

Márcia Godinho Vieira

**Análise do Desempenho Térmico e Eficiência Energética - Residência Unifamiliar em Adobe  
Goiânia**

Belo Horizonte  
Escola de Arquitetura da UFMG  
2019

Márcia Godinho Vieira

**Análise do Desempenho Térmico e Eficiência Energética - Residência Unifamiliar em Adobe  
Goiânia**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Sustentabilidade do Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte  
Escola de Arquitetura da UFMG

2019

## FICHA CATALOGRÁFICA

V657a

Vieira, Márcia Godinho.

Análise do desempenho térmico e eficiência energética [manuscrito]:  
residência unifamiliar em adobe - Goiânia / Márcia Godinho Vieira. - 2020.

101f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola  
de Arquitetura.

1. Construção de adobe. 2. Conforto térmico. 3. Qualidade ambiental. 4.  
Arquitetura e conservação e energia. 5. Arquitetura sustentável. 6. Habitação I.  
Souza, Roberta Vieira Gonçalves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais.  
Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 693.22



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG  
Rua Paraíba, 697 - Funcionários  
30130-140 - Belo Horizonte - MG - Brasil

Telefone: (31) 3409-8823


FAX (31) 3409-8822

## ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA MÁRCIA GODINHO VIEIRA, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Às 16:30 horas do dia 06 de dezembro de 2019, reuniu-se na sala 124 da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, a Comissão Examinadora composta pela Professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Orientadora-Presidente e pela professora Dra. Ana Carolina de Oliveira Veloso, designadas pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização para avaliação da monografia intitulada "Análise do Desempenho Térmico e Eficiência Energética - Residência Unifamiliar em Adobe -Goiânia", de autoria de **Márcia Godinho Vieira**, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade do Ambiente Construído. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura.

Nota: 88 ; Conceito: B

Belo Horizonte, 06 de dezembro de 2019

  
Professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza  
Orientadora-Presidente

  
Professora MsC. Grace Cristina Rabel Gutierrez

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que este trabalho fosse possível. De maneira especial, sou grata à orientadora Profa. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza pela forma tranquila e positiva com que conduziu o estudo e a Luana Lousa de Almeida, arquiteta e proprietária da bela construção residencial analisada, que disponibilizou sua casa e informações necessárias à aplicação da Regulamentação Técnica.

## RESUMO

A arquitetura em terra tem-se mostrado ao longo da história, uma estratégia valiosa quando se procura uma construção com alta eficiência energética e menor impacto à natureza, sem comprometer a saúde do usuário, proporcionando-lhe segurança, prazer e conforto. Apesar de suas inúmeras vantagens, o uso da terra crua como sistema construtivo deve ser avaliado caso a caso quanto a sua adequação às características climatológicas do local onde será edificado e disponibilidade de matéria-prima. Assim, o RTQ-R foi usado como instrumento na análise de desempenho térmico e energético da construção de uma residência localizada em Goiânia que apresenta o adobe como principal elemento na envoltória vertical, servindo como amostra do comportamento térmico do uso da terra em relação às características locais. Para tal, a metodologia adotada é a descritivo-exploratória; de abordagem qualitativa com consulta em livros, trabalhos científicos e documentos, abordando os impactos da construção civil na saúde do usuário e no meio ambiente, aprofundando o conhecimento da norma RTQ-R, relacionando vantagens e desvantagens da construção em terra e caracterizando o clima local, além da coleta de dados sobre a edificação por meio de projetos, visita e entrevista à arquiteta e moradora; e de abordagem quantitativa no tratamento dos resultados por cálculos e planilhas disponíveis no PBE Edifica Residencial (2010). Como principal resultado, tem-se que a unidade habitacional analisada atende às exigências da regulamentação, atingindo classificação final A e a análise do desempenho térmico das envoltórias dos ambientes de permanência prolongada, possibilita a verificação de como estratégias como o uso de dispositivos de proteção solar e a escolha da cor da parede externa ao ambiente podem implicar em mais conforto com menor necessidade no uso de equipamentos de refrigeração. Constata-se, desta forma que é possível que uma construção que tenha a terra como sistema construtivo principal possa, sem renunciar à estética e contemporaneidade, contribuir com uma melhor qualidade de vida dos moradores, sendo menos agressiva à natureza e com menor gasto energético.

**Palavras-chave:** Adobe; Conforto térmico; Desempenho térmico; Eficiência energética.

## ABSTRACT

Throughout history, earth architecture has shown to be a valuable strategy when in search for a construction that is high energy-efficient, with low environmental impact and without compromising the health of its users, while also providing safety, pleasure and comfort. In spite of its countless advantages, the use of raw land as a constructive system should be evaluated in a case-by-case basis, considering its suitability to the climate of the site where it will be built and if the raw material is available. The RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade – Residencial) was used as a tool to analyze the thermal and energy performance of a residential construction located in Goiânia, which presents the adobe as a main element on its vertical enclosure. It worked as a sample of the thermal behavior of land use in relation to local characteristics. That way, the methodology used is descriptive explanatory research; with a qualitative approach, using books, scientific projects, and documents, showing how construction impacts user and environmental health, deepening the knowledge on RTQ-R, relating the pros and cons of earth construction and featuring the local climate, as well as data collection about construction through projects, visitation and interviews between the architect and resident; and quantitative approach on the results by calculation and spreadsheets on PBE Edifica Residencial (2010). As a main result, it was found that the housing unit analyzed meets the regulation requirements reaching final classification A and the thermal performance analysis of the extended-stay environment enclosures, enables the verification of how strategies like the use of solar protection devices and the choice of the external wall color might imply in more comfort with less need to use refrigeration equipment. Thus, it is possible to say that a construction using soil as its main constructive system can, without giving up aesthetics and contemporaneity, contribute to a better quality of life to its residents, be less aggressive to the environment and have less energy consumption.

**Keywords:** Adobe; Thermal comfort; Thermal performance; Energy efficiency

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Construção de uma casa obus, no norte de Camarões	29
FIGURA 2 -	Detalhe de Construção de uma casa obus	29
FIGURA 3 -	Implantação/ Layout Piso Térreo	53
FIGURA 4 -	Planta - Piso Térreo	54
FIGURA 5 -	Planta – Subsolo	55
FIGURA 6 -	Corte Leste – Oeste	55
FIGURA 7 -	Corte Norte – Sul 1	56
FIGURA 8 -	Corte Norte – Sul 2	56
FIGURA 9 -	Foto - Fachada Leste 1	57
FIGURA 10 -	Foto - Fachada Leste 2	57
FIGURA 11 -	Foto - Fachada Oeste 1	58
FIGURA 12 -	Foto - Fachada Oeste 2	58
FIGURA 13 -	Foto - Fachada Oeste 3	59
FIGURA 14 -	Foto - Fachada Sul	60
FIGURA 15 -	Foto - Fachada Norte	60
FIGURA 15 -	Foto - Acesso Principal. Fachada Leste	60
FIGURA 16 -	Acesso Principal. Fachada Leste	61



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Aberturas dos ambientes de permanência prolongada	67
Quadro 2 -	Transmitância ponderada das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R $\alpha > 0,60$	68
Quadro 3 -	Capacidade térmica ponderada das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R	69
Quadro 4 -	Transmitância e capacidade térmica da cobertura dos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R. $\alpha > 0,6$	70
Quadro 5 -	Relação entre área efetiva ventilada e área útil nos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R	71
Quadro 6 -	Relação entre área efetiva iluminada e área útil nos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R	72
Quadro 7 -	Cálculo da demanda de energia útil	75
Quadro 8 -	Cálculo da produção energética da instalação	76
Quadro 9 -	Cálculo 1 do parâmetro D1	77
Quadro 10 -	Cálculo 2 do parâmetro D1	77

Quadro 11 -	Cálculo do parâmetro D2	78
Quadro 12 -	Pré-requisito do Sistema de Aquecimento de Água	80
Quadro 13 -	Sistema de Aquecimento Solar	81
Quadro 14 -	Nota final para o aquecimento de água	81
Quadro 15 -	Relação entre área total de fachada e área total de abertura para ventilação – por orientação, (inclui banheiros e área de serviço), e atendimento à bonificação b1-RTQ-R	82
Quadro 16 -	Profundidade dos ambientes de permanência prolongada atendimento à bonificação b2 - RTQ-R	83

## LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

Gráfico 1 -	Precipitação de Chuva Mensal – Goiânia	46
Gráfico 2 -	Temperatura e Zona de Conforto	47
Gráfico 3 -	Umidade Relativa do Ar – Goiânia	47
Gráfico 4 -	Ventos Predominantes – Goiânia	48
Tabela 1	Propriedades Térmicas do Adobe	33
Tabela 2	Identificação das fontes utilizadas	33
Tabela 3	Avaliação do desempenho da parede de adobe	34
Tabela 4 -	Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as Zonas Bioclimáticas ZB 3 a ZB 6	36
Tabela 5 -	Classificação da eficiência de sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica	43
Tabela 6 -	Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida	45
Tabela 7	Espessura do isolamento das tubulações para aquecimento de água	73

## LISTA DE PLANILHAS

Planilha 1 -	Análise da Envoltória RTQ Edificações Residenciais	86
Planilha 2 -	Análise dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ Edificações Residenciais	86
Planilha 3 -	Análise da Envoltória dos Ambientes RTQ Edificações Residenciais- Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – $somb = 1$	87
Planilha 4 -	Análise dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ Edificações Residenciais Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – $somb = 1$	87
Planilha 5 -	Análise da Envoltória dos Ambientes RTQ - Edificações Residenciais- Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – $somb = 1$ e absorptância $\alpha = 0,1$ (parede de pedra, quarto casal)	88
Planilha 6 -	Análise dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ Edificações Residenciais Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – $somb = 1$ e absorptância $\alpha = 0,1$ (parede de pedra, quarto casal)	88
Planilha 7 -	Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória RTQ-R – Edificações Residenciais	89
Planilha 8 -	Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória RTQ-R – Edificações Residenciais Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – $somb = 1$	89
Planilha 9 -	Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória RTQ-R – Edificações Residenciais Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – $somb = 1$ e absorptância $\alpha = 0,1$ (parede de pedra, quarto casal)	90
Planilha 10 -	Classificação Final da UH - RTQ-R – Edificações Residenciais	91
Planilha 11 -	Classificação Final da UH - RTQ-R – Edificações Residenciais - Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – $somb = 1$	92
Planilha 12 -	Classificação Final da UH - RTQ-R – Edificações Residenciais - Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – $somb = 1$ e absorptância = $0,1$ (parede de pedra, quarto casal)	93

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento e Ventilação).

BSAP – Quantidade de bacias sanitárias atendidas por água pluvial.

BS – Quantidade de bacias sanitárias existentes.

BSE – Quantidade de bacias sanitárias com sistema de descarga com duplo acionamento.

CH – Quantidade de chuveiros existentes.

CHE – Quantidade de chuveiros com restritor de vazão.

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

NBR - Norma Brasileira.

OUTROAP – Quantidade de outros pontos atendidos por água pluvial, excluindo bacias sanitárias.

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem.

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.

T – Quantidade de torneiras existentes na UH.

TE – Quantidade de torneiras com arejador de vazão constante, regulador de vazão ou restritor de vazão.

UH – Unidade Habitacional.

Z - Zona Bioclimática.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$  - Absortância à radiação solar.

A – Área ( $m^2$ ).

AU – Área útil do ambiente ( $m^2$ ).

AV – Área de abertura para ventilação ( $m^2$ ).

c - Calor específico – ( $kJ/kgK$ ).

CT - Capacitância térmica – ( $kJ/m^2K$ ).

$\lambda$  - Condutividade térmica – ( $W/mK$ ).

CA – Consumo relativo para aquecimento.

CR – Consumo relativo para refrigeração.

DE – Demanda de energia útil.

$\rho$  - Densidade de massa aparente – ( $kg/m^3$ ).

EPmês – Energia solar mensal não aproveitada pelos coletores – ( $kWh/mês$ ).

Elmês – Energia solar incidente sobre as superfícies dos coletores– ( $kWh/mês$ ).

EqNum – Equivalente numérico.

EqNumAA – Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água.

EqNumEnv – Equivalente numérico da envoltória da UH.

EqNumEnvA – Equivalente numérico da envoltória da UH para aquecimento.

EqNumEnvResfr – Equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento

EqNumEnvAmbA – Equivalente numérico da envoltória de cada ambiente de permanência prolongada para aquecimento.

EqNumEnvAmbResfr – Equivalente Numérico da Envoltória de cada Ambiente de Permanência Prolongada para resfriamento.

e - Espessura - (m).

F'RUL – Coeficiente global de perda de calor – (W/m<sup>2</sup>. K).

F'R (τα) – Fator adimensional.

F'R (τα)<sub>n</sub> – Fator de eficiência óptica do coletor, adimensional.

GHR – Indicador de graus-hora para resfriamento.

ΔT – Período de tempo considerado – (horas).

H<sub>dia</sub> – Radiação solar incidente no plano inclinado.

N – Número de dias mês.

PTUH – Pontuação total do nível de eficiência da UH.

R - Resistência térmica (m<sup>2</sup>K/W).

R<sub>si</sub> - Resistência da superfície interna (m<sup>2</sup>K/W).

R<sub>e</sub> - Resistência da superfície externa (m<sup>2</sup>K/W).

R<sub>t</sub> – Resistência térmica totalde face a face. (m<sup>2</sup>K/W).

R<sub>T</sub> – Resistência térmica total com as superfícies (m<sup>2</sup>K/W).

Sc – Superfície do coletor solar (m<sup>2</sup>).

TAC – Temperatura mínima admissível da água quente – (°C).

Tambiente – Temperatura ambiente – (°C).

Tarmaz – Temperatura de armazenamento – (°C).

Tconsumo – temperatura de consumo – (°C).

U - Transmitância térmica – (W/m<sup>2</sup>K).

V – Volume de acumulação solar- (litros).

Varmaz – Volume de armazenamento do sistema de aquecimento solar indicado - (litros).

Vconsumo Volume de consumo diário de água a ser aquecida - (litros).



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	Problema de Pesquisa .....	18
1.2	Objetivos.....	18
1.2.1	Objetivo Geral .....	18
1.2.2	Objetivos Específicos.....	18
<b>2</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
3.1	Construção Civil e seu Impacto na Saúde do Usuário e no Meio Ambiente .....	22
3.2	Uso da Terra na Construção Civil .....	26
3.2.1	O Adobe .....	30
3.2.1.1	Propriedades Térmicas do Adobe.....	33
3.3	Avaliação segundo o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R) para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais .....	35
3.3.1	Pré-Requisito Geral .....	35
3.3.2	Pré-Requisitos da Envoltória .....	35
3.3.2.1	Pré-Requisitos: Transmitância térmica, Capacidade térmica e Absortância solar das superfícies .....	36
3.3.2.2	Pré-Requisitos-Ventilação Natural .....	36
3.3.2.3	Pré-requisito – Iluminação Natural.....	38
3.3.3	Determinação da Eficiência da Envoltória .....	38
3.3.3.1	Eficiência quando naturalmente ventilada .....	39
3.3.3.2	Eficiência quando condicionada artificialmente.....	40
3.3.4	Sistema de Aquecimento de Água .....	41
3.3.4.1	Pré-Requisitos do Sistema de Aquecimento de Água .....	41
3.3.4.2	Sistema de Aquecimento Solar.....	42
3.3.5	Bonificações.....	43

3.3.6	Classificação do Nível de Eficiência de Unidades Habitacionais Autônomas (UHs) .....	44
4	ESTUDO DE CASO.....	46
4.1	Goiânia: Clima e Zona Bioclimática .....	46
4.2	Goiânia: Estratégias Bioclimáticas .....	50
4.3	Apresentação da Edificação .....	51
4.4	Tipologias e características Construtivas da Edificação .....	61
4.5	Descrição das Aberturas dos Ambientes de Permanência Prolongada .....	66
4.6	Resultados.....	68
4.6.1	Pré-Requisitos da Envoltória.....	68
4.6.1.1	Transmitância, Capacidade Térmica e Absortância da Envoltória .....	68
4.6.1.2	Pré-Requisito – Ventilação Natural .....	71
4.6.1.3	Pré-Requisito – Ventilação Cruzada.....	71
4.6.1.4	Pré-Requisito – Iluminação Natural.....	72
4.6.2	Sistema de Aquecimento de Água.....	73
4.6.2.1	Pré-Requisitos .....	73
4.6.2.2	Procedimento para Determinação da Eficiência .....	73
4.6.2.3	Sistema de Aquecimento Solar.....	73
4.6.3	Bonificações .....	82
4.6.4	Determinação da Eficiência da Edificação.....	85
4.6.5	Análise dos Resultados .....	94
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	96
	REFERÊNCIAS.....	99

## 1 INTRODUÇÃO

Os profissionais ligados à construção civil, principalmente arquitetos e engenheiros exercem importante papel enquanto tomadores de decisão acerca da edificação a ser construída, visto que o setor está entre os que mais causam impacto ao meio ambiente, acarretando em grande degradação à natureza, elevado índice na emissão de CO<sub>2</sub> e diminuição do Ozônio, além de alto consumo de energia.

Assim, é de grande relevância que a escolha dos materiais seja feita com conhecimento e critério para que estes acarretem em um menor impacto ambiental; que o partido arquitetônico respeite a localização geográfica e características climatológicas, que sejam usadas tanto quanto possível formas passivas de conforto que favoreçam a qualidade de vida do usuário com menor utilização de refrigeração e aquecimento artificiais e a otimização dos processos construtivos, reduzindo desperdícios e resíduos em todas as fases da edificação; projeto, execução, pós-ocupação e demolição.

A arquitetura com terra, reconhecida como uma arquitetura de baixo impacto humano e ambiental, pode ser uma resposta ao desafio apresentado, desde que como qualquer outro sistema construtivo, seja submetido à análise de disponibilidade de material e mão de obra e seja adequado ao clima onde será edificado. Mas, é uma opção que deve ser considerada pelo grande número de vantagens que apresenta; tem baixo impacto ambiental, não emite CO<sub>2</sub> em sua produção, é reciclável e biodegradável, não acarretando resíduos, tem tecnologia de fácil aprendizado e regula a temperatura e a umidade interior à construção, entre outras.

Apesar da arquitetura com terra ser utilizada há centenas de anos em diferentes regiões do planeta e o conhecimento de suas inúmeras qualidades, no Brasil, sua aplicação, na atualidade, não é significativa. Este fato se deve principalmente à vinculação do uso da terra como sistema construtivo, a edificações menos nobres.

Por entender que a avaliação e análise do desempenho térmico e eficiência energética de

uma construção em terra têm a colaborar com um maior conhecimento acerca do comportamento desse sistema construtivo, é submetida à análise do RTQ-R, uma residência unifamiliar na cidade de Goiânia, Zona Bioclimática 6 que tem o adobe (uma das múltiplas aplicações da terra), como seu principal elemento construtivo.

## **1.1. Problema de Pesquisa**

É possível construirmos casas mais confortáveis, que agridam menos o meio ambiente e com impactos mais positivos sobre a nossa saúde?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência energética de uma residência unifamiliar na cidade de Goiânia que tem o adobe com uma importante participação em seu processo construtivo, além de uma rica presença vegetativa, avaliando principalmente o comportamento e desempenho térmico da edificação e sua contribuição para o conforto do morador.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Buscar junto à literatura os impactos da construção civil na saúde do usuário e no meio ambiente

Levantar junto à literatura informações sobre o sistema construtivo da arquitetura com terra; sua contribuição na qualidade de vida do morador e seu baixo impacto ambiental.

Identificar e relatar o clima de Goiânia e sua zona bioclimática.

Levantar dados e informações da Edificação Residencial a ser analisada

Avaliar segundo o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R), o Nível de Eficiência Energética da Edificação Residencial apresentada.

Analisar os resultados obtidos.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa científica desenvolvida neste trabalho de análise do desempenho térmico e eficiência energética de uma residência unifamiliar em adobe, localizada na cidade de Goiânia tem finalidade básico-estratégica de avançar no conhecimento científico a respeito das propriedades de construção em terra e sua adequação ao local especificado, segundo o Regulamento Técnico.

Apresenta objetivo exploratório e descritivo. Exploratório, enquanto aborda conceitos de conforto térmico e seus impactos na saúde do morador e aprofunda o conhecimento da norma RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética da Edificação Residencial). Descritivo, enquanto relaciona as vantagens e desvantagens do uso de um sistema construtivo em terra.

A abordagem utilizada é qualitativa e quantitativa. Qualitativa, realizada pela pesquisa bibliográfica em fontes primárias e secundárias, e quantitativa no tratamento dos resultados, com apresentação de cálculos e planilhas. Para os cálculos dos pré-requisitos da envoltória, aquecimento de água e bonificações foram utilizadas as planilhas disponíveis no Pbeedifica Residencial (2010).

O trabalho caracteriza-se por um método hipotético-dedutivo, apresentando o problema/desafio de construir uma casa que seja confortável, agrida menos o meio ambiente e que tenha impactos mais positivos sobre a saúde do morador, tendo como resposta possível, a construção em terra.

Como procedimento para desenvolvimento da pesquisa é realizada consulta bibliográfica em livros e trabalhos científicos abordando os impactos da construção civil na saúde do usuário e no meio ambiente, e construção em terra, tendo como principais autores; Lamberts *et al* (2011), Frota e Schiffer (2001), Silva (2017), Da Ponte (2012) e Minke (2015). A pesquisa documental é realizada com o aprofundamento no conhecimento do RTQ-R e análise de

dados climatológicos de Goiânia, pelas fontes: ProjetEEE (2019) e INMET (2010) e análise de projetos e fotos da residência, fornecidos pela arquiteta/ moradora.

O trabalho contou com uma visita, pela autora à casa em questão, onde foram levantados dados complementares aos projetos e realizada entrevista não estruturada à arquiteta com coleta de informações relevantes à pesquisa.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Construção civil e seu impacto na saúde do usuário e no meio ambiente

A qualidade do ar no interior das edificações reflete diretamente na saúde, no bem estar e na produtividade de seus ocupantes. Segundo Silva (2017), este estado é resultado principalmente de fatores como: um sistema de ventilação que forneça ar de qualidade e em quantidade suficiente para a renovação do ar do ambiente; temperatura que não ocasione fadiga ao corpo humano; umidade entre 40 e 70%; iluminação apropriada às atividades e sempre que possível natural; mobiliário e equipamentos que não liberem produtos químicos (compostos orgânicos voláteis) e manutenção adequada de toda edificação, equipamentos e mobiliários.

Assim, a maior parte dos fatores que determinam a qualidade do ar no interior das edificações está relacionada à escolha do sistema construtivo, da proposta arquitetônica, à aplicação de estratégias de conforto passivo e escolha dos materiais a serem usados. (SILVA, 2017).

Não podemos abordar um edifício, seja qual for sua função, somente pelos aspectos puramente técnicos ou estéticos. A finalidade última de qualquer construção é abrigar alguns moradores que necessitam sentir-se à vontade e desfrutar de uma saúde perfeita. (BUENO, 1995) *apud* (HÜNTNER JÚNIOR, 2012).

Os profissionais da construção civil, segundo Keeler e Burke (2010), devem conhecer os materiais a serem usados e os processos a serem utilizados para uma escolha mais adequada, pois algumas substâncias químicas presentes nos materiais de construção que causam impacto na saúde humana podem ter seu efeito nocivo retardado por longo período, enquanto outros podem se manifestar mais rapidamente, dependendo também de cada organismo.

O conforto térmico é um dos fatores mais determinantes na qualidade de vida do usuário. “O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse, inclusive térmico.” (FROTA e SCHIFFER,



2001, p.15).

Segundo Frota e Schiffer (2001), possibilitar o conforto térmico em uma edificação é uma das funções da Arquitetura que deve proporcioná-lo independentemente das condições climáticas externas.

A sensação de conforto térmico do indivíduo ocorre na medida em que as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente aconteçam sem maiores esforços para que ele mantenha sua temperatura interna na ordem de 37° C. Qualquer esforço adicional do corpo para manter este equilíbrio reflete em perda na sua capacidade produtiva, podendo chegar a incapacitá-lo na realização de trabalhos e inclusive prejudicar sua saúde. (FROTA e SCHIFFER, 2001, p.15).

Quando falamos de residência, este peso é ainda maior, afinal o que se espera de uma CASA desde nossos ancestrais senão o de proporcionar segurança, bem estar, recuperação?

O conhecimento das exigências humanas de conforto térmico e do clima, associado ao das características térmicas dos materiais e das premissas genéricas para o partido arquitetônico adequado a climas particulares, proporciona condições de projetar edifícios e espaços urbanos cuja resposta térmica atenda às exigências de conforto térmico. (FROTA e SCHIFFER, 2001, p.16).

O conforto térmico, segundo Lamberts *et al* (2011), está vinculado a fatores físicos; que se referem às trocas de calor com o ambiente, como já mencionado, mas também a fatores fisiológicos, referentes à aclimação de quem é submetido às condições ambientais e a fatores psicológicos que estão vinculados a experiências anteriores e expectativa do indivíduo.

A importância do estudo do conforto térmico se deve principalmente a três fatores;

- A) a satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável;
- B) a performance humana [...] atividades intelectuais, manuais e perceptivas, geralmente apresentam um melhor rendimento quando realizadas em conforto térmico;
- C) a conservação de energia [...]. Ao conhecer as condições e os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes em seus ambientes, evitam-se desperdícios com calefação e refrigeração, muitas vezes desnecessários. (LAMBERTS *et al*, 2011, p. 3).

Lamberts *et al* (2011) alerta que é impossível se projetar um ambiente que satisfaça 100% dos que o ocupam, mas é possível a satisfação da maioria deles. A tarefa de satisfazer termicamente os ocupantes de um espaço se mostra árdua devido ao grande número de variáveis ao qual tal critério está submetido, mas o arquiteto deve tê-lo como parâmetro essencial para o bom desenvolvimento de seu projeto, já que o conforto térmico além de determinar a satisfação do usuário e o adequado desempenho de suas tarefas, influencia diretamente o quanto se usará de calefação e refrigeração, ou seja, quanto será o gasto de energia para este fim.

A racionalização do uso da energia no ambiente construído, conforme cita Frota e Schiffer (2001, p. 16), está diretamente ligada à adequação da arquitetura ao clima local, dos mecanismos de troca de calor e do comportamento térmico dos materiais.

Uma edificação de baixo consumo energético consiste:

- No projeto apropriado da forma do prédio e de suas vedações externas para coletar a energia gratuita do terreno na forma de iluminação natural, calor solar passivo e resfriamento passivo;
- No projeto das vedações externas, da iluminação, dos acessórios e dos equipamentos do edifício para reduzir as cargas;
- No projeto de sistemas de climatização que minimizem o consumo de energia; e
- No projeto de sistemas para gerar energias renováveis in loco. (KEELER e BURKE, 2010, p. 7-8).

A construção civil tem elevado impacto ambiental principalmente pelo alto consumo de energia na produção de insumos durante sua construção, pela grande quantidade de resíduos sólidos produzidos durante a construção e desmontagem e pelo alto consumo de energia durante sua vida útil. Assim, em uma época em que se tem a gestão de energia e o controle de emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera como grandes desafios, torna-se necessário dar respostas diferentes das que vêm se repetindo. É necessário que os profissionais da área de construção procurem alternativas de uma arquitetura mais adequada ao local de execução e que desperdice menos recursos.

- Construções consomem 40% da energia mundial e 40% dos materiais

brutos.

- Construções são responsáveis por 40% da emissão de CO<sub>2</sub> e 40% da diminuição do ozônio.
- 75% de todas as árvores derrubadas na América do Norte são usadas na construção.
- 97% de todas as florestas naturais dos EUA já foram derrubadas.
- Como reinventar as nossas moradias para que elas ofereçam conforto e proteção de maneira que não agridam ainda mais a natureza ao nosso redor e dentro de nós? (Primeira Terra: Arquitetura Ecológica Integral, 2013).

“O projeto de arquitetura deve atender simultaneamente à eficiência energética e às condições de conforto do usuário.” (LAMBERTS *et al*, 2000, p. 34). Assim, o uso de estratégias passivas de aquecimento e de resfriamento no projeto resulta em redução na utilização de sistemas artificiais para atingir o conforto térmico, ocorrendo menor gasto energético.

Algumas estratégias bioclimáticas passivas possíveis a serem usadas, conforme as características climatológicas do local estudado são;

- Ventilação;

A ventilação corresponde uma estratégia de resfriamento natural do ambiente construído através da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio). As soluções arquitetônicas comumente utilizadas são ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso sob a edificação. (LAMBERTS *et al*, 2000, p. 36).

- Resfriamento Evaporativo;

O resfriamento evaporativo é uma estratégia utilizada para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir a sua temperatura. O resfriamento evaporativo pode ser obtido de forma direta ou indireta. O uso de vegetação, de fontes d'água ou de outros recursos que resultem na evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar constituem-se em formas diretas de resfriamento evaporativo. (LAMBERTS *et al*, 2000, p. 36).

- Inércia Térmica para Resfriamento;

A utilização de componentes construtivos com inércia térmica (capacidade térmica) superior faz com que a amplitude da temperatura interior diminua em relação a exterior, ou seja, os picos de temperatura verificados externamente não serão percebidos internamente. Nestes casos, a capacidade térmica do componente

permite o atraso da onda de calor fazendo com que este calor incida no ambiente interno apenas no período da noite, quando existe a necessidade de aquecimento. (LAMBERTS, Roberto *et al*, 2000, p. 37).

As estratégias para climas que necessitam de aquecimento são; a inércia térmica com aquecimento solar e o aquecimento solar passivo.

A experiência de nossos antepassados é um caminho precioso a ser analisado na busca de uma construção mais sustentável no nível de conforto e saúde humana e desempenho energético.

A Arquitetura Vernacular por, muitas vezes, não ter tido acesso à eletricidade e conseqüentemente não ter contado com resfriamento ou aquecimento artificial, foi configurada a partir do clima local e seu legado tornou-se um material significativo para aprendizado de como se alcançar o conforto térmico da residência com menor impacto e gasto energético.

### **3.2 Uso da Terra na Construção Civil**

A terra é utilizada como material de construção há mais de 9000 anos, deixando-nos um vasto material de estudo, já que muitas construções seculares permanecem sólidas.

Ela apresenta diferentes composições, processamentos e aplicações recebendo nomes, como; “taipa, blocos de terra, tijolos ou adobe”. (MINKE, 2015, p. 18).

Em quase todos os climas quentes, áridos ou temperados, a terra sempre prevaleceu como material de construção. Mesmo hoje, um terço da população habita em casas de terra. (MINKE, 2015, p. 18).

Este fato se deve por um lado ao fato de a terra ser um material natural, abundante e de fácil acesso na maior parte do planeta e por outro pela procura cada vez maior por “edificações eficientes econômica e energeticamente, dando maior valor à saúde e à temperatura interior equilibrada.” (MINKE, 2015, p. 18).

O uso da terra como material de construção apresenta três desvantagens em relação aos

materiais industriais, segundo Minke (2015, p.22), que são; a de apresentar diferentes composições e características conforme de onde é retirada, de se contrair quando seca, apresentando encolhimento linear entre 3% e 12% e de ser permeável, necessitando ser protegida da chuva e da geada.

Segundo Da Ponte (2012), a combinação de chuva e vento é o principal agente de degradação das paredes exteriores de uma edificação, sendo ainda mais preocupante em regiões de grande pluviosidade. Um dos riscos que podem ocorrer com paredes em terra, sujeitos a uma significativa exposição à água é a possibilidade de que os sais presentes na terra se diluam e sejam absorvidos por esta, cristalizando-se ao evaporar. Este processo que se manifesta por uma mancha branca, pode levar à perda da resistência de todo sistema.

A terra é também sensível à presença da umidade na atmosfera devido a sua higroscopicidade. A água é um material bastante poroso e como tal tem a capacidade de armazenar e transportar água ou o vapor, através de seus vasos capilares. Assim, a água move-se desde zonas mais húmidas até as zonas com menor humidade, proporcionando o seu equilíbrio e um ambiente mais saudável. (DA PONTE, 2012, p. 145).

Da Ponte (2012) alerta que em zonas climáticas temperadas e frias, onde o vapor de água procura atravessar a parede de dentro para fora da edificação, pode ocorrer a condensação deste vapor no interior da parede, levando à redução da capacidade de isolamento térmico e da resistência mecânica, além da possibilidade de aparecimento de fungos. Assim, é importante evitar rebocos, tintas impermeabilizantes ou painéis isolantes que dificultem uma passagem rápida do vapor de água pela parede. A exposição solar, também, deve ser adequada para que não ocorra uma umidade constante da envoltória.

Tradicionalmente, existem três princípios mais ou menos definidos e constituem a base do “savoir bien construire em terre”. Estes procuram proteger os elementos em terra da ação das chuvas e da humidade, principalmente da que ascende por contacto com o solo. (DA PONTE, 2012, p. 149).

Os princípios aos quais se refere Da Ponte (2012) têm a função de evitar ou minimizar o contato da água com as paredes feitas em terra. São eles: telhado que avance além da linha de fachada, de forma a proteger a envoltória da ação das chuvas; fundação e base impermeáveis, de forma a evitar a absorção por capilaridade da água do subsolo ou

provenientes de acúmulo desta ao nível do chão; e um revestimento que proteja a envoltória vertical, tomando-se o cuidado de não comprometer a respiração natural da parede.

Em contrapartida aos desafios em se trabalhar com construções em terra, as vantagens são inúmeras, como algumas relacionadas por Minke (2015 p. 23-24):

- Regular a umidade do ambiente;
- Armazenar calor;
- Ajudar a poupar energia e diminuir a poluição ambiental;
- Ser reutilizável;
- Economizar material e os custos de transporte;
- Ser ideal para autoconstrução;
- Preservar a madeira e outros materiais orgânicos.

Cancela(2013) acrescenta a estas vantagens, o fato de a construção em terra não estar associada à toxidade dos materiais sintéticos que contaminam o ar no interior das edificações e ressalta a capacidade de um tijolo em terra crua absorver 10 vezes mais umidade do ar que tijolos cerâmicos tradicionais, de forma que contribui para a manutenção dos níveis de umidade no interior da edificação entre 40% e 60%. “As habitações com valores de humidade acima de 60% ou abaixo de 40% propiciam o aparecimento de doenças do foro respiratório.” (CANCELA, 2013, p. 30).

Importante ressaltar que o Impacto do Ciclo de Vida das habitações construídas com terra é menor do que das habitações construídas com materiais modernos. Este resultado é obtido tanto quando o indicador do impacto ambiental é a emissão de gás carbônico ou quando o critério usado é a emissão de compostos orgânicos voláteis ou mesmo usando o critério de processos produtivos em ciclos fechados, já que este pode ser reutilizado inúmeras vezes, não gerando resíduos. (ORUI, 2015, p. 23).

Compostos Orgânicos Voláteis-COVs, (Volatile Organic Compounds-VOCs) são contaminantes químicos que afetam a qualidade do ar interno e contribuem para a formação de Ozônio Troposférico (smog), um gás que também provoca o efeito estufa. Segundo diferentes autores, os sintomas relacionados à exposição a esses compostos incluem: cansaço, dores de cabeça, tonturas, fraqueza, sonolência, irritação dos olhos e pele. (ORUI, 2015, p. 124-125).

O aspecto psicológico de aconchego e bem-estar é proporcionado pela arquitetura de terra

devido à sensação de “construção feita por mãos humanas, quase um artesanato”. (MAIA, 2014, p.6), exemplificado pelas casas Obuses da Tribo Musgum, etnia de Camarões. (Fig. 1 e 2).

A terra como material de construção natural traz o homem de volta às origens: na natureza (a Mãe Terra - útero), na origem sagrada (mitologia, religiosidade) e na origem científica (argila como formação dos primeiros indícios de vida). (MAIA, 2014, p.6).

“[...] o tato percebe a textura da terra, o olfato, o cheiro dela e a liga à memória. Os sons são reverberados nas superfícies das construções naturais de maneira diferente das outras.” (MAIA, 2014, p.7).

**Figura 1 e 2: Construção e detalhe de uma casa obus, no norte de Camarões**



Fonte: Arquitetura de Terra (2010).

Le Corbusier afirmou que a arquitetura é para emocionar. A qualidade da habitação junto à capacidade de estímulos da terra pode proporcionar essa emoção: o conceito de conforto apreendido pelo morador se expressa pelo prazer, pelo bem estar, pelo consolo do espírito, pela expansão de seu corpo e cultura e expansão de suas emoções e sentimentos. (MAIA, 2014, p.10).

Apesar de tantos exemplos que provam o contrário “a terra é vista como um material frágil e pouco durável, através do qual se constroem edifícios toscos e de fraca qualidade.” (DA PONTE, 2012, p. 21). Este fato ocorre principalmente por questões culturais e falta de conhecimento. Segundo Da Ponte (2012), a Arquitetura com terra tem voltado a ser protagonista nas construções em países desenvolvidos como; França, Alemanha e Austrália, voltando a despertar o interesse dos arquitetos. Em países menos desenvolvidos percebe-se

um preconceito maior. “Os povos acabam por rejeitar a sua própria cultura e adotar modelos e produtos ocidentais, muitas vezes de fraca qualidade e que em nada beneficiam a população local”. (DA PONTE, 2012, p. 23).

O uso da terra tem retomado seu lugar na construção (mais ou menos lentamente), seja como alternativa a materiais de maiores gastos energéticos como o tijolo ou o concreto, seja se aliando a eles, aproveitando as inovações tecnológicas na área, principalmente, segundo Da Ponte (2012), pelo “fato de ser material natural e abundante encontrado no próprio local e infinitamente reciclável, evitando gastos energéticos consideráveis”.

Tal como cita o arquiteto Miguel Mendes; a terra pode não ser o melhor material de construção em termos das exigências individuais; não é o melhor isolante térmico, ou o material mais resistente à compressão, não dispensa totalmente a manutenção, não tem uma resposta linear e principalmente não é imune aos agentes de degradação. No entanto a terra consegue desempenhar um pouco de todas as funções de uma forma muito satisfatória. Numa altura de grandes necessidades ecológicas, de esgotamento de recursos, de crise econômica, energética, mas também de valores, a terra é uma solução bastante viável para o futuro. No entanto, a sua manipulação não pode ser feita sem um conhecimento prévio, sem uma orientação sobre os intervenientes no sistema. Na verdade, trabalhar com a terra é apenas mais um desafio. (DA PONTE, 2012, p. 231).

### **3.2.1 O Adobe**

“O adobe [...] é um componente construtivo produzido com terra em estado ‘líquido’ ou ‘plástico’, cujo processo produtivo foi registrado pelos egípcios cerca de 5000 anos antes de Cristo”. (ORUI, 2015, p. 45). São blocos produzidos através do preenchimento de formas com terra em estado plástico, sem recorrer à compactação, conforme definido por Da Ponte (2012), e secos ao ar livre.

Pode ser acrescentado, na terra com a qual vai trabalhar, conforme citado por De Faria (2011); areia, fibras vegetais ou estrume de boi, com a finalidade de sua estabilização e ganho de resistência. “A alteração das características naturais, seja por meio mecânico ou por adição de produtos naturais, permite, de forma pouco agressiva, melhorar a qualidade do material.” (Da Ponte, 2012, p. 79-81). Dentre os aditivos utilizados, o mais comum é a fibra natural que controla a retração e aumenta o isolamento térmico devido à diminuição



de sua densidade. (Da Ponte, 2012). Já como rejunte, usa-se o próprio barro, enquanto como reboco pode-se usar o barro ou, cal e areia. (De Faria, 2011).

A aplicação de revestimento sobre a parede de adobe é opcional: há quem prefira deixá-lo aparente, há quem associe a durabilidade das construções à manutenção de seus revestimentos externos e internos. (ORUI, 2015, p. 46).

Para o acabamento e impermeabilização são usados preferencialmente os produtos naturais, já que estes, sendo insolúveis em água, apresentam a vantagem de não impedir a respiração da terra. São principalmente; o óleo de linhaça, de karitè, a cera de abelha e a caseína proteica. (Da Ponte, 2012).

O adobe apresenta diferentes dimensões, variando conforme a cultura do local e a tipologia construtiva, além de presença ou não de revestimentos. Estas variações refletem diretamente no desempenho térmico da envoltória, já que, apesar do adobe não ser um isolante térmico, pode apresentar uma elevada inércia térmica, “principalmente devido às grandes espessuras de suas vedações o que permite sua eficiência no controle da temperatura interior das edificações, principalmente em climas quentes.” (Da Ponte, 2012, p. 235).

Um muro que apresente grande capacidade de armazenamento de calor, ou seja, grande massa térmica retarda a entrada da temperatura na habitação e diminui as amplitudes térmicas. Num clima com dias quentes e noites frias, esta característica é muito importante por criar um clima interior confortável.  
(DA PONTE, 2012, p. 235).

O desempenho térmico do adobe está vinculado também às suas propriedades físicas, como; condutividade, calor específico e absorvância. Estas propriedades que variam conforme a terra usada e as composições feitas afetam diretamente na sua resistência térmica final.

A condutividade térmica do material se traduz na habilidade deste de conduzir energia térmica e está vinculada a sua densidade, natureza química e umidade, sendo que, na grande parte dos casos uma densidade baixa ocasionará em uma menor condutividade e maior resistência, ou seja, maior isolamento térmico.

De um modo geral a condutividade térmica do adobe é diretamente proporcional à sua densidade, ou seja, quanto maior a densidade maior o valor da condutividade e, portanto, menor a resistência térmica deste material. Na maioria dos casos o adobe feito de material mais leve terá um desempenho melhor. Esses valores bem como estas proporções podem variar bastante de autor para autor e de acordo com os aditivos colocados, que mesmo em pequenas quantidades, alteram a natureza das propriedades. (MARQUES, 2018, p. 67).

A facilidade de o adobe absorver água é uma propriedade muito útil em climas quentes e secos, já que através do resfriamento evaporativo pode-se reduzir a temperatura enquanto se aumenta a umidade relativa do ar. Esta propriedade está relacionada à densidade e granulometria do material e afeta diretamente o comportamento térmico da parede. (MARQUES, 2018).

O calor específico, definido como a quantidade de calor necessária para a variação da temperatura de 1° C por cada grama do material, e a absorvância, como a quantidade de energia (radiação solar) que é absorvida em relação à energia incidente em determinada superfície, somados à condutividade térmica, são determinantes no desempenho térmico final do material. (ABNT-NBR 15220, 2005).

Para que o desempenho térmico de uma edificação esteja adequado ao clima local, proporcionando conforto ao usuário, as normas técnicas e regulamentações estabelecem parâmetros, sobretudo referente à transmitância e capacidade térmica do sistema, a serem seguidos conforme a zona bioclimática da região.

Transmitância térmica é o inverso da resistência térmica, ou seja; “capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor.” (ABNT-NBR 15220, 2005).

Capacidade térmica é “quanto de energia é necessário para alterar em 1° C a temperatura do ambiente.” (ABNT-NBR 15220, 2005).

O desempenho térmico de uma parede além de depender das propriedades do material, técnica construtiva e espessuras, é resultado também de fatores climáticos, orientação solar adequada, proteção de paredes e dimensão das aberturas de esquadrias. (CANCELA, 2013).

### 3.2.1.1 Propriedades Térmicas do Adobe

Na tabela 1 estão relacionados alguns exemplos de material usados na fabricação de adobe com suas respectivas propriedades físicas, na tabela 2 os materiais usados estão relacionados conforme a sua fonte e na tabela 3, a avaliação do desempenho da parede de adobe dos materiais citados e atendimento ou não aos critérios mínimos de desempenho térmico da norma ABNT-NBR 15575 (2013).

**Tabela 1: Propriedades Térmicas do Adobe**

Identificação	Descrição	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade Térmica (W/m.K)	Calor Específico (J/kg. K)
Material nº 1	Terra para adobe	1000	0.25	840
Material nº 2	Terra para adobe	2000	0.78	576
Material nº 3	Terra para adobe	1698	0.52	1005
Material nº 4	Alvenaria de bloco de adobe	1700	0.56	1001
Material nº 5	Alvenaria de bloco de adobe com palha	1000	0.35	1001
Material nº 6	Taipa, terra, adobe pesado	2000	1.10	1476

Fonte: Orui (2015, p. 61).

**Tabela 2: Identificação das fontes utilizadas**

Identificação	Descrição	Referência
Material nº 1	Terra para adobe	Bahadori e Haghghat (1985 <i>apud</i> ALVARENGA)
Material nº 2	Terra para adobe	Izard e Guyort (1980 <i>apud</i> ALVARENGA)
Material nº 3	Terra para adobe	Mazria (1979, p. 141 <i>apud</i> MONQUIN, 2005, p. 96)
Material nº 4	Alvenaria de bloco de adobe	Moita (2010, p. 195)
Material nº 5	Alvenaria de bloco de adobe com palha	Moita (2010, p. 195)
Material nº 6	Taipa, terra, adobe pesado	Moita (2010, p. 195)

Fonte: Orui (2015, p. 54).

**Tabela 3: Avaliação do desempenho da parede de adobe**

Descrição		Desempenho					
Alvenaria de adobe		U (W/m <sup>2</sup> . K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> . K)	Zonas Bioclimáticas 1 e 2	Zonas Bioclimáticas 3 a 8		Zonas Bioclimáticas 1 a 8
Identificação	Espessura (m)			U ≤ 2,5	α ≤ 0,6 U ≤ 3,7	α > 0,6 U ≤ 2,5	CT ≥ 130
Material nº 1	0.15	1.30	126	Sim	Sim	Sim	Não atende
Material nº 1	0.20	1.03	168	Sim	Sim	Sim	Sim
Material nº 2	0.15	2.76	173	Não atende	Sim	Não atende	Sim
Material nº 2	0.20	2.35	230	Sim	Sim	Sim	Sim
Material nº 3	0.15	2.18	255	Sim	Sim	Sim	Sim
Material nº 4	0.15	2.28	255	Sim	Sim	Sim	Sim
Material nº 5	0.15	1.67	150	Sim	Sim	Sim	Sim
Material nº 6	0.15	3.26	238	Não atende	Sim	Não atende	Sim
Material nº 6'	0.30	2.26	475	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Orui (2015, p. 76).

De onde se conclui que as alvenarias em adobe podem atender às necessidades mínimas impostas pela norma NBR-ABNT 15575 em todas as zonas bioclimáticas brasileiras. Contudo, nos materiais dispostos acima, segue as seguintes observações:

- A alvenaria de adobe produzida com o material nº 1 deve ter no mínimo 20 cm de espessura, porque espessuras menores não atendem ao critério CT;
- A alvenaria de adobe produzida com o material nº 2 deve ter no mínimo 20 cm de espessura, porque espessuras menores não atendem ao critério

- U;
- A alvenaria de adobe de 15 cm de espessura, produzida com os materiais nº 3, 4 e 5, é adequada a todas as zonas bioclimáticas brasileira;
- A alvenaria de adobe produzida com o material nº 6 deve ter no mínimo 30 cm de espessura, porque espessuras menores não atendem ao critério U. (ORUI, 2015, p. 75).

### **3.3 Avaliação segundo o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R) para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**

O RTQ-R tem como objetivo principal “criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares.” (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.15).

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é concedida pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). A etiquetagem de eficiência energética para as Unidades Habitacionais Unifamiliares avalia os requisitos relativos ao desempenho térmico da envoltória, da eficiência do(s) sistema(s) de aquecimento de água e eventuais bonificações.

#### **3.3.1 Pré-Requisito Geral**

Para obtenção dos níveis de eficiência A ou B, havendo mais de uma unidade habitacional autônoma no mesmo lote, estas devem possuir medição individualizada de eletricidade e água. Estão excluídas deste pré-requisito edificações construídas até a publicação deste RTQ. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p. 15)

#### **3.3.2 Pré-Requisitos da Envoltória**

Os pré-requisitos referentes às características térmicas de absorvância, transmitância e capacidade térmica das paredes externas e coberturas e as características físicas relativas à iluminação e ventilação são avaliados em cada ambiente de permanência prolongada separadamente, enquanto a ventilação cruzada é avaliada, considerando todas as fachadas da UH.

### 3.3.2.1 Pré-Requisitos: Transmitância térmica, Capacidade térmica e Absortância solar das superfícies

A transmitância térmica, capacidade térmica e absortância solar das superfícies devem ser atendidas conforme a zona bioclimática em que se situa a edificação, sendo que o não atendimento a estes pré-requisitos implica em no máximo nível C nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento para aquecimento e para refrigeração. A transmitância térmica a ser considerada é a média das transmitâncias de cada parcela das paredes externas. (RTQ-R, BRASIL, 2012).

“A absortância solar a ser considerada para a avaliação do pré-requisito é a média das; absortâncias de cada parcela das paredes, ou cobertura, ponderadas pela área que ocupam, excluindo a absortância das áreas envidraçadas das aberturas.” (RTQ-R, Brasil, 2012, p.25).

Observação: as coberturas vegetadas são dispensadas do atendimento ao pré-requisito de absortância.

**Tabela 4: Pré-requisitos de absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as Zonas Bioclimáticas ZB 3 a ZB 6**

ZONA BIOCLIMÁTICA	COMPONENTE	ABSORTÂNCIA SOLAR (adimensional)	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA [W/(M²K)]	CAPACIDADE TÉRMICA [KJ/(M²K)]
ZB3 a ZB6	PAREDE	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	COBERTURA	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	SEM EXIGÊNCIA
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	SEM EXIGÊNCIA

Fonte: RTQ-R, Brasil (2012, p. 2).

### 3.3.2.2 Pré-Requisitos-Ventilação Natural

Ambientes de permanência prolongada devem possuir percentual de áreas mínimas de aberturas para ventilação. (RTQ-R, BRASIL, 2012 p.26).

a) Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente para a Zona bioclimática 1 a 6: **A ≥ 8%\*** \*(RTQ-R, BRASIL, 2012)

$$A = 100. (AV / AU_{amb}) *$$

Sendo:

A= percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (%);

AV= área de abertura para ventilação (m<sup>2</sup>);

AUamb= área útil do ambiente (m<sup>2</sup>).

O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo nível C no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento. (RTQ-R, Brasil, 2012).

- A Tabela de Desconto das Esquadrias (Anexo II do RTQ-R) pode ser utilizada para a determinação da área de abertura para ventilação. No caso de esquadrias não contempladas no Anexo II, deve-se calcular a área efetiva de abertura para ventilação, desconsiderando os caixilhos;
- Para dormitórios com área superior a 15,00 m<sup>2</sup>, o pré-requisito deve ser atendido para 15,00 m<sup>2</sup>. A área restante não precisa ser contabilizada para o pré-requisito;
- A área de corredor deve ser desconsiderada do cálculo da área útil do ambiente, mesmo se o corredor for contíguo a algum ambiente de permanência prolongada.
- Para a UH atingir nível A, pelo menos 50% dos banheiros, com exceção dos lavabos, deve possuir ventilação natural. O não atendimento a este pré-requisito implica em obtenção de no máximo nível B (EqNum = 4) no equivalente numérico da envoltória da UH (EqNumEnv). (RTQ-R, Brasil, 2012 p.27).

## b) Ventilação Cruzada

Nas Zonas Bioclimáticas 2 a 8, a UH, (Unidade Habitacional), deve possuir ventilação cruzada proporcionada por sistema de aberturas compreendido pelas aberturas externas e internas.

O projeto de ventilação natural da edificação promove condições de escoamento de ar entre as aberturas localizadas em todas as fachadas e orientações da edificação, permitindo o fluxo de ar necessário para atender condições de conforto e higiene. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.28).

Portas de acesso principal e de serviço não são consideradas como aberturas para ventilação.

Proporção das aberturas para ventilação natural a ser respeitada:  $A2/A1 \geq 0,25$

Sendo:

A1= somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m<sup>2</sup>);  
A2: somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m<sup>2</sup>).

O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo nível C nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento, para aquecimento e para refrigeração. (RTQ-R, Brasil, 2012).

### 3.3.2.3 Pré-requisito – Iluminação Natural

O acesso à iluminação natural em ambientes de permanência prolongada deve ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior. A soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente.  
(RTQ-R, BRASIL, 2012.P.28).

A soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente deve corresponder a no mínimo **12,5%** da área útil do ambiente.

O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo **nível C** nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento, para aquecimento e para refrigeração. (RTQ-R, Brasil, 2012).

### 3.3.3 Determinação da Eficiência da Envoltória

Método prescritivo.

A relevância da determinação da eficiência da envoltória é devido ao fato de que as envoltórias com maiores trocas térmicas impliquem em elevados ganhos de calor em climas mais quentes (radiação solar, temperatura, etc.), ou maiores perdas de calor em climas frios (infiltração, diferenças de temperatura, etc.), segundo o Manual do RTQ-R, Brasil (2012).



### 3.3.3.1 Eficiência quando naturalmente ventilada

1º A Eficiência da Envoltória naturalmente ventilada é determinada pelo Indicador de Graus-hora para Resfriamento (GHR) e o Consumo Relativo para Aquecimento (CA), através de equações fornecidas pelo regulamento ou pela planilha disponível no site do Pbeedifica (2019).

a) Cálculo do Indicador de Graus-Hora para Resfriamento (GHR)

Calcula-se o indicador de graus-hora para resfriamento (GHR) de cada ambiente de permanência prolongada da UH através de equações de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada.

Os números de graus-horas obtidos através das equações, por se tratarem de valores estimados, são considerados indicadores de graus-hora para resfriamento (GHR). (RTQ-R, BRASIL, 2012. p. 30).

b) Cálculo do Consumo Relativo para Aquecimento (CA)

Calcula-se o consumo relativo anual para aquecimento (CA) de cada ambiente de permanência prolongada da UH através de equações, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada. (RTQ-R, BRASIL, 2012. p. 30).

Observação: o consumo relativo ao aquecimento (CA) só é calculado para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4. (RTQ-R, BRASIL, 2012)

2º Após o cálculo do Indicador de Graus Hora para Resfriamento (GHR) e do Consumo Relativo para Aquecimento (CA), determina-se os Equivalentes Numéricos da Envoltória de cada Ambiente de Permanência Prolongada para Resfriamento e para Aquecimento. (EqNumEnvAmbResfr) e (EqNumEnvAmbA), através das tabelas fornecidas pelo regulamento ou pela planilha disponível no site do Pbeedifica (2019).

Determina-se o equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento (EqNumEnvAmbResfr) e o equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento (EqNumEnvAmbA) de cada ambiente de permanência prolongada da UH, através das faixas estabelecidas nas tabelas, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.31).

3º A determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Resfriamento (EqNumEnvResfr) é realizada através da ponderação dos

Equivalentes Numéricos da Envoltória de cada Ambiente de Permanência Prolongada para Resfriamento (EqNumEnvAmbResfr), pelas áreas úteis dos ambientes de permanência prolongada avaliados (AUamb). (RTQ-R, BRASIL, 2012).

A determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Aquecimento (EqNumEnvA) é realizada através da ponderação dos Equivalentes Numéricos da Envoltória de cada Ambiente de Permanência Prolongada para Aquecimento (EqNumEnvAmbA), pelas áreas úteis dos ambientes de permanência prolongada avaliados (AUamb). (RTQ-R, BRASIL, 2012).

Observação: a determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma para Aquecimento (EqNumEnvA), só é calculado para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4. (RTQ-R, BRASIL, 2012)

4º A determinação do Equivalente Numérico da Envoltória da Unidade Habitacional Autônoma (EqNumEnv) é realizada por equação fornecida pelo regulamento ou pela planilha disponível no site do Pbeedifica (2019).

Para ZB5 a ZB8, o equivalente numérico da envoltória da UH (EqNumEnv) é obtido por meio da Equação

$$\text{EqNumEnv} = \text{EqNumEnvResfr}$$

Como não é aplicado o Equivalente Numérico da Envoltória para Aquecimento nas Zonas Bioclimáticas entre 3 e 6, nestas áreas, o Equivalente Numérico da Envoltória é igual ao Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Resfriamento. (RTQ-R, 2012).

### 3.3.3.2 Eficiência quando condicionada artificialmente

O nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente é de caráter informativo, mas deve ser calculado para qualquer edificação, mesmo que naturalmente ventilada. A obtenção do nível A de eficiência neste item é obrigatória para obtenção da bonificação de condicionamento artificial de ar. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.52).

1º Cálculo do consumo relativo para refrigeração (CR)

Calcula-se o consumo relativo anual para refrigeração de cada dormitório através de equações disponíveis no RTQ-R ou pela planilha disponível no site do Pbeedifica.

O consumo relativo para refrigeração é um indicador utilizado para a avaliação do desempenho da envoltória e não reflete o consumo real do ambiente. (RTQ-R, BRASIL, 2012)

## 2º Determinação do equivalente numérico dos ambientes para refrigeração (EqNumEnvAmbRefrig)

Determina-se o equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração dos dormitórios (EqNumEnvAmbRefrig) (excluindo dormitórios de serviço) da UH, através das faixas estabelecidas nas tabelas, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.53).

## 3º Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para refrigeração (EqNumEnvRefrig)

O equivalente numérico da envoltória da UH para refrigeração (EqNumEnvRefrig) é obtido através da ponderação dos EqNumEnvAmbRefrig pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AUAmb). (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.53).

### **3.3.4 Sistema de Aquecimento de Água**

#### **3.3.4.1 Pré-Requisitos do Sistema de Aquecimento de Água**

As tubulações para água quente devem ser apropriadas para a função de condução a que se destinam e devem atender às normas técnicas de produtos aplicáveis.

Como pré-requisito para os níveis A e B, o projeto de instalações hidrossanitárias deve comprovar que as tubulações metálicas para água quente possuem isolamento térmico com espessura mínima, em centímetros (cm), de acordo com o diâmetro nominal da tubulação. Nas tubulações não metálicas para água quente, a espessura mínima do isolamento deve ser de 1,0 cm, para qualquer diâmetro nominal de tubulação, com condutividade térmica entre 0,032 e 0,040 W/m.K. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.77).

A determinação do equivalente numérico do sistema de aquecimento de água corresponde à soma ponderada dos equivalentes numéricos de cada sistema presente.

$$\text{EqNumAA} = \% \cdot \text{EqNumAA1} + \% \cdot \text{EqNumAA2} + \dots \% \cdot \text{EqNumAA}_n$$

Sendo:

EqNumAA = Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;

% = porcentagem da demanda atendida pelo referido sistema de aquecimento de água;

EqNumAA1 = Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água 1;

EqNumAA2 = Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água 2;

EqNumAA<sub>n</sub> = Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água n.

### 3.3.4.2 Sistema de Aquecimento Solar

#### a) Pré-requisitos do sistema de aquecimento solar

Para obtenção dos níveis A ou B os coletores solares para aquecimento de água (aplicação banho) devem possuir ENCE A ou B ou Selo Procel.

Os reservatórios devem possuir Selo Procel.

Reservatórios com volumes superiores aos etiquetados pelo Inmetro devem apresentar o projeto do reservatório térmico com desempenho igual ou superior ao reservatório com maior volume etiquetado pelo Inmetro.

Em todos os casos, o reservatório de água quente deve ter isolamento térmico adequado e capacidade de armazenamento mínimo compatível com o dimensionamento proposto nos itens a seguir.

Os coletores solares e os reservatórios térmicos devem atender aos requisitos das normas brasileiras aplicáveis. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.80).

#### b) Determinação da eficiência: método do dimensionamento

A eficiência do sistema de aquecimento solar deve ser definida realizando o dimensionamento do sistema para a edificação sob avaliação. A classificação da eficiência do sistema de aquecimento solar é obtida na Tabela, de acordo com a fração solar anual obtida. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.80-81)

**Tabela 5: Classificação da eficiência de sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica**

Dimensionamento	Classificação
Equivalente à fração solar anual mínima de 70%	A
Equivalente à fração solar anual entre 60 e 69%	B
Equivalente à fração solar anual entre 50 e 59%	C
Equivalente à fração solar anual menor que 50%	D

Fonte: RTQ-R, Brasil (2012, p. 81).

O dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água é dado pela equação fornecida pelo RTQ-R, Brasil (2012):

$$V_{\text{armaz}} = V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}}) / (T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}})$$

Sendo:

$V_{\text{armaz}}$  = (volume de armazenamento do sistema de aquecimento solar indicado);

$V_{\text{consumo}}$  = 450 litros/dia. (volume de consumo diário de água a ser aquecida); [(4 dormitórios x 2 pessoas/dormitório) + (1 dormitório serviço x 1 pessoa) x (50 litros / pessoa)];

$T_{\text{consumo}}$  = 40°C. (temperatura de consumo);

$T_{\text{armaz}}$  = 40°C. (temperatura de armazenamento);

$T_{\text{ambiente}}$  = 24,1°. (temperatura ambiente média anual do ar externo).

### 3.3.5 Bonificações

Iniciativas que aumentem a eficiência da UH poderão receber até 1 (um) ponto na classificação geral da UH somando os pontos obtidos por meio das bonificações. Para tanto, estas iniciativas devem ser justificadas e comprovadas. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.99).

a) Bonificação 1: referente à ventilação natural. Pontuação varia de zero a 0,40 pontos;

b) Bonificação 2: referente à iluminação natural. Pontuação varia de zero a 0,30 pontos;

c) Bonificação 3: referente ao uso racional de água. Pontuação varia de zero a 0,20 pontos;

- d) Bonificação 4: referente ao condicionamento artificial de ar. Pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- e) Bonificação 5: referente à iluminação artificial. Pontuação varia de zero a 0,10 pontos;
- f) Bonificação 6: referente a ventiladores de teto instalados na UH. Pontuação obtida varia é zero ou 0,10 pontos;
- g) Bonificação 7: referente a refrigeradores instalados na UH. Pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos; e
- h) Bonificação 8: referente à medição individualizada. Pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos.

**Bonificações= b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8**

A pontuação máxima em bonificações a ser somada na Equação é 1 (um) ponto.

### 3.3.6 Classificação do Nível de Eficiência de Unidades Habitacionais Autônomas (UHs)

A classificação do nível de eficiência de unidades habitacionais autônomas (UHs) é o resultado da distribuição dos pesos através de equação, utilizando os coeficientes da tabela, de acordo com a região geográfica na qual a edificação se localiza. (RTQ-R, BRASIL, 2012, p.17).

$$PTUH = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações$$

Sendo:

PTUH = pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma;

a = coeficiente da Tabela adotado de acordo com a região geográfica na qual a edificação está localizada;

EqNumEnv = equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente, após a verificação dos pré-requisitos da envoltória;

EqNumAA = equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;

Bonificações = pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

Região Geográfica Centro – Oeste; a= 0,65. (RTQ-R, 2012)

**Tabela 6: Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida**

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Fonte: RTQ-R, Brasil (2012, p. 17).

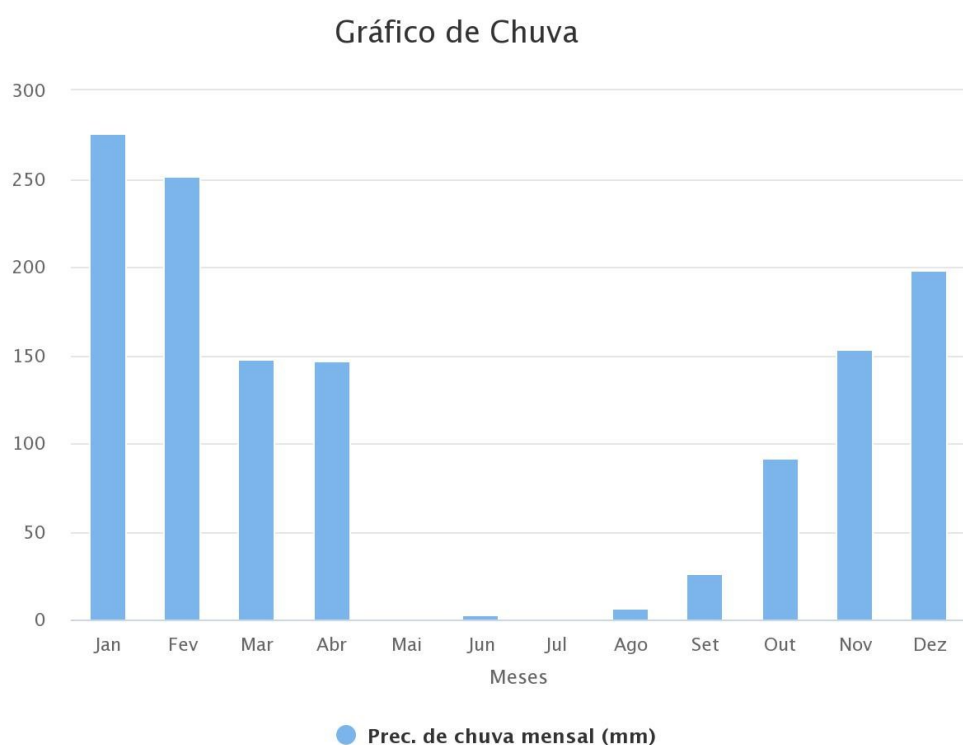
## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 Goiânia: Clima e Zona Bioclimática

Goiânia se situa na Zona Bioclimática 06, segundo ABNT-NBR 15220-3 (2005). Zona Bioclimática é definida pelo RTQ-R (2012, p. 14) como: “região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano”.

A cidade tem como coordenadas geográficas: Latitude: 16° 40' 48" Sul, Longitude: 49° 15' 18" Oeste. Apresenta um clima tropical com inverno seco, marcado por um verão com mais pluviosidade que o inverno. O mês mais seco é o de julho com 5 mm de precipitação média e o mais chuvoso é o de dezembro, com média de 246 mm de precipitação. (CLIMATE DATA, 2019).

**Gráfico 1: Precipitação de Chuva Mensal - Goiânia**



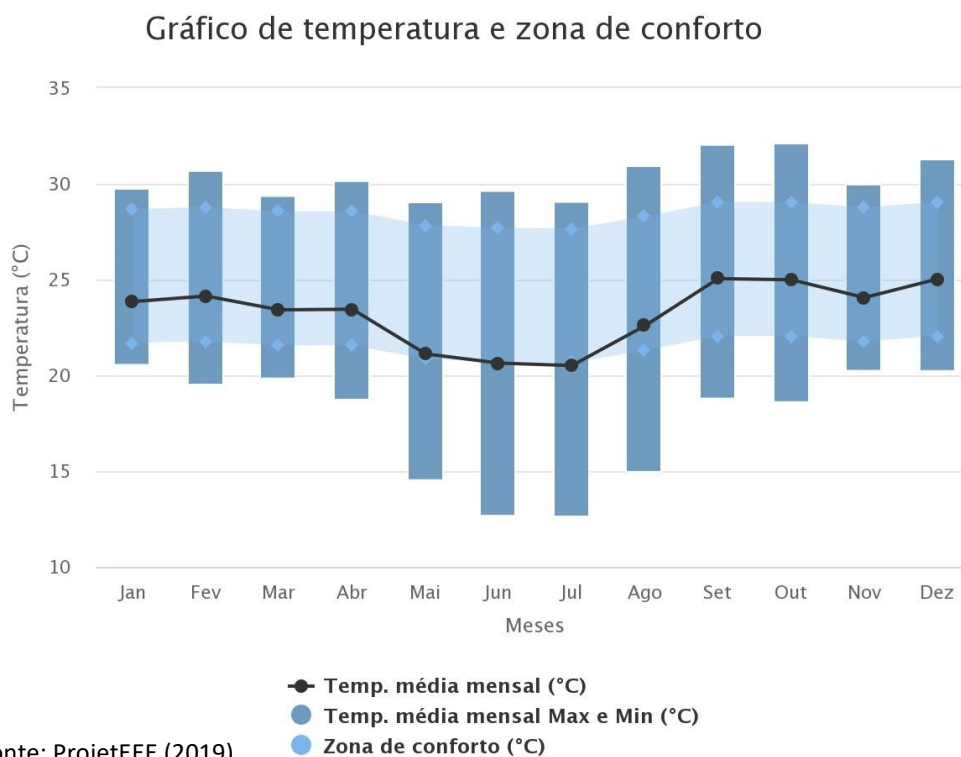
Fonte: ProjetEEE (2019).

A temperatura média é de 24.1 °C, com 1414 mm de pluviosidade média anual.

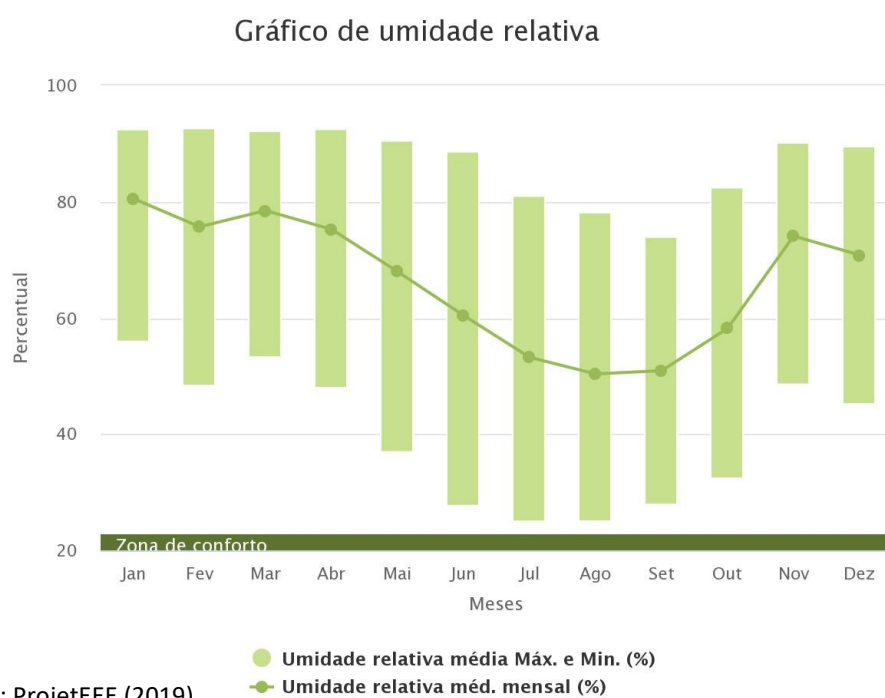


O mês de setembro é o mais quente do ano; temperatura média de 25.5°C e o mês de junho apresenta a média mais baixa do ano; 21.8°C.

**Gráfico 2: Temperatura e Zona de Conforto – Goiânia**



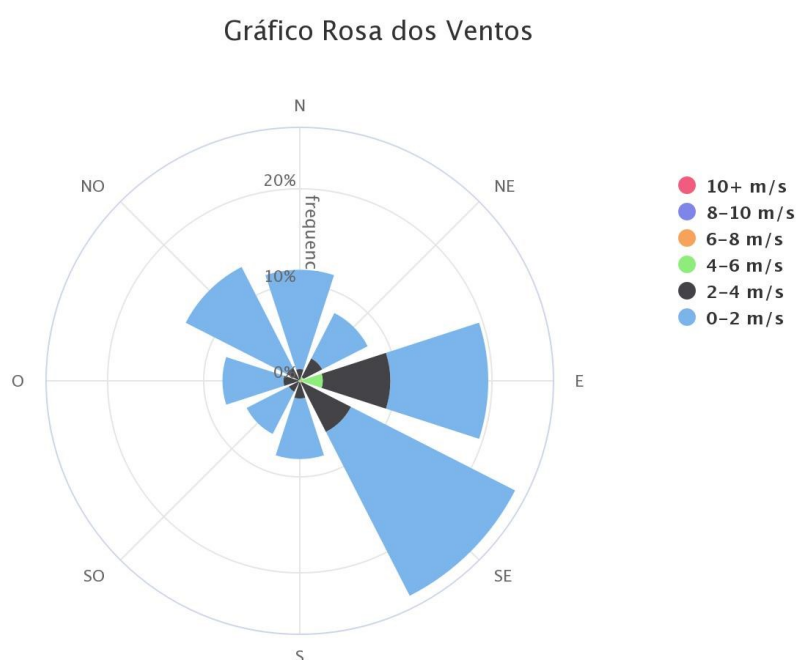
**Gráfico 3: Umidade Relativa do Ar – Goiânia**



A Umidade Relativa do Ar média é de 62,8 %, sendo que entre os meses de junho a setembro a umidade mínima do dia fica bem abaixo de 40%. (INMET, 2010).

O vento predominante tem sua orientação alterada conforme a estação do ano, sendo que nas estações chuvosas; (primavera e verão), predomina a orientação Nordeste a Noroeste e nas estações secas; (outono e inverno), a orientação predominante é a Nordeste a Sudeste.

#### Gráfico 4: Ventos Predominantes – Goiânia



Fonte: ProjetEEE (2019).

A cidade se apresenta em relação ao Conforto Térmico:

**23%** do ano em desconforto por frio  
**43%** do ano em conforto térmico  
**34%** do ano em desconforto por calor

Fonte: ProjetEEE (2019).

Segundo a ASHRAE 55 (2013), conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente

conforto térmico. Em geral define-se a temperatura de conforto com a que provoca uma sensação térmica neutra. De acordo com Humphreys (1979) a temperatura de conforto não é uma constante, e sim varia de acordo com a estação e as temperaturas as quais as pessoas estão acostumadas. (ProjetEEE, 2019).

Marcuzzo et al (2012, p.114) cita a respeito do clima na região Centro-Oeste: “Em função da influência da massa de ar tropical marítima e equatorial, as temperaturas são elevadas durante todo o ano. No inverno, quando a CIT [Zona de Convergência Intertropical] está deslocada para norte, a região apresenta baixa ou nenhuma precipitação.”

Para Lopes e Leal (2015), com base nas alterações dos fenômenos climáticos discutidas nos últimos anos, áreas semiáridas teriam tendência a uma acentuação do clima mais seco, reduções da precipitação e, por consequência, elevação da deficiência hídrica, ambos associados com os aumentos da temperatura do ar. (MARISTELLA *et al*, 2019, p. 452).

Conforme entrevista ao Jornal UFG – Novembro/Dezembro – 2012, a professora de Climatologia do Instituto de Estudos Socioambientais, (IESA), da UFG; Gislane Cristina Luiz relatou a tendência de aumento das temperaturas máxima e mínima e de diminuição da umidade relativa do ar ao longo dos anos, justificada pela localização de Goiânia, pelo ângulo solar incidente, ocupação urbana e baixa velocidade do vento. Segundo a professora, a Massa de Ar Tropical Atlântica é a responsável pelos baixos índices de umidade nos períodos de Outono, Inverno e início da Primavera nesta região. Este sistema impede a dispersão dos poluentes, tendo como consequência o aumento dos valores da temperatura do ar.

A tendência a uma intensificação do clima seco e aumento da temperatura do ar já é sentida pelos moradores da região de Goiânia o que torna cada vez mais imperativo a busca pelas estratégias passivas de conforto.

Nesta quinta-feira (19), a previsão é que a temperatura chegue a 39°C em Goiânia, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Já o site Climatedo, diz que pode chegar a 40°C. (CURTAMAIS, 2019).

Na manhã desta terça o Inmet emitiu dois alertas para Goiás, que segue com baixa umidade relativa do ar, que pode cair ainda mais no Norte do Estado. Segundo o órgão essa umidade pode chegar a 15%. (Diário da Manhã, 2019).

## 4.2 Goiânia: Estratégias Bioclimáticas

As estratégias bioclimáticas mais indicadas para a cidade de Goiânia pelo ProjetEEE | Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (2019), são:

- Inércia Térmica:

Uma edificação de elevada **inércia térmica** proporcionará uma diminuição das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no **fluxo de calor** devido a sua alta capacidade de armazenar calor, fazendo com que o pico de temperatura interna apresente uma defasagem e um amortecimento em relação ao externo. (ProjetEEE, 2019).

A estratégia de Inércia Térmica segundo o ProjetEEE (2019), é bastante eficaz em regiões com clima seco em quais a variação entre as temperaturas externas diurnas e noturnas fiquem acima de 7º C, fato constante na cidade de Goiânia.

A Inércia Térmica total da edificação dependerá de sua envoltória (piso, parede e cobertura), sendo indicado o uso de materiais de elevada capacidade térmica, devendo-se ter maior atenção quando os materiais forem componentes da fachada Oeste e/ou das coberturas, pela alta incidência de radiação solar que estes recebem, o que pode levar ao acúmulo excessivo de calor. É aconselhável que seja usado nestes casos, sombreamento ou isolamento térmico externo. (ProjetEEE, 2019).

- Ventilação Natural

A ventilação pode exercer três diferentes funções em relação ao ambiente construído:

- Renovação do ar;
- Resfriamento psicofisiológico;
- Resfriamento convectivo. (ProjetEEE, 2019).

A Ventilação Natural deve ser restringida durante o dia quando se trabalha também com a estratégia de Inércia Térmica para que a temperatura interna não seja afetada diretamente pelo aumento da temperatura externa, não ocorrendo o atraso do fluxo de calor feito pela envoltória.

- Sombreamento

O sombreamento é uma estratégia fundamental para redução dos ganhos solares através do envelope da edificação. Uma proteção solar corretamente projetada deve evitar os ganhos solares nos períodos mais quentes, do dia e do ano, sem obstruí-los no inverno e sem prejudicar a iluminação natural através das aberturas. (ProjetEEE, 2019).

O projetista deve conhecer bem a geometria solar do inverno e do verão em relação à implantação da edificação para lançar mão de dispositivos de proteção solar ou mesmo massa vegetativa de forma a minimizar uma grande incidência solar.

Outra estratégia que contribui com o clima da região de Goiânia é o Resfriamento Evaporativo.

O resfriamento evaporativo é um dos mais antigos e mais eficientes métodos de se refrigerar de forma passiva uma edificação em climas secos. O processo físico do resfriamento evaporativo baseia-se no processo de evaporação da água que retira calor do ambiente ou do material sobre o qual a evaporação acontece. (ProjetEEE, 2019).

Como Goiânia passa um longo período do ano com taxas de umidade relativa do ar muito abaixo do recomendado (entre 40% e 70%), junto a altas temperaturas, esta estratégia deve ser potencializada ao aproveitamento da ventilação, já que a velocidade do ar aumenta velocidade da evaporação.

### **4.3 Apresentação da Edificação**

O Estudo de Caso apresentado se trata de uma Unidade Habitacional Unifamiliar com 689m<sup>2</sup> de área construída, localizada em um Condomínio Residencial Horizontal na cidade de Goiânia-GO, Zona Bioclimática 6.

Seu principal sistema construtivo é: paredes de adobe de 20 cm de espessura, acabamento externo com uma camada protetora natural à base de óleo de linhaça e interna: argamassa e tinta mineral. Sua estrutura é em concreto.

A cobertura é em laje de concreto nervurada e EPS, contando com isolamento térmico acima da sala de estar, sala íntima, cozinha e quarto 2, e cobertura vegetada no restante.

A UH conta com aquecimento solar que responde em 100% pela demanda dos chuveiros, placas fotovoltaicas, reservatório de água de chuva entre outros critérios que colaboram com a sustentabilidade da edificação.

Segundo sua moradora que também é a arquiteta, autora do projeto e responsável pela execução da obra, o que norteou o projeto foi unir os espaços interno e externo com uso de um significativo volume vegetativo, com o objetivo de favorecer a casa com temperaturas mais amenas e umidade adequada à saúde dos moradores. Para isto a vegetação em torno da casa e dentro dela em alguns locais, tem papel determinante.

Ainda segundo a proprietária/arquiteta, a opção pelo adobe se deve principalmente por se tratar de um sistema construtivo que produz baixo impacto ambiental, não emite CO<sub>2</sub> em sua produção, é 100% reciclável e biodegradável, tem uma tecnologia de fácil aprendizado, regula a temperatura e umidade do interior da casa, dentre outros benefícios de construção com terra crua, como exercer um impacto positivo ao emocional e à saúde de quem entra em contato com ela.

A Implantação da edificação no lote (FIGURA 3) identifica a massa vegetativa que envolve a residência, contribuindo para com seu conforto térmico. Esta significativa vegetação presente no entorno da edificação e que entra nela em alguns pontos da casa, funciona como um complemento ao partido arquitetônico, servindo também como proteção solar.

A orientação da edificação no terreno possibilita o uso da estratégia de esfriamento evaporativo potencializada pela ventilação natural, na época mais seca do ano na região (outono, inverno e início da primavera). A casa é posicionada de forma com que o vento a atinja, após ter passado por um lago localizado nas imediações e pela plantação de bananeiras dentro do próprio lote.

Figura 3: Implantação/ Layout Piso Térreo



Fonte: Arquitetura Viva

No piso térreo (FIGURA 4), se localiza a parte principal da residência, compreendendo toda a área social e a área íntima.

A casa possui quatro quartos, todos com banheiro e varanda independente. A área social se divide em sala de estar conjugada à cozinha, com varanda voltada para a piscina e sala de TV. Uma sala íntima liga o setor social ao privado.

A laje técnica, onde se localizam as placas fotovoltaicas de captação de luz solar como também os coletores para aquecimento solar de água e respectivos reservatórios, compreende a sala de estar e cozinha, a sala íntima e o quarto 2. Já as demais coberturas são vegetativas.

**Figura 4: Planta - Piso Térreo**

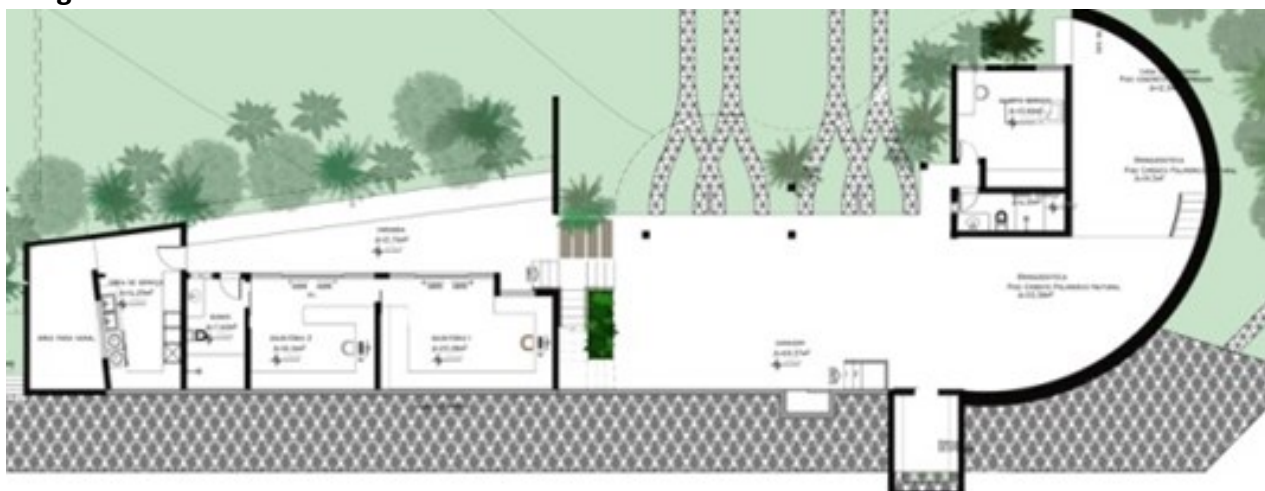


Fonte: ArchiDaily.



No subsolo (FIGURA 5), se localizam os dois escritórios; a área de serviço, com lavanderia e pátio interno; quarto de empregada e garagem.

**Figura 5: Planta - Subsolo**



Fonte: ArchiDaily.

No Corte Leste-Oeste, (FIGURA 6), pode-se identificar a piscina e varanda acima da garagem e a escada que permite o acesso da cozinha ao subsolo.

**Figura 6: Corte Leste-Oeste**



Fonte: ArchiDaily.

A figura 7 representa o Corte Longitudinal 1 (Norte – Sul), passando pela sala de estar, sala íntima e quartos, enquanto a figura 8 representa o Corte Longitudinal 2 que passa pela varanda e quartos no térreo, e no subsolo, pela garagem e escritórios.

**Figura 7: Corte Norte – Sul 1**



Fonte: ArchiDaily.

**Figura 8: Corte Norte – Sul 2**



Fonte: ArchiDaily.

As figuras 9 e 10 são imagens da fachada principal (Leste), tiradas em anos diferentes. A 9 foi tirada pouco tempo após a construção e a 10, anos depois, quando a vegetação já se mostra mais presente. A grande viga tem 26 m de vão livre, construída em concreto protendido, tem destaque na fachada principal e proporciona à casa um ar contemporâneo.

A envoltória vertical é principalmente constituída por alvenaria em adobe, protegida com óleo de linhaça, e vidro.

**Figura 9: Foto Fachada Leste 1**



Fonte: Arquitetura Viva.

**Figura 10: Foto Fachada Leste 2**



Fonte: Arquitetura Viva.

A fachada Oeste é mostrada nas figuras 11, 12 e 13, tomando-se três diferentes ângulos. Na figura 11, pode-se localizar parte da cobertura da varanda, o deck da piscina e a entrada da garagem, enquanto a figura 12 mostra a varanda com a porta de passagem para a sala de estar e o brise-soleil que faz a proteção desta, quando necessário.

**Figura 11: Foto Fachada Oeste 1**



Fonte: ArchiDaily.

**Figura 12: Foto Fachada Oeste 2**



Fonte: ArchiDaily.

O quarto de casal e o quarto 1 têm varanda voltada para a fachada Oeste e contam com dispositivos de proteção solar; brises que quando fechados fornecem sombreamento total à área interna. (FIGURA 13).

**Figura 13: Foto Fachada Oeste 3**



Fonte: ArchiDaily.

Os quartos 2 e 3 têm suas varandas voltadas para a fachada Sul. O paredão da fachada Sul, aparentemente em concreto é feito em alvenaria de adobe com tratamento em cimento queimado. A janela redonda, vista na foto é do banheiro do quarto 1 e a parede de seu closet. (FIGURA 14).

A figura 15 corresponde à foto da fachada Norte onde é visto os brises da varanda da piscina fechados e a alvenaria de adobe onde ficam os reservatórios de água, na cobertura da casa.

**Figura 14: Foto Fachada Sul**



Fonte: ArchiDaily.

**Figura 15: Foto Fachada Norte**



Fonte: Arquivo pessoal.

O acesso principal da casa é feito por uma porta em vidro na fachada Leste, com acesso à sala de estar no pavimento térreo. Na lateral direita, a grande janela redonda permite a iluminação natural da sala de TV. (FIGURA 16).

A vegetação exuberante está presente em toda a casa lhe conferindo proteção solar, aconchego e favorecendo a biodiversidade. O sombreamento fornecido pelas plantas que envolvem a residência contribui com o desempenho térmico da alvenaria de adobe, já que esta não recebendo radiação direta dos raios solares, trabalha favoravelmente sua inércia térmica e higroscopicidade de forma a amenizar e regular a temperatura e umidade no interior da casa.

**Figura 16: Acesso Principal. Fachada Leste**



Fonte: ArchiDaily.

#### **4.4 Tipologias e características Construtivas da Edificação**

a) Envoltória Vertical:

I – Tipologia construtiva das paredes –I; adobe (tijolo em terra crua com adição de palha), nas medidas de 40x20x20cm. Camada protetora externa com base em óleo de linhaça

preservando a cor natural, e internamente, argamassa de 2,5 cm e tinta mineral (feita com pó de pedra).

Para a cor de adobe natural, temos  $\alpha = 0,7^*$ .

\*Em geral parte do apelo estético das construções em terra crua está associada à sua cor e textura características. Se considerarmos uma parede de adobe sem revestimento ou com acabamento à base de argamassa ou pintura de terra os valores de absorvância serão por volta de 0,7. (MARQUES, 2018, p. 54).

Adobe com adição de palha apresenta:

\*\* (ABNT NBR 15220, 2005)

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

\*\*\* (MOITA, 2010 apud ORUI, 2015)

$$\lambda = 0,35 \text{ W/(m.K)}$$

$$c = 1,001 \text{ kJ/(kg.K)}$$

Sendo:  $R = e/\lambda$

$$1^{\text{a}} \text{ Camada (externa) - Adobe 20 cm; } R_{\text{ADOBE}} = 0,57 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$2^{\text{a}} \text{ Camada (interna) - Argamassa 2,5 cm; } R_{\text{ARG}} = 0,022 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$R_t = R_{\text{ADOBE}} + R_{\text{ARG}} = 0,59 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W.}$$

$$R_T = R_{\text{se}} + R_t + R_{\text{si}} = 0,04 + 0,59 + 0,13$$

$$\text{Resistência Térmica Total (} R_T \text{) = } 0,76 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$U = 1/R_T$$

$$\text{Transmitância Térmica (} U \text{) = } 1,31 \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$CT = (e_{\text{ADOBE}} \cdot c_{\text{ADOBE}} \cdot \rho_{\text{ADOBE}}) + (e_{\text{ARG}} \cdot c_{\text{ARG}} \cdot \rho_{\text{ARG}})$$

$$\text{Capacidade Térmica (} CT \text{) = } 250,2 \text{ kJ / m}^2 \cdot \text{K}$$

II - Tipologia construtiva das paredes –II; pedra de 30 cm de espessura.

Para a cor de pedra natural, temos  $\alpha = 0,65^*$ .

Pedra natural apresenta:

\* (RTQ-R, BRASIL ANEXO V)

$$\rho = 2300\text{-}2600 \text{ kg/m}^3$$

\*\* (ABNT NBR 15220, 2005)

$$\lambda = 2,40 \text{ W/(m.K)}$$

$$c = 0,84 \text{ kJ/ (kg.K)}$$



Sendo:  $R = e/\lambda^{**}$

$$R_{PEDRA} = 0,12 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W.}$$

$$R_T = R_{se} + R_{PEDRA} + R_{si} = 0,04 + 0,12 + 0,13$$

$$\textbf{Resistência Térmica Total (R}_T\text{) = 0,29 (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$U = 1/R_T$$

$$\textbf{Transmitância Térmica (U) = 3,40 W/ (m}^2\text{K)}$$

$$CT = (e \cdot c \cdot \rho)$$

$$\textbf{Capacidade Térmica (CT) = 579 kJ / m}^2\text{.K}$$

III - Tipologia construtiva das paredes –III; concreto de 15 cm de espessura.

Para a cor de concreto natural, temos  $\alpha = 0,65^*$ .

Concreto natural apresenta:

\* (ABNT NBR 15220, 2005)

$$\rho = 2200\text{-}2400 \text{ kg/m}^3 \text{ *}$$

$$\lambda = 1,75 \text{ W/ (m.K) *}$$

$$c = 1 \text{ kJ/ (kg.K) *}$$

Sendo:  $R = e/\lambda^*$

$$R_{CONCRETO} = 0,08 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W.}$$

$$R_T = R_{se} + R_{CONCRETO} + R_{si} = 0,04 + 0,08 + 0,13$$

$$\textbf{Resistência Térmica Total (R}_T\text{) = 0,25 (m}^2 \cdot \text{K) /W.}$$

$$U = 1/R_T$$

$$\textbf{Transmitância Térmica (U) = 4,0 W/ (m}^2\text{K).}$$

$$CT = (e \cdot c \cdot \rho)$$

$$\textbf{Capacidade Térmica (CT) = 330 kJ / m}^2\text{.K}$$

IV - Tipologia construtiva das paredes –IV; adobe (tijolo em terra crua com adição de palha), nas medidas de 20x20x40cm. Argamassa de 2,5 cm. Tijolo maciço de demolição 9x6x19cm.

Para a cor de adobe natural, temos  $\alpha = 0,7$

$$1^{\text{a}} \text{ Camada (externa) - Adobe 20 cm; } R_{ADOBE} = 0,57 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W.}$$

$$2^{\text{a}} \text{ Camada (intermediária) – Argamassa 2,5 cm; } R_{ARG} = 0,022 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}^*.$$

$$3^{\text{a}} \text{ Camada (interna) - Tijolo maciço de demolição 9 cm de espessura; } R_{TIJ} = 0,093 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W.}^{**}$$

\* (ABNT NBR 15220, 2005)

\*\* (PROJETEEE, 2019)

$$R_t = R_{\text{ADOBE}} + R_{\text{ARG}} + R_{\text{TIJ}} = 0,68 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W.}$$

$$R_T = R_{\text{se}} + R_t + R_{\text{si}} = 0,04 + 0,59 + 0,13$$

$$\text{Resistência Térmica Total (RT) = 0,85 (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$U = 1/R_T$$

$$\text{Transmitância Térmica (U) = 1,17 W/ (m}^2\text{K)}$$

$$CT = (e_{\text{ADOBE}} \cdot C_{\text{ADOBE}} \cdot \rho_{\text{ADOBE}}) + (e_{\text{ARG}} \cdot C_{\text{ARG}} \cdot \rho_{\text{ARG}}) + (e_{\text{TIJ}} \cdot C_{\text{TIJ}} \cdot \rho_{\text{TIJ}})$$

$$\text{Capacidade Térmica (CT) = 382,70 kJ / m}^2 \cdot \text{K}$$

V – Tipologia construtiva das paredes- V - Adobe (tijolo em terra crua com adição de palha), nas medidas de 40x20x20cm. Externamente, recebe camada de argamassa 2,5 cm, acabamento com cimento queimado.  $\alpha = 0,6^*$

\* (ABNT NBR 15220, 2005)

1ª Camada (externa) – Argamassa 2,5 cm;  $R_{\text{ARG}} = 0,022 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}^*$

2ª Camada (interna) - Adobe 20 cm;  $R_{\text{ADOBE}} = 0,57 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$

$$\text{Resistência Térmica Total (RT) = 0,76 (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$\text{Transmitância Térmica (U) = 1,31 W/ (m}^2\text{K)}$$

$$\text{Capacidade Térmica (CT) = 250,2 kJ / m}^2 \cdot \text{K}$$

## b) Cobertura

Tipologia construtiva da cobertura-I- Laje nervurada com EPS. Constituída de 4 camadas, como especificado a seguir:

Cor da cobertura Branca:  $\alpha = 0,20$ . \*\*

\* (<http://www.jamantha.com.br>)

\*\* (NBR 15220, 2005)

\*\*\* (Calculadora de Propriedades do Projeteee, 2019)

1ª Camada (externa) – Manta aluminizada 0,019 m;  $R_{\text{MANTA}} = 0,76 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$

2ª Camada (intermediária) – Concreto 3 cm;  $R_{CONC} = 0,0171 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W.}^{**}$

3ª Camada (intermediária) - Laje nervurada com EPS 22.5cm;  $R_{EPS}=0.566\text{(m}^2 \cdot \text{K) /W.}^{***}$

4ª Camada (interna) - Argamassa 2.5 cm;  $R_{ARG} = 0.025 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W.}^{**}$

Manta aluminizada 0,019 m:

$$\rho = 14,5 \text{ kg/m}^3^*$$

$$\lambda = 0,025 \text{ W/ (m.K)}^*$$

$c = 0,70 \text{ kJ/ (kg.K)}$ ; (calor específico similar a uma Lã de Vidro de 35mm)\*

Sendo:  $R = e/\lambda^{**}$

$$CT_{MANTA} = e_{MANTA} \cdot c_{MANTA} \cdot \rho_{MANTA} = 0,20 \text{ kJ / m}^2 \cdot \text{K}$$

$$R_t = R_{MANTA} + R_{CONC} + R_{EPS} + R_{ARG} = 1,37 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W.}$$

$$RT = \downarrow R_{se} + R_t + \uparrow R_{si} = 0,04 + 1,37 + 0,10$$

**Resistência Térmica Total (RT) = 1,51 (m<sup>2</sup>. K) /W.**

$$U = 1/RT$$

**Transmitância Térmica (U) = 0,66 W/m<sup>2</sup>K**

$$CT = CT_{MANTA} + CT_{CONCRETO} + CT_{EPS} + CT_{ARG}$$

**Capacidade Térmica (CT) = 158 kJ / m<sup>2</sup>.K**

II- Tipologia construtiva da Cobertura II - Laje pré-moldada com Telhado Vegetado– nas lajes da sala de TV, no quarto do casal, quarto 1 e quarto 3 e varandas

Telhado vegetado intensivo: Laje pré-moldada 12 cm | Terra argilosa seca 40cm | Vegetação

\*(Calculadora de Propriedades do Projeteer, 2019)

**Resistência Térmica Total (RT) = 1,11 (m<sup>2</sup>. K) /W\***

**Capacidade Térmica (CT) = 738 kJ/m<sup>2</sup>K\***

**Transmitância Térmica (U) = 0,9 W/m<sup>2</sup>K\***

#### 4.5 Descrição das Aberturas dos Ambientes de Permanência Prolongada

**a)** Sala de Estar/ Sala Íntima/Cozinha:

- 1 Porta de Entrada de abrir 1 folha. Vidro com Esquadria em Alumínio. (1,40 x 3,00 m). Não conta como abertura de ventilação.
- 1 Porta acesso Varanda de correr 4 folhas (2 fixas). Vidro com Esquadria em Alumínio. (6,00 x 3,00 m).
- 1 Porta acesso Varanda de correr 2 folhas. Vidro com Esquadria em Alumínio. (3,00 x 3,00 m).
- 1 Janela Fachada Leste de correr 5 folhas. Esquadria em Alumínio (4,00 x 3,50 m). Peitoril 0,20m.
- 9 Janelas Altas-Fachada Leste-pivotante. Esquadria em Alumínio (1,50 x 0,80 m). Peitoril 3,00m.
- 3 Janelas Altas- Fachada Norte- pivotante. Esquadria em Alumínio (diâmetro 1,00m). Peitoril 3,00m.
- 6 Janelas Altas-Fachada Oeste-pivotante. Esquadria em Alumínio (1,50 x 0,80 m). Peitoril 3,00m.
- 3 Janelas Altas- Fachada Sul- pivotante. Esquadria em Alumínio (1,50 x 0,30m). Peitoril 3,00m.

**b)** Sala de TV:

- 1 Janela pivotante. Esquadria em Alumínio (diâmetro 2,00m). Peitoril 0,50m.

**c)** Quarto do Casal:

- 1 Porta de correr de 2 folhas. Vidro com Esquadria em Alumínio. (6,00 x 3,00 m).

**d)** 3 Quartos: (em cada)

- 1 Porta de correr de 2 folhas. Vidro com Esquadria em Alumínio. (2,00 x 3,00 m).

**e)** 2 Escritórios: (em cada)

- 1 Porta de correr de 4 folhas. Vidro com Esquadria em Alumínio. (4,00 x 2,80 m).

Todos os banheiros da Unidade Habitacional possuem Ventilação Natural.

Quadro 1: Aberturas dos ambientes de permanência prolongada

AMBIENTE (APP)	QUANTIDADE ORIENTAÇÃO e TIPOLOGIA	ÁREA da ABERTURA (M <sup>2</sup> )	ÁREA EFETIVA VENTILADA (M <sup>2</sup> ) *	ÁREA EFETIVA ILUMINADA (M <sup>2</sup> ) *
Sala Estar/Íntima/Cozinha	(O). 1 porta de correr 4 folhas	18,00	7,20	12,60
	(O). 1 porta de correr 2 folhas	9,00	4,05	7,20
	(L) 1 janela de correr 5 folhas (3 fixas)	14,00	5,60	9,80
	(L). 15 janelas pivotantes	18,00	16,20	16,20
	(N). 3 janelas pivotantes	2,35	2,11	2,11
	(S). 3 janelas pivotantes	1,35	1,21	1,21
	(L). 1 porta de acesso- de abrir	4,20	—	3,78
Sala TV	(S). 1 janela pivotantes	3,14	2,82	2,82
Quarto Casal/Closet	(O). 1 porta de correr 2 folhas	18,00	4,05	7,20
Quarto 1/Closet	(O). 1 porta de correr 2 folhas	6,00	2,70	4,80
Quarto 2/Closet	(S). 1 porta de correr 2 folhas	6,00	2,70	4,80
Quarto 3	(S) 1 porta de correr 2 folhas	6,00	2,70	4,80
Escritório 1 e 2	(O) 1 porta de correr 4 folhas	11,20	4,48	7,84

Fonte: Elaborado pela autora.

## 4.6 Resultados

### 4.6.1 Pré-Requisitos da Envoltória

#### 4.6.1.1 Transmitância, Capacidade Térmica e Absortância da Envoltória

**Quadro 2: Transmitância ponderada das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R . \* $\alpha > 0,60$**

Ambiente (APP)	Orientação	Área (M <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	Área Ponderada A/ ( $\sum A$ ) (M <sup>2</sup> )	U Ponderada U x Apond. (W/m <sup>2</sup> K)	U Final $\sum U_{pond.}$ (W/m <sup>2</sup> K)	Atende (U) $\leq 2,5^*$ (W/m <sup>2</sup> . K)
Sala Estar / Sala Íntima / Cozinha	LESTE'(I)	5,31	1,31	0,16	0,21	1,74	SIM
	LESTE''(III)	6,40	4,00	0,19	0,76		
	NORTE (IV)	19,20	1,17	0,58	0,68		
	OESTE (I)	2,25	1,31	0,07	0,09		
Sala TV	LESTE (I)	14,00	1,31	0,56	0,73	1,31	SIM
	SUL (I)	10,86	1,31	0,44	0,57		
Quarto Casal/Closet	NORTE (II)	10,50	3,40	1,00	3,40	3,40	NÃO
Quarto 2/Closet	SUL (I)	7,00	1,31	1,00	1,31	1,31	SIM
Quarto 3	LESTE (I)	13,50	1,31	0,47	0,61	1,31	SIM
	NORTE (I)	11,10	1,31	0,39	0,51		
	SUL (I)	3,90	1,31	0,14	0,18		
Escritório 1 e 2	OESTE	—	—	—	—	—	—

Fonte: Elaborado pela autora.

**Quadro 3: Capacidade térmica ponderada das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R.**

Ambiente (APP)	Orientação	Área (M <sup>2</sup> )	CT (kJ/m <sup>2</sup> K)	CT		CT Final Σ CTpond. (kJ/m <sup>2</sup> K)	Atende CT ≥ 130 (kJ/m <sup>2</sup> K)
				Área Ponderada A/(Σ A) (M <sup>2</sup> )	Ponderada CT x Apond. (kJ/m <sup>2</sup> K)		
Sala Estar / Sala Íntima / Cozinha	LESTE'(I)	5,31	250,20	0,16		40,03	SIM
	LESTE''(III)	6,40	330,00	0,19	62,70		
	NORTE (IV)	19,20	382,70	0,58	222,00		
	OESTE (I)	2,25	250,20	0,07	17,51		
Sala TV	LESTE (I)	14,00	250,20	0,56	140,11	250,20	SIM
	SUL (I)	10,86	250,20	0,44	110,08		
Quarto Casal/Closet	NORTE (II)	10,50	579,00	1,00	579,00	579,00	SIM
Quarto 2/Closet	SUL (I)	7,00	250,20	1,00	250,20	250,20	SIM
Quarto 3	LESTE (I)	13,50	250,20	0,47	117,60	250,20	SIM
	NORTE (I)	11,10	250,20	0,39	97,57		
	SUL (I)	3,90	250,20	0,14	35,03		
Escritório 1 e 2	OESTE	—	—	—	—	—	—

Fonte: Elaborado pela autora.

**Quadro 4: Transmitância e capacidade térmica da cobertura dos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R. \* $\alpha \leq 0,60$ .**

AMBIENTE (APP)	ÁREA ÚTIL (M <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	CT (kJ/m <sup>2</sup> K) sem exigência	ATENDE U $\leq$ 2,3 (W/ m <sup>2</sup> ) *
Sala (I) Estar/Íntima/Cozinha	112,61	0,66	158,00	SIM
Sala TV (II)	15,97	0,90	738,00	SIM
Quarto Casal/Closet (II)	31,57	0,90	738,00	SIM
Quarto 1/Closet (II)	24,72	0,90	738,00	SIM
Quarto 2/Closet (I)	23,36	0,66	158,00	SIM
Quarto 3 (II)	18,49	0,90	738,00	SIM
Escritório 1	20,08	—	—	subsolo
Escritório 2	16,16	—	—	subsolo

Fonte: Elaborado pela autora.



#### 4.6.1.2 Pré-Requisito – Ventilação Natural

**Quadro 5: Relação entre área efetiva ventilada e área útil nos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R.**

AMBIENTE (APP)	ÁREA ÚTIL (M <sup>2</sup> )	ÁREA EFETIVA VENTILADA (M <sup>2</sup> )	100. (AV/AU) (%)	ATENDE (≥8%)
Sala Estar/Íntima/Cozinha	112,61	36,37	32	SIM
Sala TV	15,97	2,82	17	SIM
Quarto Casal/Closet	31,57*	6,75	21	SIM
Quarto 1/Closet	24,72*	2,70	11	SIM
Quarto 2/Closet	23,36*	2,70	11	SIM
Quarto 3	18,49*	2,70	14	SIM
Escritório 1	20,08	4,48	22	SIM
Escritório 2	16,16	4,48	27	SIM

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Para dormitórios com área superior a 15,00 m<sup>2</sup>, é suficiente que o pré-requisito atenda para 15,00 m<sup>2</sup>. Mas foi atendido para a área real em todos os cômodos.

\*\*Para o cálculo da área efetiva ventilada e iluminada foi usada a Tabela de Desconto das Esquadrias (Anexo II-RTQ-R, BRASIL,2012).

#### 4.6.1.3 Pré-Requisito – Ventilação Cruzada

Utilizando a TABELA DE DESCONTO DAS ESQUADRIAS, Anexo II (RTQ-R, BRASIL, 2012), temos como área ventilada nas fachadas:

Fachada Leste: 21,80 m<sup>2</sup>

Fachada Norte: 3,91 m<sup>2</sup>

Fachada Oeste: 31,71 m<sup>2</sup>

Fachada Sul: 13,00 m<sup>2</sup>

A2 = Fachada Leste + Fachada Norte + Fachada Sul = 38,71 m<sup>2</sup>

A1 = Fachada Oeste = 31,71 m<sup>2</sup>

**A2/A1 = 0,81**

Pré-requisito, Ventilação Cruzada **ATENDE**.

#### 4.6.1.4 Pré-Requisito – Iluminação Natural

**Quadro 6: Relação entre área efetiva iluminada e área útil nos ambientes de permanência prolongada e atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R.**

AMBIENTE (APP)	ÁREA do PISO (M <sup>2</sup> )	ÁREA EFETIVA ILUMINADA (M <sup>2</sup> )	100. (AI/AU) (%)	ATENDE (≥12,5%)
Sala Estar/Íntima/Cozinha	112,61	52,90	47	SIM
Sala TV	15,97	2,82	17	SIM
Quarto Casal/Closet	31,57	12,00	38	SIM
Quarto 1/Closet	24,72	4,80	19	SIM
Quarto 2/Closet	23,36	4,80	20	SIM
Quarto 3	18,49	4,80	26	SIM
Escritório 1	20,08	7,84	39	SIM
Escritório 2	16,16	7,84	48	SIM

Fonte: Elaborado pela autora.

## 4.6.2 Sistema de Aquecimento de Água

### 4.6.2.1 Pré-Requisitos

As instalações hidrossanitárias da Unidade Habitacional analisada possuem tubulações metálicas para água quente com o diâmetro nominal e isolamento térmico como apresentado no quadro abaixo, atendendo o pré-requisito para sistema de aquecimento de água.

**Tabela 7: Espessura do isolamento das tubulações para aquecimento de água**

Temperatura da água (°C)	Condutividade térmica (W/mK)	Diâmetro nominal da tubulação (mm)
		c < 40
T ≥ 38	0,032 a 0,040	1,0 cm

Fonte: RTQ-R, Brasil, (2012).

### 4.6.2.2 Procedimento para Determinação da Eficiência

A Unidade Habitacional avaliada tem o Sistema de Aquecimento de Água atendido em sua totalidade pelo aquecimento solar. Os coletores solares e o reservatório térmico atendem aos requisitos das normas brasileiras aplicáveis.

O reservatório tem capacidade de 600 litros e o coletor ocupa 5,20 m<sup>2</sup>, apresentando assim o volume de armazenamento real de 120 litros por m<sup>2</sup>.

Não é usado backup por resistência elétrica.

Assim sendo, o nível de eficiência de aquecimento de água da UH analisada é o correspondente ao equivalente numérico de aquecimento solar.

### 4.6.2.3 Sistema de Aquecimento Solar

Método Prescritivo.

a) Pré-Requisitos

Os coletores solares foram instalados com orientação voltada para o Norte Geográfico e ângulo de inclinação conforme especificações, (aproximadamente 26°).

Como a UH tem aproximadamente 9 anos, não foi possível comprovar a etiquetagem dos coletores solares para aquecimento de água (aplicação banho) ou do reservatório. Assim sendo, não atende aos pré-requisitos para obtenção de níveis A ou B no critério; Sistema de aquecimento solar.

Por não constar na tabela de sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água do INMETRO – (2019), o coletor existente na UH, foi escolhido um baseado na dimensão da área disponível, com classificação A.

#### b) Procedimento para determinação da eficiência: método do dimensionamento

$V_{armaz} = V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente}) / (T_{armaz} - T_{ambiente})^*$  \*(RTQ-R, BRASIL, 2012).

Sendo:

$V_{armaz} =$  (volume de armazenamento do sistema de aquecimento solar indicado);

$V_{consumo} =$  450 litros/dia. (volume de consumo diário de água a ser aquecida); [(4 dormitórios x 2 pessoas/dormitório) + (1 dormitório serviço x 1 pessoa) x (50 litros / pessoa)];

$T_{consumo} =$  40°C. (temperatura de consumo);

$T_{armaz} =$  40°C. (temperatura de armazenamento);

$T_{ambiente} =$  24,1°. (temperatura ambiente média anual do ar externo).

**$V_{armaz} = 450$  litros.**

$V_{armaz\ exist} > V_{armaz}$

#### c) Cálculo da demanda de energia útil considerando os valores de radiação solar mês

$DE_{mês} = V_{consumo} \times N \times (T_{consumo} - TAF) \times 1,16 \times 10^{-3} *$  \*(RTQ-R, BRASIL, 2012)

**Quadro 7: Cálculo da Demanda de Energia Útil**

Mês	N (dias/mês)	TAF (°C)	DEmês (kWh/mês)
Jan	31	22,4	284,80
Fev	28	22,5	255,78
Mar	31	22,5	283,19
Abr	30	22,6	272,48
Mai	31	21,1	305,84
Jun	30	19,8	316,33
Jul	31	20	323,64
Ago	31	22	291,28
Set	30	23,5	258,39
Out	31	23,6	265,38
Nov	30	22,7	270,92
Dez	31	22,3	286,42

Fonte: Planilha Aquecimento Solar PBE Edifica (2010).

d) Cálculo da produção energética da instalação

I - Cálculo da radiação solar mensal incidente sobre a superfície inclinada dos coletores

$$\text{Elmês} = \text{Hdia} \times \text{N}^*$$

Elmês = [energia solar mensal incidente sobre as superfícies dos coletores, kWh/ (m<sup>2</sup>. mês)];

Hdia = [radiação solar incidente no plano inclinado, kWh/ (m<sup>2</sup>. dia)] \*\*;

N = (número de dias do mês).

\* Fonte: (RTQ-R, BRASIL 2012)

\*\*Fonte: CRESESB

**Quadro 8: Cálculo da produção energética da instalação**

Mês	N (dias/mês)	Hdia [kWh/ (m <sup>2</sup> xdia)]	Elmês (kWh/m <sup>2</sup> )
Jan	31	5	155,00
Fev	28	5,28	147,84
Mar	31	5,17	160,27
Abr	30	5,45	163,50
Mai	31	5,5	170,50
Jun	30	5,51	165,30
Jul	31	5,7	176,70
Ago	31	6,42	199,02
Set	30	5,8	174,00
Out	31	5,46	169,26
Nov	30	5,01	150,30
Dez	31	5,01	155,31

Fonte: Planilha Aquecimento Solar PBE Edifica (2010).

## II – Cálculo do parâmetro D1

$$F'R(\tau\alpha) = F'R(\tau\alpha) n \times [(\tau\alpha) / (\tau\alpha) n] \times F'R / FR^*$$

$F'R(\tau\alpha)$  = (fator adimensional);

$F'R(\tau\alpha) n$  = 0,771 (fator de eficiência óptica do coletor, adimensional) \*\*;

$[(\tau\alpha) / (\tau\alpha) n]$  = 0,96 (modificador do ângulo de incidência) \*;

$F'R / FR$  = 0,95 (fator de correção do conjunto coletor/trocador).

\* Fonte: (RTQ-R, 2012)

\*\* Fonte: (INMETRO, 2019)

**Quadro 9: Cálculo 1 do parâmetro D1**

FR ( $\tau\alpha$ )n	0,771
$\frac{ \tau\alpha }{(\tau\alpha)n}$	0,96
$\frac{F'R}{F_R}$	0,95
F'R ( $\tau\alpha$ )	0,703152
Área disponível	5,2
Área do coletor	1,3
Nº coletores	4
Sc	5,2

Fonte: Planilha PBE Edifica (2010).

$$D1 = EAmês / DEmês *$$

$$EAmês = Sc \times F'R(\tau\alpha) \times Elmês *$$

Sc = 5,20 m<sup>2</sup>. (superfície do coletor solar).

\* (RTQ-R, BRASIL2012)

**Quadro 10: Cálculo 2 do parâmetro D1**

Mês	DEmês (kWh/mês)	Elmês (kWh/m <sup>2</sup> )	EAmês (kWh/mês)	D1
Jan	284,80	155,00	566,74	1,9899373
Fev	255,78	147,84	540,56	2,1133816
Mar	283,19	160,27	586,01	2,0693529
Abr	272,48	163,50	597,82	2,1939631
Mai	305,84	170,50	623,41	2,0383696
Jun	316,33	165,30	604,40	1,910655
Jul	323,64	176,70	646,08	1,9963051
Ago	291,28	199,02	727,69	2,4983
Set	258,39	174,00	636,21	2,4622158
Out	265,38	169,26	618,88	2,3320124
Nov	270,92	150,30	549,56	2,0284938
Dez	286,42	155,31	567,87	1,9826521

Fonte: Planilha Aquecimento Solar PBE Edifica (2010).

## III – Cálculo do parâmetro D2

$$F'RUL = FRUL \times (F'R / FR) \times 10^{-3} *$$

$$F'RUL = 1,946 \text{ W/m}^2\text{K. (coeficiente global de perda de calor, W / m}^2\text{. K). **}$$

$$K1 = (V / 75 \times Sc) - 0,25$$

$$V = 600 \text{ litros. (volume de acumulação solar)}$$

$$K2 = (11,6 + 1,18 \text{ TAC} + 3,86 \text{ TAF} - 2,32 \text{ TAMB}) / (100 - \text{TAMB})$$

$$\text{TAC} = 45^\circ \text{ C (temperatura mínima admissível da água quente).}$$

$$\text{EPmês} = Sc \times F'RUL \times (100 - \text{TAMB}) \times \Delta T \times K1 \times K2^*$$

$$\text{EPmês} = (\text{energia solar mensal não aproveitada pelos coletores, kWh/mês});$$

$$\Delta T = (\text{período de tempo considerado, horas}).$$

$$D2 = \text{EPmês} / \text{DEmês} *$$

\* (RTQ-R, 2012)

\*\* (INMETRO, 2019)

**Quadro 11: Cálculo do parâmetro D2**

Mês	DEmês (kWh)	TAMB (°C)	TAF (°C)	Δt (horas)	K1	K2	EPmês (kWh)	D2
Jan	284,80	24,4	22,4	744	0,89790076	1,172698413	569,35	1,999099119
Fev	255,78	24,5	22,5	672	0,89790076	1,176291391	515,14	2,014014923
Mar	283,19	24,5	22,5	744	0,89790076	1,176291391	570,34	2,014014923
Abr	272,48	24,6	22,6	720	0,89790076	1,179893899	552,90	2,029102173
Mai	305,84	23,2	21,1	744	0,89790076	1,125286458	555,00	1,814685509
Jun	316,33	21,8	19,8	720	0,89790076	1,082506394	526,10	1,663124329
Jul	323,64	22,0	20	744	0,89790076	1,089230769	545,61	1,685867237
Ago	291,28	24,0	22	744	0,89790076	1,158421053	565,39	1,941093215
Set	258,39	25,5	23,5	720	0,89790076	1,212751678	561,51	2,173116831
Out	265,38	25,6	23,6	744	0,89790076	1,216451613	581,22	2,190094168
Nov	270,92	24,7	22,7	720	0,89790076	1,183505976	553,85	2,044363842
Dez	286,42	24,3	22,3	744	0,89790076	1,169114927	568,36	1,984351855

Fonte: Planilha PBE Edifica (2010).



IV – Cálculo do fator solar e verificação do armazenamento Fonte: \*Planilha (Pbeedifica, 2010)

a) Coletores com Classificação A \*

F	1,16377949
Fração solar anual	116,38%

b) Coletores com Classificação B\*

F	1,143063753
Fração solar anual	114,31%

b) Coletores com Classificação C\*

F	0,959346838
Fração solar anual	95,93%

Classificação A.

O volume de armazenamento está entre 50 e 150

Classificação final do Sistema de Aquecimento Solar é A, caso atenda aos pré-requisitos: coletores solares para aquecimento de água (aplicação banho), possuam ENCE A, B ou Selo Procel e o reservatório possuir Selo Procel.

Classificação final do Sistema de Aquecimento Solar é C, caso não atenda ao pré-requisito do reservatório, mas possua classificação A, B ou C nos coletores.

A Classificação final do Sistema de Aquecimento de Água é A.

**Quadro 12: Pré-requisito do Sistema de Aquecimento de Água**

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence à região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Sim
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m <sup>2</sup> K) /W?	Sim
	Atende?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	Sim
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Sim
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	3
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	
	Atende?	Sim
	A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A

Fonte: Planilha PBE Edifica (2010).

**Quadro 13: Sistema de Aquecimento Solar**

Sistema de aquecimento Solar	Os coletores solares possuem ENCE A ou B ou Selo Procel e os reservatórios apresentam Selo Procel?	Não
	Qual é o volume de armazenamento real do reservatório (litros)?	600
	Qual é a área de coletores solares existentes? (m <sup>2</sup> )	5,2
	Volume de reservatório por área de coletor (litros/m <sup>2</sup> )	115,38
	Sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica. Equivalente à fração solar anual.	de 70% ou mais
	Demanda	450
	Classificação	C
		3

Fonte: Planilha PBE Edifica (2010).

**Quadro 14: Nota final para o aquecimento de água**

Nota final para o aquecimento de água	A
	5,00

Fonte: Planilha PBE Edifica (2010).

### 4.6.3 Bonificações

Equação das bonificações: (RTQ-R BRASIL, 2012, p. 100)

$$\text{Bonificações} = b1+b2+b3+b4+b5+b6+b7+b8$$

a) b1 - bonificação 1- Ventilação Natural (até 0,40 pontos)

**Quadro 15: Relação entre área total de fachada e área total de abertura para ventilação – por orientação, (inclui banheiros e área de serviço), e atendimento à bonificação b1-RTQ-R**

ORIENTAÇÃO	ÁREA TOTAL DE FACHADA. (M <sup>2</sup> )	ÁREA TOTAL DE ABERTURA PARA VENTILAÇÃO. (M <sup>2</sup> )	DE POROSIDADE PARA	POROSIDADE ≥20%
LESTE	130,00	21,80	17	NÃO
NORTE	65,40	3,91	6	NÃO
OESTE	182,00	31,71	17	NÃO
SUL	81,00	13,00	16	NÃO
TOTAL	458,4	70,42	15	NÃO

Fonte: Elaborado pela autora.

**Não** houve pontuação na b1.

b) b2 - bonificação 2- Iluminação natural (até 0,30 pontos)

I - Profundidade de ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais, máxima de 2,40 m, em mais que 50% dos APPs.

**Quadro 16: Profundidade dos ambientes de permanência prolongada e atendimento à bonificação b2 - RTQ-R.**

AMBIENTE (APP)	Profundidade* (M)	2,4 . ha**	ATENDE P ≤ 2,4 . ha
Sala Estar/Íntima/Cozinha	6,00	9,12	SIM
Sala TV	4,50	6,00	SIM
Quarto Casal/Closet	3,50	7,20	SIM
Quarto 1/Closet	4,50	7,20	SIM
Quarto 2/Closet	4,90	7,20	SIM
Quarto 3/Closet	4,40	7,20	SIM
Escritório 1	4,00	7,20	SIM
Escritório 2	4,00	7,20	SIM

Fonte: Elaborado pela autora.

\*P: profundidade do ambiente (m).

\*\*ha: distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação (m), excluindo caixilhos.

Caso existam aberturas em paredes diferentes em um mesmo ambiente, é considerada a menor profundidade.

### **Pontuado 0,20**

#### II- Refletância do teto

Cada ambiente de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia deve ter refletância do teto acima de 60%.

Pontuado 0,10 pontos, já que todo o teto da casa é na cor Branco Neve, cuja refletância é de 80%.

**Pontuação total b2 = 0,30**

c) b3 - bonificação 3- Uso racional de água (até 0,20 pontos)

$$b3 = 0,07 \cdot (BSAP/ BS) + 0,04 \cdot (BSE/ BS) + 0,04 \cdot (CHE /CH) + 0,02 \cdot (TE/ T) + 0,03 \cdot (OUTROSAP/ OUTROS) *$$

\*(RTQ-R, Brasil, 2012).

Onde:

b3: bonificação de uso racional de água;

BSAP: quantidade de bacias sanitárias atendidas por água pluvial;

BS: quantidade de bacias sanitárias existentes;

BSE: quantidade de bacias sanitárias com sistema de descarga com duplo acionamento;

CHE: quantidade de chuveiros com restritor de vazão;

CH: quantidade de chuveiros existentes;

TE: quantidade de torneiras com arejador de vazão constante (6 litros/minutos), regulador de vazão ou restritor de vazão;

T: quantidade de torneiras existentes na UH, excluindo as torneiras das áreas de uso comum;

OUTROSAP: quantidade de outros pontos atendidos por água pluvial, excluindo bacias sanitárias.

BS= 9;

BSAP =0;

BSE = 9;

CH = 5;

CHE = 0;

T = 9;

TE = 9;

OUTROSAP = torneira de jardim e da água da piscina são atendidos pela água pluvial.

**Pontuação total b3 = 0,09 pontos.**

d) b4 - bonificação 4- Condicionamento artificial de ar (até 0,20 pontos)

Os condicionadores de ar atendem aos requisitos das normas brasileiras aplicáveis, mas como a UH atingiu nível B de eficiência quando condicionada artificialmente;

**Não** houve pontuação neste critério.

e) b5 - bonificação 5- Iluminação artificial (até 0,10 pontos)

Não há comprovação se as fontes de iluminação artificial atendem ao quesito de eficiência acima de 75 lm/ W em pelo menos 50% ou Selo Procel em todos os ambientes, assim;

**Não** houve pontuação na b5.

f) b6 - bonificação 6- ventiladores de teto instalados na UH (até 0,10 pontos)

Não há ventilador de teto na UH, portanto;

**Não** houve pontuação na b 6.

g) b7 - bonificação 7- medição individualizada

**Não** houve pontuação neste critério, já que não se aplica à UH Unifamiliar.

**Total das Bonificações = 0,39 pontos.**

#### **4.6.4 Determinação da Eficiência da Edificação**

Planilhas 1 e 2: Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ – Edificações Residenciais

	ZB6	APP	Sala Estar/Íntima/coz	Sala TV	Quarto casal/closet	Quarto 1 / closet	Quarto 2/ closet	Quarto 3	Escrit. 1	Escrit. 2
		m <sup>2</sup>	112,61	15,97	31,57	24,72	23,36	18,49	20,08	16,16
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	B	C	C	A	B	A	A
			3333	3313	7496	7187	2675	5078	-816	-520
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	C 25,392	D 30,153	B 11,878	B 18,775	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente	Sala Estar/Íntima/coz	Sala TV	Q. casal/closet	Q. 1 / closet	Q. 2/ closet	Q. 3	Escrit. 1	Escrit. 2
		Envoltória para Verão	B 4,02	B 4,00	B 4,00	C 3,00	C 3,00	A 5,00	B 4,00
Envoltória para Inverno	Não se aplica 0,00	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C 3,17	Não se aplica 0,00	Não se aplica 0,00	C 3,00	D 2,00	B 4,00	B 4,00	Não se aplica 0,00	Não se aplica 0,00
	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: Cálculos feitos pela autora com a planilha PBE Edifica (2010).



Planilhas 3 e 4: Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ - Edificações Residenciais- Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – somb = 1

	ZB6	APP	Sala Estar/ Íntima/ coz	Sala TV	Quarto casal/ closet	Quarto 1 / closet	Quarto 2/ closet	Quarto 3	Escrit. 1	Escrit. 2
		m <sup>2</sup>	112,61	15,97	31,57	24,72	23,36	18,49	20,08	16,16
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	B	B	B	A	B	A	A
			3333	3313	3849	3752	1474	3876	-816	-520
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	B 17,758	C 24,336	A 9,276	B 16,173	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente		Sala Estar/ Íntima/ coz	Sala TV	Q. casal/ closet	Q. 1 / closet	Q. 2/ closet	Q. 3	Escrit 1	Escrit. 2
	Envoltória para Verão	B	B	B	C	B	A	B	A	A
	4,19	4,00	4,00	3,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	
Envoltória para Inverno	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
	0,00	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	B	Não se aplica	Não se aplica	C	C	A	B	Não se aplica	Não se aplica	
	3,66	0,00	0,00	3,00	3,00	5,00	4,00	0,00	0,00	

Fonte: Cálculos feitos pela autora com a planilha PBE Edifica (2010).

Planilhas 5 e 6: Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ - Edificações Residenciais- Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – somb = 1 e absorvância = 0,1 (parede de pedra, quarto casal)

	ZB6	APP	Sala Estar/Íntima/coz	Sala TV	Quarto casal/closet	Quarto 1 / closet	Quarto 2/ closet	Quarto 3	Escrit. 1	Escrit. 2
		m <sup>2</sup>	112,61	15,97	31,57	24,72	23,36	18,49	20,08	16,16
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	B	A	B	A	B	A	A
			3333	3313	-1415	3752	1474	3876	-816	-520
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	A 10,425	C 24,336	A 9,276	B 16,173	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Envoltória para Verão	Ponderação da nota pela área útil do ambiente	Sala Estar/Íntima/coz	Sala TV	Q. casal/closet	Q. 1 / closet	Q. 2/ closet	Q. 3	Escrit 1	Escrit. 2
		A	B	B	A	B	A	B	A	A
		4,61	4,00	4,00	5,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00
Envoltória para Inverno		Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
		0,00	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Envoltória se Refrigerada Artificialmente		B	Não se aplica	Não se aplica	A	C	A	B	Não se aplica	Não se aplica
		4,31	0,00	0,00	5,00	3,00	5,00	4,00	0,00	0,00

Fonte: Cálculos feitos pela autora com a planilha PBE Edifica (2010).

**Planilha 7: Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória RTQ-R – Edificações Residenciais**

Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH	Envoltória para Verão	Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
		B	B
	4,02	4,02	
	Envoltória para Inverno	Não se aplica	Não se aplica
		0,00	0,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	C	
	3,17	3,17	
Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos	Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
		B	B
		4,02	4,02

**Planilha 8: Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória RTQ-R – Edificações Residenciais - Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – somb = 1**

Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH	Envoltória para Verão	Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
		B	B
	4,19	4,19	
	Envoltória para Inverno	Não se aplica	Não se aplica
		0,00	0,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	B	B	
	3,66	3,66	
Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos	Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
		B	B
		4,19	4,19

Fonte: Cálculos feitos pela autora com a planilha PBE Edifica (2010).

**Planilha 9: Determinação do Equivalente Numérico da Envoltória RTQ-R – Edificações Residenciais - Brises fechados (varandas dos quartos e sala) –  $somb = 1$  e  $absortância = 0,1$  (parede de pedra, quarto casal)**

Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH	Envoltória para Verão	Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
		A	A
	Envoltória para Inverno	4,61	4,61
		Não se aplica	Não se aplica
	Envoltória se Refrigerada Artificialmente	0,00	0,00
		B	B
Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos	Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
		A	A
		4,61	4,61

Fonte: Cálculos feitos pela autora com a planilha PBE Edifica (2010).

**Planilha 10:Classificação Final da UH - RTQ-R – Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	
	Envoltória para Verão	B 4,02
	Envoltória para Inverno	Não se aplica 0,00
	Aquecimento de Água	A 5,00
	Equivalente numérico da envoltória	B 4,02
	Envoltória se refrigerada artificialmente	C 3,17
	Bonificações	0,39
	Região	Centro-Oeste
	Coeficiente a	0,65

<b>Classificação final da UH</b>	<b>A</b>
<b>Pontuação Total</b>	<b>4,75</b>

Fonte: Cálculos feitos pela autora com a planilha PBE Edifica (2010).

**Planilha 11: Classificação Final da UH - RTQ-R – Edificações Residenciais - Brises fechados (varandas dos quartos e sala) –  $somb = 1$**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	
	Envoltória para Verão	B
		4,19
	Envoltória para Inverno	<b>Não se aplica</b>
		0,00
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	B
		4,19
	Envoltória se refrigerada artificialmente	B
3,66		
Bonificações	0,39	
Região	Centro-Oeste	
Coeficiente a	0,65	

<b>Classificação final da UH</b>	<b>A</b>
<b>Pontuação Total</b>	<b>4,86</b>

Fonte: Cálculos feitos pela autora com a planilha PBE Edifica (2010).

**Planilha 12: Classificação Final da UH - RTQ-R – Edificações Residenciais - Brises fechados (varandas dos quartos e sala) – somb = 1 e absorvância = 0,1 (parede de pedra, quarto casal)**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	
	Envoltória para Verão	A 4,61
	Envoltória para Inverno	Não se aplica 0,00
	Aquecimento de Água	A 5,00
	Equivalente numérico da envoltória	A 4,61
	Envoltória se refrigerada artificialmente	B 4,31
	Bonificações	0,39
	Região	Centro-Oeste
	Coeficiente a	0,65

<b>Classificação final da UH</b>	<b>A</b>
<b>Pontuação Total</b>	<b>5,13</b>

Fonte: Cálculos feitos pela autora com a planilha PBE Edifica (2010).

#### 4.6.5 Análise dos Resultados

Conforme análise dos resultados obtidos, a edificação estudada atende aos pré-requisitos estipulados no RTQ-R, com exceção da transmitância da parede Norte do Quarto de Casal. (Tipologia II – parede em pedra). Como mostra o Quadro 2.

O Sistema de Aquecimento Solar recebe classificação C e o Aquecimento de Água, classificação final A.

As bonificações pontuadas foram o item de iluminação natural, tanto na profundidade quanto na refletância; e o item de uso racional de água.

Para a análise das planilhas de envoltória e pré-requisitos dos ambientes de permanência prolongada (PBE Edifica, 2010), são realizados três cálculos com dados que se diferenciam, conforme relatado a seguir:

- no cálculo 1 (planilha 1 e 2), desconsidera-se os brises presentes nas varandas da sala de estar/piscina e nos dormitórios;
- no cálculo 2 (planilha 2 e 3), considera-se o “somb” = 1 na varandas da sala de estar/piscina e nos dormitórios, já que os dispositivos de proteção bloqueiam, quando fechados mais de 75% da incidência solar da superfície envidraçada destes ambientes;
- no cálculo 3 (planilha 3 e 4), considera-se os brises (“somb” = 1) e desconsidera-se a absorvância da parede do quarto de casal, orientação Norte, tipologia em pedra, já que esta é permanentemente sombreada pela grande varanda anexa ao ambiente.

Verifica-se que os três cálculos têm classificação final **A** com pontuação não muito distante uma da outra.

Cálculo 1; planilhas 7 e 10.

Cálculo 2; planilhas 8 e 11.

Cálculo 3; planilhas 9 e 12.

Os resultados de Indicador de Graus-Hora para Resfriamento (GHR) e Consumo Relativo para Refrigeração (CR), dos ambientes de permanência prolongada afetados pelos dados



diferenciados nos Cálculos 1, 2 e 3, observados nas planilhas de Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes, mostram-se bastante distanciados, como mostrado a seguir:

- Quarto de Casal/Closet:  
Cálculo 1 (planilha 1 e 2) GHR = **7496** °C.h - **C** e CR = **25,392** kWh/m<sup>2</sup>. ano - **C**;  
Cálculo 2 (planilha 3 e 4) GHR = **3849** °C.h - **B** e CR = **17,758** kWh/m<sup>2</sup>. ano - **B**;  
Cálculo 3 (planilha 5 e 6) GHR = **-1415** °C.h - **A** e CR = **10,425** kWh/m<sup>2</sup>. ano - **A**.
- Quarto 1/Closet:  
Cálculo 1 (planilha 1 e 2) GHR = **7187** °C.h - **C** e CR = **30,153** kWh/m<sup>2</sup>. ano - **D**;  
Cálculo 2 (planilha 3 e 4) GHR = **3752** °C.h - **B** e CR = **24,336** kWh/m<sup>2</sup>. ano - **C**.
- Quarto 2/Closet:  
Cálculo 1 (planilha 1 e 2) GHR = **2675** °C.h - **A** e CR = **11,878** kWh /m<sup>2</sup>. ano h - **B**;  
Cálculo 2 (planilha 3 e 4) GHR = **1474** °C.h - **A** e CR = **9,276** kWh/m<sup>2</sup>. ano - **A**.
- Quarto 3/Closet:  
Cálculo 1 (planilha 1 e 2) GHR = **5078** °C.h - **B** e CR = **18,775** kWh/m<sup>2</sup>. ano - **B**;  
Cálculo 2 (planilha 3 e 4) GHR = **3876** °C.h - **B** e CR = **16,173** kWh/m<sup>2</sup>. ano - **B**.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi avaliada a eficiência energética de uma casa, localizada na cidade de Goiânia, que tem em seu sistema construtivo o uso do adobe em quase 100% da envoltória vertical externa e interna. A edificação analisada possui uma estética contemporânea e se situa em um condomínio horizontal de alto padrão, contribuindo para desmistificar a ligação da construção em terra com construção precária e menos nobre.

No estudo feito, o uso do adobe como material de construção se mostrou eficaz em seu desempenho térmico (inércia de resfriamento), atendendo aos pré-requisitos de envoltória do Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R) para a Zona Bioclimática 6. Sendo que este resultado positivo se deve mais à espessura de 20 cm da parede que possibilita a atuação da inércia térmica do que propriamente às características do adobe, segundo defendem alguns autores. Mas, as inúmeras vantagens ambientais de seu uso são inquestionáveis; seu transporte e produção consomem energia muito abaixo das demais técnicas, como o concreto e o tijolo cozido; não emite CO<sub>2</sub> na atmosfera; é ilimitadamente reutilizável; não é ofensivo à saúde dos moradores e regula a umidade do ambiente. Este último item que se refere à propriedade higroscópica do adobe merece ser destacado como estratégia para a região de Goiânia que apresenta em parte do ano, especialmente inverno, umidade relativa do ar bem abaixo da recomendada pela Organização Mundial da Saúde (mínimo de 40%). Na edificação analisada, para maior aproveitamento desta estratégia, a implantação foi orientada de forma que receba a umidade trazida pelo vento de um lago das imediações (resfriamento evaporativo), além da grande massa vegetativa presente na área externa e interna da casa que contribui na manutenção de um clima mais ameno.

Analisando as planilhas observa-se que o ambiente do quarto de casal, quando desconsiderados os brises existentes, apresenta Indicador de Graus-Hora para Resfriamento (GHR) em 7496 °C.h, classificação C, que passa a 3849 °C.h, classificação B ao fechar os brises de sua varanda e -1415 °C.h, classificação A, ao ser desconsiderada a absorvância ( $\alpha$ ) de sua parede de pedra. O quarto 1 de classificação D para o Indicador de Graus-Hora para Resfriamento (GHR) passou para C, ao fechar os brises de sua varanda. Também ocorreram

mudanças nos Indicadores para os quartos 2 e 3 e nos resultados do Consumo Relativo para Refrigeração (CR).

Uma observação deve ser feita, já que nas planilhas 5 e 6 foi desconsiderada a absorvância da parede de pedra mesmo não tendo esta orientação no RTQ-R, o qual indica desconsiderar a absorvância em paredes externas sombreadas permanentemente, apenas no critério de pré-requisito de envoltória. Apesar disso, a grande diferença dos resultados entre as planilhas 3/4 e 5/6, para o quarto do casal, leva ao questionamento pessoal se a indicação de desconsiderar absorvância de uma parede externa permanentemente sombreada não deve se estender também à Análise de Eficiência.

A classificação A da Unidade Habitacional, leva à conclusão de que o adobe pode apresentar uma boa performance térmica quando usado na Zona Bioclimática 6, mas a principal consideração a ser feita, comparando as planilhas obtidas, é como que o uso de dispositivos de proteção solar, no caso os brises e a escolha da cor da parede externa podem influenciar no desempenho térmico dos ambientes e como um instrumento como o RTQ-R pode auxiliar nas escolhas e tomadas de decisões dos profissionais responsáveis.

O Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R) para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, instrumento do governo para alcançar níveis mais elevados de eficiência energética nas edificações, apesar de ter sido lançado em 2010, ainda tem uso pouco expressivo entre os profissionais responsáveis pelas definições de material e estratégias de projeto na Construção Civil; arquitetos e engenheiros. De alguma forma nota-se ainda resistência por parte da maioria dos profissionais em se utilizar parâmetros mais técnicos quando se trata desta área, aliando-os a outros critérios, como os funcionais e estéticos. Mas, ao se analisar os resultados desta pesquisa, observa-se como o uso do Regulamento pode auxiliar estes profissionais, podendo ser usado como um meio a mais para que se alcance o objetivo de se construir casas que proporcionem maior conforto e segurança ao morador e conseqüentemente seja menos nocivo à natureza.

Como sugestão de continuidade do trabalho, seria interessante a comparação dos resultados obtidos pelo método prescritivo com o método de medição local e/ou simulação. Assim,

seria possível se ter uma ideia mais efetiva de quanto o RTQ-R prescritivo é representativo como instrumento de projeto.

Por fim, o adobe não é a única e talvez não a melhor solução como material construtivo a ser usado na Zona Bioclimática 6, mas ficou evidenciado pela pesquisa realizada que é possível construirmos casas mais confortáveis, que agredam menos o meio ambiente e com impactos mais positivos sobre a nossa saúde e como o uso de estudos técnicos traduzidos em normas e regulamentos podem nos auxiliar no alcance desta meta.

## REFERÊNCIAS

**ARCHDAILY.** Disponível em:

<[https://www.archdaily.com.br/br/883799/casa-alpha-a1-arquitetura-viva?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.com.br/br/883799/casa-alpha-a1-arquitetura-viva?ad_source=search&ad_medium=search_result_all)>

Acesso em 29 out.2019.

**ARQUITETURA DE TERRA.** 2010. Disponível em:

<<http://arquitecturasdeterra.blogspot.com/2010/03/arquitetura-musgumcamaroes.html>>

Acesso em 29 out. 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações.** Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL C. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Instituto Nacional De Meteorologia - INMET. **Normais Climatológicas** (1981-2010). Brasília, INMET, 2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acesso em: 10 out. de 2019.

BUENO, Mariano. **O grande livro da casa saudável.** São Paulo: ed. Roca, 1995. 279 p. *apud* HÜTNER JÚNIOR, Ormy Leocádio. Edificações Saudáveis: Contribuições Da Geobiologia Para Um Ambiente Mais Produtivo. 2012.

CANCELA, Diana Carina Pereira. **Comportamento higrotérmico e monitorização de construções em adobe.** 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.

**CLIMATE DATA.ORG.** 2019. Disponível em:

< <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/goiania-2191/> > Acesso em: 10 out de 2019.

Curta Mais - **Goiânia continua se aproximando dos 40°C e registra possibilidade de chuva em setembro.** 19 de setembro de 2019. Disponível em:

<<http://www.curtamais.com.br/goiania/goiania-continua-se-aproximando-dos-40c-e-registra-possibilidade-de-chuva-em-setembro>> acesso em: 11 out. de 2019.

DA PONTE, Maria Manuel Correia Costa. **Arquitetura de terra: o desenho para a durabilidade das construções.** Dissertação-Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2012.

DE FARIA, Juliana Prestes Ribeiro. **Influência africana na arquitetura de terra de Minas Gerais.** 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais.

Diário da Manhã - **Inmet emite alerta de baixa umidade do ar para Goiás mesmo com a chegada de uma frente fria do litoral.** 20 de agosto de 2019. Disponível em:

<<https://www.dm.com.br/cotidiano/2019/08/inmet-emite-alerta-de-baixa-umidade-do-ar-para-goias-mesmo-com-a-chegar-de-uma-frente-fria-do-litoral/>> Acesso em: 11 out. de 2019.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico** 5. ed. — São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.

HÜTNER JÚNIOR, Ormy Leocádio. **Edificações saudáveis: contribuições da geobiologia para um ambiente mais produtivo**. 2012. 152 folhas. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Obras) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

INMETRO - ANEXO DA PORTARIA Nº 018/ 2012 - **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**.

INMETRO - Tabelas de consumo/Eficiência energética: **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água** (PBE Solar – coletores e reservatórios), 2019. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>> Acesso em: 10 nov. de 2019.

Jornal Online - **Pesquisa aponta variações climáticas-UFG**. Novembro/Dezembro – 2012. Disponível em:

<<http://jornal.ufg.br/n/41682-pesquisa-aponta-variacoes-climaticas-significativas-em-goiania>> Acesso em: 10 out. de 2019.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**; tradução técnica: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2010. 279p.

LAMBERTS, Roberto *et al.* **Conforto e stress térmico**. LabEEE, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PAPST, Ana L. **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal, 2000.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; CARDOSO, Murilo Raphael Dias; FARIA, Thiago Guimarães. Chuvas no cerrado da região centro-oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura. **Ateliê Geográfico**, v. 6, n. 2, p. 112-130, 2012.

MASTELLA, ADF *et al.* Classificação do estado de Goiás e do Distrito Federal segundo o sistema de zonas de vida de Holdridge. **Revista Brasileira de Geografia Física, Recife**, v. 12, n. 2, p. 443-456, 2019.

MARQUES, Luísa Sant Ana. **Investigação sobre o comportamento térmico do adobe para as necessidades climáticas e normativas brasileiras**. Monografia. Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído. Escola de Arquitetura da UFMG, 2018.

MAIA, Leonardo Ribeiro. **O conforto da habitação de terra**. In: Congresso de Arquitetura e Construção com Terra. 2014.

MINKE, Gernot. **Manual de construção com terra: uma arquitetura sustentável**. Tradução de Jorge Simões. 1ª edição. São Paulo: B4 Editoras, 2015. 79p.

ORUI, Samantha. **Desempenho térmico de habitações construídas com terra**. Dissertação. (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2015.

**PBE Edifica Residencial**. 2010. Disponível em:  
<<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial>> Acesso em: 11 out. de 2019.

**ProjetEEE | Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Disponível em:  
<[http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=GO+-+Goi%C3%A2nia&id\\_cidade=bra\\_go\\_goiania.834230\\_inmet](http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=GO+-+Goi%C3%A2nia&id_cidade=bra_go_goiania.834230_inmet)> Acesso em: 10 out. de 2019.

**Primeira Terra: Arquitetura Ecológica Integral**. Disponível em:  
<<https://documentariosvarios.com/2013/05/13/primeira-terra-arquitetura-ecologica-integral/>> Acesso em: 01. nov. 2019.

SILVA, Ângela Encarnação Sousa. **Síndrome do edifício doente**. 2017. Mestrado. Faculdade de Medicina de Lisboa.