uma breve introdução às estratégias passivas para o conforto térmico no contexto mundial, faz-se uma verificação dos estudos conduzidos no Brasil.

Pode-se ter uma imagem da implementação de alternativas de maior eficiência energética no trabalho realizado por Santesso et al. (2017), que analisaram a implementação das mesmas direcionadas para habitações de interesse social, com o objetivo de contribuir para uma maior economia e uso racional de energia. Para tanto, escolheram como estratégias passivas a ventilação, iluminação natural, cobertura vegetal, e o sistema fotovoltaico. Com isso, avaliaram o custo-benefício e a eficiência das mesmas. A pesquisa mostrou que as técnicas de ventilação são acessíveis para residências de baixo custo e que resultam em melhorias no conforto térmico.

Para a utilização de tintas com baixo fator de absorvidade tem-se um exemplo no estudo feito por Rios et al. (2017) que teve como objetivo quantificar a redução do consumo de energia elétrica e as emissões de carbono proporcionadas pela pintura da cobertura de uma habitação de interesse social com a cor branca. No método da análise, foram realizadas simulações computacionais para a edificação conforme construída e para aquela com pintura branca na cobertura. Como resultado, foi obtida a redução de 1°C na temperatura interna e a economia de 10,85 kWh/mês (7,1%) no modelo de habitação, sendo encontrada a relação custo-benefício (RCB) para implementação da pintura da cobertura na cor branca de 0,38.

Um exemplo da utilização de cobertura vegetal pode ser visto no trabalho proposto por Matheus et al. (2016), que apresentaram três diferentes estudos de desempenho térmico com revestimentos vegetais: 1) um estudo de caso com cobertura verde, 2) um estudo experimental com parede viva, e 3) um estudo de caso com parede verde, todos com medições comparativas e simultâneas entre superfícies expostas e protegidas pelo verde. Os parâmetros medidos foram temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura radiante média e temperatura das superfícies internas e externas das envoltórias. Tais análises levaram à conclusão de que o uso da vegetação como elemento de proteção em coberturas e fachadas atua positivamente sobre os fluxos de calor na envoltória, representando uma importante ferramenta para o controle térmico passivo de altas temperaturas no interior das edificações.

Também para a mesma técnica passiva tem-se outra demonstração no artigo de Scherer, Alves e Redin (2018), no qual realizaram um levantamento bibliográfico sobre os benefícios e as principais técnicas de execução de coberturas vivas e jardins verticais. De acordo com a análise, as principais vantagens para as cidades referem-se à redução na temperatura do ar, com minimização do fenômeno da ilha de calor e, umidificação, além de causarem um efeito visual

interessante. Na escala da edificação, as envoltórias vegetadas podem contribuir de forma significativa para o conforto térmico e, conseqüentemente, para a redução no consumo de energia para climatização dos espaços, já que atuam como isolantes térmicos, elementos de sombreamento ou, ainda, qualificando a ventilação natural por atuarem no resfriamento evaporativo.

Maciel e Carvalho (2019) investigaram o benefício energético das fachadas ventiladas opacas em comparação com as fachadas de revestimento em residências de vários andares, edifícios localizados em nove zonas climáticas, de acordo com a classificação Köppen-Geiger⁶, no Brasil. Para isso, fizeram simulações computacionais usando o software da mesma empresa, capaz de sincronizar automaticamente os dados de modelagem e a análise energética de um ano inteiro. Esta pesquisa mostrou que o comportamento da fachada ventilada trouxe melhorias em termos de resfriamento passivo do edifício em comparação com fachadas de revestimento, oferecendo economia de energia elétrica de até 43% ao ano nas cidades mais quentes.

A influência da ventilação natural foi estudada por Rackes, Melo e Lamberts (2016) em seu trabalho, que desenvolveu orientações e ferramentas para entender o desempenho, melhorar o *design* e simplificar a avaliação de edifícios comerciais de baixo crescimento e ventilação natural em climas quentes. Para tanto, foram feitas 50.000 simulações detalhadas de energia e fluxo de ar em 427 locais em todo o Brasil, variando 55 parâmetros representando morfologia, fenestração, propriedades de construção, ganhos internos, tempos operacionais, modificadores de vento, caminhos de fluxo, controle de janelas e características do solo. Como resultado, demonstraram que a modificação de um pequeno conjunto de parâmetros pode melhorar significativamente o desempenho térmico e obter conforto sustentável em climas quentes.

O estudo de Santos et al. (2019) teve como objetivo a avaliação da modificação dos telhados das habitações, na cidade de Caruaru, no semiárido de Pernambuco, Brasil, para dois propósitos: como telhados verdes reduzem temperaturas extremas no interior das casas e estudar a possibilidade de captação e armazenamento de águas pluviais para fins potáveis. Para isso, realizaram um estudo preliminar com monitoramento de temperatura interna e externa de salas com teto verde e teto convencional para verificar a variação térmica em uma situação real. Nesse contexto, foram analisados dois cenários: no cenário 1, toda a superfície do telhado foi utilizada para captação e economia de água da chuva e, no cenário 2, foram implantados telhados verdes em parte dos telhados. Em relação ao contexto da análise do conforto térmico, os resultados deste estudo conferiram que o uso de telhados verdes resultou em menores

6 Sistema de classificação climática que relaciona o clima com a vegetação

variações de temperatura ao longo do dia, diminuição da temperatura interna e diminuição da amplitude térmica em relação a um telhado convencional (com telhas).

3 MATERIAL E MÉTODO

No planejamento de uma edificação residencial, principalmente nas mais simples, geralmente não são estudadas as condições para o conforto térmico. Por esse motivo, os residentes muitas vezes acabam optando por instalar aparelhos de ar condicionado para viverem em uma temperatura agradável. A proposta desse trabalho é o estudo da eficácia da aplicação de sistemas naturais e técnicas arquitetônicas, para que não haja a necessidade de utilização de ar condicionado ou, no mínimo, para diminuir seu uso. Para o estudo são analisadas as boas práticas de execução, como posição da construção de acordo com a insolação recebida, ventilação, capacidade térmica, tipo de material utilizado e o bioclima externo.

Como base do trabalho emprega-se uma planta baixa de uma residência popular, a qual é o parâmetro para análise (caso base) do conforto térmico em três cenários, a saber:

- Situação convencional da moradia popular, levando em consideração todas as escolhas feitas para o projeto e a necessidade de aplicação de sistemas de ar condicionado;
- Duas situações propostas, nas quais são propostas modificações no projeto de acordo com as técnicas naturais de esfriamento com o intuito de evitar ou reduzir a aplicação de sistemas de ar condicionado.

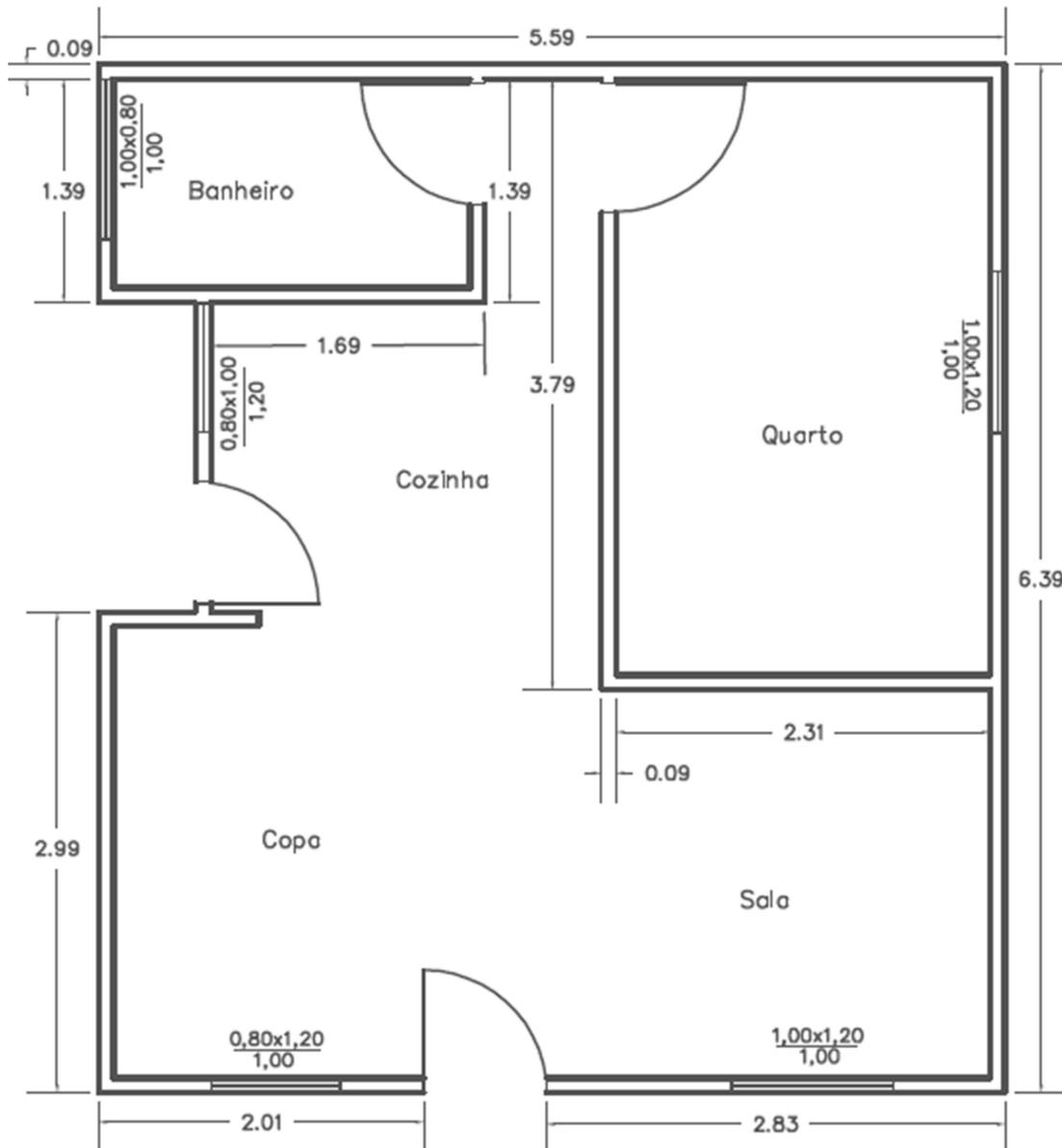
Com o intuito de calcular a carga térmica que deve ser retirada do ambiente, optou-se por adotar medidas que proporcionem um maior conforto térmico com relação ao período mais quente do ano, o verão. As características psicrométricas da cidade da construção foram verificadas para a mesma estação.

3.1 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO DA MORADIA POPULAR

O primeiro passo foi averiguar as características do local e o planejamento da construção. A base do estudo consiste na análise do conforto térmico de um projeto de uma unidade habitacional térrea, em Guaratinguetá-SP, pertencente à Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano (CDHU). Os dados dos materiais aplicados na construção e a disposição da casa estão explícitos na planta baixa e no memorial descritivo, que foram cedidos pela Prefeitura Municipal da Estância Turística de Guaratinguetá e que representa um modelo típico largamente empregado em moradias populares da cidade. Nas Figuras 22, 23 e 24 apresenta-se

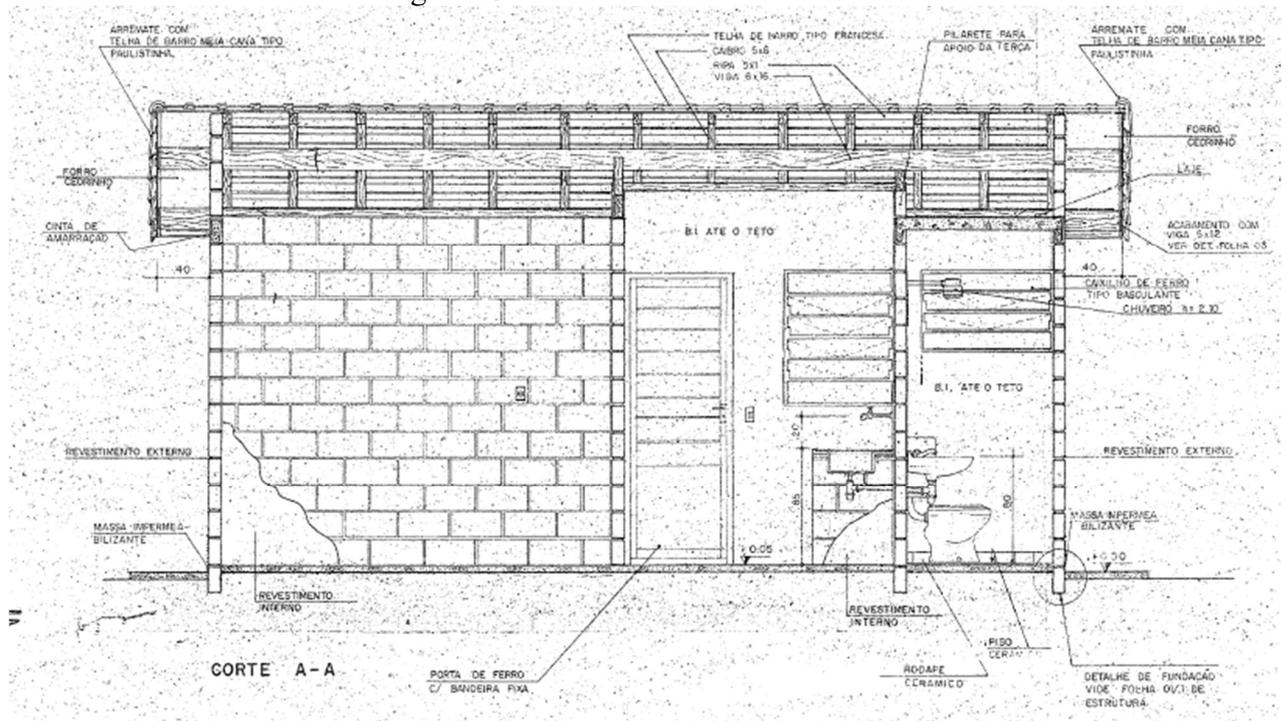
a imagem do modelo de residência escolhido.

Figura 22 – Planta baixa



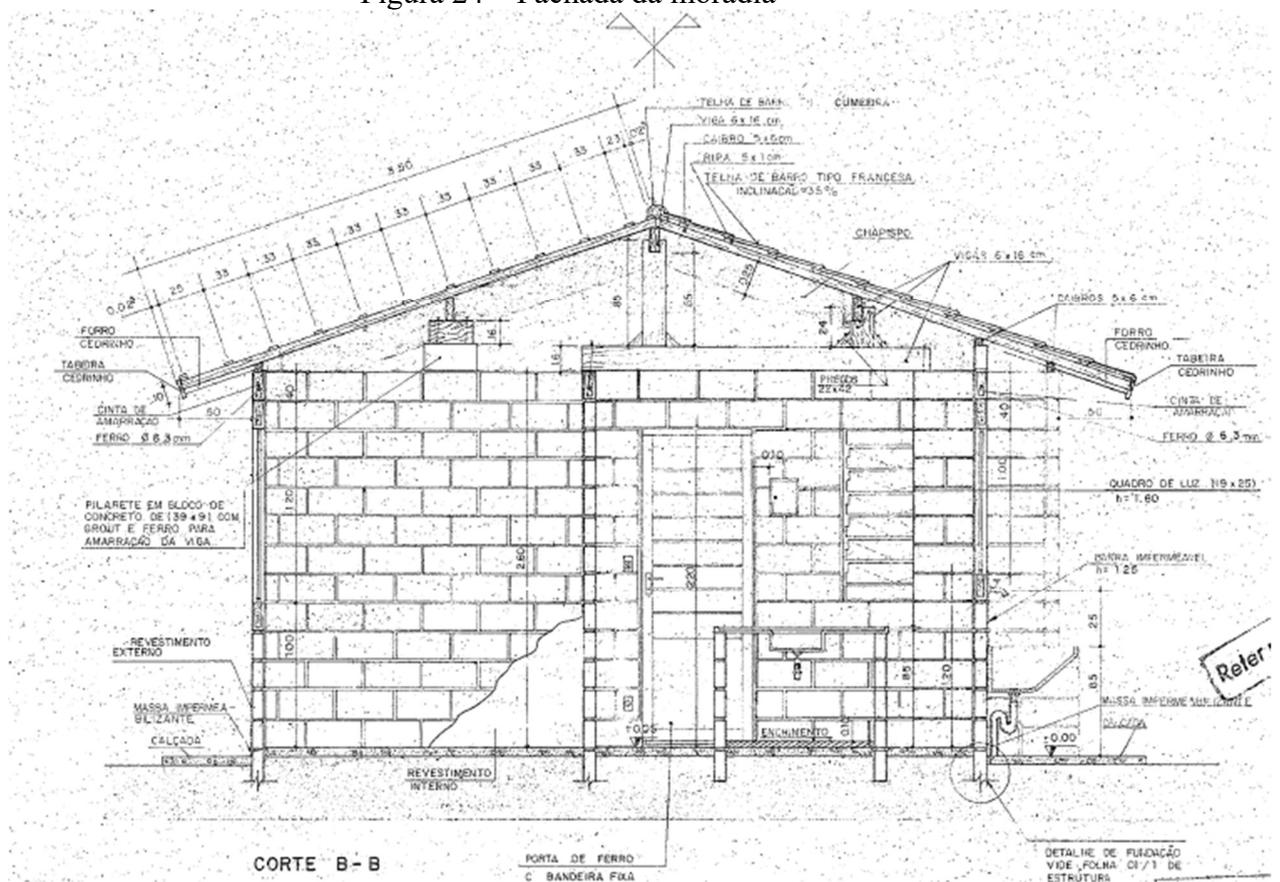
Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal da Estância Turística de Guaratinguetá (1998).

Figura 23 – Corte lateral da moradia



Fonte: Prefeitura Municipal da Estância Turística de Guaratinguetá (1998).

Figura 24 – Fachada da moradia



Fonte: Prefeitura Municipal da Estância Turística de Guaratinguetá (1998).

3.1.2 Valores psicrométricos para Guaratinguetá

Na análise da carga térmica do ambiente faz-se relevante estabelecer a temperatura mais elevada do ano. Como referência utilizou-se os meses de 2019, pois foram os dados mais recentes encontrados para a cidade de Guaratinguetá-SP. Verificando a estação do verão para o ano de 2019, estabeleceu-se o dia 30 do mês de janeiro como o mais quente do período; na Tabela 6, têm-se as temperaturas ao longo das horas.

Tabela 6 – Temperatura e horário

| Data/Hora | Vento (m/s) | Pressão (hPa) | Temp. do ar (°C) |
|------------------|-------------|---------------|------------------|
| 30/01/2019 09:00 | 1,03 | 1016,94 | 20 |
| 30/01/2019 10:00 | 1,03 | 1017,96 | 22 |
| 30/01/2019 11:00 | 1,03 | 1017,96 | 25 |
| 30/01/2019 12:00 | 1,03 | 1017,96 | 28 |
| 30/01/2019 13:00 | 0,51 | 1017,96 | 30 |
| 30/01/2019 14:00 | 0 | 1017,96 | 32 |
| 30/01/2019 15:00 | 0,51 | 1016,94 | 34 |
| 30/01/2019 16:00 | 1,54 | 1015,93 | 34 |
| 30/01/2019 17:00 | 1,03 | 1014,91 | 35 |
| 30/01/2019 18:00 | 3,09 | 1014,91 | 36 |
| 30/01/2019 19:00 | 1,54 | 1013,89 | 35 |
| 30/01/2019 20:00 | 2,06 | 1013,89 | 36 |
| 30/01/2019 21:00 | 1,03 | 1013,89 | 35 |

Fonte: Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA (2020).

Considerando que a cidade de Guaratinguetá - SP está nas coordenadas geográficas 22°48'58" Sul de latitude, 45°11'37" Oeste de longitude e 530 m de altitude, pôde-se verificar os dados psicrométricos para o ar externo na estação do verão em seu mês mais quente (janeiro de 2019) através do *software* livre *PsychroCalc* (G&P ENGINEERING SOFTWARE, 1999); os dados podem ser conferidos na Tabela 7.

Tabela 7 - Condições para o ar externo

| Valores de referência para o ar externo | |
|--|--------|
| Temperatura de bulbo úmido coincidente (°C) | 24 |
| Umidade relativa (%) | 22 |
| Umidade absoluta (kg de vapor/kg de ar seco) | 0,0113 |
| Volume específico (m ³ /kg) | 0,9497 |
| Entalpia (kJ/kg) | 65,32 |

Fonte: G&P ENGINEERING SOFTWARE (1999).

Os valores de referência para o ar interno foram adotados através da NBR 16655, que estipula várias condições ideais para o ambiente do lado de dentro da construção. Para o estudo considerou-se os dados na condição 3, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Condições para o ar interno

| Valores de referência para o ar interno | |
|---|--------|
| Temperatura de bulbo seco (°C) | 24 |
| Umidade relativa (%) | 0,5 |
| Pressão atmosférica (kPa) | 95,46 |
| Umidade absoluta (kg/kg) | 0,0099 |
| Volume específico (m ³ /kg) | 0,908 |
| Entalpia (kJ/kg) | 49,25 |

Fonte: NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

3.2 CENÁRIO 1: SITUAÇÃO CONVENCIONAL DA MORADIA POPULAR

Neste cenário as adoções dos dados da construção foram baseadas nas do projeto original com o intuito de comparação, porém, fez-se uma escolha para a orientação da construção no terreno, devido terem várias possibilidades e para criar um ambiente com a maior carga térmica que a construção poderia ter.

3.2.1 Orientação no terreno

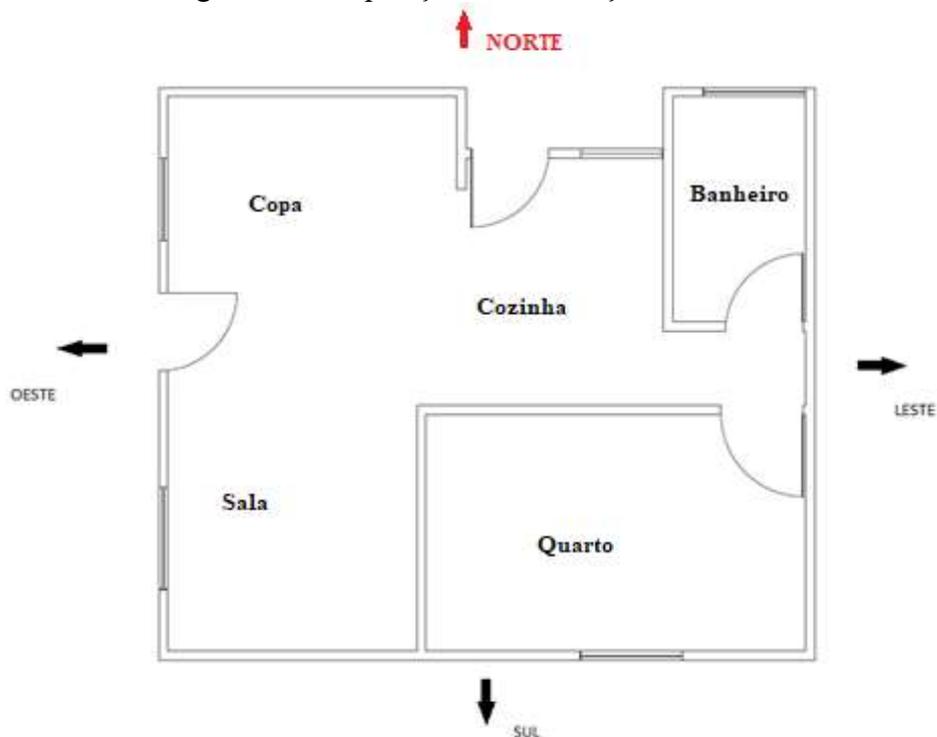
Neste primeiro cenário a localização da construção no terreno, de acordo com as orientações norte, sul, leste e oeste, foi feita sem estudo prévio e é apresentada na Figura 25.

3.2.2 Cálculo da carga térmica

O cálculo da carga térmica implica na determinação das diversas parcelas de calor adquirido através da transmissão de calor e, também, permite verificar quanto de calor sensível e latente vai se ter no ambiente. O intuito é aferir a quantidade de calor que se deve retirar da moradia para obter uma temperatura que mantenha a sensação de bem-estar.

Como o procedimento escolhido foi o de estimar manualmente, optou-se por organizá-lo através de planilhas do EXCEL. Todas as equações utilizadas para estimar a carga térmica foram retiradas da NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

Figura 25 - Disposição da construção no terreno



Fonte: Autora.

3.2.2.1 O cálculo da transmissão de calor pelas superfícies externas e internas

Para o cálculo da transmissão de calor pelas superfícies externas e internas foi necessário estabelecer as características dos ambientes da casa popular adotada como referência. As paredes foram analisadas verificando-se os insumos utilizados através do memorial descritivo do projeto; pode-se ver esse esquema no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição do ambiente e suas superfícies

| Descrição | Característica |
|--------------------------|--|
| Paredes externas | Filme externo de ar + Reboque + Bloco de concreto + Reboque |
| Paredes internas | Filme interno de ar + Reboque + Bloco de concreto + Reboque |
| Laje superior e inferior | Filme interno de ar + concreto de laje maciça+ filme interno de ar |
| Janela externa simples | Filme externo de ar + vidro 3,6 mm + filme interno de ar |
| Telhado | Filme externo de ar + telha de barro + filme interno de ar |

Fonte: Autora.

No cálculo da transmissão de calor por superfícies opacas, empregou-se a equação (1):

$$Q_{strans} = \frac{[A.(CLTD)]}{R} \quad (1)$$

Sendo:

A a área da superfície, expressa em metros quadrados (m²);

CLTD a diferença de temperatura para a carga de resfriamento, expressa (°C);

R a resistividade térmica da superfície, expressa em (m².°C)/W.

O valor total da carga de transmissão é feito somando-se as parcelas encontradas para cada componente da construção (paredes, janelas, laje e telhado).

Os fatores de resistividade térmica de cada material utilizado em sua constituição são fornecidos pela literatura; nas Tabelas 9 e 10 são apresentados os valores para os materiais mais comuns utilizados na construção.

Tabela 9 - Coeficientes de transmissão de calor através de superfícies opacas (paredes, pisos, lajes e telhados) externos

| Elementos de construção - Características físicas | | | Parede externa | Laje externa + espessura ar | Laje externa + isolamento |
|---|------------------|-------------------------------|--|--|--|
| Elemento construtivo | Espessura (m) | Condutibilidade k (W/m.°C) | Resistividade térmica (m ² .°C/W) | Resistividade térmica (m ² .°C/W) | Resistividade térmica (m ² .°C/W) |
| Filme do ar externo | não | 0 | 0,044 | 0,044 | 0,044 |
| Reboque + pintura | 0,025 | 0,73 | 0,34 | 0 | 0 |
| Bloco de concreto | 0,2 | 1,04 | 0,192 | 0 | 0 |
| Vidro | 0,006 | 0,76 | 0 | 0 | 0 |
| Filme do ar interno | não | 0 | 0,121 | 0,121 | 0 |

Fonte: Adaptada da NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

Tabela 10 - Coeficientes de transmissão de calor através de superfícies opacas (paredes, pisos, lajes e telhados) internos

| | Piso/Laje interna | Parede interna | Janela externa simples | Janela externa cortina |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
| Elemento construtivo | Resistividade térmica (m ² .°C)/W |
| Filme do ar externo | 0 | 0 | 0,044 | 0,044 |
| Concreto laje maciça e contrapiso | 0,079 | 0 | 0 | 0 |
| Drywall | 0 | 0,152 | 0 | 0 |
| Vidro | 0 | 0 | 0,008 | 0,016 |
| Espaço de ar (vidro duplo) | 0 | 0 | 0 | 0,16 |
| Filme do ar interno | 0,242 | 0,242 | 0,121 | 0,121 |
| Total | 0,321 | 0,394 | 0,173 | 0,341 |

Fonte: Adaptada da NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

Adotou-se o CLTD para os componentes externos de acordo com os valores de referência da NBR 16655-3 (ABNT, 2019). O valor do mesmo varia conforme a orientação de cada local. Já para os componentes internos, calculou-se o CLTD pela equação (2).

$$CLTD = TBS_{ar\ externo} + 3^{\circ}C - TBS_{ar\ interno} \quad (2)$$

Sendo:

TBS ar externo – temperatura de bulbo seco do ar externo, expresso em (°C)

TBS ar interno – temperatura de bulbo seco do ar interno, expresso em (°C)

Tem-se um acréscimo de 3 °C na temperatura de bulbo seco do ar externo nos ambientes considerados não condicionados conforme as especificações da NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

3.2.2.2 Carga térmica pela transmissão de calor por superfícies transparentes

Define o quanto superfícies transparentes, como janelas, podem influenciar na carga térmica final. Os fatores levados em conta foram a área da superfície, o fator de sombreamento, o ganho de calor por insolação (depende da orientação e localização) e o fator de carga de resfriamento.

Determina-se o valor da transmissão de calor em superfícies transparentes, através da equação (3):

$$Q_{sins} = A \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF \quad (3)$$

Sendo:

A a área da janela, expressa em (m²);

SC o fator de sombreamento;

SHGF o fator de ganho de calor por insolação, expresso em (W/m²);

CLF o fator de carga de resfriamento em função do horário.

O Fator de sombreamento (SC) varia conforme o tipo de vidro e se tem a aplicação de películas ou outros fatores que implicam no sombreamento da área. O SC escolhido para o procedimento dos cálculos tem como origem a Tabela 11 apresentada na norma de referência. Na metodologia do estudo, o fator de sombreamento adotado para o vidro simples (6 mm) teve como valor 0,87 (adimensional).

Tabela 11 – Fator de sombreamento para o vidro de 6mm

| Simples | Simples + cortina | Refletivo + cortina |
|---------|-------------------|---------------------|
| 0,87 | 0,55 | 0,3 |

Fonte: NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

O Fator de ganho de calor por insolação (SHGF) varia conforme o mês e a orientação (Norte, Sul, Leste e Oeste). Como a análise é realizada considerando-se o período de maior insolação, esse parâmetro foi escolhido para o mês de janeiro. Os valores adotados, de acordo com a latitude e para o mês de janeiro, podem ser conferidos na Tabela 12.

Tabela 12 – Fator de ganho de calor

| Latitude Sul (°) | 22,82 - 23,62 |
|------------------|-----------------------------|
| Orientação | Unidade (W/m ²) |
| Norte | 142 |
| Leste | 672 |
| Sul | 145 |
| Oeste | 672 |

Fonte: Adaptada da NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

O Fator de Carga de Resfriamento em Função do Horário (CLF) também é influenciado pela orientação geográfica e, além disso, pelo horário, que para o caso em estudo estabeleceu-se o das 16h. Para a escolha do CLF utilizou-se os valores estipulados na NBR 16655-3, de acordo com a Tabela.13 (ABNT, 2019).

Tabela 13 – Fator de carga de resfriamento em função do horário (CLF)

| Orientação geográfica | CLF |
|-----------------------|------|
| Norte | 0,75 |
| Leste | 0,17 |
| Sul | 0,35 |
| Oeste | 0,82 |
| Horizontal | 0,58 |

Fonte: Adaptada de NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

3.2.2.3 Renovação e infiltração de ar

Com o intuito de encontrar a carga térmica para a renovação e infiltração do ar, determinou-se a vazão de ar em volume infiltrado ou de renovação no ambiente, a vazão de ar em massa infiltrada ou de renovação, e as parcelas referentes ao calor latente e ao calor sensível.

3.2.2.3.1 Cálculo da vazão de ar em volume infiltrado ou de renovação

A equação (4) serviu para determinar a vazão de ar em volume infiltrado ou de renovação.

$$Q_{ae} = Q_{inf} \cdot A \quad (4)$$

Sendo:

Q_{ae} a vazão de ar externo, expresso em (m³/h);

Q_{inf} a vazão de ar externo infiltrado ou de renovação expresso em (m³/h) / (m² de piso);

A a área do piso, expressa em (m²).

Considerou-se o valor mínimo recomendado pela NBR 16655-3 (ABNT, 2019) de 1 L/s.m² (3,6 m³/h.m²) de vazão de ar externo infiltrado ou de renovação (Q_{inf}) para cada ambiente residencial.

3.2.2.3.2 Cálculo da vazão em massa de ar infiltrado ou de renovação

A vazão em massa de ar infiltrado ou de renovação foi encontrada através da equação (5).

$$m_{ae} = (Q_{ae}) \cdot \left(\frac{1}{3600}\right) \cdot \rho \quad (5)$$

Sendo:

m_{ae} é a vazão em massa de ar externo, expressa em (kg/s);

Q_{ae} é a vazão em volume de ar externo, expressa em (m³/h);

ρ é a massa específica do ar externo, expressa em (kg/m³).

3.2.2.3.3 Cálculo da carga de ar externo total

Para encontrar o valor da carga de ar externo total, deve-se considerar o calor sensível e o latente, e, para tanto, aplica-se o seguinte roteiro de cálculo:

a) O calor sensível foi calculado conforme a equação (6):

$$Q_{sae} = Q_{tae} - Q_{lae} \quad (6)$$

Sendo:

Q_{sae} o calor sensível do ar externo, expresso em (W);

Q_{tae} o calor total, expresso em (W);

Q_{lae} o calor latente, expresso em (W).

b) O calor total do ar externo é calculado conforme a equação (7):

$$Q_{tae} = m_{ae} \cdot (h_{ae} - h_{amb}) \quad (7)$$

Sendo:

m_{ae} a vazão em massa de ar externo, expressa em (kg/s);

h_{ae} a entalpia do ar externo, expressa em (kJ/kg);

h_{amb} a entalpia do ar do ambiente, expressa em (kJ/kg).

c) O calor latente do ar externo, é calculado conforme a equação (8).

$$Q_{lae} = m_{ae} \cdot h_{lv} \cdot (W_{ae} - W_{amb}) \quad (8)$$

Sendo:

m_{ae} é a vazão em massa de ar externo, expressa em (kg/s);

h_{lv} é o calor latente de vaporização da água (2.501 kJ/kg);

W_{ae} é a umidade absoluta do ar externo, expressa em (kg/kg);

W_{amb} é a umidade absoluta do ar do ambiente, expressa em (kg/kg).

3.2.2.4 Cálculo da carga térmica interna

Essa parcela da carga térmica é composta pelo calor fornecido através dos elementos que participam do ambiente interno. Os fatores que influenciam são a quantidade de pessoas, iluminação e equipamentos que dissipam calor.

3.2.2.4.1 Calor interno relacionado às pessoas

Para a determinação da carga térmica relacionada às pessoas, levou-se em conta o calor latente e o calor sensível emitido por um número de pessoas que ficam no ambiente, conforme descrito a seguir:

a) Calor sensível referente às pessoas

A equação (9) é aplicada para o cálculo do calor sensível relacionado às pessoas:

$$Q_{\text{pessoas}} = n^{\circ}\text{pessoas} \cdot c_{\text{pessoa}} \cdot CLF \quad (9)$$

Sendo:

Q_{pessoas} o calor sensível referente às pessoas, expresso em (W);

$n^{\circ}\text{pessoas}$ a quantidade de pessoas;

c_{pessoa} o calor sensível por pessoa, em função da atividade, expresso em (W/pessoa);

CLF o fator de carga de resfriamento adimensional.

O calor sensível por pessoa, em função da atividade, e o fator de carga de resfriamento adimensional foram escolhidos a partir da Tabela 14, que relaciona a quantidade de pessoas, sua atividade e o CLF com o calor sensível e com o calor total.

Tabela 14 - Carga térmica interna em função de pessoas, iluminação e equipamentos

| Atividade | Calor sensível (W/pessoa) | Calor total (W/pessoa) | CLF |
|------------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----|
| Pessoas sentadas, trabalho leve | 75 | 150 | 1 |
| Dançando | 120 | 375 | --- |

Fonte: NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

b) Calor latente referente às pessoas

A equação (10) é aplicada para o cálculo do calor latente relacionado às pessoas:

$$Q_{\text{pessoas}} = n^{\circ}\text{pessoas} \cdot (c_{\text{tpessoa}} - c_{\text{spessoa}}) \quad (10)$$

Sendo:

Q_{pessoas} o calor latente referente a pessoas, expresso em (W);

$n^{\circ}\text{pessoas}$ a quantidade de pessoas;

c_{tpessoa} o calor total por pessoa, em função da atividade, expressa em (W/pessoa);

c_{spessoa} o calor sensível por pessoa em função da atividade, expressa em (W/pessoa);

CLF o fator de carga de resfriamento adimensional.

Os valores adotados para o calor total por pessoa, em função da atividade expressa (c_{tpessoa}), o calor sensível por pessoa em função da atividade expressa (c_{spessoa}) e o fator de carga de resfriamento adimensional (CLF) foram retirados do Tabela 14.

3.2.2.4.2 Calor interno relacionado à iluminação

A estimativa da potência instalada deve ser calculada conforme a equação (11).

$$P_{\text{silum}} = A \cdot c_{\text{silum}} \quad (11)$$

Sendo:

P_{silum} a potência instalada de iluminação, expressa em (W);

A a área de piso expressa em (m^2);

c_{silum} a potência instalada específica, expressa em (W/m^2).

Os valores adotados para potência instalada específica (csilum) tem como base a Tabela 15, retirada da norma NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

Tabela 15 – Carga térmica interna em função da iluminação

| Iluminação | Potência (W/m ²) | CLF |
|-------------------|------------------------------|-----|
| Escritório | 12 | 1 |
| Sala de jantar | 23 | 1 |
| Quartos de dormir | 10 | 1 |

Fonte: Adaptada de NBR 16655-3 (ABNT, 2019).

A carga sensível de iluminação deve ser calculada conforme a equação (12).

$$Q_{silum} = P_{silum} \cdot CLF \quad (12)$$

Sendo:

Q_{silum} é a carga sensível de iluminação, expressa em watts (W);

P_{silum} é a potência instalada de iluminação, expressa em watts (W);

CLF é o fator de carga de resfriamento adimensional.

3.2.2.4.3 Calor interno relacionado aos equipamentos

Para calcular a carga sensível de equipamentos, deve-se utilizar a equação (13).

$$Q_{equip} = P_{equip} \cdot CLF \quad (13)$$

Sendo:

Q_{equip} a carga sensível de equipamentos, expressa em (W);

P_{equip} a potência instalada de equipamentos, expressa em (W);

CLF o fator de carga de resfriamento adimensional.

Os valores atribuídos para as potências dos equipamentos eletrônicos podem ser vistos na Tabela 16.

Tabela 16 - Potência unitária dos equipamentos

| Equipamentos | Potência unitária (W) |
|--------------|-----------------------|
| Televisão | 250 |
| Computador | 135 |
| Geladeira | 780 |
| Fogão | 107000 |
| Microondas | 600/1400 |

Fonte: Adaptada de (ASHARE, 2001) e NBR 166553 (ABNT, 2019).

O Fator de carga de resfriamento (CLF) varia de acordo com a utilização do equipamento; neste estudo, o CLF adotado foi 0,8 (adimensional) para a televisão e o computador.

3.2.2.5 Somatória das cargas térmicas

Os valores calculados nos itens anteriores foram organizados em uma tabela do EXCEL e, assim, fez-se uma somatória das parcelas respectivas do calor sensível, do calor latente e do calor total.

3.3 CENÁRIO 2: SITUAÇÃO PROPOSTA

Neste cenário, o projeto da Moradia popular foi modificado, com estratégias de resfriamento passivo, pensando no decréscimo da carga térmica. Para tanto foram escolhidas algumas técnicas arquitetônicas.

As medidas adotadas visam:

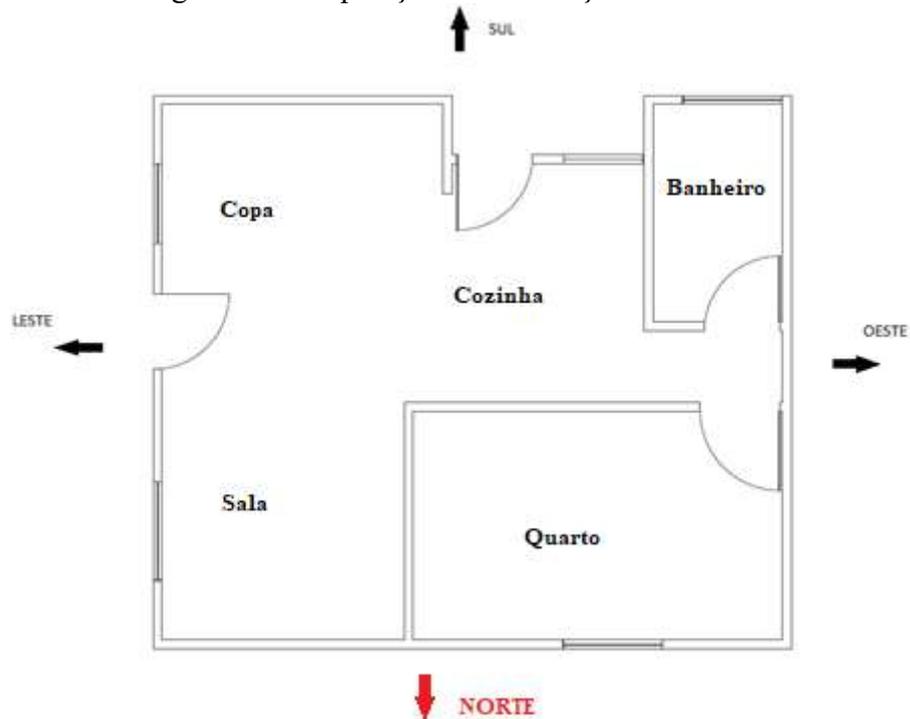
- Aumentar a área das aberturas para ventilação;
- Sombreamento de todas as aberturas nos períodos críticos de verão;
- Alterar as características térmicas da parede, ou seja, a absorvidade;
- Alterar as características das aberturas para permitir a ventilação cruzada.

3.3.1 Orientação no terreno de acordo com a radiação solar

No Brasil o clima é predominantemente quente, pois devido a sua posição no globo terrestre, o país recebe alta incidência solar. Segundo Dubreuil et al. (2018), a classificação de climas de Köppen indica que mais de 80% do território brasileiro tem o clima tropical. Portanto, escolher a orientação da construção é importante para o conforto térmico, devido à interferência na carga térmica.

A definição da melhor posição da construção de acordo com a radiação solar teve como estratégia reduzir a insolação nos componentes da moradia que deveria receber mais ou menos quantidade de calor. No caso, evitou-se colocar a parede com mais janelas, por conta do vidro, que deixa passar a radiação direta, nas direções norte e oeste, pois recebem o sol nos horários mais quentes. Na Figura 26 apresenta-se o esquema que ilustra como foi adotada a orientação da casa no terreno, de acordo com as direções norte, sul, leste e oeste.

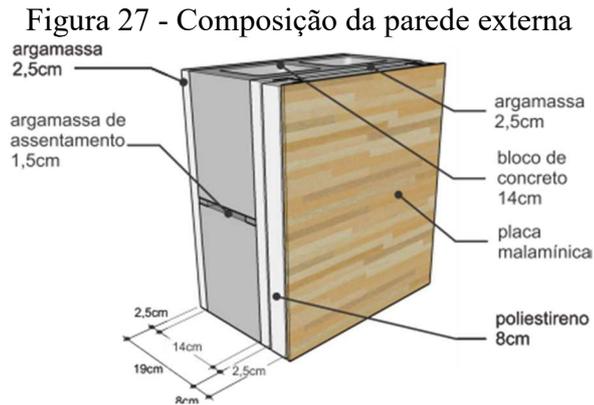
Figura 26 - Disposição da construção no terreno



Fonte: Autora.

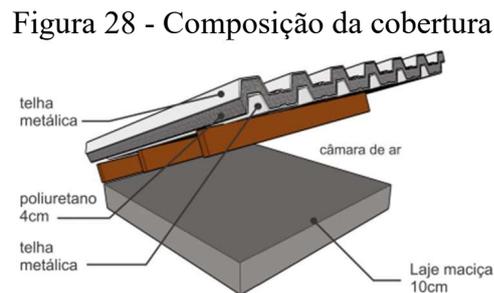
3.3.2 Alteração dos materiais da envoltória

Para aumentar a inércia da envoltória modificou-se os elementos da composição da mesma. Uma das alterações dos materiais foi modificar a configuração das paredes externas com adição do isolante térmico poliestireno de maneira similar à Figura 27. Para o revestimento, a cor escolhida para a pintura externa foi a branca (a mais próxima possível).



Fonte: INMETRO (2013).

Na cobertura alterou-se o tipo de telha utilizada com a introdução de uma camada de poliuretano em conjunto com uma laje maciça; pode-se verificar um modelo parecido com o esperado na Figura 28.



Fonte: INMETRO (2013).

No Quadro 2, tem-se a configuração da envoltória com as citadas alterações nos componentes da parede e cobertura.

Quadro 2 - Descrição dos elementos da envoltória

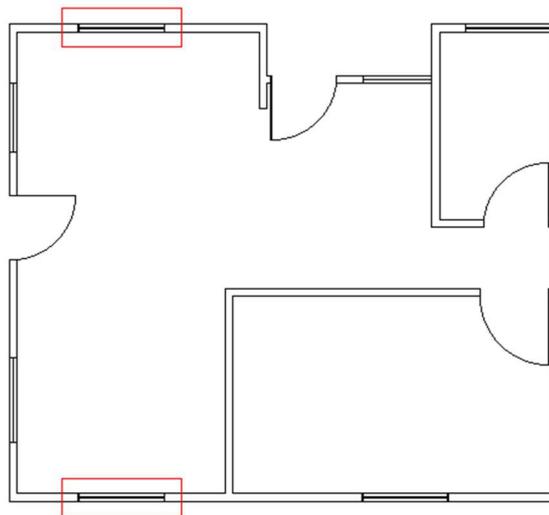
| Descrição | Característica |
|--------------------------|--|
| Paredes externas | Filme externo de ar + Argamassa + Bloco de concreto + Poliuretano + Placa melamínica + Filme de ar interno |
| Paredes internas | Filme interno de ar + Reboque + Bloco de concreto + Reboque |
| Laje superior e inferior | Filme interno de ar + concreto de laje maciça+ filme interno de ar |
| Telhado | Filme externo de ar + telha metálica + poliuretano + telha metálica + filme interno de ar |

Fonte: Autora.

3.3.3 Configuração das janelas e aberturas do ambiente

Com o intuito de melhorar a vazão do ar no ambiente aumentou-se a área de abertura da construção colocando mais duas janelas, uma na parede ao norte e outra na ao sul, conforme a configuração mostrada na Figura 29. Além disso, o modelo escolhido para as janelas, visto na Figura 30, possui venezianas, que são pequenas aberturas que permitem a passagem do ar mesmo quando as janelas estão fechadas, como por exemplo, no período noturno. Outra técnica utilizada para aumentar a ventilação foi incluir uma bandeira de veneziana em cima de cada uma das portas internas, para induzir à ventilação cruzada, inclusive quando as mesmas estiverem fechadas.

Figura 29 - Aplicação das janelas



Fonte: Autora.

O *software* FluxoVento (CARVALHO; MARTHA, 2005) serviu como apoio para verificar como o fluxo de ar flui com as alterações propostas de forma a concluir se o escoamento do vento atuaria favoravelmente.

Figura 30 – Exemplo de janela com veneziana



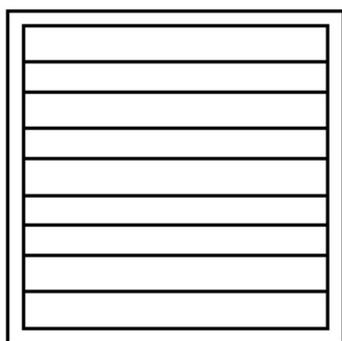
Fonte: SERTÃO (2020)⁷.

3.3.4 Sombreamento

A radiação solar direta teve sua redução com a inserção de protetores solares (brises) nas janelas. Para as aberturas posicionadas ao norte optou-se por hastes horizontais, por ser a posição que recebe maior quantidade de calor proveniente do sol, e, nas da orientação leste aplicou-se por brises com hastes verticais. Já nas janelas na orientação sul, não foram incluídas as proteções solares, por ser um local de baixa insolação.

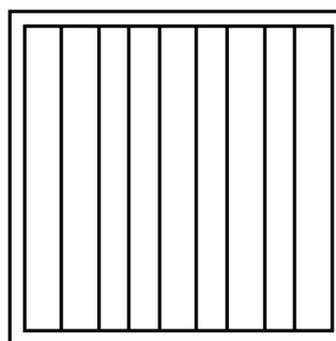
Os brises escolhidos foram os para aplicação exterior; eles possuem estrutura metálica, com dimensão de 1m x 1m, espaçamento de 0,12 cm entre cada haste e confeccionados na cor branca, devido à baixa absorvidade da mesma. A ilustração dos tipos de dispositivos utilizados pode ser vista nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 - Brise com hastes horizontais



Fonte: Autora.

Figura 32 – Brise com hastes verticais



Fonte: Autora.

⁷ Disponível em: < www.sertao.com.br >. Acesso em março de 2020.

3.3.5 Cálculo da carga térmica

A determinação da carga térmica do ambiente após as devidas alterações foi feita através do mesmo procedimento adotado para a situação inicial, da forma exposta no item 3.2.2, baseado na NBR 16655-3 (ABNT, 2019), com as modificações dos valores que foram consequência da implementação das técnicas passivas.

3.4 CENÁRIO 3: SITUAÇÃO PROPOSTA

Neste cenário o projeto da Moradia popular também foi modificado, com estratégias de resfriamento passivo, para promover o decréscimo da carga térmica. Para tanto foram escolhidas algumas técnicas arquitetônicas.

As medidas adotadas visam:

- Sombreamento das aberturas orientadas para o Norte nos períodos críticos de verão;
- Alterar as características térmicas da parede para o aumento da inércia térmica;
- Alterar as características térmicas da cobertura para o aumento da inércia térmica.

3.4.1 Orientação no terreno de acordo com a radiação solar

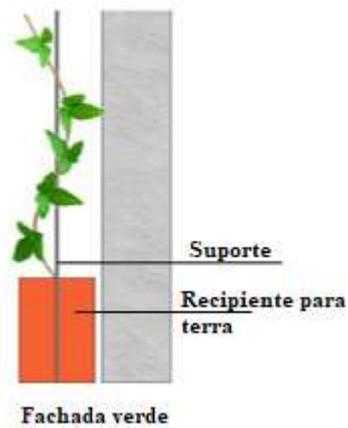
A orientação da casa no terreno foi feita da mesma forma que para o cenário 2, presente no item 3.3.1, com a configuração igual a vista na Figura 26.

3.4.2 Alteração dos materiais da envoltória

Para aumentar a inércia da envoltória modificou-se os elementos da composição da mesma, como as paredes externas e a cobertura.

A parede com a face voltada para o Oeste teve a adição de uma cobertura vegetal, conforme o modelo da Figura 33. O método aplicado foi o visto em ANDRIC; KAMAL e AL-GHANDI, (2020), que utiliza paredes vivas modulares, onde a vegetação é plantada em treliças modulares, preenchidas com meios de plantio (neste caso, solo), que são fixadas diretamente nas paredes externas com a ajuda de estruturas de suporte; os valores adotados para as propriedades da vegetação estão descritos na Tabela 17.

Figura 33 – Modelo de aplicação da vegetação na parede



Fonte: Stav; Lawson (2012).

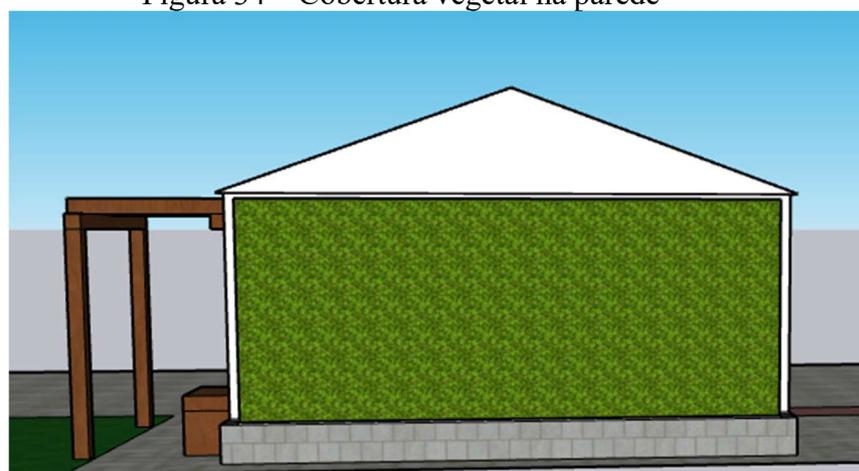
Tabela 17 – Propriedades da vegetação

| Propriedades da planta | |
|---------------------------------------|------|
| Condutividade (W/m) | 1,21 |
| Calor específico (J/kgK) | 840 |
| Massa específica (kg/m ³) | 1960 |

Fonte: Adaptado de Lassandro; Turi (2017).

Na aplicação da cobertura vegetal na parede, optou-se por construir um canteiro de blocos de concreto com 5,59m de comprimento, 0,47m de largura e 0,78m de altura e inseriu-se uma grade de metal com a função de estrutura de apoio para planta; o esquema adotado pode ser visto na Figura 34.

Figura 34 – Cobertura vegetal na parede

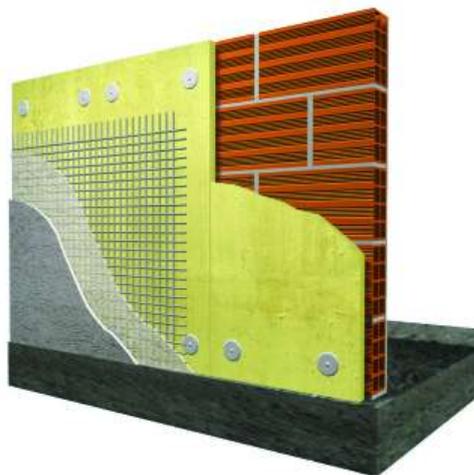


Fonte: Autora.

Mudou-se os componentes das paredes externas na direção Norte, Leste e Sul, adicionando-se uma camada de isolante térmico, composto de lã de rocha na espessura de

75mm, depois dos blocos de concreto, na parte interna, em uma forma similar à demonstrada na Figura 35.

Figura 35 – Exemplo de aplicação da lã de rocha na parede externa



Fonte: FIBROSOM (2021)⁸.

Na cobertura alterou-se o tipo de telha para uma de cerâmica esmaltada na cor branca, de acordo com a Figura 36. Além disso, foi adicionado um isolante térmico (lã de rocha), o qual foi aplicado entre a estrutura do telhado e as telhas, tal como esboçado na Figura 37.

Figura 36 – Telha de cerâmica esmaltada branca

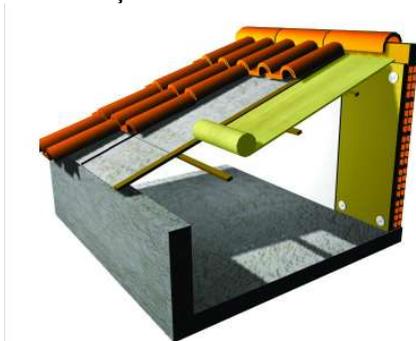


Fonte: COMPRETELHAS (2021)⁹.

⁸ Disponível em: < www.fibrosom.com.br >. Acesso em janeiro de 2021.

⁹ Disponível em: < www.compretelhas.com.br >. Acesso em janeiro de 2021.

Figura 37– Inserção de manta térmica na cobertura



Fonte: FIBROSOM (2021)¹⁰.

No Quadro 3, tem-se a configuração da envoltória com as citadas alterações nos componentes da parede e cobertura.

Quadro 3- Descrição dos elementos da envoltória

| Descrição | Característica |
|---------------------------------------|---|
| Paredes externas (Norte, Sul e Leste) | Filme externo de ar +Reboque+ Argamassa + Bloco de concreto + manta térmica (lã de rocha) + Reboque + Filme de ar interno |
| Parede externa (Oeste) | Filme externo de ar + Vegetação+ Reboque + Argamassa + Bloco de concreto + Reboque + Filme de ar interno |
| Paredes internas | Filme interno de ar + Reboque + Bloco de concreto + Reboque |
| Laje superior e inferior | Filme interno de ar + concreto de laje maciça+ filme interno de ar |
| Telhado | Filme externo de ar + telha cerâmica esmaltada + manta térmica (lã de rocha) + filme interno de ar |

Fonte: Autora.

3.4.3 Sombreamento

Adicionou-se uma pérgola na parede de orientação Norte, em cima da janela, para que fosse obtido o sombreamento externo da mesma, reduzindo a insolação. A pérgola tem sua composição feita por madeira e área total de 3,75m², sendo 2,5m de comprimento, 1,5m de profundidade e altura de 2,30m. As toras de madeira compõem-se pelo formato cúbico de aresta de 0,15m. Nas figuras 38, 39 e 40 pode-se verificar a estrutura da mesma, posição diante a moradia e suas medidas.

¹⁰ Disponível em: < www.fibrosom.com.br >. Acesso em janeiro de 2021.

Figura 40 – Posição da Pérgola



Fonte: Autora.

Para o cálculo da carga térmica referente à janela de orientação Norte, utilizou-se como referência o fator de sombreamento de 0,25, indicado para brises horizontais, pois de acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2009), pérgolas podem ser consideradas esse tipo de proteção solar; no Quadro 4 dispõe-se dos valores para fator de sombreamento (FS) para cada caso.

Quadro 4 – Fator de sombreamento

| Proteções solares | | Fs |
|--------------------------|------------------------------|-------------|
| Internas | Cortina translúcida | 0,50 - 0,75 |
| | Cortina semitranslúcida | 0,40 - 0,60 |
| | Cortina Opaca | 0,35 - 0,60 |
| | Persiana inclinada 45° | 0,64 |
| | Persiana fechada | 0,54 |
| Externas | Toldo 45° translúcido *** | 0,36 |
| | Toldo 45° opaco *** | 0,2 |
| | Venezianas (mad/plast) | 0,09 |
| | Esteira de madeira | 0,09 |
| | Venezianas horiz. ** | 0,19 |
| | Brise horiz. *** | 0,25 |
| | Prateleira de luz espelhada* | 0,58 |
| | "Tampão" de madeira | 0,07 |

*Com vidro duplo, horizontal, metade da abertura com insolação direta

**Com vidro duplo, branca e a razão largura/espacamento=1,0

***Toda a abertura está sombreada

Fonte: Lamberts et al. (2014).

Considerando o sombreamento interno, optou-se pela utilização de cortinas opacas nas

janelas de orientação Sul e Leste, com o fator de sombreamento de 0,55, verificado na Tabela 11. Na Figura 41 tem-se um exemplo de cortina aplicada para esse intuito.

Figura 41– Exemplo de cortina



Fonte: MERCADOLIVRE (2021)¹¹.

Além das opções sugeridas anteriormente, outra sugestão para a redução da quantidade de calor proveniente da incidência solar consiste na inserção de películas nos vidros, com o fator de sombreamento no valor de 0,30.

3.5 ESTUDO ENERGÉTICO DE ACORDO COM O PROCEL

O estudo enérgico tem como função verificar a eficiência energética e mensurar o consumo de energia elétrica quando há uso de ar condicionado, visando o conforto térmico, e quando são aplicadas as técnicas passivas para redução do uso do mesmo. Para tanto, serão seguidas as especificações descritas pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) do INMETRO (INMETRO, 2009).

3.5.1 Índice de eficiência energética da envoltória

Segundo o RTQ-C (INMETRO, 2009), para a localização analisada e áreas menores ou iguais a 500 m², o índice de eficiência energética da envoltória se dá pela seguinte equação:

¹¹ Disponível em: < www.mercadolivre.com.br >. Acesso em janeiro de 2021.

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -175,30 \cdot FA - 219,79 \cdot FF + 21,86 \cdot PAFt + 5,59 \cdot FS - 0,19 \cdot AVS + 0,15 \cdot \\
 & AHS + 275,19 \cdot \frac{FA}{FF} + 213,35 \cdot FA \cdot FF \cdot 0,04 \cdot PAFt \cdot FS \cdot AVS - 0,45 \cdot PAFt \cdot AHS + \\
 & 190,42
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Sendo:

IC_{env}: Indicador de consumo da envoltória (adimensional);

AVS: ângulo vertical de sombreamento, entre 0° e 45°;

AHS: ângulo horizontal de sombreamento, entre 0° e 45°;

FF: fator de forma, (A_{env}/V_{tot});

FA: fator de altura, (A_{pcob}/A_{tot});

FS: fator solar;

PAFt: Percentual de abertura na fachada total (adimensional).

A eficiência da envoltória deve estar dentro do intervalo entre o índice máximo e o mínimo. Portanto, para classificá-la tem-se que calcular esses valores e também o intermédio dos mesmos.

O indicador de consumo máximo (IC_{maxD}) e o indicador de consumo mínimo (IC_{min}) são determinados com a equação (14), utilizando-se os dados das Tabelas 18 e 19, respectivamente.

Tabela 18 - Parâmetros do IC_{maxD}

| PAF | FS | AVS | AHS |
|-----|------|-----|-----|
| 0,6 | 0,61 | 0 | 0 |

Fonte: INMETRO (2009).

Tabela 19 - Parâmetros do IC_{min}

| PAF | FS | AVS | AHS |
|------|------|-----|-----|
| 0,05 | 0,87 | 0 | 0 |

Fonte: INMETRO (2009).

O valor do intervalo (i) é dado pela equação:

$$i = \frac{(IC_{maxD} - IC_{min})}{4}
 \tag{15}$$

Com o valor encontrado para i preenche-se a Tabela 20 para determinar qual o nível de eficiência da envoltória.

Tabela 20 - Classificação da eficiência energética da envoltória

| Eficiência | A | B | C | D | E |
|------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| Lim Mín | --- | $IC_{\max D} - 3i + 0,01$ | $IC_{\max D} - 2i + 0,01$ | $IC_{\max D} - i + 0,01$ | $IC_{\max D} + 0,01$ |
| LimMáx | $IC_{\max D} - 3i$ | $IC_{\max D} - 2i$ | $IC_{\max D} - i$ | $IC_{\max D}$ | --- |

Fonte: INMETRO (2009).

3.6 ANÁLISE DE CUSTOS

Para a análise dos custos aferiu-se os gastos, através de uma pesquisa na internet, para a implementação das técnicas passivas de resfriamento natural nos dois cenários propostos. No estudo foram verificados, somente, os valores necessários para os materiais escolhidos, sem a adição do capital devido à mão de obra para aplicação dos mesmos.

Além disso, fez-se a estimativa do valor da aplicação de aparelhos de ar condicionado e seu consumo de energia elétrica, considerando o cenário 1, onde não se aplicaram as modificações propostas para aumento do conforto térmico. Os aparelhos de ar condicionado foram escolhidos de acordo com a lista do INMETRO (2021) considerando o valor adequado de BTU/h comparando o obtido através do cálculo da carga térmica para o cenário 1, assim chegando aos da marca *Daikin Mcquay*, um com 36000BTU/h e outro com 12000BTU/h.

Também foi verificada a relação Custo-Benefício (RCB), que de acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2009) é um indicador que relaciona os benefícios de um projeto e os seus custos, sempre em valores monetários, que deve ser calculado através da equação (16):

$$RCB = \frac{(CT \times FRC)}{(EE \times CE)} \quad (16)$$

Sendo:

RCB é a relação custo-benefício;

CT é o custo apropriado do projeto [R\$];

FRC é o fator de recuperação de capital;

EE é a energia elétrica conservada [MWh/ano];

CE é o custo evitado de energia [R\$/MWh].

O cálculo do fator de recuperação de capital é dado a partir da equação (17):

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (17)$$

Sendo:

i é a taxa de juros ao ano;

n é a vida útil do equipamento.

Para efetuar o cálculo aderiu-se dois valores para a taxa de mercado um de 5% e outro de 10% ao ano devido a esse fator variar ao longo do tempo, e considerou-se dois períodos de vida útil dos insumos, um de 10 anos e outro de 20 anos. A RCB usada para comparação foi o de 0,8, sendo o valor máximo estipulado pelo Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (ANEEL, 2008) para projetos de eficiência energética.

3.7 ANÁLISE COMPARATIVA

Na análise comparativa fez-se uma relação entre os valores obtidos para os estudos térmico e energético, nos dois cenários estipulados, verificando-se quais materiais utilizados tiveram uma maior influência para a diminuição da carga térmica e, também, para o aumento do conforto térmico.

Além disso, comparou-se o consumo de energia elétrica em cada caso e determinou-se qual situação obteve a melhor eficiência energética. No final da análise comparativa foi fornecido um parecer, concluindo se as técnicas passivas são eficientes para evitar o uso de ar condicionado, ou se pelo menos, reduziram a necessidade de condicionamento do ar.

4 RESULTADOS

4.1 CARGA TÉRMICA E CONFORTO TÉRMICO

Através dos cálculos baseados na NBR 16655-3 (ABNT, 2019) foi possível obter os valores das parcelas da carga térmica e a total, nos três cenários propostos.

4.1.1 Cenário 1: Situação real

Considerando as especificações do projeto feito pela prefeitura municipal de Guaratinguetá-SP encontrou-se as parcelas de carga térmica oriundas da transmissão de calor pelas superfícies externas, internas e transparentes, por insolação, infiltração e renovação do ar, das pessoas, dos equipamentos e da iluminação.

4.1.1.1 Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas

Os resultados obtidos com os componentes das paredes, janelas e laje podem ser vistos na Tabela 21, onde o valor total para a transmissão de calor pelas superfícies externas e internas foi de 7.249,91 W.

Tabela 21-Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas

| Parede/Janela/Laje | Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas (W) |
|--|--|
| Parede sul | 996,84 |
| Parede leste | 920,49 |
| Parede norte | 553,80 |
| Parede oeste | 726,70 |
| Janela sul - vidro | 108,00 |
| Janela norte - vidro | 48,00 |
| Janela norte - vidro | 40,00 |
| Janela oeste- vidro | 72,00 |
| Janela oeste- vidro | 90,00 |
| Laje/teto ambiente não condicionado | 2321,81 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 121,68 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 81,12 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 243,36 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 156,16 |
| Telhado | 769,96 |
| Total | 7249,91 |

Fonte: Autora.

4.1.1.2 Transmissão de calor por insolação

Os valores da transmissão de calor por insolação devido à orientação das janelas e sua área foram dispostos na Tabela 22. A soma das porções ficou em 1.236,75 W.

Tabela 22 - Transmissão de calor por superfície transparente

| Orientação | Transmissão de calor por superfície transparente (W) |
|--------------|--|
| Sul | 52,98 |
| Norte | 74,12 |
| Norte | 74,12 |
| Oeste | 575,29 |
| Oeste | 460,23 |
| Total | 1236,75 |

Fonte: Autora.

4.1.1.3 Carga térmica de infiltração e renovação

Os cálculos da carga térmica por infiltração e renovação do ar foram ilustrados na Tabela 23. O calor latente foi de 9,41 W e o calor sensível 396,05 W.

Tabela 23 – Carga térmica de infiltração e renovação do ar

| Energia | Vazão em volume (m ³ /h) | Vazão em massa (kg/s) | Varição de entalpia (kJ/kg) | Carga térmica do ar externo (W) |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|---------------------------------|
| Calor total do ar externo | 128,59 | 0,038 | 10,78 | 405,46 |
| | | | Varição de umidade específica kg vapor/kg de ar seco | |
| Calor latente (W) | 128,59 | 0,038 | 0,0001 | 9,41 |
| Calor sensível (W) | | | | 396,05 |

Fonte: Autora.

4.1.1.4 Carga térmica referente às pessoas, equipamentos e iluminação

As parcelas da carga térmica, provenientes das pessoas, equipamentos e iluminação podem ser vistas nas Tabelas 24 e 25. O valor total é 900 W para a quantidade de pessoas estipulada, e para os equipamentos presentes na casa obtém-se um resultado de 3.738,00 W.

Tabela 24 – Carga térmica relativa às pessoas

| Pessoas | Total unitário (W) | Total latente (W) | Total sensível (W) | Total (W) |
|---------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------|
| Sentadas em trabalho leve | 150 | 450 | 450 | 900 |

Fonte: Autora.

Tabela 25 – Carga térmica dos equipamentos

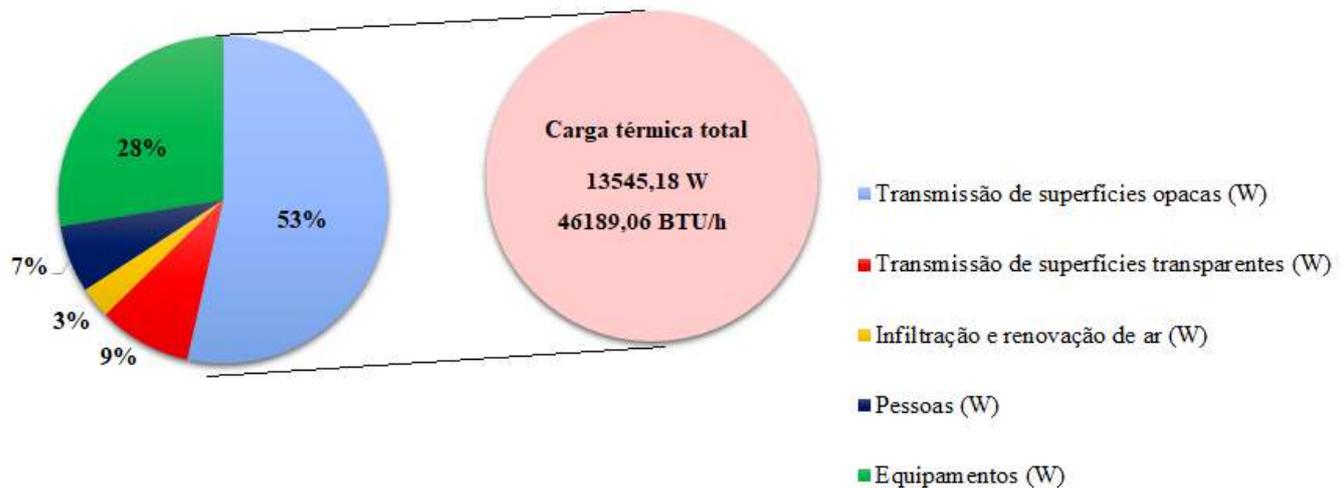
| Lâmpadas fluorescentes e equipamentos | Calor sensível (W) |
|---------------------------------------|--------------------|
| Lâmpadas fluorescentes 1 | 0 |
| Lâmpadas fluorescentes 2 | 0 |
| Televisão | 400,00 |
| Computador | 108,00 |
| Geladeira | 310,00 |
| Fogão | 1520,00 |
| Microondas | 1400,00 |
| Total | 3738,00 |

Fonte: Autora.

4.1.1.5 Resumo das cargas térmicas e total final

O resumo das parcelas das cargas térmicas, em porcentagem, e o total da somatória das mesmas pode ser visto no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Carga térmica total para o cenário 1



Fonte: Autora.

4.1.2 Cenário 2: Situação proposta

Com as modificações propostas encontrou-se as parcelas de carga térmica oriundas da transmissão de calor pelas superfícies externas, internas e transparentes, por insolação, infiltração e renovação do ar, das pessoas, dos equipamentos e da iluminação.

4.1.2.1 Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas

Os resultados obtidos para a transmissão de calor pelas superfícies externas e internas, considerando os componentes das paredes, janelas e laje, estão organizados na Tabela 26, demonstrando os parciais e chegando no valor total de 4.108,35 W.

Tabela 26 - Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas

| Parede/Janela/Laje | Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas (W) |
|--|--|
| Parede Norte | 69,81 |
| Parede Oeste | 91,61 |
| Parede Sul | 125,65 |
| Parede Leste | 116,03 |
| Janela Norte - vidro | 40,00 |
| Janela Sul - vidro | 72,00 |
| Janela Sul - vidro | 72,00 |
| Janela Leste- vidro | 62,70 |
| Janela Leste- vidro | 76,00 |
| Janela sul | 90,00 |
| Janela Norte - vidro | 30,00 |
| Laje/teto ambiente não condicionado | 2321,81 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 121,68 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 81,12 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 243,36 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 156,16 |
| Telhado | 338,44 |
| Total | 4108,35 |

Fonte: Autora.

4.1.2.2 Transmissão de calor por insolação

Os valores da transmissão de calor por insolação devido a orientação das janelas e sua área foram dispostos na Tabela 27, onde a soma das porções ficou em 389,72 W.

Tabela 27 - Transmissão de calor por superfície transparente

| Orientação | Transmissão de calor por superfície transparente (W) |
|--------------|--|
| Norte | 74,12 |
| Sul | 35,32 |
| Sul | 35,32 |
| Leste | 65,60 |
| Leste | 79,51 |
| Sul | 44,15 |
| Norte | 55,59 |
| Total | 389,72 |

Fonte: Autora.

4.1.2.3 Carga térmica de infiltração e renovação

Para as cargas térmicas adquiridas por infiltração e renovação do ar os valores encontrados foram os mesmos que no item 4.1.1.3, pois os dados utilizados coincidem com os escolhidos para o cenário 1.

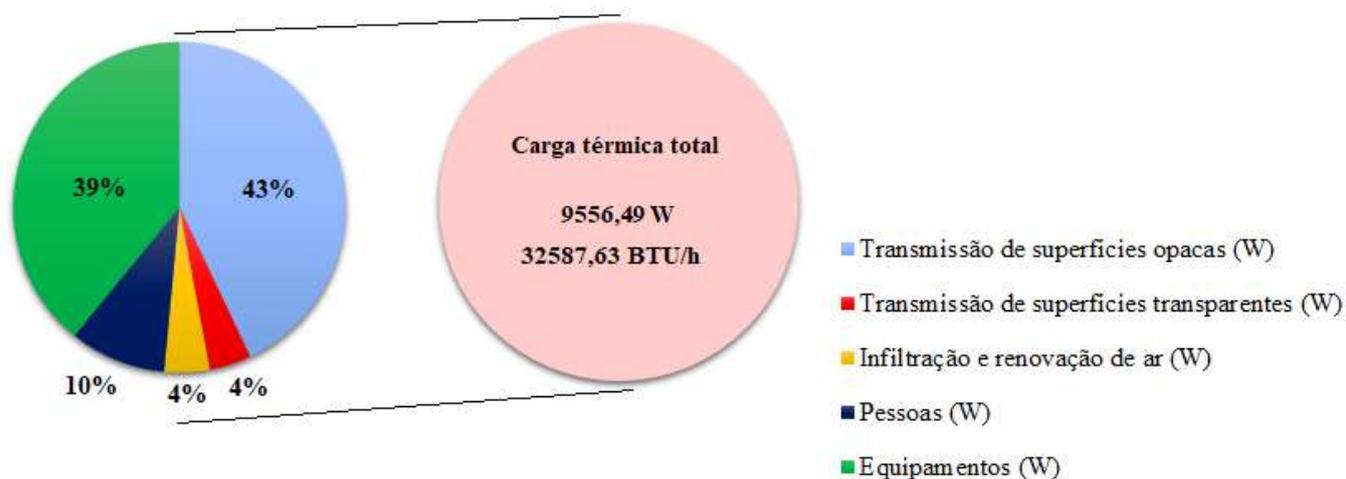
4.1.2.4 Carga térmica referente às pessoas, equipamentos e iluminação

Os resultados para as parcelas da carga térmica, provenientes das pessoas, equipamentos e iluminação são iguais aos vistos no item 4.1.1.4, devido à escolha do número de pessoas, equipamentos e tipo de iluminação terem sido similares ao indicado para o cenário 1.

4.1.2.5 Resumo das cargas térmicas e total final

No Gráfico 2, tem-se o resumo das parcelas das cargas térmicas, em porcentagem, encontradas para na transmissão de superfícies opacas, transparentes, por infiltração e renovação de ar, pessoas, iluminação e equipamentos, mostrando a somatória das mesmas e a transformação para a unidade BTU/h.

Gráfico 2 – Carga térmica total para o cenário 2



Fonte: Autora.

4.1.3 Cenário 3: Situação proposta

Com as modificações propostas encontrou-se as parcelas de carga térmica oriundas da transmissão de calor pelas superfícies externas, internas e transparentes, por insolação, infiltração e renovação do ar, das pessoas, dos equipamentos e da iluminação.

4.1.3.1 Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas

Os resultados obtidos para a transmissão de calor pelas superfícies externas e internas, considerando os componentes das paredes, janelas e laje, estão organizados na Tabela 28, demonstrando os parciais e chegando no valor total de 1665,72W.

4.1.3.2 Transmissão de calor por insolação

Os valores da transmissão de calor por insolação devido a orientação das janelas e sua área foram dispostos nas Tabelas 29 e 30, onde a soma das porções, com a aplicação de cortinas e pérgola ficou em 206,74W, e para apenas o uso de película obteve-se o total de 133,68W.

4.1.3.3 Carga térmica de infiltração e renovação

Para as cargas térmicas adquiridas por infiltração e renovação do ar os valores encontrados foram os mesmos que no item 4.1.1.3, pois os dados utilizados coincidem com os escolhidos para o cenário 1.

4.1.3.4 Carga térmica referente às pessoas, equipamentos e iluminação

Os resultados para as parcelas da carga térmica, provenientes das pessoas, equipamentos e iluminação são iguais aos vistos no item 4.1.1.4, devido à escolha do número de pessoas, equipamentos e tipo de iluminação terem sido similares ao indicado para o cenário 1.

Tabela 28 - Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas

| Parede/Janela/Laje | Transmissão de calor pelas superfícies externas e internas (W) |
|--|---|
| Parede Norte | 148,90 |
| Parede Leste | 68,56 |
| Parede Sul | 117,55 |
| Parede Oeste | 195,23 |
| Janela Leste - vidro | 48 |
| Janela Leste vidro | 32 |
| Janela Sul | 32 |
| Janela Sul | 38,4 |
| Janela Norte | 48 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 121,68 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 81,12 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 243,36 |
| Parede interna ambiente não condicionado | 156,16 |
| Telhado | 334,76 |
| Total | 1665,72 |

Fonte: Autora.

Tabela 29 - Transmissão de calor por superfície transparente (Cortina e pérgola)

| Orientação | Transmissão de calor por superfície transparente (W) |
|--------------|--|
| Leste | 75,40 |
| Leste | 50,27 |
| Sul | 22,33 |
| Sul | 26,796 |
| Norte | 31,95 |
| Total | 206,74 |

Fonte: Autora.

Tabela 30 - Transmissão de calor por superfície transparente (Película)

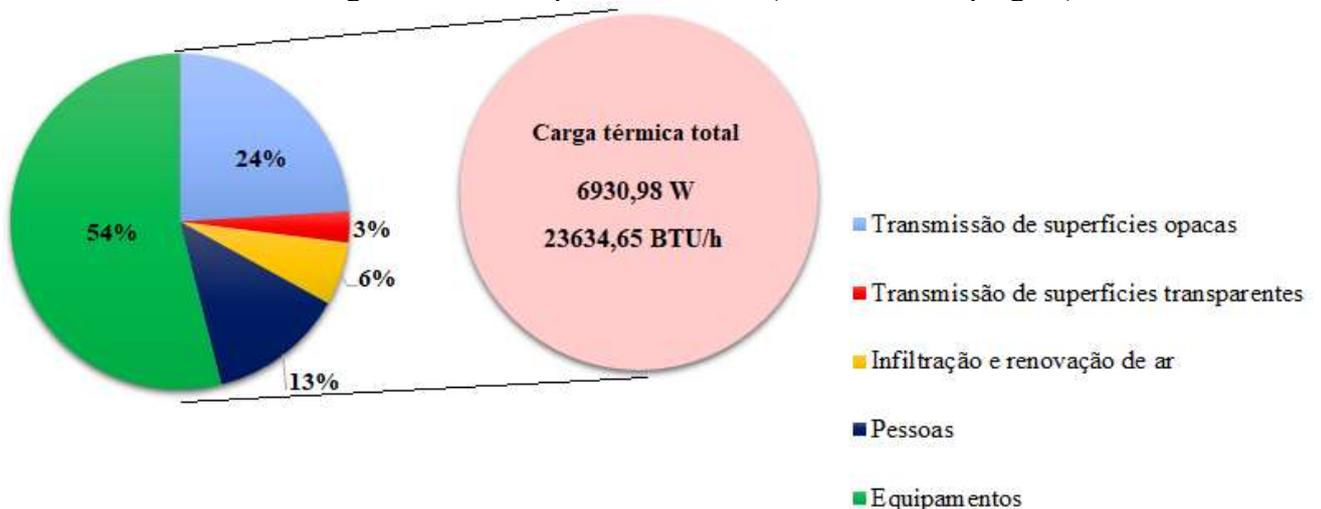
| Orientação | Transmissão de calor por superfície transparente (W) |
|--------------|--|
| Leste | 41,13 |
| Leste | 27,42 |
| Sul | 12,18 |
| Sul | 14,62 |
| Norte | 38,34 |
| Total | 133,68 |

Fonte: Autora.

4.1.3.5 Resumo das cargas térmicas e total final

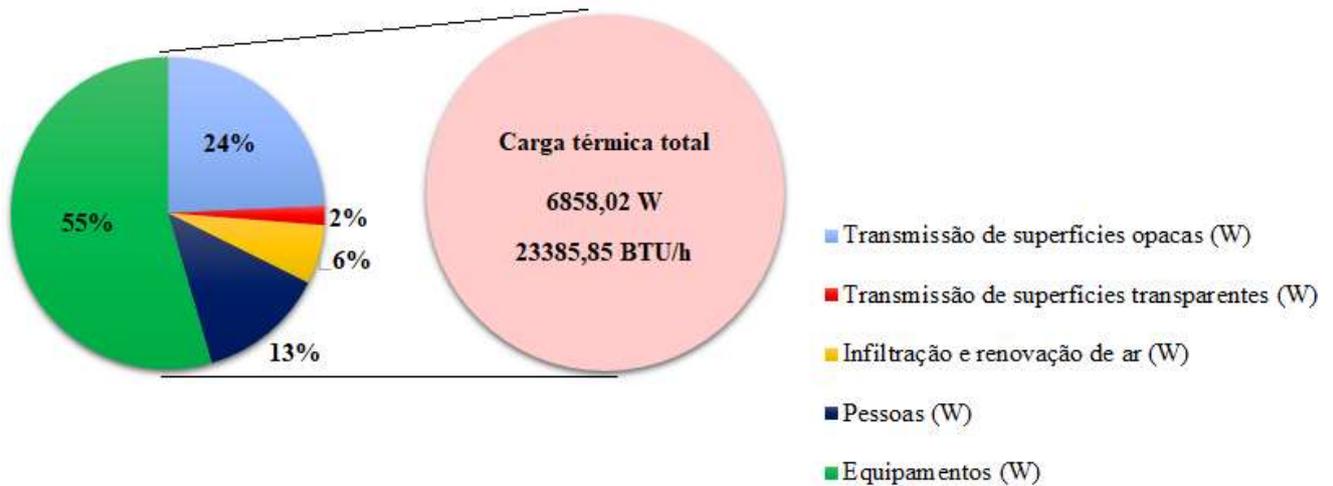
Nos Gráficos 3 e 4, tem-se o resumo das parcelas das cargas térmicas, em porcentagem, encontradas para a transmissão de superfícies opacas, transparentes, por infiltração e renovação de ar, pessoas, iluminação e equipamentos, mostrando a somatória das mesmas e a transformação para a unidade BTU/h.

Gráfico 3 – Carga térmica total para o cenário 3 (Com cortina e pérgola)



Fonte: Autora.

Gráfico 4 – Carga térmica total para o cenário 3 (Película)

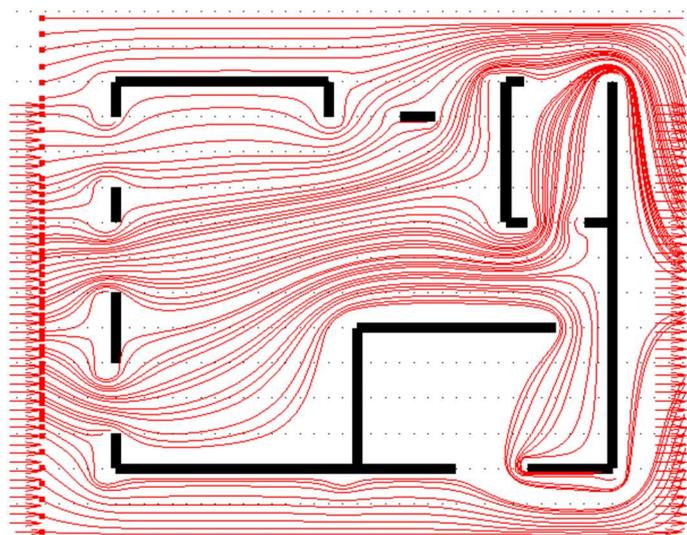


Fonte: Autora.

4.2 ANÁLISE DO ESCOAMENTO DE AR

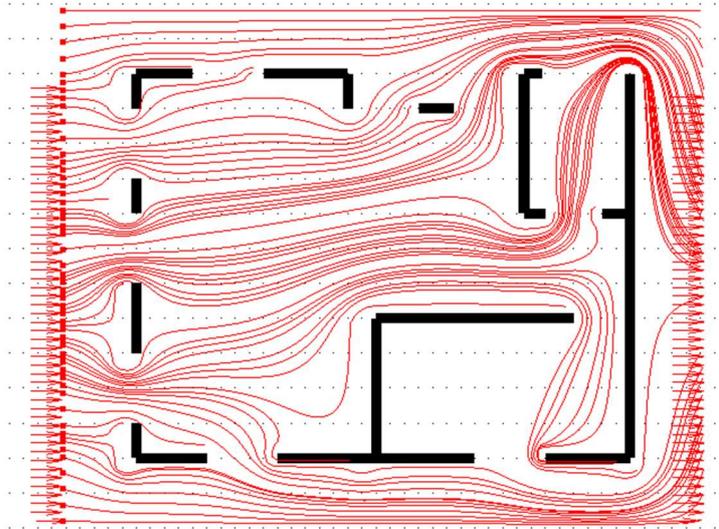
Através do *software* FluxoVento (CARVALHO; MARTHA, 2005), obteve-se a ilustração de como ocorre a distribuição da corrente de ar pela moradia, onde as linhas vermelhas representam o escoamento do ar. Na Figura 42 apresenta-se como o fluxo de ar acontece em cada cômodo da moradia, para o cenário 1; na Figura 43 pode-se ver o esquema do escoamento do ar, para o cenário 2, com a adição de duas janelas; já na Figura 44, tem-se o escoamento de ar para o cenário 3, sendo o mesmo que o cenário 1, pois não foram adicionadas aberturas na moradia.

Figura 42 – Fluxo de vento para o cenário 1



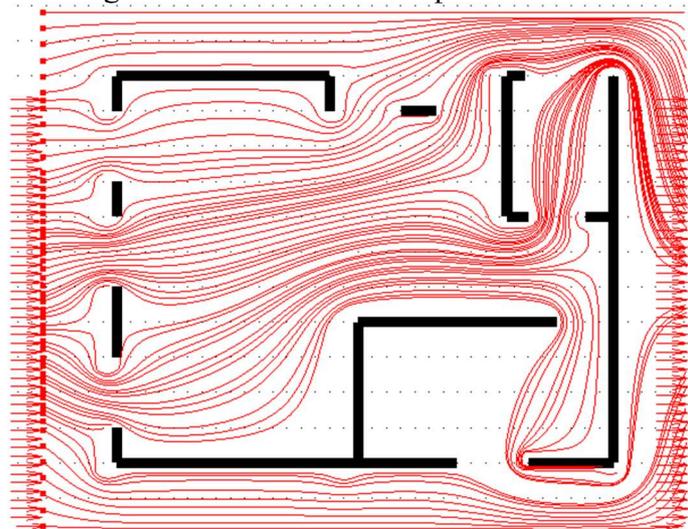
Fonte: Autora empregando o *software* Carvalho; Martha (2005).

Figura 43 – Fluxo de vento para o cenário 2



Fonte: Autora empregando o *software* Carvalho; Martha (2005).

Figura 44 – Fluxo de vento para o cenário 3



Fonte: Autora empregando o *software* Carvalho; Martha (2005).

4.3 ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA

O índice de consumo mínimo, máximo, da envoltória e o parâmetro de indicador da subdivisão (i) foram calculados resultando nos valores dispostos conforme na Tabela 31.

Tabela 31 – Indicadores de consumo

| Índices | Cenários 1 e 2 | Cenário 3 |
|---------------|----------------|-----------|
| ICmín | 319,48 | 301,68 |
| ICmáxd | 330,05 | 312,25 |
| i | 2,64 | 2,64 |
| ICenv | 320,14 | 300,10 |

Fonte: Autora.

Obteve-se o mesmo índice de consumo da envoltória (ICenv) para os cenários 1 e 2, de 320,14, devido os dados utilizados serem coincidentes; para o cenário 3, encontrou-se o valor de 300,10.

Na Tabela 32, pode-se ver o intervalo entre os limites mínimo e máximo do consumo energético; nos cenários 1 e 2, a moradia se encaixa no nível de eficiência energética A, devido seu ICenv ser de 320,14 (adimensional), sendo menor que o limite máximo 322,12 (adimensional).

Tabela 32 – Níveis de eficiência energética dos cenários 1 e 2

| Eficiência | A | B | C | D | E |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Lim min | --- | 322,13 | 324,77 | 327,41 | 330,06 |
| Lim max | 322,12 | 324,76 | 327,40 | 330,05 | --- |

Fonte: Autora.

Os níveis de eficiência energética para o cenário 3 estão apresentados na Tabela 33, onde tem-se o intervalo entre os limites mínimo e máximo do consumo energético; no cenário 3, a moradia se encaixa no nível de eficiência energética A, devido seu ICenv ser de 300,10 (adimensional), sendo menor que o limite máximo 304,32 (adimensional).

Tabela 33 – Níveis de eficiência energética do cenário 3

| Eficiência | A | B | C | D | E |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Lim min | --- | 304,33 | 306,98 | 309,62 | 312,26 |
| Lim max | 304,32 | 306,97 | 309,61 | 312,25 | --- |

Fonte: Autora.

Para confirmar o nível de eficiência energética da envoltória da moradia, outra exigência do RQT-C é que a transmitância das paredes externas e da cobertura devem ser menores ou iguais a um valor máximo estipulado, em um ambiente não condicionado. A comparação das transmitâncias requeridas pelo INMETRO, com as determinadas para cada cenário, é apresentada na Tabela 34.

Tabela 34 - Nível de eficiência energética de acordo com a transmitância

| | Nível A | Nível B | Nível C e D | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 |
|--|----------------|----------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| Transmitância parede (W/m².K) | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 3,33 | 0,42 | 2,16 |
| Transmitância cobertura (W/m².K) | 2 | 2 | 2 | 1,25 | 0,55 | 0,54 |

Fonte: Autora.

4.4 ANÁLISE DE CUSTOS

4.4.1 Cálculo dos custos

Os insumos necessários para a aplicação das técnicas passivas no cenário 2 foram dispostos na Tabela 35, junto com os valores de cada item, resultando no total de R\$7.237,90.

Tabela 35 – Investimento cenário 2

| Insumo | Investimento (R\$) |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Brises metálicos pintados | 1120,00 |
| Telha sanduíche | 2748,04 |
| Janelas metálicas brancas | 969,68 |
| Revestimento de poliestireno | 1191,18 |
| Placa melaminica | 1209,00 |
| Total | 7237,90 |

Fonte: Autora.

O investimento, em materiais, para o cenário 3, pode ser visto nas Tabelas 36 e 37, contabilizando um total de R\$4.109,54 (com cortina e pérgola) e R\$3.173,54 (com película).

Tabela 36 – Investimento cenário 3 (com cortina e pérgola)

| Insumos | Investimento (R\$) |
|--|---------------------------|
| Cortina veneziana (pano vertical) | 103,50 |
| Preço médio de uma pérgola de madeira | 1312,50 |
| Isolante térmico - lã de rocha (placa 75mm) | 1479,84 |
| Isolante térmico - lã de rocha (manta) | 849,50 |
| | 99,00 |
| Parede vegetal | 265,20 |
| Total | 4109,54 |

Fonte: Autora.

Tabela 37 – Investimento cenário 3 (com película)

| Insumos | Investimento (R\$) |
|--|---------------------------|
| Película controle solar insufilm (70%) P68 | 480,00 |
| Isolante térmico - lã de rocha (placa 75mm) | 1479,84 |
| Isolante térmico - lã de rocha (manta) | 849,50 |
| | 99,00 |
| Parede vegetal | 265,20 |
| Total | 3173,54 |

Fonte: Autora.

Considerando a utilização de dois aparelhos de ar condicionado, um de 32000BTU/h e outro de 12000BTU/h, obteve um gasto total de R\$12.583,30 e a estimativa de consumo de

energia elétrica em torno de 1437,20kWh/ano (INMETRO, 2021), conforme mostrado na Tabela 38.

Tabela 38 – Aparelhos de ar condicionado

| Insumo | Investimento (R\$) | Consumo energético (kWh/ano) |
|--|--------------------|------------------------------|
| Aparelho de ar condicionado 32000BTU/h | 10290,22* | 1033,60 |
| Aparelho de ar condicionado 12000BTU/h | 2293,08* | 403,60 |
| Total | 12583,30 | 1437,20 |

*Média de valores encontrados em pesquisa na Internet

Fonte: Autora.

4.4.2 Relação Custo-Benefício (RCB)

A relação custo-benefício para os dois cenários propostos, com o período de 10 anos e juros de 5% e 10% ao ano, respectivamente, pode ser vista nas Tabela 39 e 40 sendo os valores mais elevados para o cenário 2 de RCB 1,06 (5% de juros) e 1,33 (10% de juros) e os menores para o cenário 3, com o uso de película, de 0,46 (5% de juros) e 0,58 (10% de juros).

Tabela 39 – RCB para 10 anos e 5% de juros ao ano

| Situação | CT (R\$) | FRC | EE (MWh/ano) | CE (R\$/MWh) | RCB |
|-----------------------------------|----------|------|--------------|--------------|------|
| Cenário 2 | 7237,9 | 0,13 | 1,44 | 617,13 | 1,06 |
| Cenário 3 (com cortina e pérgola) | 4109,54 | 0,13 | 1,44 | 617,13 | 0,60 |
| Cenário 3 (com película) | 3173,54 | 0,13 | 1,44 | 617,13 | 0,46 |

Fonte: Autora.

Tabela 40 – RCB para 10 anos e 10% de juros ao ano

| Situação | CT (R\$) | FRC | EE (MWh/ano) | CE (R\$/MWh) | RCB |
|-----------------------------------|----------|------|--------------|--------------|------|
| Cenário 2 | 7237,9 | 0,16 | 1,44 | 617,13 | 1,33 |
| Cenário 3 (com cortina e pérgola) | 4109,54 | 0,16 | 1,44 | 617,13 | 0,75 |
| Cenário 3 (com película) | 3173,54 | 0,16 | 1,44 | 617,13 | 0,58 |

Fonte: Autora.

A relação custo-benefício para os dois cenários propostos, com o período de 20 anos e juros de 5% e 10% ao ano, respectivamente, pode ser vista nas Tabelas 41 e 42, sendo os valores mais elevados para o cenário 2 de RCB 0,65 (5% de juros) e 0,95 (10% de juros) e os menores para o cenário 3, com o uso de película, de 0,28 (5% de juros) e 0,42 (10% de juros).

Tabela 41 – RCB para 20 anos e 5% de juros ao ano

| Situação | CT (R\$) | FRC | EE (MWh/ano) | CE (R\$/MWh) | RCB |
|-----------------------------------|----------|------|--------------|--------------|------|
| Cenário 2 | 7237,9 | 0,08 | 1,44 | 617,13 | 0,65 |
| Cenário 3 (com cortina e pérgola) | 4109,54 | 0,08 | 1,44 | 617,13 | 0,37 |
| Cenário 3 (com película) | 3173,54 | 0,08 | 1,44 | 617,13 | 0,28 |

Fonte: Autora.

Tabela 42 – RCB para 20 anos e 10% de juros ao ano

| Situação | CT (R\$) | FRC | EE (MWh/ano) | CE (R\$/MWh) | RCB |
|-----------------------------------|----------|------|--------------|--------------|------|
| Cenário 2 | 7237,9 | 0,12 | 1,44 | 617,13 | 0,95 |
| Cenário 3 (com cortina e pérgola) | 4109,54 | 0,12 | 1,44 | 617,13 | 0,54 |
| Cenário 3 (com película) | 3173,54 | 0,12 | 1,44 | 617,13 | 0,42 |

Fonte: Autora.

4.5 ANÁLISE COMPARATIVA

Com relação à carga térmica transferida através das superfícies opacas, no cenário 1 o valor total foi de 7250 W, considerando a constituição da parede externa com blocos de concreto e duas camadas de reboque; no cenário 2 foi de 4108 W, sendo as paredes externas feitas com uma camada de argamassa, blocos de concreto, poliestireno e uma placa melamínica. Além disso, a cobertura da moradia no cenário 2 foi feita com telhas metálicas com poliuretano, enquanto no primeiro caso utilizou-se telhas de barro. No cenário 3, a carga térmica relacionada às superfícies opacas foi de 1665 W, com a aplicação de isolante térmico (lã de rocha) na composição das paredes externas nas orientações Sul e Leste, aplicação de cobertura vegetal na parede externa (orientação Oeste) e adição de uma camada de isolante térmico (manta de lã de rocha) no telhado. Essas alterações feitas nos projetos, apresentadas na segunda e terceira situações, implicam no aumento da inércia térmica das paredes externas e do telhado, já que os materiais possuem maior resistência térmica, principalmente por conta dos isolantes instalados (poliestireno, poliuretano, manta e placa de lã de rocha), o que influenciou na transferência de calor, resultando numa redução de 43% para o cenário 2 e de 77% para o cenário 3, em comparação com o cenário 1, conforme mostrado no Quadro 5.

Quadro 5 – Comparação dos cenários para superfícies opacas

| Situação | Carga Térmica (W) | Redução (%) | Técnica passiva |
|-----------|-------------------|-------------|--|
| Cenário 1 | 7249,91 | --- | --- |
| Cenário 2 | 4108,35 | 43 | Isolante térmico poliestireno nas paredes externas; telha metálica com isolante térmico poliuretano |
| Cenário 3 | 1665,72 | 77 | Isolante térmico lã de rocha nas paredes externas; isolante térmico manta de lã de rocha no telhado; cobertura vegetal na parede externa a Oeste |

Fonte: Autora.

O valor obtido através da transmissão de calor por superfície transparente no cenário 1 foi de 1237 W, para o cenário 2 foi de 390 W e para o cenário 3 foi de 207 W (com cortina e pérgola) e de 134 W (com película), que podem ser verificados no Quadro 6, onde tem-se a relação da técnica passiva de resfriamento, a carga térmica e a comparação dos valores das situações propostas. Pode-se notar que, para o cenário 2, através da orientação no terreno escolhida e também da aplicação de brises nas janelas com maior incidência solar direta, obteve-se um decréscimo de 68% da carga térmica referente às áreas envidraçadas em relação ao cenário 1. Notou-se que no cenário 3, com a orientação no terreno escolhida, adição de pérgola na parede com orientação Norte e utilização de cortinas nas janelas, houve uma redução de 83% na carga térmica em comparação com o cenário 1; já com a aplicação de películas nos vidros das janelas, ao invés da pérgola e das cortinas, obteve-se 89% de redução da carga térmica em comparação com o cenário 1.

Quadro 6 – Comparação dos cenários para superfícies transparentes

| Situação | Carga Térmica (W) | Redução (%) | Técnica passiva |
|-----------------------------------|-------------------|-------------|---|
| Cenário 1 | 1236,75 | --- | --- |
| Cenário 2 | 389,62 | 68 | Orientação no terreno e aplicação de brises |
| Cenário 3 (com cortina e pérgola) | 206,74 | 83 | Orientação no terreno, adição de pérgola e utilização de cortinas |
| Cenário 3 (com película) | 133,78 | 89 | Orientação no terreno e aplicação de películas nos vidros das janelas |

Fonte: Autora.

As cargas referentes às pessoas, equipamentos e iluminação contabilizaram, respectivamente, 900 W e 3738 W, em ambas as situações estudadas, devido terem sido estipulados os mesmos dados, como o número de pessoas na moradia e a quantidade de eletrodomésticos.

No Quadro 7 tem-se o valor da carga térmica somando todas as parcelas, para as situações estudadas e a comparação da redução de um cenário para o outro. O total obtido para o cenário 1, sem as modificações, com a somatória dos valores das parcelas encontradas, foi de 13545 W, para os cenários 2 e 3, com as alterações, foi de respectivamente 9556 W, 6931 W (com cortina e pérgola) e 6858 W (com película). Assim, com a inserção das técnicas passivas para o resfriamento do ambiente, notou-se uma redução total da carga térmica do cenário 2 de 30%, para o cenário 3 de 49% (com cortina e pérgola) e de 50% (com película), em relação ao cenário 1, sem as modificações.

Quadro 7 – Comparação dos cenários para carga térmica total

| Situação | Carga Térmica (W) | Redução (%) |
|-----------------------------------|-------------------|-------------|
| Cenário 1 | 13545,18 | --- |
| Cenário 2 | 9556,49 | 30 |
| Cenário 3 (com cortina e pérgola) | 6930,98 | 49 |
| Cenário 3 (com película) | 6858,02 | 50 |

Fonte: Autora.

Na análise com o *software* FluxoVento, com as Figuras 42, 43 e 44, notou-se que a corrente de ar, em ambos os cenários, passa por quase todo o ambiente de forma a produzir uma ventilação satisfatória para se ter um local arejado, com exceção do quarto onde ocorre pouca passagem de ar, porém, no cenário 2, com a adição de duas janelas, inserindo uma maior área de abertura, obteve-se uma leve dispersão no fluxo de ventos, que pode ocasionar na melhoria da sensação da corrente de ar de alguns cômodos da moradia, principalmente onde foram posicionadas as janelas.

O índice da eficiência energética da envoltória baseia-se nas características da moradia, como a área total e a área das janelas; assim, para os cenários 1 e 2, encontrou-se o ICenv similar de 320,14 (adimensional), colocando a avaliação no nível “A”, considerando-se apenas o índice de consumo da envoltória. Para a avaliação, um fator que implicaria na diferença de valores do ICenv do cenário 1 para o cenário 2 seria o sombreamento provocado pela aplicação

das placas horizontais e/ou verticais nas áreas envidraçadas, porém, no caso do estudo, esses itens utilizados produzem um ângulo de 0° com a superfície transparente, ocasionando na não alteração do valor inicial, obtido no cenário 1, do ICenv.

No cenário 3, obteve-se o ICenv de 300,10 (adimensional), implicando no selo “A” para a eficiência energética; com a aplicação da pérgola, o ângulo do sombreamento com a área envidraçada passou a ser de 45° para a orientação Norte, e também houve alteração da área da envoltória, assim chegando em um valor menor que o encontrado para os outros dois casos.

Outro requisito para manter-se a moradia popular com o conceito “A” da classificação da eficiência energética é a transmitância térmica dos materiais da composição das paredes externas e da cobertura do ambiente em questão, que deve atender aos limites exigidos. O valor máximo desse parâmetro estipulado para os níveis “A”, “B”, “C” e “D” são de $3,7 \text{ W/m}^2.\text{K}$ para as paredes, e $2 \text{ W/m}^2.\text{K}$ para as coberturas, sendo que quando ultrapassados esses limites, o nível cai para “E”.

Verificou-se para o cenário 1 que a transmitância calculada para as paredes externas, sem as modificações, teve como resultado o total de $3,33 \text{ W/m}^2.\text{K}$ e para a cobertura do ambiente, o total de $1,25 \text{ W/m}^2.\text{K}$, dessa forma permanecendo com o nível de eficiência energética com conceito “A”. No cenário 2, com as modificações dos materiais das paredes externas e do telhado, obteve-se o valor total de $0,42 \text{ W/m}^2.\text{K}$ nas paredes externas e $0,55 \text{ W/m}^2.\text{K}$ na cobertura do ambiente, portanto, também nesse contexto obtém-se o nível de eficiência energética com o conceito “A”, o mesmo pode-se concluir para o cenário 3, onde calculou-se $2,16 \text{ W/m}^2.\text{K}$ para as paredes externas e $0,54 \text{ W/m}^2.\text{K}$ para a cobertura; porém, tem-se uma configuração mais adequada para a especificação, nas situações com as modificações, através da aplicação de técnicas passivas de resfriamento, pois os parâmetros citados estão mais distantes do limite máximo estipulado pelo manual do PROCEL/INMETRO (INMETRO, 2009). No Quadro 8, tem-se um resumo dos parâmetros vistos, com a classificação para cada situação, de acordo com os ICenv e das transmitâncias da parede externa e da cobertura.

Quadro 8 – Nível de eficiência energética

| Situação | ICenv | Transmitância térmica - parede ($\text{W/m}^2.\text{K}$) | Transmitância térmica - cobertura ($\text{W/m}^2.\text{K}$) | Nível de eficiência energética |
|-----------|--------|--|---|--------------------------------|
| Cenário 1 | 320,14 | 3,33 | 1,25 | A |
| Cenário 2 | 320,14 | 0,42 | 0,55 | A |
| Cenário 3 | 300,10 | 2,16 | 0,54 | A |

Fonte: Autora.

Nos Quadros 9 e 10 pode-se ver o valor investido para a aplicação das técnicas passivas de resfriamento natural escolhidas nos cenários propostos, e a relação custo-benefício, para as taxas de 5% e 10% ao ano, considerando o consumo de energia elétrica evitado sem a utilização de sistemas de ar condicionado.

Quadro 9 – Valor de investimento e relação custo-benefício com juros de 5% ao ano

| Situação | Investimento (R\$) | RCB (10 anos) | RCB (20 anos) |
|-----------------------------------|--------------------|---------------|---------------|
| Cenário 1 | --- | --- | --- |
| Cenário 2 | 7237,90 | 1,06 | 0,65 |
| Cenário 3 (com cortina e pérgola) | 4109,54 | 0,60 | 0,37 |
| Cenário 3 (com película) | 3173,54 | 0,46 | 0,28 |

Fonte: Autora.

Quadro 10 – Valor de investimento e relação custo-benefício com juros de 10% ao ano

| Situação | Investimento (R\$) | RCB (10 anos) | RCB (20 anos) |
|-----------------------------------|--------------------|---------------|---------------|
| Cenário 1 | --- | --- | --- |
| Cenário 2 | 7237,90 | 1,33 | 0,95 |
| Cenário 3 (com cortina e pérgola) | 4109,54 | 0,75 | 0,54 |
| Cenário 3 (com película) | 3173,54 | 0,58 | 0,42 |

Fonte: Autora.

No cenário 2 obteve-se o maior custo, no total de R\$7.237,90, devido ao elevado valor dos materiais propostos para fazer o isolamento térmico, como o poliestireno em conjunto com a placa melamínica e a telha metálica com poliuretano levando em consideração esse aspecto, a RCB encontrada foi a mais elevada, sendo 1,06 (5% de juros) e 1,33 (10% de juros) para o período de durabilidade dos materiais de 10 anos e 0,65 (5% de juros) e 0,95 (10% de juros) para 20 anos. A RCB estipulada como a ideal é de 0,80, portanto, no cenário 2, considerando que os materiais durem 10 anos, o valor investido é mais alto do que o dinheiro gasto com o consumo de energia elétrica através da aplicação de aparelhos de ar condicionado, porém, caso os materiais tenham uma durabilidade em torno de 20 anos e o juro esteja menor que 5% ao ano, o RCB passa a ser 0,65 que está abaixo do limite proposto, tornando viável o investimento.

O investimento para o cenário 3 foi o menor, sendo R\$4.109,54, com a aplicação da pérgola e cortinas, e R\$3.173,54, com apenas utilização de película. A RCB teve seu valor abaixo de 0,80 nos dois casos, porém, com o uso de película calculou-se o custo-benefício mais favorável, equivalente a 0,46 (5% de juros) e a 0,58 (10% de juros), para 10 anos, e 0,28 (5% de juros) e 0,42 (10% de juros), para 20 anos. Apesar disso, a durabilidade da película é menor que a de uma cortina ou pérgola, portanto, a aplicação desse tipo de técnica passiva de resfriamento faz-se mais confiável do que a citada anteriormente.

5. CONCLUSÕES

Em países com o clima predominantemente quente, como o Brasil, a primeira solução pensada para alcançar o conforto térmico em uma moradia é a instalação de aparelhos de ar condicionado, porém, esse tipo de sistema não é econômico e tem impacto negativo no meio ambiente devido ao seu alto consumo de energia elétrica. Visando à eficiência energética uma alternativa para o conseguir uma temperatura interna agradável no edifício é a aplicação de técnicas passivas para resfriamento do ambiente. Essas modificações na edificação podem ser feitas de várias formas, dependendo do objetivo, no caso de evitar a incidência solar direta, pode-se aplicar protetores solares, estudar a melhor orientação do edifício no terreno, cultivar vegetação exterior, usar películas nos vidros e, também, introduzir estruturas que possam produzir sombreamento. Outra maneira é aumentar a inércia térmica da envoltória colocando na construção materiais com um valor elevado para a resistência térmica, como por exemplo, isolantes térmicos. Além disso, garantir uma boa ventilação para o ambiente, através de aberturas estratégicas nos cômodos, é de grande valia.

O trabalho presente teve como intuito analisar como uma construção se comporta, em um cenário sem e outro com a introdução das técnicas arquitetônicas para o resfriamento passivo, visando o conforto térmico, com relação a redução da carga térmica e a verificação do nível de eficiência energética da envoltória da mesma.

Com as modificações no projeto inicial, o resultado obtido através do cenário 2 foi uma redução de quase 30% na carga térmica total do ambiente, isso devido ao aumento da inércia térmica da envoltória aplicando-se os isolantes, a orientação correta no terreno e a introdução de brises nas janelas; assim, nota-se a relação da aplicação das técnicas passivas de resfriamento com a diminuição desse parâmetro estudado; para o cenário 3, a redução da carga térmica total foi de aproximadamente 49% para o uso de pérgola e cortinas como proteções solares, e de 50%, para a adição de película nos vidros, proveniente do aumento da inércia térmica com a aplicação de isolante térmicos nas paredes e telhado, implementação da cobertura vegetal, além da redução da incidência solar direta com o uso de proteções solares externa e interna.

Para o nível de eficiência energética da envoltória, proposto pelo manual do PROCEL/INMETRO (INMETRO, 2009), nos cenários 1 e 2 atingiu-se o conceito “A”; o cálculo do índice de eficiência energética da envoltória (ICenv) baseou-se nas características da moradia que foram similares nos dois casos, porém, têm-se uma diferença quando compara-se os valores da transmitância térmica do cenário 1 com o cenário 2, sendo que no primeiro, a configuração obtida fica perto do limite estipulado, e no segundo, nota-se uma configuração

mais adequada para o nível de eficiência energética com selo “A”. No cenário 3, encontrou-se o menor valor de ICenv de 300,10 (adimensional), o que também implicou no selo “A” para a eficiência energética, resultado pela modificação do ângulo de sombreamento com a área envidraçada que passou a ser de 45° para a orientação Norte, e também com a alteração da área da envoltória, assim, alcançando-se um valor abaixo do calculado para os outros dois casos. Notou-se que a aplicação de sombreamento externo, principalmente das estruturas como pérgolas, influencia na diminuição do valor do ICenv, e a utilização de isolantes térmicos produz o aumento da inércia térmica da envoltória, reduzindo a transmitância térmica, fatores que implicam em uma melhor classificação em relação ao nível de eficiência energética.

Para que se possa fazer as modificações propostas é preciso um investimento, dessa forma, para o cenário 2 faz-se necessário investir um valor de R\$7.237,90, no cenário 3 R\$4.109,54, com a aplicação de pérgola e cortinas, e R\$3.173,54, com o uso de películas. O consumo de energia elétrica resultou em 1437,20kWh/ano que convertido para reais configurou o montante de R\$12.583,30. Assim, pode-se perceber que o dinheiro a ser investido para a aplicação das técnicas passivas ficou abaixo que o previsto para implementação de sistemas de ar condicionado. A partir desses valores obteve-se as relações de custo-benefício para os casos estudados, sendo que as menores RCB foram as estipuladas para o cenário 3 (com a película), configurando as grandezas de 0,46 (5% de juros) e 0,58 (10% de juros) para um período de durabilidade dos materiais de 10 anos e, os resultados de 0,28 (5% de juros) e 0,42 (10% de juros) considerando o tempo de vida de 20 anos para os insumos.

Apesar de todos os cenários terem sido classificados com o conceito “A” de eficiência energética deve-se notar outros fatores relevantes como o estudo da carga térmica que interfere na temperatura interna da moradia. A análise dos casos elaborados para a moradia popular pode servir de parâmetro para a utilização de técnicas passivas para o resfriamento em projetos de edificações de maior porte, pois o parecer encontrado foi que a aplicação das mesmas, ainda que não muito elaboradas, modifica a construção de forma a reduzir a carga térmica da construção, pode alterar o fluxo de vento nos cômodos e também influencia na eficiência energética da envoltória, dessa forma, tornando-se uma ferramenta útil para a redução da utilização de sistemas de ar condicionado, com o intuito de amenizar as temperaturas internas, e alcançar o conforto térmico sem a necessidade do consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-15575**: edifícios Habitacionais até cinco pavimentos: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220**: desempenho térmico para edificações: parte 2. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16655**: instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado: split e compacto parte 3: método de cálculo da carga térmica residencial. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT PR/NBR 16401-2**: instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários. Parte 2: parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ALLAM, S. Z. Analogous framework for passive design strategies using synchronized techniques; validation: dual-skin voronoi pattern facade. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART GRID AND SMART CITIES – ICSGSC, 3., 2019, Berkeley. **Proceedings** [...]. Berkeley: IEEE, p. 158–164, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8906648>. Acesso em: 14 fev. 2020.
- ANDRIC, I.; KAMAL, A.; AL-GHAMDI, S. G. Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate: case study of Qatar. **Energy Reports**, Amsterdam, v. 6, p. 2476–2489, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248472031310X>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual do programa de eficiência energética**. Brasília-DF: ANEEL, 2008. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656831/14944470/Manual+de+Elabora%C3%A7%C3%A3o+do+PEE+2008.pdf/0dbb7e3c-aa8a-43ef-ae4a-b0899f0077bb>. Acesso em: 02 dez. 2019.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. ASHRAE Handbook 2001 fundamentals. **Ashrae Standard**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2001.
- BORGE-DIEZ, D. *et al.* Passive climatization using a cool roof and natural ventilation for internally displaced persons in hot climates: case study for Haiti. **Building and Environment**, Amsterdam, v. 59, p. 116–126, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132312002156>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- BRITTO, J. F. B. Considerações sobre psicrometria. **Revista SBCC**, São Paulo, v. 45, p. 35-41, 2010.
- CASTALDO, V. L. *et al.* How outdoor microclimate mitigation affects building thermal-energy performance: a new design-stage method for energy saving in residential near-zero energy settlements in Italy. **Renewable Energy**, Reino Unido, v. 127, p. 920–935, nov. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118305159>.

Acesso em: 20 set. 2019.

CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL. **Guia para eficiência energética nas edificações públicas**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia - MME, 2014. v. 1, n. 142. Disponível em: https://servicoscorporativos.es.gov.br/Media/ServicosCorporativos/Efici%C3%Aancia%20energ%C3%A9tica/GUIA%20EFIC%20ENERG%20EDIF%20PUBL_v1%200_12-02-2015_Completo.pdf. Acesso em: 07 mar. 2020.

CAMPOS, N. L. F. *et al.* Avaliação de desempenho térmico de edificação pública em Cuiabá, mt: estudo de caso. **Monografias Ambientais REMOA/UFMS**, Cuiabá, v. 7, n. 7, p. 1670-1688, jun. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/5433>. Acesso em: 22 jun. 2019.

CARVALHO, C. V. de A.; MARTHA, L. F. FluxoVento: Programa para estudo do conforto em ambientes construídos. *In*: CARVALHO, Carlos Vítor de Alencar; MARTHA, Luiz Fernando. **FluxoVento**: programa para estudo do conforto em ambientes construídos. Rio de Janeiro: PUC-Rio/Tecgraf-Grupo de tecnologia em Computação Gráfica, 2005. Disponível em: <http://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/etools/fluxovento/>. Acesso em: 10 mar. 2020.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros técnicos e Científicos Editora S.A., 2004. v. 6. 326 p.

DUBREUIL, V. *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, Paris, n. 37, 2018. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/15738>. Acesso em: 05 jun. 2021.

FRIESS, W. A.; RAKHSHAN, K. A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 72, p. 485–496, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211730045X>. Acesso em: 08 maio 2019.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GOULART, S. **Sustentabilidade no edifício e no espaço urbano ECV 5161**. São Carlos: Laboratório de Eficiência Energética em edificações/Universidade Federal de São Carlos, 2007. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161_Sustentabilidade_apostila_0_0.pdf. Acesso em: 25 jan. 2020.

G&P ENGINEERING SOFTWARE. **Psychocalc**: calculadora das propriedades psicrométricas. G&P Engineering Software, 1999. Disponível em: www.gpengineeringsoft.com/pages/psychrometric_table_humid_air.html. Acesso em: 10 set. 2019.

HE, Y. *et al.* Thermal and energy performance of green roof and cool roof: A comparison study in Shanghai area. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 267, p. 3-15, 2020.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620322526>. Acesso em: 10 out. 2020.

HERACLEOUS, C; MICHAEL, A. Experimental assessment of the impact of natural ventilation on indoor air quality and thermal comfort conditions of educational buildings in the Eastern Mediterranean region during the heating period. **Journal of Building Engineering**, Oxford, v. 26, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219302098>. Acesso em: 03 dez. 2019.

IBRAHIM, M. *et al.* Low-emissivity coating coupled with aerogel-based plaster for walls' internal surface application in buildings: energy saving potential based on thermal comfort assessment. **Journal of Building Engineering**, Oxford, v. 18, p. 454–466, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710218300093>. Acesso em: 27 ago. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro: PROCEL / Eletrobras, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética edificações residenciais**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. **Tipo de equipamento: condicionadores de ar**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2021. Disponível em: www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores-de-ar-indices-novos-idrs.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726: ergonomics of the thermal environment, instruments for measuring physical quantities**. Geneva: International Standard Organization, 1998.

LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. 6. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico em edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. v. 7, 239 p. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf. Acesso em: 17 nov. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. [S.l.]: PROCEL, Eletrobras, Minas e Energia, 2013. v. 3.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997. 192 p.

LAMBERTS, R. *et al.* **Apostila de desempenho térmico em edificações**. Florianópolis: LabEEE, 2016. 170 p.

LASSANDRO, P.; DI TURI, S. Façade retrofitting: from energy efficiency to climate change mitigation. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 140, p.182–193, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217355455>. Acesso em: 25 jan. 2020.

LENGEN, J. V. **Manual do arquiteto descalço**. Porto Alegre: Livraria do arquiteto, 2004. 697 p.

LIUZZI, S.; RUBINO, C.; STEFANIZZI, P. Use of clay and olive pruning waste for building materials with high hygrothermal performances. **Energy Procedia**, Amsterdam, v. 126, p. 234–241, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217336317>. Acesso em: 17 mar. 2019.

MACIEL, A. C. F.; CARVALHO, M. T. Operational energy of opaque ventilated façades in Brazil. **Journal of Building Engineering**, Oxford, v. 25, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710218312075>. Acesso em: 15 maio 2020.

MATHEUS, C. *et al.* Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 71–81, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/FqVms359KbG9rSF6q4NZcHj/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 mar. 2019.

MORAKINYO, T. E. *et al.* Thermal benefits of vertical greening in a high-density city: case study of Hong Kong. **Urban Forestry and Urban Greening**, Muenchen, v. 37, 2017, p. 42–55, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866717305551>. Acesso em: 15 ago. 2020.

PIMENTA, A. I. *et al.* **Conceito de conforto térmico humano**. Porto: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015. 26 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA TURÍSTICA DE GUARATINGUETÁ. **Projeto de unidades habitacionais térreas**. Guaratinguetá-SP: Diretoria de planejamento e projetos, 1998.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL. **Guia técnico PROCEL edifica**: planejamento e controle ambiental - urbano e a eficiência energética. Rio de Janeiro: PROCEL/Eletronbras, 2013. 222 p.

RACKES, A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Naturally comfortable and sustainable: Informed design guidance and performance labeling for passive commercial buildings in hot climates. **Applied Energy**, Oxford, v. 174, p. 256–274, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916305426>. Acesso em: 08 dez. 2019.

RIOS, G. A. A. *et al.* Coberturas de cor branca como estratégia de redução de energia e emissões de carbono. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 9, p. 76-90, 2017. Disponível em: <https://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11956>. Acesso em:

08 mar. 2019.

SANTESSO, C. A. *et al.* Economia de energia através de estratégias passivas e ativas: um estudo para habitação de interesse social. **Revista Espacios**, Caracas, v. 38, n. 23, p. 69–76, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n23/a17v38n23p23.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SANTOS, S. M. *et al.* Integrating conventional and green roofs for mitigating thermal discomfort and water scarcity in urban areas. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 219, p. 639–648, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619300794>. Acesso em: 15 nov. 2019.

SCHERER, M. J.; ALVES, T. S.; REDIN, J. Envoltórias vegetadas aplicadas em edificações: benefícios e técnicas. **Revista de arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 7, p. 84–101, 2018. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/2693>. Acesso em: 04 abr. 2019.

SGHIOURI, H. *et al.* Shading devices optimization to enhance thermal comfort and energy performance of a residential building in Morocco. **Journal of Building Engineering**, Morocco, Oxford, v. 18, p. 292–302, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710217306605>. Acesso em: 13 maio 2019.

SPITLER, J. D. **Load calculation applications manual**. 2. ed. Atlanta: ASHRAE, 2009.

STATE, A.; ODIMEGWU, C.; ANAMBRA, U. A derivation of passive guidelines for achieving thermal comfort in the design of residential buildings in warm humid climate of Abia State, Nigeria. **International Journal of Development Strategies in Humanities, Management and Social Sciences Development Strategies in Humanities, Management and Social Sciences**, Calabar Municipal, v. 9, p. 1–15, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334724682_A_Derivation_of_Passive_Guidelines_for_Achieving_Thermal_Comfort_in_the_Design_of_Residential_Buildings_in_Warm_Humid_Climate_of_Abia_State_Nigeria. Acesso em: 05 mar. 2020.

STAV, Y.; LAWSON, G. Vertical vegetation design decisions and their impact on energy consumption in subtropical cities. *In*: THE SUSTAINABLE CITY VII: URBAN REGENERATION AND SUSTAINABILITY, 7., 2012. **Proceedings** [...]. Southampton: WIT transactions, 2012. p. 489-500. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271422849_Vertical_vegetation_design_decisions_and_their_impact_on_energy_consumption_in_subtropical_cities. Acesso em: 17 jan.2020.

VETTORAZZI, E.; RUSSI, M.; SANTOS, J. C. P. A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar. **Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social**, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/550/2020/01/1.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2019.

APÊNDICE A – Tabelas com o resultado da carga térmica total

Tabela A-1 - Carga térmica total

| Descrição | Calor sensível | Calor latente | Calor total |
|--|-----------------|----------------|-----------------|
| Transmissão de superfícies opacas (W) | 7249,91 | 0 | 7249,91 |
| Transmissão de superfícies transparentes (W) | 1236,75 | 0 | 1236,75 |
| Infiltração e renovação de ar (W) | 410,77 | 9,75 | 420,52 |
| Pessoas (W) | 450 | 450 | 900 |
| Iluminação(W) | 0 | 0 | 0 |
| Equipamentos (W) | 3738 | 0 | 3738 |
| Total (W) | 13085,43 | 459,75 | 13545,18 |
| Total (BTU/h) | 44621,32 | 1567,75 | 46189,06 |

Fonte: Autora.

Tabela A-2 - Carga térmica total

| Descrição | Calor sensível | Calor latente | Calor total |
|--|-----------------|----------------|-----------------|
| Transmissão de superfícies opacas (W) | 4108,35 | 0 | 4108,35 |
| Transmissão de superfícies transparentes (W) | 389,62 | 0 | 389,62 |
| Infiltração e renovação de ar (W) | 410,77 | 9,75 | 420,52 |
| Pessoas (W) | 450 | 450 | 900 |
| Iluminação (W) | 0 | 0 | 0 |
| Equipamentos (W) | 3738 | 0 | 3738 |
| Total (W) | 9096,74 | 459,75 | 9556,49 |
| Total (BTU/h) | 31019,88 | 1567,75 | 32587,63 |

Fonte: Autora.

Tabela A-3 - Carga térmica total (Cortina e pérgola)

| Descrição | Calor sensível | Calor latente | Calor total |
|--|-----------------|----------------|-----------------|
| Transmissão de superfícies opacas (W) | 1665,72 | 0 | 1665,72 |
| Transmissão de superfícies transparentes (W) | 206,74 | 0 | 206,74 |
| Infiltração e renovação de ar (W) | 410,77 | 9,75 | 420,52 |
| Pessoas (W) | 450 | 450 | 900 |
| Iluminação (W) | 0 | 0 | 0 |
| Equipamentos (W) | 3738 | 0 | 3738 |
| Total (W) | 6471,23 | 459,75 | 6930,98 |
| Total (BTU/h) | 22066,90 | 1567,75 | 23634,65 |

Fonte: Autora.

Tabela A-4 - Carga térmica total (Película)

| Descrição | Calor sensível | Calor latente | Calor total |
|--|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Transmissão de superfícies opacas (W) | 1665,72 | 0 | 1665,72 |
| Transmissão de superfícies transparentes (W) | 133,78 | 0 | 133,78 |
| Infiltração e renovação de ar (W) | 410,77 | 9,75 | 420,52 |
| Pessoas (W) | 450 | 450 | 900 |
| Iluminação (W) | 0 | 0 | 0 |
| Equipamentos (W) | 3738 | 0 | 3738 |
| Total (W) | 6398,27 | 459,75 | 6858,02 |
| Total (BTU/h) | 21818,10 | 1567,75 | 23385,85 |

Fonte: Autora.