

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCIELE DOS SANTOS DA ROSA

**AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EFICIENTE EM EDIFICAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL
DO DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA**

Alegrete RS

2019

LUCIELE DOS SANTOS DA ROSA

**AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EFICIENTE EM EDIFICAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL
DO DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. José Wagner Maciel Kaehler

Alegrete RS

2019

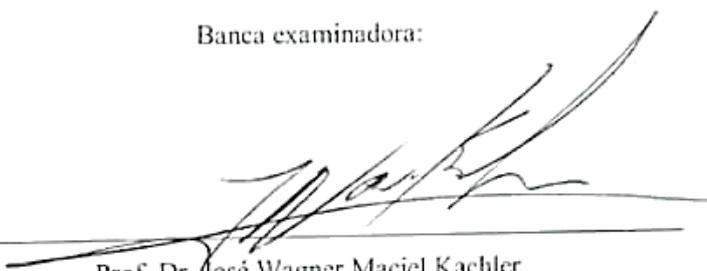
LUCIELE DOS SANTOS DA ROSA

AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EFICIENTE EM EDIFICAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2: SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL DO DESEMPENHO DA ENVOLTÓRIA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 25 de novembro de 2019.

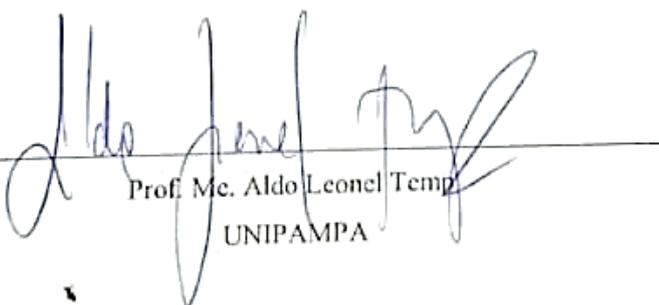
Banca examinadora:



Prof. Dr. José Wagner Maciel Kachler

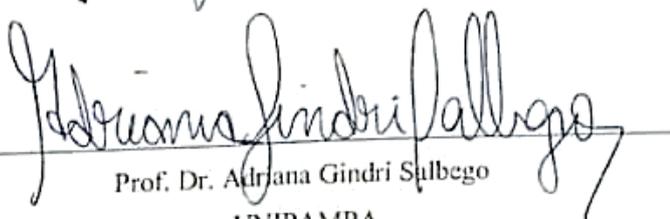
Orientador

UNIPAMPA



Prof. Me. Aldo Leonel Temp

UNIPAMPA



Prof. Dr. Adriana Gindri Sulbego

UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais por me proporcionarem a realização deste sonho, por não terem desistido de acreditar em mim, por todo apoio, cuidado e amor.

Agradeço as mulheres maravilhosas que me fortaleceram e me inspiraram a nunca desistir, que foram o suporte diário diante de todos os tipos de dificuldades, serei grata eternamente por todo apoio incondicional as minhas amigas, Ana Laura Cadorin, Camila Andrioni, Carolina Pregadier, Clarissa Vessozi, Fernanda Ferrari, Isadora Oliveira, Letícia Mota, Luiza Ponche, Priscila Gonçalves, Thalita Vieira.

Agradeço ao amor da minha vida, meu maior parceiro, que me inspira diariamente a me tornar uma pessoa melhor, mais uma vez, obrigada por me apoiar todo tempo, por sempre reafirmar o quanto sou capaz, obrigada por me energizar com teu amor.

E também, agradeço aos educadores por toda atenção e dedicação desempenhada para o meu desenvolvimento acadêmico.

RESUMO

O presente trabalho propõe uma composição de estratégias para um projeto de edificação popular na cidade de Alegrete-RS, localizada na zona bioclimática 2. Foram desenvolvidas estratégias bioclimáticas de condicionamento passivo recomendadas pela NBR 15220 (2005b) para condições de grande variação climática, buscando otimizar o desempenho térmico da envoltória de modo eficiente. Após o desenvolvimento do projeto com as intervenções construtivas estratégicas, ambos foram avaliados por simulação computacional com base nos parâmetros e definições do RTQ-R (2010), através dos programas Open Studio e EnergyPlus. Para a análise do desempenho térmico dos projetos, se utilizou como base o sistema graus-hora de desconforto em relação a temperatura operativa interna dos cômodos de permanência prolongada. Os resultados apresentam uma melhora nos períodos frios do ano, onde foi possível constatar nos ambientes um aumento de tempo dentro da faixa de conforto, entre temperaturas de 20 a 26°C, como também uma diminuição de amplitude térmica dentro destes ambientes, elevando a sensação de conforto térmico aos usuários.

Palavra chave: Arquitetura bioclimática, conforto térmico, simulação computacional.

ABSTRACT

The present work proposes a composition of strategies for a popular building project in the city of Alegrete-RS, located in the bioclimatic zone 2. Bioclimatic strategies of passive conditioning recommended by NBR 15220 (2005b) were developed for conditions of great climatic variation, seeking to optimize the thermal performance of the envelope in an efficient way. After the development of the project with the strategic constructive interventions, both were evaluated by computational simulation based on the RTQ-R (2010) parameters and definitions, through the Open Studio and EnergyPlus programs. For the analysis of the thermal performance of the projects, it was used as base the system degrees-hour of discomfort in relation to the internal operating temperature of the rooms of prolonged permanence. The results show an improvement in the cold periods of the year, where it was possible to verify in the environments an increase of time within the comfort range, between temperatures of 20 to 26°C, as well as a decrease of thermal amplitude within these environments, increasing the sensation of thermal comfort to users.

Key word: Bioclimatic architecture, thermal comfort, computational simulation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Considerações Iniciais.....	12
1.2 Motivação e Justificativa.....	15
1.3 Objetivos.....	17
1.4 Estrutura do Trabalho.....	18
2. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA.....	20
2.1 Ambiente Climático: Clima.....	20
2.2 Conforto Térmico e Desempenho Térmico.....	24
2.3 Estratégias Bioclimáticas.....	27
2.3.1 NBR 15220- Desempenho térmico de edificações de interesse social.....	27
2.4 Análise das estratégias.....	30
2.4.1 Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas.....	30
2.4.2 Tipos de vedações externas.....	32
2.4.3 Estratégias de condicionamento térmico passivo.....	36
3. MÉTODO.....	40
4. PROJETO ARQUITETÔNICO BIOCLIMÁTICO.....	42
4.1 O Sítio.....	42
4.2 O Programa.....	44
4.3 Aplicação das Estratégias Bioclimáticas.....	46
4.3.1 Estratégias de Aquecimento.....	46
4.3.2 Estratégias de Resfriamento.....	50
5. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	55
5.1 Programa de simulação.....	55
5.2 Dados climáticos.....	56
5.3 Parâmetros de entrada da simulação: edificação naturalmente ventilada.....	57
5.3.1 Modelagem e controle do sistema de ventilação natural.....	57
5.3.2 Taxas de infiltração de ar.....	57
5.3.3 Padrão de ocupação.....	58
5.3.4 Padrão de atividade.....	59
5.3.5 Cargas internas de equipamentos.....	60
5.3.6 Padrão de uso da iluminação.....	60
5.3.7 Temperatura do solo.....	61
5.3.8 Caracterização dos materiais e componentes do caso.....	61

5.3.8.1 Paredes.....	62
5.3.8.2 Coberturas.....	62
5.3.8.3 Aberturas.....	64
5.4 Faixa de Conforto.....	65
6. RESULTADOS.....	66
6.1 Temperatura externa x temperatura operativa interna do projeto original.....	67
6.1.1 Sala: Primavera-Verão.....	67
6.1.2 Sala: Outono-Inverno.....	67
6.1.3 Quarto 1: Primavera-Verão.....	68
6.1.4 Quarto 1: Outono-Inverno.....	69
6.1.5 Quarto 2: Primavera-Verão.....	69
6.1.6 Quarto 2: Outono-Inverno.....	70
6.2 Temperatura externa x temperatura operativa interna do projeto eficiente.....	71
6.2.1 Sala: Primavera-Verão.....	71
6.2.2 Sala: Outono-Inverno.....	72
6.2.3 Quarto 1: Primavera-Verão.....	72
6.2.4 Quarto 1: Outono-Inverno.....	73
6.2.5 Quarto 2: Primavera-Verão.....	74
6.2.6 Quarto 2: Outono-Inverno.....	74
6.3 Temperatura operativa interna projeto original x temperatura operativa interna projeto eficiente.....	75
6.3.1 Sala: Primavera-Verão.....	75
6.3.2 Sala: Outono-Inverno.....	76
6.3.3 Quarto 1: Primavera-Verão.....	77
6.3.4 Quarto 1: Outono-Inverno.....	78
6.3.5 Quarto 2: Primavera-Verão.....	79
6.3.6 Quarto 2: Outono-Inverno.....	80
7. CONCLUSÃO.....	81
8. REFERÊNCIAS.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Translação da terra.....	20
Figura 2 - Mapa Mundial da Classificação Climática de Koppen.....	21
Figura 3 - Carta Solar para coordenadas de Alegrete-RS.....	22
Figura 4 - Médias mensais dos totais diários de radiação global para Santa Maria-RS.....	23
Figura 5 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	28
Figura 6 - Padrão de ventilação determinado pelo posicionamento da esquadria.....	30
Figura 7 - Redução das perdas de calor por infiltração com proteção vegetal.....	32
Figura 8 - Diagrama do comportamento de diferentes tipos de materiais de fechamento.....	34
Figura 9 - Comportamento térmico do sistema parede trombe.....	38
Figura 10 - Modelo parede trombe.....	39
Figura 11 - Fluxograma das etapas do trabalho.....	40
Figura 12 - Loteamento Ayrton Senna.....	42
Figura 13 - Imagem aérea do Loteamento Ayrton Senna.....	43
Figura 14 - Planta da Casa Popular do Loteamento Ayrton Senna.....	44
Figura 15 - Casa Popular do Loteamento Ayrton Senna.....	45
Figura 16 - Planta baixa original.....	47
Figura 17 - Planta baixa modificada.....	48
Figura 18 - Propriedades Térmicas de Paredes.....	49
Figura 19 - Modelo Janela Retrátil.....	51
Figura 20 - Modelo de persiana externa.....	52
Figura 21 - Fluxo de vento.....	53
Figura 22 - Schedule do padrão de ocupação quarto.....	59
Figura 23 - Interface OpenStudio.....	60
Figura 24 Modelagem do projeto no Sketchup geolocalizada no OpenStudio.....	66
Figura 25: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	67
Figura 26: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	67
Figura 27: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	68
Figura 28: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	69
Figura 29: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	69
Figura 30: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	70
Figura 31: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	71
Figura 32: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	72
Figura 33: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	72
Figura 34: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	73
Figura 35: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	74
Figura 36: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas.....	74

Figura 37 Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos.....	75
Figura 38: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos.....	76
Figura 39: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos.....	77
Figura 40: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos.....	78
Figura 41: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos.....	79
Figura 42: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos.....	80
Figura 43: Resumo gráfico dos resultados para o período de primavera-verão.....	81
Figura 44: Resumo gráfico dos resultados para o período de outono-inverno.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Normais Climatológicas de Alegrete, período 1980-2016.....	24
Tabela 2 - Categorias de Conforto térmico ISO 7730 (2005).....	25
Tabela 3 - Propriedades admissíveis para vedações externas.....	28
Tabela 4 - Resumo de estratégias sugeridas pela NBR 15220.....	29
Tabela 5 - Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico para diferentes tipos de bloco.....	33
Tabela 6 - Valores de coeficiente de absorção e emissividade.....	35
Tabela 7 - Áreas de ventilação projeto base.....	51
Tabela 8 - Áreas de ventilação projeto modificado.....	52
Tabela 9: Padrão de ocupação da residência.....	54
Tabela 10: Taxas metabólicas para cada atividade.....	58
Tabela 11: Padrão de iluminação da residência.....	59
Tabela 12: Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados para paredes.....	61
Tabela 13: Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados para cobertura.....	62
Tabela14: Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados como isolante térmico.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
 APPs - Área de Preservação Permanente.
 ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.
 INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.

NBR – Norma Técnica Brasileira.

PMCMV - Programa Minha Casa, Minha Vida.

PMV - Predicted Mean Vote.

PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

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

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O fator moradia está diretamente ligado ao desenvolvimento da humanidade, já que tem como função abrigar e proteger a população das intempéries climáticas, como também ataques de predadores e semelhantes. O ser humano com seu alto poder adaptativo aprendeu a desenvolver técnicas construtivas limitadas aos recursos disponíveis das suas regiões, formando sistemas construtivos de diferentes padrões espalhados pelo mundo.

No decorrer da história, com a facilidade de deslocamentos e transportes, mais propriamente dito na época da Revolução Industrial, se tem uma mudança econômica social no cenário mundial. Devido ao aumento na variedade e disponibilidade de materiais no mercado, somado ao desenvolvimento tecnológico, como por exemplo, o condicionamento de ar, faz com que a disposição do ambiente climático deixe de ser um fator condicionante do projeto (LAMBERTS et al., 2014).

As construções começaram a fazer uso indiscriminado de produtos esgotáveis e sem estudos de impacto ao meio incluso, então o conceito das variáveis arquitetônicas como a orientação solar e a forma do edifício, o dimensionamento das aberturas, fechamento entre outros ficaram pouco difundidos na área de conforto ambiental. Para compensar o descuido com os fatores citados anteriormente e ainda assim atender o conforto e funcionalidade da edificação, os projetistas fizeram uso de uma gama de novos artifícios tecnológicos disponíveis no mercado, ocasionando gastos energéticos excessivos.

Na década de 70 com a crise de petróleo, o uso racional e eficiente de energia passa a ser o fator condicionante do projeto, logo a construção civil começa a enxergar este como uma opção bastante vantajosa (CIB,1999).

Com o passar dos anos, os países voltam a valorizar o relacionamento do meio com a edificação, e criam uma preocupação constante em racionalizar o uso de energia, desde o processo de produção ao consumo.

No Brasil, este processo começou atrasado em relação ao cenário mundial, porém nos últimos anos teve grande avanço em questão de legislação e regulamentação do uso consciente de energia.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi criado em 1985, pelo Ministério de Minas e Energia e da Indústria e Comércio juntamente, com o objetivo promover a racionalização da Energia de modo geral no país, sendo a primeira

iniciativa governamental de grande porte a discutir e incentivar a adequação do consumo (PROCELINFO, 2006b).

Para unificar e oficializar o processo da produção das normativas, em 1999 formou-se uma Comissão de Estudos sobre Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações e posteriormente publicado uma proposta de Norma Técnica Brasileira sobre desempenho térmico para habitações populares (RORIZ et al., 1999).

Em 2001 o país enfrenta uma crise energética, sendo sancionado o Decreto nº 3789 de medidas emergenciais, visando reduzir o consumo de energia bem como o aumento da produção. O referido Decreto foi precedido pela aprovação da Lei Federal nº 10295, que cria uma política nacional para conservação e o uso racional da energia, fixando limites mínimos de eficiência energética para equipamentos vendidos no país como também para edificações residenciais, comerciais e industriais (MACIEL, 2006).

Com o intuito de promover o uso racional da energia elétrica em edificações junto ao incentivo a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (luz, água, ventilação), reduzindo desperdícios e danos ao meio ambiente, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA foi instituído em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL juntamente com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil (PROCELINFO, 2006a).

A Norma Técnica Brasileira foi publicada apenas 2 anos depois, em 2005 a NBR 15220 - Desempenho Térmico para Edificações (ABNT, 2005a), que determina requisitos mínimos aceitáveis de conforto térmico para habitações e apresenta propostas de estratégias de condicionamento térmico passivo para cada região do território brasileiro, dividido em zonas bioclimáticas, de modo a elevar o conforto térmico (POUEY 2011).

Ainda em vista da preocupação com o desempenho mínimo das edificações, em 2008 foi publicada a NBR 15575 Edificações Habitacionais- Desempenho (ABNT, 2008), a qual estabelece requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os principais sistemas de uma edificação: estrutura, pisos internos, fachadas e paredes internas, coberturas e sistema hidrossanitário. A referida norma foi alvo de muitas discussões e após três revisões, entrou em vigor em 19 de fevereiro de 2013 (SORGATO, 2014).

Vale salientar que a NBR 15575 (ABNT, 2008) deixa claro que a edificação deve atender às exigências de conforto térmico considerando-se as características definidas no zoneamento bioclimático da NBR 15220 (ABNT, 2005b).

Em 17 de setembro de 2010 Portaria nº 372 publica o Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C, este regulamento acompanhado de manuais apresenta requisitos técnicos a serem avaliados diante a certificação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Em seguida, em 25 de novembro de 2010, através da Portaria nº 449, foi publicado o Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R.

O RTQ-R tem por finalidade criar, para edificações unifamiliares e multifamiliares, condições para etiquetagem especificando requisitos técnicos e os métodos para a classificação quanto a eficiência da edificação. A etiqueta ENCE pode ser fornecida tanto na fase de projeto, como também para edificação já concluída.

A avaliação pode ser feita pelo método prescritivo ou por simulação computacional da unidade habitacional, como no caso do presente trabalho. O regulamento divide a avaliação em dois aspectos, considera a análise da envoltória e também o aquecimento de água, bem como outras benfeitorias na edificação podem ser contabilizadas em um sistema de bonificações (INMETRO, 2010b).

A postura do desenvolvimento imobiliário do Brasil de modo a abastecer o déficit de moradias residenciais, apresenta técnicas projetuais para produção em série de conjuntos habitacionais, as quais não considera a variabilidade de condições bioclimáticas da grande extensão territorial do país (FAGUNDES, 2014).

Com isso, essas edificações apresentam conforto térmico discutível, bem como depreende consumo de energia elétrica desnecessariamente elevado com iluminação e condicionamento de ar.

Com estudo dos condicionantes bioclimáticos locais, baseado nas normativas vigentes, se pode propor estratégias que elevam o nível de eficiência energética da unidade habitacional, trazendo mais economia e conforto para os usuários sem que haja redução das funcionalidades do projeto.

Neste trabalho, será desenvolvido o estudo e análise bioclimática do projeto arquitetônico de uma edificação popular de acordo com NBR 15220: Desempenho Térmico

de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005b). Esta normativa propõe diferentes metodologias de avaliação, entre elas a avaliação por meio de simulação computacional, medições em edificações e protótipos construídos.

1.2 Motivação e Justificativa

Neste contexto, o presente trabalho visa utilizar as diretrizes disponíveis na literatura para explorar intervenções construtivas de baixo custo relativo. O objetivo é garantir o ganho energético a partir de soluções simples e de fácil implementação que elevam o ganho de conforto térmico. Mediante a uma análise de eficiência energética em relação a envoltória de uma edificação, através de simulações termoenergéticas de uma unidade habitacional de interesse social.

Propõe o uso da NBR 15220 (ABNT, 2005a) como meio de estudo de potenciais energéticos para a região de interesse do trabalho, no caso zona bioclimática 2, com intuito de esgotar os ganhos energéticos passivos disponíveis no meio.

Tem-se como desafio conciliar estratégias algumas vezes antagônicas, pelo fato da região ser de clima temperado, o qual apresenta grandes amplitudes térmicas com estações bem definidas no decorrer do ano.

Outro obstáculo se dá pelos fatores limitantes como dimensões da edificação e o orçamento reduzido para projeto e execução da mesma.

Diante dessa característica de grande variação climática deriva a importância do estudo da automação dos dispositivos passivos no projeto, considerando a possibilidade do comportamento dinâmico da estrutura de acordo com as condições atmosféricas, o que exige do usuário dedicação em gerenciar tais dispositivos passivos (POUEY, 2011).

A revisão desta temática busca incentivar a aplicação do conceito da arquitetura bioclimática como recurso para um projeto eficiente e racional. A arquitetura bioclimática se define como um projeto arquitetônico que considera desde o clima, lugar, direção dos ventos dominantes e insolação sem recorrer a técnicas e sistemas tecnológicos para elevar o conforto térmico necessário (CUNHA, 2003).

Lamberts e Triana (2007) afirmam que um projeto sustentável deve ser ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável, o que resulta em muitas variáveis, sendo uma das suas premissas o uso racional de energia. Portanto é de suma

importância os estudos preliminares do apelo arquitetônico com as técnicas construtivas, a caracterização dos materiais, a interação com o usuário e também de sistemas complementares, todas soluções necessárias para o desenvolvimento do melhor aproveitamento energético possível.

A economia no consumo elétrico é extremamente vantajosa, já que para fornecer essa demanda envolve despesas em uma variedade de processos, que vão desde a produção, transmissão e distribuição (GELLER, 1994). O que resulta em encargos também ao estado o que conseqüentemente vai no sentido oposto ao desenvolvimento do país.

A construção civil está ligada diretamente ao crescimento econômico e social do país, reduzindo o déficit de moradias, gerando emprego e renda. Entretanto também é responsável por sérios impactos ambientais oriundos do consumo de recursos naturais, energia, geração de resíduos e poluição. O consumo de recursos naturais do setor produtivo pela construção civil encontra-se por volta de 35%, o que leva ao grande interesse por construções mais sustentáveis, movimentando toda categoria de construções (GREEN BUILDING COUNCIL, 2015).

Vale ressaltar, que edificações eficientes já são objetos de estudo em diversas regiões do país, mas particularmente na zona bioclimática 2 não se tem conhecimento da existência de muitos protótipos de interesse social semelhante ao proposto pelo trabalho. No entanto, há grande motivação no país em idealizar projetos deste tipo para estudo e desenvolvimento do assunto.

No ano de 2008 em Santa Maria-RS, o Grupo de Estudo e Pesquisa em Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), desenvolveu o projeto de uma Casa Popular Eficiente em parceria com os cursos de Engenharia. A proposta tinha como objetivo a princípio, a construção de uma casa com materiais sustentáveis para um público de baixa renda, posteriormente ampliada para a utilização de diferentes tecnologias, como captação de água da chuva para uso doméstico, utilização de energia solar para produção de energia elétrica, sistema de aquecimento e ventilação voltados para o microclima da zona bioclimática 2, a qual Santa Maria está inclusa. Segundo Vagheti (2019), idealizador do projeto, esse modelo de trabalho alia um produto sustentável destinado a sociedade e transmite a cultura ambiental aos futuros profissionais sem deixar de lado a qualidade de vida das pessoas.

Com o objetivo de incentivar o desenvolvimento de soluções inovadoras e eficientes na construção civil, a ELETROSUL, em parceria com o Laboratório de Eficiência Energética

em edificações (LABEEE) executou um protótipo entre 2005 e 2006 de uma Casa Eficiente em Florianópolis-SC, situada na zona bioclimática 3 (MACIEL *et al.*, 2006). Sempre visando o uso racional dos recursos disponíveis e menor impacto ambiental, atualmente é utilizada para medição diária das variáveis ambientais internas e externas e do consumo de energia. A casa também se encontra aberta à visitação do público em geral.

A aplicação do software *EnergyPlus* como ferramenta para as análises termoenergéticas e de conforto térmico da edificação proposta, permite proceder a uma análise computacional levando em conta os materiais constituintes de fachada da residência, as atividades desenvolvidas e o número de usuários. Constitui-se num artifício muito utilizado na atualidade para estudos de casos, visto que não são feitas alterações no espaço construído e pode-se obter resultados satisfatórios de representação da realidade (SANTOS, 2018).

Aliar os conhecimentos do âmbito de eficiência energética com a concepção de um projeto arquitetônico bioclimático, que permite compor um conjunto de soluções construtivas para a elevação do conforto térmico.

Viabiliza-se a obtenção de dados para a devida avaliação do nível de eficiência energética da envoltória, baseado no Regulamento Técnico do Nível de Qualidade de Eficiência Energética Residencial (RTQT-R), através de simulação computacional.

Além disso, elucidam-se conceitos e premissas da arquitetura bioclimática, usados como base para a produção de projetos mais eficientes através do uso correto dos recursos disponíveis para cada cenário ambiental com suas excepcionalidades.

Esse trabalho enfatiza a importância de projetos arquitetônicos mais eficientes dando subsídios a profissionais da área da construção civil, através da simulação de diretrizes e soluções aplicadas a locais de grande variação climática, possibilitando estudos futuros que desenvolvam o gerenciamento dessas estratégias bioclimáticas, em busca do máximo desempenho possível da edificação.

1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho, é propor o projeto arquitetônico de uma edificação residencial unifamiliar de interesse social na zona bioclimática 2, fazendo aplicação dos princípios bioclimáticos de condicionamento passivo recomendados pela norma NBR 15220 Parte 3- Desempenho Térmico para Edificações de interesse social (ABNT, 2005b).

O projeto arquitetônico será desenvolvido buscando otimizar o sistema termo-energético relativo a envoltória, através de soluções adequadas ao padrão da edificação e do microclima local, além de demonstrar os ganhos térmicos obtidos através dos resultados da simulação computacional.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Apontar estratégias bioclimáticas de projeto adequadas ao conforto e a eficiência energética para esta região;
- Determinar soluções e técnicas construtivas aplicando as estratégias passivas de condicionamento;
- Avaliar os projetos arquitetônicos, com e sem as modificações propostas, por simulação computacional;

1.4 Estrutura do Trabalho

Na intenção de atingir os objetivos propostos, este trabalho está estruturado em sete capítulos como descrito a seguir:

No primeiro capítulo introduziu-se o contexto histórico e o atual cenário da eficiência energética em edificações no país, seguido da justificativa e motivação do estudo, após a clarificação dos objetivos, sequência de metodologia e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo caracteriza-se o clima e seus fatores condicionantes do local de estudo, no caso a região de Alegrete-RS. Apresenta-se uma breve revisão bibliográfica sobre conforto e desempenho térmico, evidenciando índices e parâmetros reconhecidos. Também se aponta as diversas estratégias bioclimáticas de projetos, adequadas ao conforto e a eficiência para edificações nas condições da zona bioclimática 2, baseadas em considerações da norma de desempenho térmico NBR 15220 (ABNT, 2005b). A norma é usada como diretriz para otimização do desempenho térmico da edificação em tais condições.

No capítulo 3, o método utilizado para o seguimento da pesquisa.

Então no quarto capítulo apresenta-se o projeto arquitetônico base, juntamente com a contextualização do programa de necessidades da edificação, no caso uma habitação popular de um conjunto habitacional financiado por programa de iniciativa governamental. Logo após determina-se as estratégias bioclimáticas, soluções projetuais e técnicas construtivas resultantes das análises do capítulo anterior. Encerrando o trabalho de conclusão de curso I.

No capítulo 5 modela-se o projeto arquitetônico base no software *EnergyPlus* e seu interface gráfico *OpenStudio*, e posteriormente simula-se o segundo projeto arquitetônico já com as soluções eficientes.

De posse das análises termo-energéticas obtidas através da simulação computacional, o sexto capítulo apresenta os resultados alcançados, no tocante de conforto térmico da envoltória, de ambos casos dos projetos propostos.

E por fim, o sétimo capítulo descreve as conclusões obtidas do trabalho.

2. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

A arquitetura bioclimática consiste no estudo da harmonização das construções com o meio ambiente visando otimizar o uso dos recursos naturais disponíveis (como a radiação solar e o vento), gerando conforto.

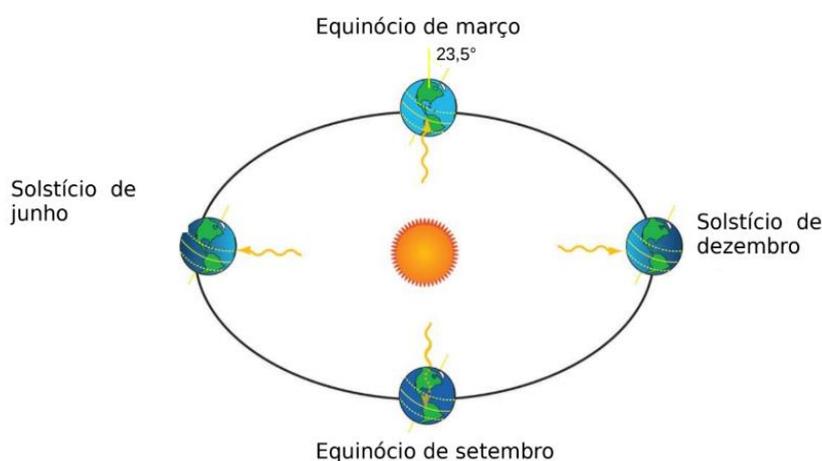
2.1 Ambiente Climático: Clima

O clima é composto por elementos climáticos variáveis, os quais são mensurados em estações meteorológicas, como a umidade atmosférica do ar, temperatura do ar, radiação solar, ventos e precipitações.

O planeta terra exerce o movimento de translação, inclinado a 23° em torno de um eixo imaginário, que liga o Polo Norte ao Polo Sul (ASTRONOO, 2013).

Este ângulo define a variação de quantidade de radiação solar, incidente na superfície terrestre ao longo do ano, o que caracteriza as estações de solstícios de verão e inverno, e equinócios de primavera e outono conforme a figura abaixo.

Figura 1: Translação da terra.

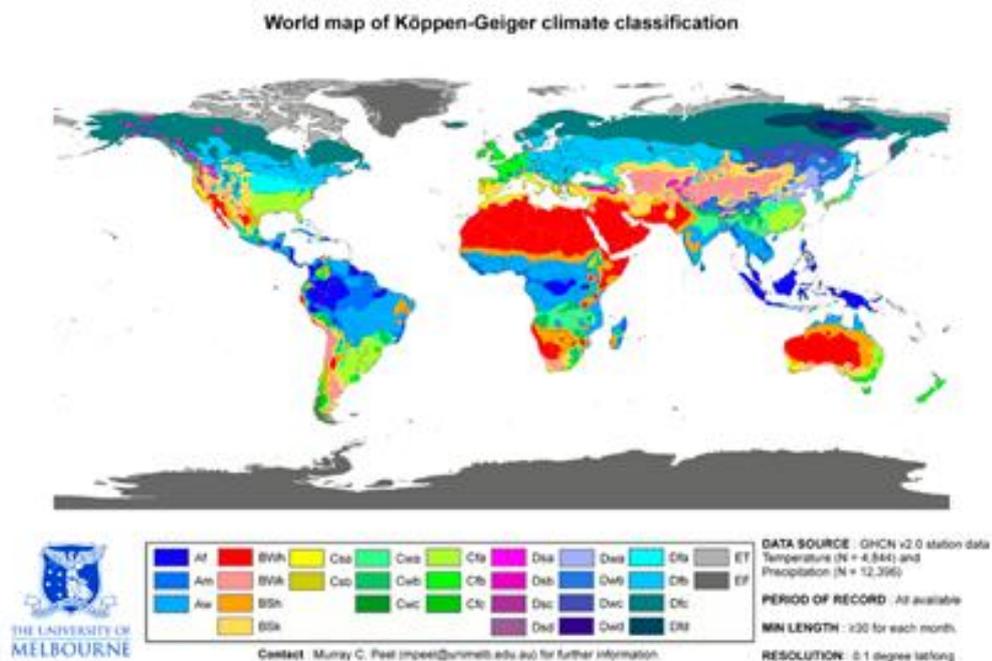


Fonte: Atlas Solar do Rio Grande do Sul, 2018.

A figura 2 apresenta o mapa de classificação climática de Koppen. O município de Alegrete está localizado na região de clima Subtropical (Cfa), definido mais especificamente como Clima Temperado Úmido. Praticamente toda região sul do Brasil possui clima temperado devido a sua localização entre as latitudes médias na zona Subtropical segundo

(NIMER, 1989). Deste modo confere a esta região uma notável oscilação térmica ao longo do ano, através de estações bem definidas.

Figura 2: Mapa Mundial da Classificação Climática de Köppen.



Fonte: Portais UFG - Classificação climática de Köppen- Geiger.

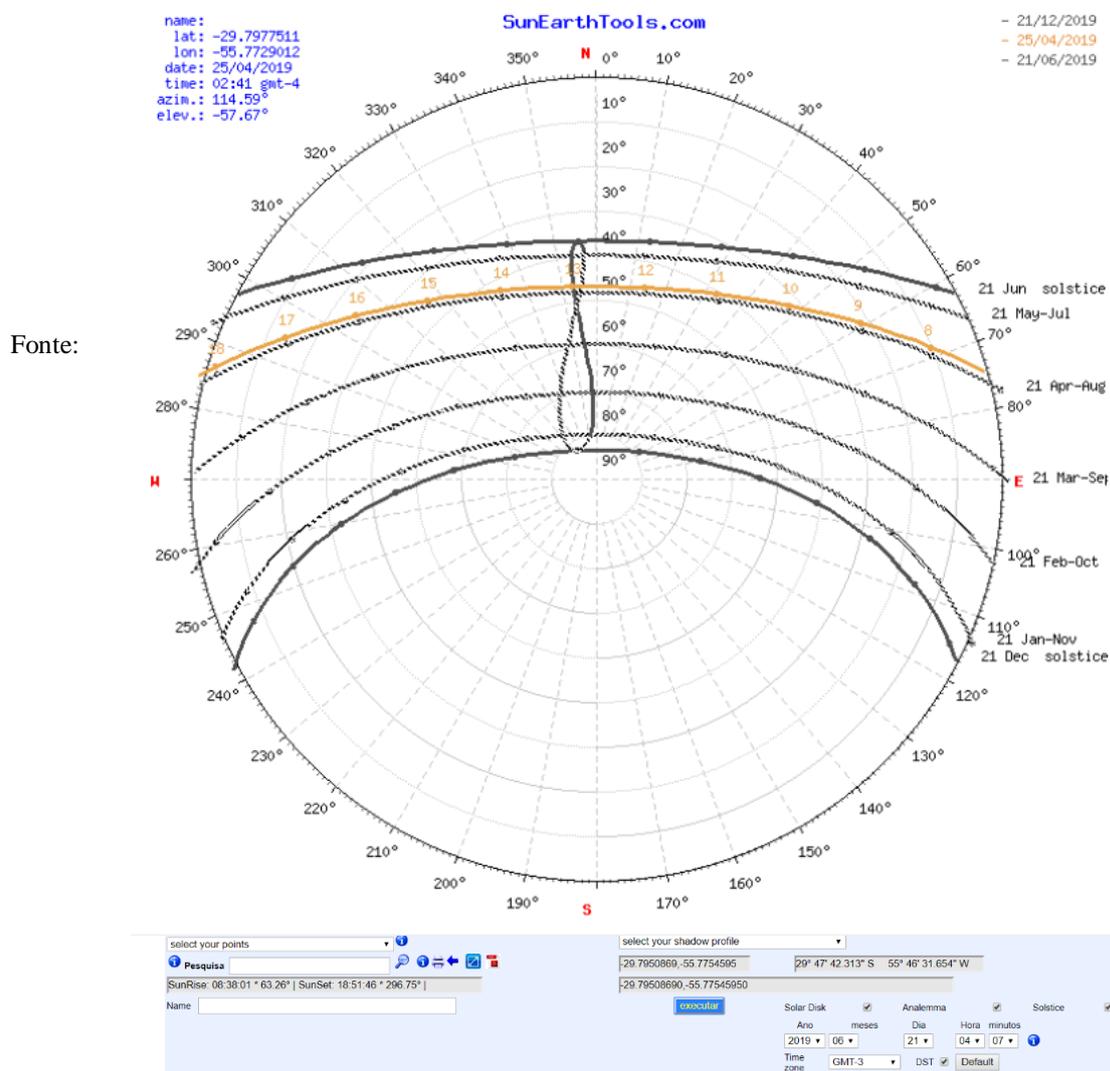
No Rio Grande do Sul, durante o verão os dias são mais longos que as noites, com as temperaturas médias mensais mais elevadas em janeiro, entre 25 °C e 26°C e chuvas distribuídas durante os doze meses, o que mantém relativamente alto o índice de umidade. No inverno as temperaturas médias mensais mais baixas ocorrem em julho, entre 9° C e 10° C (BURIOL, 1979).

Outra característica marcante são as correntes de ar que tipicamente impactam o Estado, particularmente o vento minuano, caracterizado por um vento frio de origem Polar Atlântica de orientação sudoeste (SARTORI, 2003).

Segundo dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas, Alegrete está situado a 29°47' de latitude sul e 55°46' de longitude oeste, com 80m acima do mar (SANCHES, 2013).

Abaixo a carta solar de Alegrete, gerada pela ferramenta online *Sunearthtools*.

Figura 3: Carta Solar para coordenadas de Alegrete-RS.



SunEarthTools, 2019.

Diante da leitura da carta solar do município, pode-se constatar que os dias de verão apresentam em média 14 horas de radiação solar, com o nascer do sol por volta das 5 horas e 39 minutos e o pôr às 19 horas e 40 minutos, neste período o plano vertical norte recebe por volta de 1 hora de radiação solar.

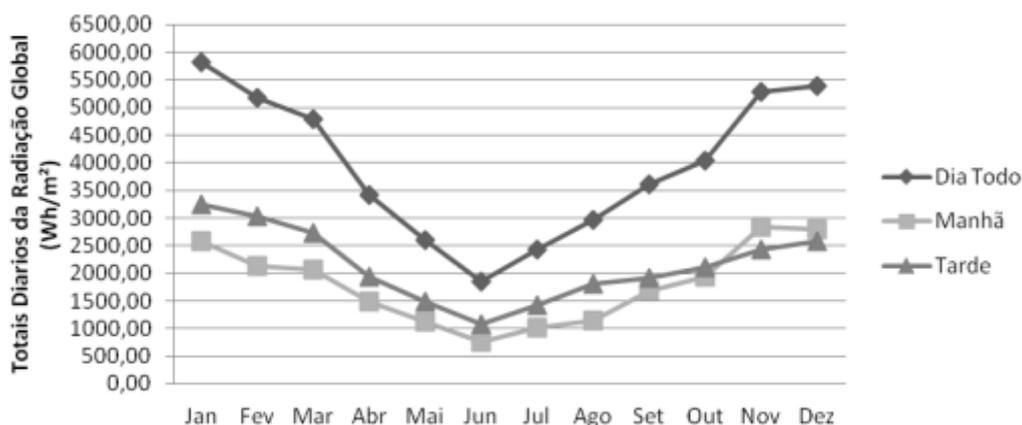
Durante o período de inverno, os dias apresentam em média 10 horas de radiação solar, com o nascer do sol às 7 horas e 38 minutos e se pondo às 17 horas e 51 minutos, neste período o plano vertical norte recebe radiação solar durante 6 horas enquanto os planos verticais leste e oeste recebem 2 horas em média.

É possível ver a clara vantagem do plano vertical norte em relação aos outros planos, recebendo maior quantidade de radiação solar no inverno, quando se é desejada, e menor quantidade de radiação solar no verão, quando não é desejada.

O gráfico abaixo apresenta a variação de incidência solar, na região de Santa Maria - RS, localizada na latitude $-29,7^\circ$ longitude $-53,70^\circ$, e à 95m acima do mar, gerado a partir dados registrados no INMET e na Base aérea de Santa Maria (BASM) ao longo do ano, através das médias mensais da radiação global horizontal de janeiro de 2002 a dezembro de 2013 (GRIGOLETTI *et al*, 2016).

Vale destacar que a utilização de tais dados é possível, já que na prática a utilização de cartas solares de variação de até 3° entre si não resulte em desvios significativos (FROTA *et al.*, 2001).

Figura 4: Médias mensais dos totais diários de radiação global para Santa Maria-RS



Fonte: Grigoletti *et. al.*, 2016.

Fica claro a grande variação de incidência solar, maiores radiações nos períodos do solstício de verão, ponto máximo em janeiro, e menores radiações no solstício de inverno, ponto mínimo em junho. Também, nota-se que a radiação solar pela parte da tarde, tem índices mais elevados praticamente todo ano.

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), as normais climatológicas são dados climáticos obtidos de valores médios processados para um período de 30 anos consecutivos, obedecendo critérios recomendados e padronizados. Deste modo estes dados podem ser considerados simplificados por se tratar de médias mensais, no entanto descrevem de modo realista as condições características do Clima Temperado (INMET, 2019).

A tabela 1 apresenta as normais climatológicas de Alegrete, com base em uma análise estatística de relatórios horários históricos de janeiro de 1980 a dezembro de 2016, disponibilizado pela plataforma digital Weather Spark.

Tabela 1: Normais Climatológicas de Alegrete, período 1980-2016.

Variáveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura Máxima Média (°C)	32	30	28	24	20	19	19	22	23	27	30	32
Temperatura Mínima Média (°C)	21	20	17	14	11	10	10	12	13	16	18	20
Velocidade Média do Vento (Km/h)	12	11,5	11,3	11,4	11,4	11,9	12,5	13,2	13,6	13,6	13,2	12,6
Direção Predominante do Vento	leste											

Fonte: Pt.weatherspark, 2019.

2.2 Conforto Térmico e Desempenho Térmico

Conforto térmico é definido como a condição mental que expressa satisfação com a sensação térmica do ambiente que envolve a pessoa segundo (ASHRAE, 2004a).

As variáveis que condicionam o conforto térmico se dividem em ambientais (umidade relativa, temperatura do ar, velocidade do ar e temperatura média radiante) e humanas (vestimentas e atividades).

Esses fatores determinam as trocas térmicas do ambiente e o indivíduo como também as respostas fisiológicas e psicológicas do ser humano.

Dentro das muitas variáveis ligadas a sensações de conforto, estudiosos desenvolveram índices de conforto térmico, que agrupam as condições que resultam em respostas semelhantes ou até iguais ao usuário. (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Dessa forma se desenvolve o critério de Voto Médio Estimado (PMV, *predicted mean vote*), através de uma equação que sintetiza todos os processos de trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Possibilitando avaliar o grau de desconforto, relacionando as variáveis que atingem o conforto térmico com uma escala de sensação térmica definida. (FANGER, 1970).

LAMBERTS *et. al.* (2014) descreve o PMV como a tradução da sensibilidade humana ao frio e ao calor em um valor numérico, para conforto térmico o PMV é 0 (zero), para frio é negativo e para calor é positivo.

A escala de sensação térmica é simétrica variando do ponto 0 (zero) que expressa a neutralidade térmica, para até +3 quando muito calor e -3 para muito frio.

Para melhor descrição da realidade, o PMV foi relacionado com a Porcentagem Prevista de Insatisfeito (PPD, *predicted percentage of dissatisfied*), considerando como limite de conforto térmico as situações que apresentam PPD inferior a 20% (FANGER, 1970).

A norma ISO 7730, criada em 1984 com o título “Ambientes Termicamente Moderados - Determinação dos índices PMV/PPD e especificações das condições térmicas”, adotou as pesquisas de Fanger, no entanto essa norma é revisada a cada dez anos, a última versão atualizada em vigor é a de 2005.

A norma em vigor teve o título alterado para “Ergonomia do ambiente térmico - Determinação analítica e interpretação do conforto térmico usando os cálculos dos índices PMV/PPD e critérios de conforto térmico local”, como também trouxe mudanças sobre a aceitabilidade do ambiente térmico, criando 3 categorias de classificação de ambiente e espaços passando ser aceitável o PPD até 15% como condição de conforto, correspondente a uma faixa de PMV de -0,7 a +0,7 (POUEY, 2011).

Tabela 2: Categorias de Conforto térmico ISO 7730 (2005).

Categoria	Estado térmico do corpo	
	PPD%	PMV
A	<6	-0,2<PMV<+0,2
B	<10	-0,5<PMV<+0,5
C	<15	-0,7<PMV<+0,7

Fonte: Adaptado de: Lamberts *et. al.* - Conforto e stress térmico, 2008.

Há disponível atualmente algumas literaturas e normativas as quais estabelecem para um desempenho térmico mínimo, valores limites para desempenhos inferiores e superiores de conforto térmico.

A NBR 15575 (2013) – Edificações Habitacionais: Desempenho, no que se refere a desempenho térmico para edificações de até cinco pavimentos (ABNT, 2013), estabelece para um desempenho térmico mínimo, que o valor máximo diário de temperatura do ar interno seja igual ou menor ao valor máximo de temperatura do ar externo, na condição de verão. E ainda para um desempenho superior, o valor máximo diário de temperatura interna deve ser igual ou menor a 28°C.

Para condição de inverno, o valor mínimo diário de temperatura de ar interno deve ser igual ou maior a 13°C para um desempenho térmico mínimo, e para um desempenho térmico superior deve ser igual ou maior a 17°C.

Vale ressaltar que em relação a temperatura do ar, muitas vezes não é suficiente para indicar o nível de eficiência da envoltória construtiva, apenas a quantificação das horas de desconforto, pelo fato de se considerar apenas se os valores estão dentro dos limites máximos ou mínimos, e não revelar o quanto os valores estão distantes ou próximos dos limites (MORELLO, 2005).

Em vista disso, adota-se outro parâmetro climático de avaliação das condições de conforto térmico, são os graus-dias ou graus-hora de desconforto, que pode ser descrito como o somatório das diferenças de temperatura quando esta se encontra acima ou a abaixo de uma temperatura base (T_b) (SZOKOLAY, 1987).

No RTQ-R (2010) o parâmetro de graus-hora é aplicado para estimar a energia requerida para resfriamento de uma edificação naturalmente ventilada, considerando as temperaturas operativas que ultrapassem a Temperatura Base (T₀) recomendada de 26°C (Equação 1). Contudo o regulamento não especifica uma temperatura base para estimar a energia requerida para o aquecimento de uma edificação, a não ser quando a edificação é artificialmente condicionada.

$$GHR = (T_0 - 26^{\circ}\text{C})$$

(Equação 1)

Para o cálculo da carga térmica de aquecimento de uma dada edificação, Cunha (2010) usou a temperatura mínima interior no inverno de 20°C, para criar um cenário de quanto a temperatura interna deve ser mantida.

Matos (2007), amparado pela ISO 7730/94, utiliza para avaliação das simulações em seu trabalho, a temperatura base de 26°C para o cálculo de graus-hora de resfriamento, e 20°C para o cálculo de graus-hora de aquecimento.

Somando os valores de graus-hora de resfriamento do período dos dias 21/09 a 20/03, e os graus-hora de aquecimento do período dos dias 21/03 a 20/09, se obtém a quantidade de graus-hora anual para os cômodos de permanência prolongada da residência, como dormitórios e salas (MATOS, 2007).

2.3 Estratégias Bioclimática

A expressão projeto bioclimático foi usada pela primeira vez por Olgyay (1963), aplicando a bioclimatologia na arquitetura se tratando de conforto térmico humano.

LAMBERTS (2014) descreve a bioclimática de um projeto como a busca da arquitetura, por meio dos seus próprios elementos, com o intuito de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem, as condições favoráveis do clima para concepção de projeto.

Por meio da aplicação correta de elementos do projeto e de tecnologia para controle dos processos de transferência de calor, o projeto bioclimático tira vantagem do clima, garantindo o conforto dos usuários, e economia de energia. (GOULART e PITTA, 1994).

Sendo assim, o conceito bioclimático quando usado desde a idealização do projeto da edificação, tende a elevar a capacidade de atendimento às condições de conforto, e consequentemente a economia de energia. As estratégias bioclimáticas sugeridas para um clima específico são a aplicação de um conceito que considera a interação do meio para a tomada de qualquer intervenção arquitetônica construtiva no projeto.

2.3.1 NBR 15220- Desempenho térmico de edificações de interesse social

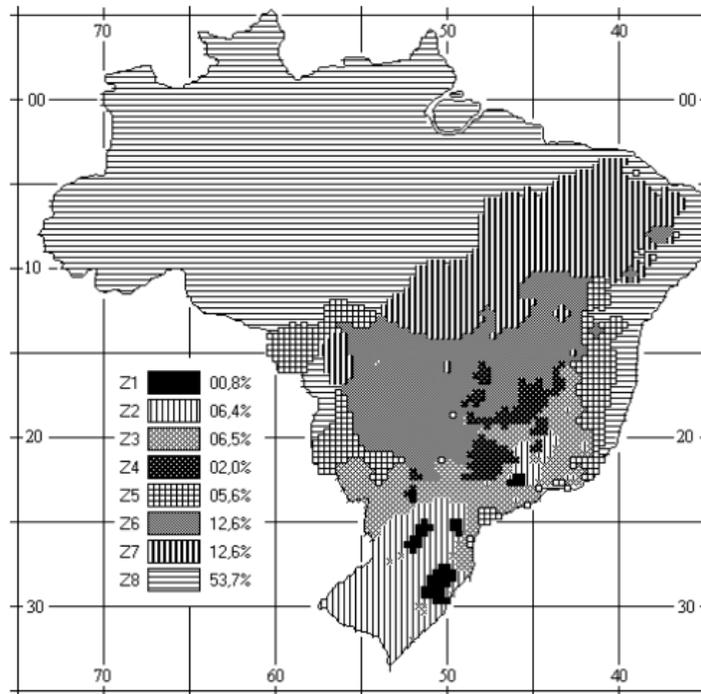
A NBR 15220 - Parte 3: Desempenho térmico de edificações de interesse social, estabelece recomendações e diretrizes construtivas para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos.

Se trata da normativa de referência mais atual em conforto térmico no país.

Estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro, propõe um conjunto de recomendações e estratégias construtivas, destinadas a unidades habitacionais sujeita às condições da sua respectiva zona.

Por conta do zoneamento climático, o território brasileiro é dividido em oito diferentes zonas homogêneas quanto ao clima, conforme a figura 5. A região sul do Brasil fica praticamente inteira na zona bioclimática 2, incluindo Alegrete-RS local do estudo.

Figura 5: Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: NBR 15220 (parte 3), 2005.

Para a zona bioclimática 2, a norma apresenta um conjunto de recomendações técnico-construtivas relativas às aberturas, paredes e coberturas.

A respeito do tipo de vedação externa, a norma recomenda paredes leves e cobertura leve isolada, as quais seguem características descritas na tabela abaixo.

Tabela 3: Propriedades admissíveis para vedações externas.

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m ² .K	Atraso térmico - ϕ Horas	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

NOTAS				
1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)				
2 Aberturas efetivas para ventilação são dadas em porcentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).				
3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.				
4 O termo "ático" refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.				

Fonte: NBR 15220 (parte 3), anexo C, tabela C.2, 2005.

Quanto às aberturas, a norma sugere aberturas médias para a ventilação, as dimensões ficam na faixa de 15% a 25% da área de piso. Também menciona o sombreamento das mesmas que permita sol durante o inverno.

Referente às estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 2, a norma descreve edifícios com um breve detalhamento.

A norma considera a ventilação cruzada suficiente, para garantir o conforto térmico mínimo da edificação para o verão, a técnica consiste em dispor aberturas em fachadas opostas criando a circulação de ar nos ambientes. Também se deve atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Para o inverno a norma ressalta que o condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio ano, no entanto atribui o aquecimento solar na edificação com ganhos de aquecimento através da incidência de radiação solar.

A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, estão ligadas diretamente aos ganhos de radiação no inverno. A cor externa dos componentes também colabora para o aquecimento do ambiente através do aproveitamento de radiação solar.

Ainda de modo a conservar os ganhos de aquecimento, a norma recomenda paredes internas pesadas, para manter o interior da edificação aquecido.

A tabela 4 apresenta de forma resumida todas recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local.

Tabela 4: Resumo de estratégias sugeridas pela NBR 15220.

Quesito	Critério		
Aberturas e Sombreamento			
Tamanho aberturas para ventilação	Médias (A, em % da área do piso)		15%<A<25%
Sombreamento das aberturas	Permitir sol durante o inverno		
Vedação Externa			
Paredes	Leve	U (W/m ² .K)<3	φ(horas)<4,3 Fso (%)<5
Cobertura	Leve e isolada	U (W/m ² .K)<2	φ(horas)<3,3 Fso (%)<6,5
Condicionamento Térmico Passivo			
Ventilação Cruzada	Disposição das aberturas		
Aquecimento solar edificação	Orientação e disposição de cômodos e superfícies envidraçadas		
Vedações Internas pesadas	Alta massa térmica e alta inércia térmica		

Fonte: Adaptado: NBR 15220 (parte 3).

2.4 Análises das Estratégias

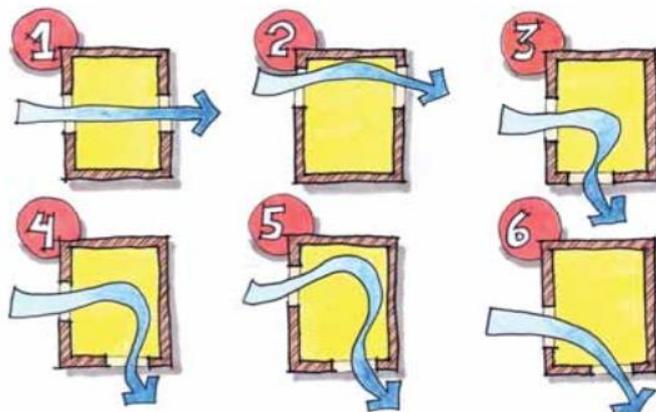
Para compor um projeto de arquitetura bioclimática, a escolha das soluções ou alternativas que influenciam o conforto da edificação deve considerar aspectos como ambiente, sistemas construtivos, a forma e materiais.

2.4.1 Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas

BROWN (2004) define a ventilação cruzada como uma forma de resfriamento valiosa, já que remove o calor do ambiente e melhora a sensação térmica ao elevar os níveis de resfriamento evaporativo das pessoas.

Para os dias de verão, a principal estratégia em relação ao resfriamento da edificação, é a ventilação cruzada, a qual é obtida através da circulação de ar pelos ambientes, mediante a saídas de ar em fachadas opostas ou próximas da cobertura. A sensação térmica é melhorada por meio da desumidificação do ambiente, proveniente da renovação do ar.

Figura 6: Padrão de ventilação determinado pelo posicionamento da esquadria.



Fonte: Lamberts *et.al.* - Eficiência Energética na Arquitetura, 2014.

Para que haja o fluxo de ventilação necessário para ganhos de resfriamento, através da convecção, é imprescindível a correta orientação das aberturas como também respeitar as áreas mínimas de aberturas. Essas condições são de difícil interpretação, por envolver muitas variáveis no processo de transferência de calor, que varia de caso a caso de projetos.

Matos (2007), investiga o desempenho térmico de residências em Florianópolis-SC utilizando ventilação natural, e conclui que, considerando-se os limites estabelecidos pela

norma NBR 15220 e os resultados obtidos através das simulações, em muitos casos as áreas de abertura de 20% e 25% apresentaram resultados iguais ou piores à área de abertura de 15%. O que demonstra que esses parâmetros devem ser analisados dentro das características de cada projeto, evidenciando a importância da simulação computacional para este tipo de análise.

A norma especifica áreas mínimas de aberturas de modo geral, mas não existe recomendação quanto ao tamanho das aberturas em diferentes orientações, o que ocasionaria em um melhor aproveitamento das mesmas.

O sombreamento das aberturas, aconselhado pela NBR 15220 também é um importante instrumento para o resfriamento do ambiente, que deve ser utilizado principalmente nas fachadas norte e oeste, no entanto, os protetores solares não podem impedir a entrada de sol no interior da edificação durante o inverno. Com este intuito, a utilização de persianas para controle de radiação solar se torna uma solução cabível, sendo está passível de ajuste manual para variação de entrada do sol ao longo do dia.

Segundo Mascaró (1985), com persianas móveis fechadas completamente, bloqueando total passagem de luz solar, é possível reduzir o ganho térmico através da janela em cerca de 80%.

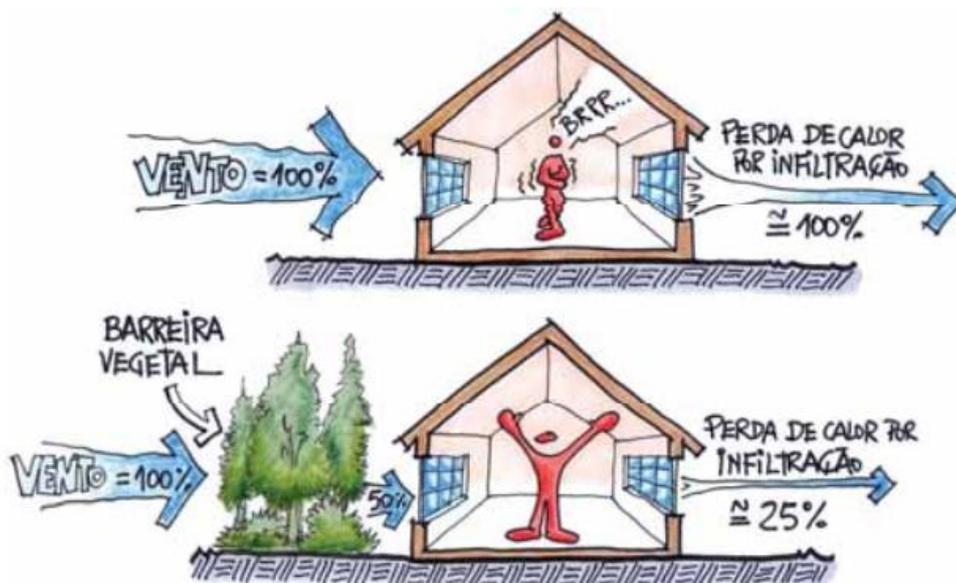
No detalhamento das estratégias a norma salienta a preocupação com os ventos predominantes da região no período frio do ano, deste modo se deve considerar proteção contra os ventos da direção sul.

As barreiras vegetais contra o vento diminuem a velocidade do vento, amenizando seus efeitos sobre a edificação, entretanto é necessário conhecer as espécies vegetais para utilizá-las corretamente, evitando as com pouca massa vegetal, ou que estejam com uma copa acima das aberturas do edifício (DONIDA, 2002).

Lamberts (2014) afirma que se pode reduzir a perda de calor por infiltração de 100% para 25% com a escolha e disposição correta da vegetação, conforme apresentado na figura abaixo.

É o caso aqui do Sul com a cobertura verde utilizando a videira e o maracujá, que são planta caducas, perdendo a folhagem no outono/inverno.

Figura 7: Redução das perdas de calor por infiltração com proteção vegetal.



Fonte: Lamberts *et.al.* - Eficiência Energética na Arquitetura, 2014.

2.4.2 Tipos de vedações externas

A norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005) propõe que, paredes externas devem ser leves, com baixa capacidade calorífica, ou seja, que não seja acumuladora de calor, para posteriormente transferir esse calor para dentro da edificação.

Entretanto, a adoção desta orientação é discutida em estudos do tema, como não sendo uma opção vantajosa.

Menezes (2006), na sua avaliação de desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo, conclui que o período de desconforto térmico é muito maior diante das baixas temperaturas do que devido ao calor, e que este fator deve ser levado em consideração nas medidas que visam a melhoria do conforto térmico da edificação. Deste modo, para aumentar ganhos de calor, garante-se o melhor aproveitamento da radiação solar, com o aumento da inércia térmica, o que diverge com a orientação da norma. Esta consideração já foi constada por outros estudos na área realizados na região sul do país.

Segundo Dumke (2002), a partir do seu estudo de avaliação de conforto térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba, recomenda a utilização de elementos construtivos mais pesados, que oferecem maior inércia térmica, desejável para o clima frio da região sul do Brasil, diante da observação que a opção por vedações externas leve, propiciam

um aumento de desconforto em temperaturas baixas superior ao ganho de conforto em temperaturas altas.

Oliveira *et.al.* (2014), afirma que o limite de valor do atraso térmico de paredes em 4,3 horas, recomendados pela norma NBR 15220-3 para a zona bioclimática 2, impede a obtenção de melhoria nos índices de conforto térmico da edificação. Os resultados obtidos do processo de simulação computacional do seu estudo de propriedades térmicas de fechamentos opacos, apontam que o aumento do atraso térmico dos fechamentos é benéfico para elevação dos níveis de conforto.

A tabela abaixo, apresenta os resultados obtidos por meio de estudo de comportamento térmico de fechamentos de alvenarias estruturais para zona bioclimática 2.

Tabela 5: Temperaturas máximas e mínimas, atraso térmico para diferentes tipos de bloco.

Período	Tipo de bloco	Média Min (°C)	Média Max. (°C)	Amplit. Média (°C)	Atraso Térmico (hs)
Inverno	Concreto	11,5	15,5	4	01:30
	Cerâmico	11,3	15,1	3,8	01:45
	Temp. Externa	6,4	17,3	10,9	-
Verão	Concreto	26,2	30,1	3,9	2,35
	Cerâmico	26	30,8	4,8	03:05
	Temp. Externa	20,3	38,1	17,8	-

Fonte: Adaptado de: Santos *et. al.*, 2015.

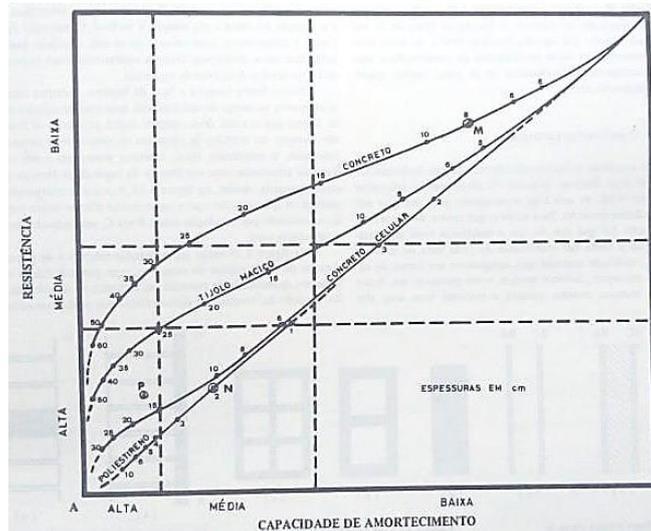
Pode-se observar que não há variação de temperatura significativa entre blocos estruturais de concreto e cerâmicos, não evidenciando a maior transmitância térmica (U) do bloco de concreto. Também se observa que o bloco cerâmico apresenta temperaturas máximas e amplitudes térmicas maiores, provavelmente devido a menor inércia (capacidade térmica) (SANTOS *et al.*, 2015).

Ainda assim, observa-se que o bloco cerâmico possui um atraso térmico maior, devido a sua transmitância térmica (U) menor, relacionada diretamente a resistência térmica elevada do material cerâmico.

Este fato se confirma, através do gráfico proposto por Rivero (1986), onde demonstra o comportamento de 4 tipos de materiais de fechamento, tijolo maciço, concreto, concreto celular e poliestireno expandido. Este relaciona as respectivas resistências térmicas com a capacidade de amortecimento destes materiais, ficando claro que o material cerâmico

possuindo maior resistência térmica eleva sua capacidade de amortecimento (diferença entre a temperatura da face interna e a face externa).

Figura 8: Diagrama do comportamento de diferentes tipos de materiais de fechamento.



Fonte: Rivero, R. - Arquitetura e Clima, 1986.

A cobertura também tem recomendação de ser leve, com baixa capacidade calorífica, entretanto isolada, devido a utilização de materiais isolantes térmicos acoplados a estrutura da cobertura. O isolante proporciona maior refletância e menor transmissividade de calor para o interior do ambiente, isto é, diminui as trocas com o ambiente externo. No inverno não perde calor do interior da edificação quando a temperatura externa é inferior, e no verão maior resistência ao ganho de calor.

Isolar termicamente a cobertura está associada a utilização de materiais resistivos, que reduzem a transferência de calor por condução, esta capacidade é devido à quantidade de ar presente entre as fibras ou confinado nas pequenas células formadas no processo de expansão das espumas e dos isolantes granulares (VITTORINO *et. al*, 2003).

Algumas espumas contêm gases com condutividade menor que o ar nos poros da sua estrutura, elevando sua capacidade resistiva.

Entretanto, os materiais isolantes térmicos geralmente porosos, ao absorverem água passam a conduzir muito mais calor, pois a condutividade da água é 25 vezes superior à do ar, ou seja, perdem total capacidade isolante. (RORIZ, 2008).

Entre os isolantes resistivos tradicionais encontram-se as mantas e painéis constituídos de fibras minerais ou fibras orgânicas flexíveis, a vermiculita expandida ou perlita em grânulos, flocos de lãs minerais, espumas plásticas rígidas de poliuretano ou poliestireno expandido

A normativa também comenta sucintamente que a cor dos componentes pode influenciar na absorção da radiação solar.

Mascaró (1985) afirma que uma superfície branca se manterá menos aquecida, que uma superfície de alumínio polido, mediante a exposição à radiação solar, embora a superfície branca absorva mais radiação solar que a superfície de alumínio, a superfície clara emite radiação térmica para a atmosfera com mais facilidade devido a sua elevada capacidade de emissão.

A absorptância é um coeficiente diretamente proporcional a quantidade de radiação absorvida e transformada em calor por um corpo (RORIZ, 2008).

Frota e Schiffer (2001) apresentam a tabela a seguir em seu Manual de Conforto Térmico, a qual determina absorptância e emissividade para diferentes tipos de materiais, deixando evidente a vantagem do uso de telhas cerâmicas de cor clara, as quais indicam os menores índices de absorção da radiação solar.

Tabela 6: Valores de coeficiente de absorção e emissividade.

Superfície	(α) Absorção para radiação solar	(α) e (ϵ) para temperatura entre 10 e 40°C
preto fosco	0,85 — 0,95	0,90 — 0,98
tijolo ou pedra ou telha cor vermelha	0,65 — 0,80	0,85 — 0,95
tijolo ou pedra cor amarela, couro	0,50 — 0,70	0,85 — 0,95
tijolo ou pedra ou telha cor amarela	0,30 — 0,50	0,40 — 0,60
vidro da janela	transparente	0,90 — 0,95
alumínio, ouro, bronze (brilhantes)	0,30 — 0,50	0,40 — 0,60
latão, alumínio fosco, aço galvanizado	0,40 — 0,65	0,20 — 0,30
latão, cobre (polidos)	0,30 — 0,50	0,02 — 0,05
alumínio, cromo (polidos)	0,10 — 0,40	0,02 — 0,04

Fonte: Frota A. *et. al.* - Manual do Conforto Térmico, 2001.

2.4.3 Estratégias de condicionamento térmico passivo

As estratégias propostas pela norma são de grande importância e relativamente simples de serem buscadas no projeto. Esta é bem específica e estipula alguns valores a serem atingidos para que haja o ganho energético esperado pela estratégia, como transmitância térmica, atraso térmico e fator solar máximo recomendado, como apresentou a tabela 3.

Para os dias de inverno as estratégias são voltadas para maiores ganhos e menores perdas em relação ao aquecimento da edificação. Neste caso, aproveitando do aquecimento solar passivo, as fachadas maiores deverão ser em direção norte, como também elementos translúcidos para recepção de insolação, evitando grandes fachadas ou aberturas na direção sul.

Apesar de não haver citação na norma, a respeito da disposição do uso dos compartimentos em planta, os ambientes de permanência prolongados, como quartos e sala devem ser voltados preferencialmente para orientação norte, pelas mesmas razões anteriormente citadas.

A cor externa dos componentes também é citada como um instrumento de ganho ou perda de calor

As paredes internas devem ser pesadas, ou seja, de alta inércia térmica, o que confere a capacidade de receber grande quantidade de calor sem grande variação de temperatura do seu corpo. A alta inércia térmica possibilita a parede absorver o calor na medida em que este se acumula ao longo do dia e o liberar na medida em que a temperatura apresenta queda suficiente, equilibrando o ambiente noturno.

Salienta-se, que para a eficiência da massa térmica interna, se deve garantir a estanqueidade das aberturas, para evitar a perda de calor armazenado do interior da edificação para o meio externo, durante as noites de inverno. Sendo assim, as aberturas devem apresentar elevada resistência térmica.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) afirma que o uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.

Neste caso, é conveniente o uso de dispositivos de aquecimento solar passivo, abastecido a partir de um combustível sustentável. É de responsabilidade de arquitetos e profissionais da área de engenharia civil a adoção de sistemas passivos para se obter conforto e economia energética. Tirar proveito da natureza com responsabilidade tornou-se uma questão de ética profissional CORREA (2002).

Cavalcanti *et al.* (2011) através de seu estudo do uso de parede trombe, em um projeto de habitação de interesse social (HIS) para cidade de São Carlos-SP, concluiu que este sistema pode ser utilizado sem restrição, sendo vantajoso tanto no período de verão, ao promover refrigeração por meio da ventilação natural, quanto no período de inverno, ao promover aquecimento solar passivo, minimizando o uso de aparelhos elétricos.

Kruger *et al.* (2013), analisaram o potencial de uso de paredes trombes para a cidade de Curitiba-PR, assim como estenderam por meio de equações estes resultados para Porto Alegre-RS, e em todos os casos observou uma redução próxima dos 30% no consumo de energia.

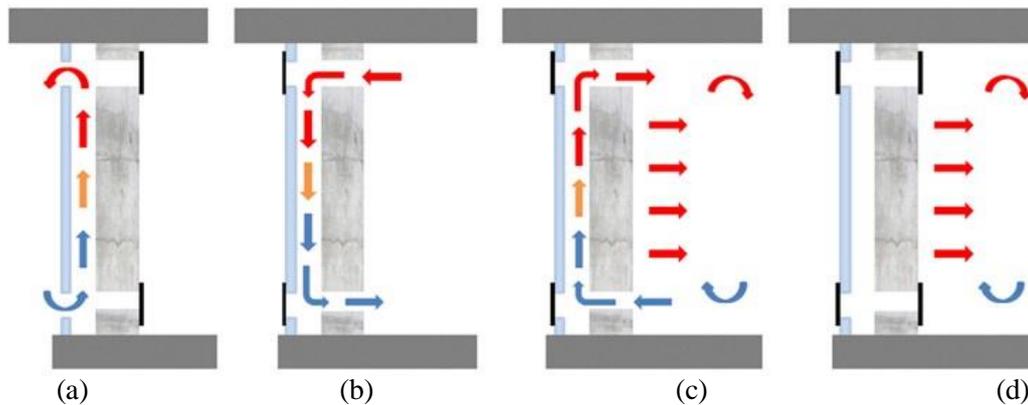
A parede trombe consiste, no ganho de calor obtido de uma superfície de vidro temperado, através da radiação solar, que atravessa o vidro e aquece a face externa de uma parede com alta inércia térmica, em seguida ocorre o efeito chaminé, quando o calor é transmitido da parede para a câmara de ar, acumulando calor no sistema, esse calor tende a subir, devido a diferença de densidades do ar, neste caso quando utilizada para aquecimento de ambientes, o ganho de calor no ambiente interno se dá por meio de convecção, através de aberturas no topo e base da parede de alta inércia térmica.

O sistema da parede trombe também apresenta benefício no verão, sendo que no período noturno, a superfície de vidro altamente condutora, estando abaixo da temperatura do ambiente interno pode propiciar ganhos de resfriamento através da convecção gerada pela diferença de temperatura, forçando a circulação do fluxo contrário, ou seja, retirando o ar quente do ambiente interno pelas aberturas corretamente operadas.

O vidro é suspenso por uma espécie de esquadria, de material com capacidade de suporte, geralmente alumínio ou PVC, que devem promover a estanqueidade evitando total entrada de umidade ou vazão do ar, fixado na face exterior da fachada externa (na orientação de maior radiação) da edificação.

Abaixo a figura apresenta um esquema para melhor compreensão do sistema.

Figura 9: Comportamento térmico do sistema parede trombe.



Fonte: Forum da casa, 2019b.

As Figuras 9 (a) e (b) demonstram o comportamento da parede trombe no período de verão, no sistema (a) a superfície envidraçada está isolada, sujeita a ventilação, mas sem promover trocas efetivas com ambiente interno, essa operação é recomendada para o turno diurno. No sistema (b) a abertura da parede de acumulação térmica, permite que haja troca de calor por convecção, o ar mais aquecido sai pela abertura superior, perde calor e retorna para dentro do ambiente pela abertura inferior, confinado pela superfície envidraçada com aberturas fechadas, esse modo de operação é recomendado para o turno noturno, onde a temperatura externa é inferior a temperatura interna da edificação.

As Figuras 9 (c) e (d) demonstram o comportamento da parede trombe no período de inverno, onde apresenta impacto mais vantajoso. No sistema (c) a parede envidraçada transmite calor a parede de alta inércia térmica, que devido a grande capacidade térmica passa acumular ganho térmico, o qual será dissipado posteriormente para o ambiente interno da edificação. O fluxo simula o efeito estufa, onde o ar aquecido (menos denso) ingressa através da abertura superior da parede, e o ar frio (mais denso) sujeito a diferença de pressão, é forçado a sair pela abertura inferior da parede, confinado pela superfície envidraçada segue o fluxo, ganha calor e ingressa novamente ao ambiente interno, este modo de operação é indicado para o turno diurno. Na Figura 9 (d) tanto a superfície envidraçada quanto a parede de alta inércia estão isoladas, com as aberturas fechadas, evitando trocas do ganho de calor do meio interno com o externo, efeito desejável durante o período noturno de inverno.

Assim as paredes trombes permitem o aproveitamento da circulação do ar entre a fachada de alta inércia térmica e a superfície vítrea que recebe a radiação solar, resultando na

alteração da temperatura superficial da envoltória da edificação, possibilitando aquecer ou refrigerar os ambientes internos por meio da ventilação natural.

Na Figura 10 mostra-se um modelo simplificado do sistema de parede trombe semelhante ao idealizado no trabalho.

Figura 10: Modelo parede trombe.



Fonte: Forum da casa, 2019a.

As dimensões ideais desse sistema, utilizando como critério o custo do ciclo de vida (LCC), é uma relação de 37% da área de fachada a ser calefada e a área do sistema passivo, com 20 cm de espessura para parede trombe e de 15 cm para a câmara de ar (JABER, 2011).

- **Etapa 2**

Na segunda parte do presente trabalho, se aplica a metodologia no projeto arquitetônico, fundamentadas pelas estratégias bioclimáticas, identificadas na primeira parte do estudo. Partindo da definição do sítio de desenvolvimento do projeto, baseado na caracterização do programa habitacional das residências unifamiliares de interesse popular, elabora-se dois casos de projeto: o primeiro, referente ao projeto da edificação já construída, na zona bioclimática em questão, e o segundo, referente ao projeto de modificação da residência, após o estudo da bioclimática.

- **Etapa 3**

A terceira e última etapa do estudo, se refere a avaliação dos projetos arquitetônicos, no tocante ao conforto térmico, a partir da modelagem e simulação computacional dos casos.

A simulação computacional é gerada através da ferramenta de software *DesignBuilder*, a qual possui uma interface, que utiliza os algoritmos do programa de simulação de desempenho térmico energético de edificações *EnergyPlus*. Esta ferramenta possibilita correções nas limitações gráficas do processo de modelagem do *EnergyPlus*.

Esta terceira etapa subdivide-se nos seguintes passos:

- Levantamento de dados climáticos e simulação computacional:

Após uma breve revisão bibliográfica dos programas de simulações termo energéticas usuais da área, são apresentados os dados climáticos para a zona bioclimática 2.

- Modelagem da simulação:

Para a execução da modelagem e configuração da grande maioria dos parâmetros de entrada da simulação, conforme descreve o capítulo 5, se aplica a metodologia do RTQ-R (2010).

- Configuração da envoltória do edifício:

Consiste na caracterização dos materiais e componentes propostos no projeto arquitetônico, para este quesito utilizou-se a NBR 15220 (2005a) como base.

- Análise de resultados:

De posse dos dados resultantes como fluxos de energia e temperaturas operativas dos ambientes de permanência prolongada, avalia-se a edificação naturalmente ventilada.

Por fim, apontam-se propostas de alterações no projeto em busca do aprimoramento dos resultados alcançados inicialmente.

4. PROJETO ARQUITETÔNICO BIOCLIMÁTICO

4.1 O Sítio

A casa popular, objeto de estudo do trabalho, se encontra na região leste da zona urbana do município de Alegrete-RS. A habitação faz parte do Loteamento Ayrton Senna, compondo o Programa Habitacional Minha Casa Minha Vida (PMCMV), iniciativa do governo federal lançada no ano de 2009.

O empreendimento ocupa uma área de 14,2 ha, sendo formado por 450 unidades habitacionais, direcionada ao atendimento da população com renda mensal até 4.650,00 reais, grupo da população brasileira que apresenta maior déficit habitacional no país.

A construção destes conjuntos habitacionais foi executada por construtoras contratadas pela Caixa Econômica Federal, podendo haver participação do poder público, por meio de disponibilidade de áreas, infraestrutura e outras ações que viabilizem a realização do programa.

Figura 12: Loteamento Ayrton Senna.



Fonte: Alegrete, 2013.

O loteamento é distribuído em 14 quadras de modo linear, considerando as exigências de qualidade urbana do PMCMV, como: pavimentação, rede de abastecimento de água, rede de esgoto sanitário, drenagem, energia elétrica e disponibilidade a acesso de transporte público. O empreendimento possui 144.115,21m² de área de lotes e 127.177m² de áreas institucionais (praça, parque, reservas técnicas e APPs).

Tem topografia predominante plana, e no entorno, prevalece áreas não urbanizadas na direção oeste, local de APPs do Rio Ibirapuitã, ao norte e ao sudoeste também áreas não habitadas, porém de propriedade do município, e na direção leste habitações de famílias de baixa renda pertencentes aos bairros Nova Brasília e Segabinazi.

O processo de construção teve duração de 18 meses, o loteamento tem localização periférica e monotonia arquitetônica. Este programa contemplou cerca de 1800 pessoas e teve investimento total de 20,6 milhões de reais. As casas estão avaliadas em torno de 45,9 mil reais cada (PRADO *et. al.*, 2014).

Figura 13: Imagem aérea do Loteamento Ayrton Senna.

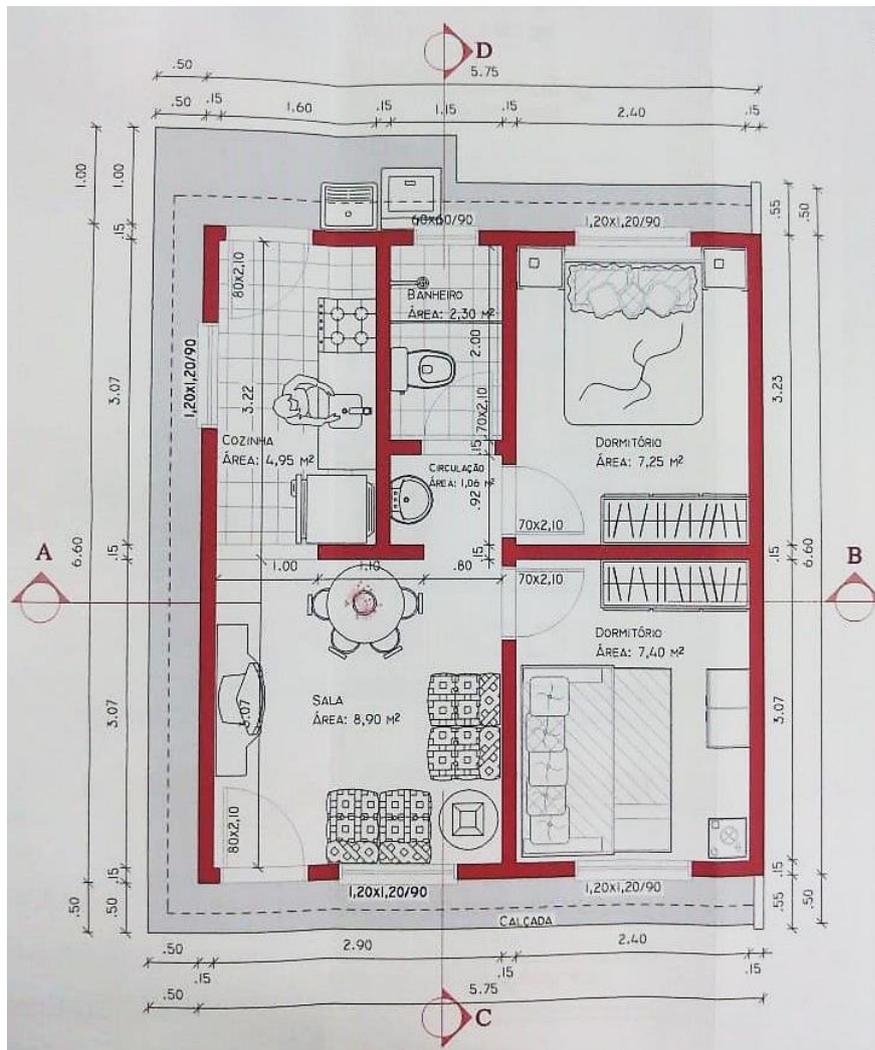


Fonte: Google Earth, 2019.

4.2 Programa de necessidades e características da edificação

As edificações apresentam tipologia térrea, e contempla ambientes de uma residência unifamiliar de 4 a 5 pessoas. Composta por 2 quartos, sala, cozinha, banheiro e área de serviço, somando 38m² de área construída, sem computar a área de serviço, a qual é apenas protegida pelo beiral. A figura 14 apresenta a planta original da residência, aprovada na prefeitura do município.

Figura 14: Planta da Casa Popular do Loteamento Ayrton Senna.



Fonte: Acervo do autor.

O sistema construtivo utilizado é o de alvenaria estrutural, o qual não utiliza vigas e pilares como forma de sustentação. Para este método as próprias paredes apresentam a capacidade de suporte estrutural.

Os blocos estruturais são cerâmicos com dimensões 14x19x29cm e 14x19x44cm.

As edificações do loteamento apresentam cômodos de permanência prolongada, como sala e quarto voltados para direção sul, enquanto na direção norte dois cômodos frios, como cozinha e banheiro.

Figura 15: Casa Popular do Loteamento Ayrton Senna.



Fonte: Acervo do autor.

As aberturas são dispostas em fachadas perpendiculares em quase todos os cômodos, constituídas de material alumínio. Vale ressaltar aqui que as aberturas não respeitam o recuo mínimo admissível pela legislação de 1,5m. No entanto por se tratar de uma obra pública de interesse social, houve uma flexibilização referente a este quesito por parte da gestão técnica da prefeitura, vigente no período da aprovação do projeto.

As janelas da cozinha, sala e banheiro, são basculantes com vidros transparente liso incolor de 3mm, e os demais cômodos as janelas são venezianas de correr com a mesma tipologia de vidro citada. As portas externas são de ferro com vitrô basculante com vidro incolor liso também 3mm. As portas internas em madeira de pinho com folhas do tipo semi-oca. Não há qualquer dispositivo de proteção contra vento ou radiação instalado nas aberturas.

A cobertura é de telha cerâmica do tipo portuguesa, de cor vermelha opaca, e forrada de material PVC.

O revestimento é argamassado composto por uma camada de chapisco e uma massa única, de espessura 1cm, seguido de pintura PVA para faces internas da edificação e textura acrílica para as fachadas externas, de cores de tonalidade clara, como verde, rosa ou azul.

O entorno da casa apresenta beiral de 0,5m e de 1m na área relativa a cobertura do tanque de lavar roupas.

4.3 Aplicação das Estratégias Bioclimáticas

Para o desenvolvimento das estratégias bioclimáticas utiliza-se como referência NBR 15220 - Desempenho térmico de Edificações (ABNT, 2005), mais precisamente a parte 3, a qual se refere ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, que apresenta diretrizes construtivas específicas para cada zoneamento bioclimático brasileiro, no caso do presente trabalho, a zona bioclimática 2, que compreende a região de Alegrete.

Neste sentido, através de dados disponíveis do clima local de Alegrete, foram estudadas as estratégias bioclimáticas de projeto sugeridas pelo conceito, com objetivo de explorar ao máximo os potenciais naturais do condicionamento passivo, elevando o desempenho térmico e energético da residência. Vale ressaltar que estas estratégias têm como fatores determinantes a grande variação climática anual e a preocupação com técnicas construtivas de baixo custo destinadas a habitações populares. Destaca-se, que as modificações feitas no projeto arquitetônico do presente trabalho, devem atender às áreas mínimas admissíveis de 5m² para quartos de casas de interesse popular, conforme art. 122º do Código de Obras Municipal de Alegrete (Lei nº 1334, de 17 de Setembro de 1979), bem como conserva a área total construída do projeto base. Este fato torna-se um fator condicionante para alterações de volumetria no arranjo arquitetônico do projeto.

4.3.1 Estratégias de Aquecimento

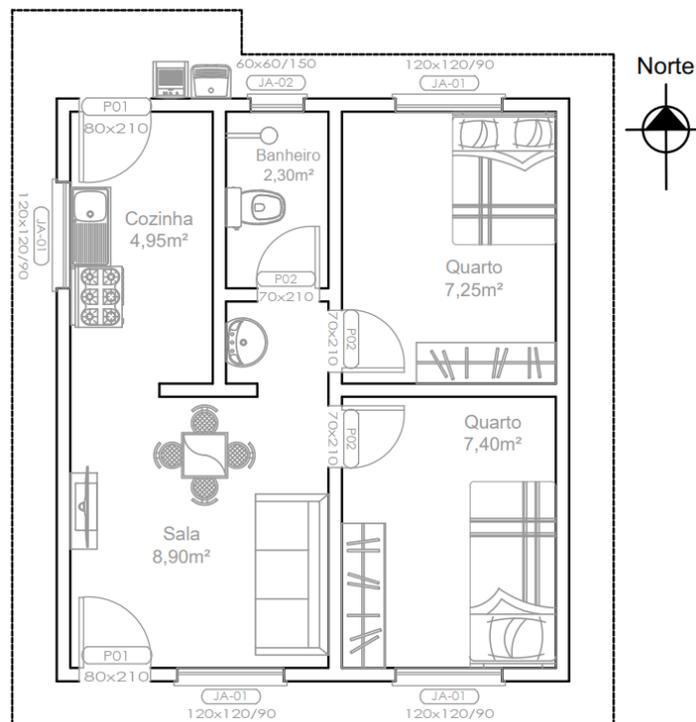
Referente ao tema de estratégias de aquecimento, essenciais no período de inverno para as características climáticas locais, se tem como ferramenta imprescindível o aquecimento solar da edificação.

Este ganho é devido a captação da radiação solar. A fachada norte oferece o quadrante mais favorável ao conforto térmico do projeto, já que recebe maior quantidade de radiação

solar no solstício de inverno, quando esta é desejada, e no solstício de verão, recebe a menor quantidade de radiação solar, quando esta não é desejada.

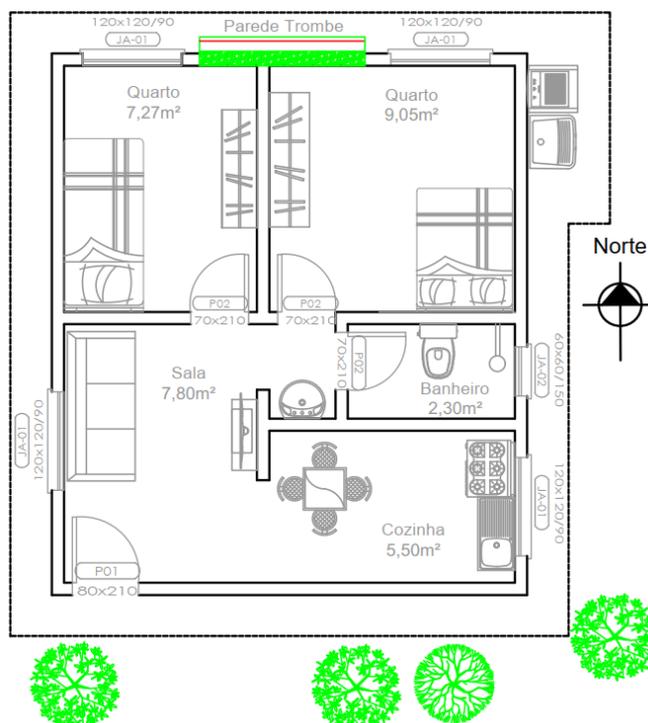
Em vista disto, alterando as volumetrias do projeto arquitetônico, troca-se de posição o quarto da frente, situado na direção sul, pelos cômodos de cozinha e banheiro, situados na direção norte. Deste modo prioriza-se os ambientes de permanência prolongada na fachada mais favorável ao ganho de conforto por radiação solar. A figura 16 apresenta a disposição dos cômodos no arranjo arquitetônico original da casa e a figura 17 apresenta a mudança na disposição dos cômodos de acordo com o conceito apresentado.

Figura 16: Planta baixa original.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 17: Planta baixa modificada.



Fonte: Acervo do autor.

As aberturas da edificação também são fatores de grande influência na composição das estratégias, tanto de aquecimento quanto de resfriamento, o que permite captar a radiação solar no inverno e possibilita a ventilação natural no verão. Para que estas atendam tais condições, as janelas dos quartos foram dispostas também na face norte, pelos mesmos motivos citados anteriormente.

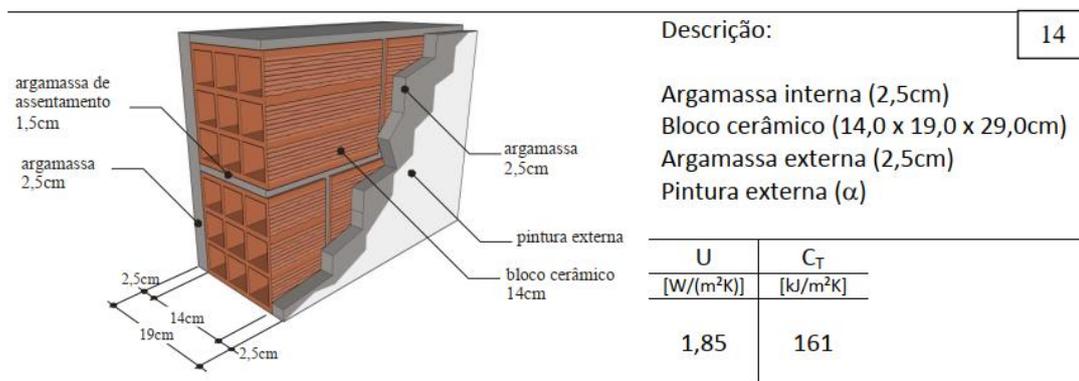
Para o melhor aproveitamento da carga térmica ingressa pelas aberturas, utiliza-se paredes internas pesadas, as quais convertem a radiação solar em energia térmica, e devido ao atraso térmico, transmitem a outras superfícies internas mais tardiamente, por meio da radiação infravermelha emitida (calor) e por convecção do ar que está em contato (PAPST, 2006).

Este fenômeno é obtido quando a composição da parede apresenta elevada inércia térmica, ligada às propriedades de densidade, capacidade térmica e calor específico dos materiais. A NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) sugere que paredes pesadas tenham transmitância térmica menor que 2,20 w/m².k, atraso térmico maior ou igual a 6,5 horas e que tenham fator solar menor ou igual a 3,5%.

Desta forma, utiliza-se o Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros- Anexo Geral V (INMETRO, 2013) como parâmetro na adoção das características para paredes de vedação interna.

A figura 18 ilustra o modelo construtivo adequado. Observa-se que a transmitância térmica global é 1,85 W/(m².K) e a capacidade térmica 161 KJ/m².K, de acordo com as necessidades do projeto.

Figura 18: Propriedades Térmicas de Paredes.



Fonte: INMETRO, 2013.

Para evitar a perda de calor armazenado do interior da edificação para o meio externo, durante as noites de inverno, as aberturas devem apresentar elevada resistência térmica.

Neste caso, optou-se por trocar as janelas do material alumínio, excelente condutor térmico, pelo material PVC, que apresenta resistência térmica superior. Fornecedores de esquadrias afirmam que a condutividade térmica do material PVC pode-se resumir a 0,16 W/mK, enquanto o alumínio apresenta uma condutividade de 206 W/mK (QUADRI, 2019).

Os vidros mantêm a tipologia do projeto original, entretanto passam a ter espessura de 6 mm, o que soma resistência térmica no conjunto de abertura.

Seguindo o mesmo raciocínio de aproveitamento de radiação solar para aquecimento de massa térmica, para o projeto modificado, aplicou-se a técnica da parede trombe de modo simplificado, visando sempre o mínimo custo possível com a intervenção construtiva.

Para o presente projeto de modo teórico, se sugere uma parede trombe de dimensões de 2 x 2,5 m, formando uma área de 5m² de sistema, obtendo uma relação de 33 % em relação a área de fachada ser calefada. A parede de massa térmica será composta por bloco cerâmico revestido com material pétreo basalto, formando uma espessura de 20 cm, a camada de ar

deverá ter 15 cm, somando o total de 35 cm de parede trombe. Entretanto, de modo a simplificar a simulação, não foi implementada a operação da parede trombe devido a grande complexidade para configuração desta no software. A esquadria de suporte será de PVC e vidro temperado 6 mm, na face interna da parede de alta inércia térmica, adiciona-se uma camada de manta isolante térmica de lã de pet.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) também sugere uma barreira vegetal para proteção de ventos frios, evitando perda de calor pela massa de ar infiltrada.

Neste caso na fachada principal da residência foram dispostas árvores altas, de raízes profundas e folhas perenes, com o propósito de proteger a edificação dos ventos oriundos do sul. A predominância dos ventos na região é Leste ou Sudeste.

4.3.2 Estratégias de Resfriamento

Para as paredes externas a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) propõe paredes leves, o que caracteriza composições com capacidade térmica menores, evitando que o calor absorvido pela superfície da parede seja retido e posteriormente transferido para o interior da edificação no final dos dias de verão, ou seja, evitar componentes de alta inércia térmica.

O atraso térmico superior do bloco cerâmico é devido a sua maior resistência térmica, que acaba aumentando o tempo de transferência de calor pelo seu corpo. No entanto, o aumento da densidade dos materiais, no caso da adoção do bloco de concreto, também acarretaria em um atraso térmico maior, porém o aumento de densidade eleva a capacidade térmica (capacidade de reter quantidade de calor) do material. Ou seja, os dois materiais apresentariam atraso térmicos semelhantes, mas o bloco de concreto transferiria maior quantidade de calor para o recinto, o que não é desejado como estratégia de resfriamento.

Ainda sabendo que a diferença de transmitância térmica do bloco de concreto para o bloco cerâmico não traz alterações significativas na amplitude térmica dos componentes, aliado ao fato, de estudos da área indicar aumento do nível de conforto ao utilizar vedações com atraso térmico superior ao indicado pela norma, a troca do bloco cerâmico pelo bloco de concreto não compensaria, já que para as vedações internas, onde necessita-se de alta inércia térmica (alta capacidade térmica) pode ser alcançada apenas adicionando maiores espessuras de revestimento, como a solução proposta no item 4.3.1.

O projeto base utiliza blocos estruturais cerâmicos com revestimento argamassado mínimo de massa única. Optou-se por manter esta escolha sendo que, qualquer material

acrescido a esta composição acrescentará capacidade térmica, elevando a inércia e o atraso térmico, propriedades que se deve evitar neste caso.

A principal ferramenta para resfriamento de modo passivo sugerido pela normativa, é a ventilação cruzada, onde especifica uma área mínima de abertura em relação a área de piso do cômodo.

Se tratando dos cômodos de permanência prolongada, a tabela 7 apresenta as dimensões de aberturas adotadas do projeto base. Observa-se que a sala atende a sugestão da norma, entretanto, a área de abertura dos dormitórios está abaixo da área mínima sugerida por esta.

Tabela 7: Áreas de ventilação projeto base.

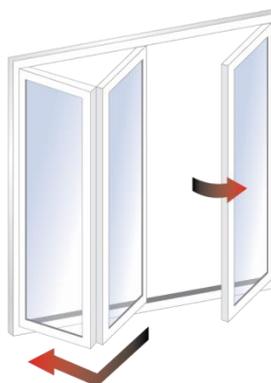
Ambiente	Área de piso (m ²)	Área de ventilação (m ²)	Área de piso (m ²) 15%	Área de piso (m ²) 25%
Sala	8,9	2,64	1,34	2,23
Dormitório 1	7,4	0,72	1,11	1,85
Dormitório 2	7,25	0,72	1,09	1,81

Fonte: Acervo do autor.

A principal dificuldade de se atender a este quesito da norma se dá pelas pequenas dimensões das fachadas dos quartos, já que no projeto base utiliza-se o modelo de janelas de correr, limitando a área de abertura ventilada da janela em 50 % da sua dimensão total.

Diante desta observação, para o projeto modificado, adotou-se o modelo de janela retrátil, também conhecida como janela modelo Camarão, como mostra na figura 19, o qual possibilita a abertura de 100 % do vão de ventilação em relação a área de janela total.

Figura 19: Modelo Janela Retrátil.



Fonte: EuroSystem, 2019.

Na tabela 8, verifica-se o acréscimo de área no vão de abertura, devido a mudança na tipologia da janela, a alteração passa a atender aos requisitos mínimos sugeridos pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b).

Tabela 8: Áreas de ventilação projeto modificado.

Ambiente	Área de piso (m²)	Área de ventilação (m²)	Área de piso (m²) 15%	Área de piso (m²) 25%
Sala	7,8	2,64	1,17	1,95
Dormitório 1	9,05	1,44	1,36	2,26
Dormitório 2	7,27	1,44	1,09	1,82

Fonte: Acervo do autor.

Para controle da infiltração solar, as janelas serão acrescidas de dispositivos manuais de proteção, popularmente conhecidos como persianas. Estes possibilitam a variação de entrada solar ao longo dos dias, porém dependem da correta operação dos usuários para que apresentem um desempenho satisfatório.

Considerando que as janelas do modelo retrátil abram para dentro da edificação, possibilita a instalação de persianas externas, as quais acrescentam privacidade e segurança na esquadria de modo geral. A figura 20 ilustra o modelo de persiana citado anteriormente.

Figura 20: Modelo de persiana externa.

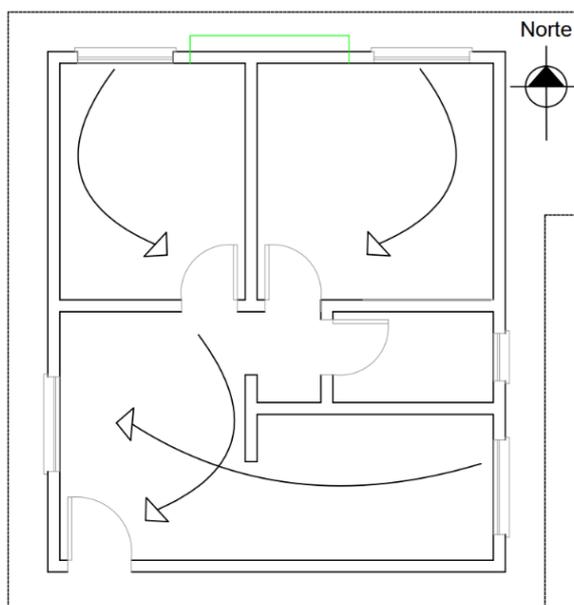


Fonte: PersianasJottaFlex, 2019.

A disposição dada as aberturas favorecem ao fluxo de ar, como também faz com que o percurso do vento abranja maior área possível do cômodo. Dessa maneira, o projeto distribui espacialmente as aberturas de modo que conduza o fluxo pelo maior caminho.

A figura 21 ilustra o fluxo desejado pela consideração citada anteriormente.

Figura 21: Fluxo de vento.



Fonte: Acervo do autor.

No que se refere à cobertura, a norma propõe composição leve e isolada.

No caso do projeto base, a cobertura é de telha cerâmica, a qual apresenta excelente resistência térmica e baixa condutividade em relação às demais coberturas, dentro do padrão popular.

Sendo assim, para o projeto modificado, se mantém a escolha do tipo de cobertura, no entanto acrescenta-se uma manta isolante térmica, elevando os ganhos de conforto térmico tanto no inverno quanto no verão, no período quente impede a entrada de calor da radiação solar incidente na cobertura, e no inverno impede a perda de calor obtida pelos ganhos da massa térmica da edificação.

A manta térmica escolhida para este fim é a lã de pet, um material leve e ecológico, proveniente de matéria prima 100% reciclável, é o único material isolante que não perde suas propriedades em contato com a umidade nem ao longo do tempo, também é um material hipoalergênico, o que diminui o custo de instalação e eleva a produtividade de execução. Sua resistência térmica e condutividade são de 0,71 K/W e 0,035 W/mK respectivamente, se

equiparando aos demais isolantes térmicos do mercado, como lã de pedra e lã de vidro (TRISOFT, 2019). É um material de baixíssimo risco de inflamabilidade, por não ser material combustível nem propagador de chamas, classificação Tipo A Classe 1.

A manta térmica lã de pet de 50 mm de espessura será instalada entre a cobertura e o forro PVC, distribuída por toda área construída da edificação, aumentando consideravelmente a capacidade de bloquear trocas de calor entre ambiente externo e interno.

Diante da constatação que a cor da telha influencia diretamente nos ganhos de calor da cobertura, onde tons mais claros possuem menor absorção, para o projeto modificado adota-se telhas com tom marfim.

Para o projeto modificado, manteve-se as dimensões adotadas de beiral do projeto original, este elemento é essencial para proteção solar como também proteção das fachadas contra intempéries.

Abaixo, a tabela 9 apresenta um resumo do conjunto de estratégias bioclimáticas discutidas neste capítulo.

Tabela 9: Resumo de estratégias bioclimáticas.

Cobertura isolada termicamente
Acréscimo de área de ventilação
Orientação de aberturas
Proteção solar por persianas
Paredes externas de baixa massa térmica
Cobertura isolada termicamente
Telha cerâmica de tom claro
Estratégias de Aquecimento
Orientação de aberturas
Orientação de cômodos
Acréscimo de massa térmica em paredes internas
Proteção vegetal contra ventos
Ganho de calor passivo promovido da parede trombe
Ganho de resistência térmica das aberturas PVC
Ganho de resistência térmica de vidros 6 mm

Fonte: Acervo do autor.

5. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional propicia a investigação de formas de prever o comportamento termoenergético de uma edificação, tendo em vista o apoio na tomada de decisões no projeto arquitetônico.

5.1 Programa de Simulação

As ferramentas de simulação computacional são de suma importância para descrever realidades de ambientes distintos. Deste modo quanto mais informações o software suportar, mais fiel será a representatividade daquele modelo de acordo com a condição real desejada.

O programa computacional *EnergyPlus* de simulação energética é um dos mais importantes e qualificados instrumentos para este fim, desenvolvido pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* em parceria com outros laboratórios para o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). Este programa opera baseado nas normas ASHRAE 90.1 (1999) e ASHRAE 140 (2004) que são referências em sistema de modelagens energéticas de edifícios.

O *EnergyPlus* é capaz de estimar consumo energético, índices de iluminação e estimar trocas térmicas através da modelagem física do edifício e seus sistemas de ventilação, aquecimento e resfriamento.

Uma vantagem que o software oferece é a possibilidade de criar padrões de comportamento dos usuários compondo o sistema de operação do edifício, desta forma permite simular o gerenciamento de potencialidade do projeto arquitetônico, como o acionamento de dispositivos passivos, como janelas, cortinas e protetores solares, condicionadas a valores de variáveis ambientais internas e externas.

Entretanto, o *EnergyPlus* não possui uma interface acessível ou intuitiva do ponto de vista de modelagem arquitetônica, Mendes et al., (2005) considera uma interface pouco amigável, o que se torna uma barreira no domínio desta prática.

Diante disto, o laboratório nacional do Departamento de Energia dos EUA, Escritório de Eficiência Energética e Energia Renovável, operado pela Alliance for Sustainable Energy, desenvolveu um sistema de plug-in chamado *OpenStudio* com o *Sketchup* de modo a facilitar a construção do modelo 3D, este plug-in apresenta uma interface de rápido e fácil introdução das geometrias e suas respectivas individualidades.

O *OpenStudio* atende ASHRAE 189.1 (2009) - Padrão de Projeto de Edifícios de Alta Performance e Sustentabilidade para composição dos sistemas da modelagem.

Neste trabalho, é utilizado o plug-in *OpenStudio* para simulação dos projetos arquitetônicos discutidos nos capítulos anteriores. Para as configurações dos materiais construtivos que compõem a envoltória utiliza-se as especificações da NBR 15220 (2005a), que apresenta propriedades térmicas dos materiais mais utilizados no sistema construtivo brasileiro. Os parâmetro e padrões de entrada para a simulação foram baseados no RTQ-R, Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.

Ambos os projetos foram simulados na situação de ventilação natural, permitindo determinar as temperaturas operativas internas da edificação, antes e posterior as intervenções propostas.

5.2 Dados Climáticos

Um dos desafios com que se defrontam as pesquisas na área de simulações termoenergéticas de edificações é a inadequação dos dados climáticos, já que estes tradicionalmente são gerados para atender o planejamento agrícola e não do ambiente construído. Os problemas podem ser a inexistência de estação meteorológica no centro urbano considerando o microclima deste, inconstância dos dados de radiação solar e também a dificuldade de redução a séries numéricas digitalizadas necessárias para compilar um arquivo climático.

Neste caso, com o objetivo de mitigar alguns destes problemas, foram criadas metodologias de tratamento de dados climáticos, corrigindo e ajustando modelos para estimativa de dados de radiação solar e também a formatação de arquivos compatíveis com os programas computacionais de simulação de desempenho térmico.

O *EnergyPlus* fornece no sua própria *homepage* dados climáticos no formato EPW, que nada mais é que um banco de dados meteorológicos separado por vírgulas, fornecido por fontes espalhadas em todo território mundial. Os dados climáticos horários utilizados neste trabalho para a cidade de Alegrete foram obtidos através desta *homepage*. O conjunto de arquivos foi elaborado pelo Prof. Maurício Roriz (RORIZ, 2012), a partir de dados horários, registrados em 411 estações climatológicas do INMET entre os anos de 2000 e 2010. Este trabalho foi iniciado em abril de 2010, como parte das atividades do grupo constituído no

âmbito da ANTAC para estudar a revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil (NBR 15220-3, ABNT 2005).

O EPW é composto por informações horárias de temperatura de bulbo úmida, temperatura de bulbo seco, pressão atmosférica, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, radiação solar e velocidade do vento.

5.3 Parâmetros de entrada da simulação: edificação naturalmente ventilada

Em uma edificação que permite a operação das aberturas pode-se estimar a troca de volume de ar entre os ambientes ou zonas termiais.

5.3.1 Modelagem e controle do sistema de ventilação natural

Conforme o RTQ-R, ambientes de uma unidade habitacional que possuir aberturas para ventilação podem ser modelados no sistema de ventilação natural, através de estratégias de controle, de modo automático, temperatura ou por entalpia, e também baseado em padrões horários para períodos determinados chamados no *OpenStudio* de *Schedules*.

Neste trabalho foi utilizado um sistema de *Measure*, que consiste na abertura automática de uma determinada área de vazamento das janelas por um determinado período, limitado a temperaturas específicas (*setpoint*) internas e externas.

Para avaliar o desempenho do sistema de ventilação deste projeto utilizou-se a temperatura *setpoint* para o período de verão de 24°C e para o inverno de 20°C, as quais apresentaram índices dentro dos limites da categoria B, que se refere ao desempenho intermediário, com a Porcentagem Prevista de Insatisfeitos (PPD) menor que 10%.

5.3.2 Taxas de infiltração de ar

De acordo com a NBR 15575, parte 4 (ABNT, 2013), para a avaliação de desempenho térmico através da simulação computacional deve-se garantir a taxa de ventilação de cinco renovações de ar por hora (5ren/h).

5.3.3 Padrão de ocupação

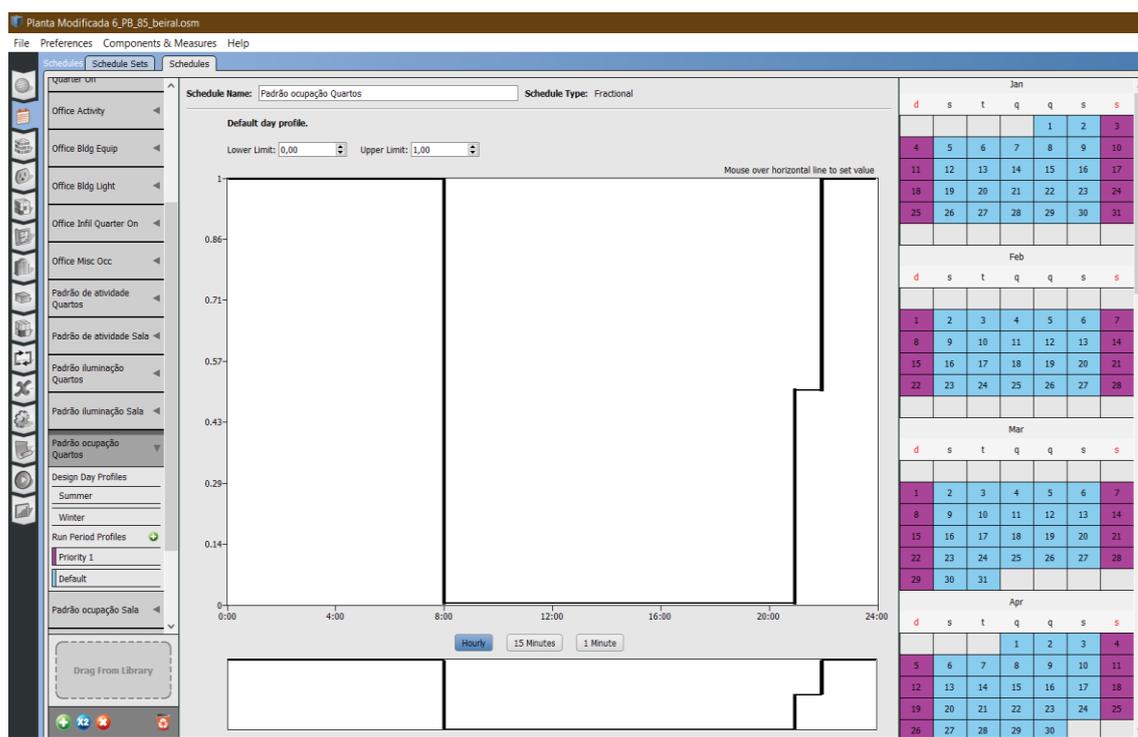
O RTQ-R (2010) exige um padrão de ocupação dos ambientes de permanência prolongada (quartos e sala) para os dias de semana e outro para os finais de semana, em função disto apresenta a tabela 10 que relaciona percentuais de ocupação com horários do decorrer do dia. Este padrão foi inserido na simulação por meio de gráficos fracionários em formato de *schedules* conforme a figura 22.

Tabela 10: Padrão de ocupação da residência.

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1 h	100	100	0	0
2 h	100	100	0	0
3 h	100	100	0	0
4 h	100	100	0	0
5 h	100	100	0	0
6 h	100	100	0	0
7 h	100	100	0	0
8 h	0	100	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	50	0	0
11 h	0	0	0	25
12 h	0	0	0	75
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	25	75
15 h	0	0	25	50
16 h	0	0	25	50
17 h	0	0	25	50
18 h	0	0	25	25
19 h	0	0	100	25
20 h	0	0	50	50
21 h	50	50	50	50
22 h	100	100	0	0
23 h	100	100	0	0
24 h	100	100	0	0

Fonte: RTQR (2010), tabela 3.39

Figura 22: Schedule do padrão de ocupação quartos.



Fonte: Acervo do autor.

5.3.4 Padrão de atividade

Baseado nas recomendações do RTQ-R (2010), adota-se taxas metabólicas em função do tipo de atividade desempenhada pelo usuário, considerando uma área de pele média de 1,8m², a qual é equivalente a área de pele de uma pessoa média. A tabela a seguir recomenda a taxa metabólica para as atividades a serem consideradas nos ambientes de permanência prolongada.

Tabela 11: Taxas metabólicas para cada atividade

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m ²)	Calor produzido para área de pele = 1,80 m ² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

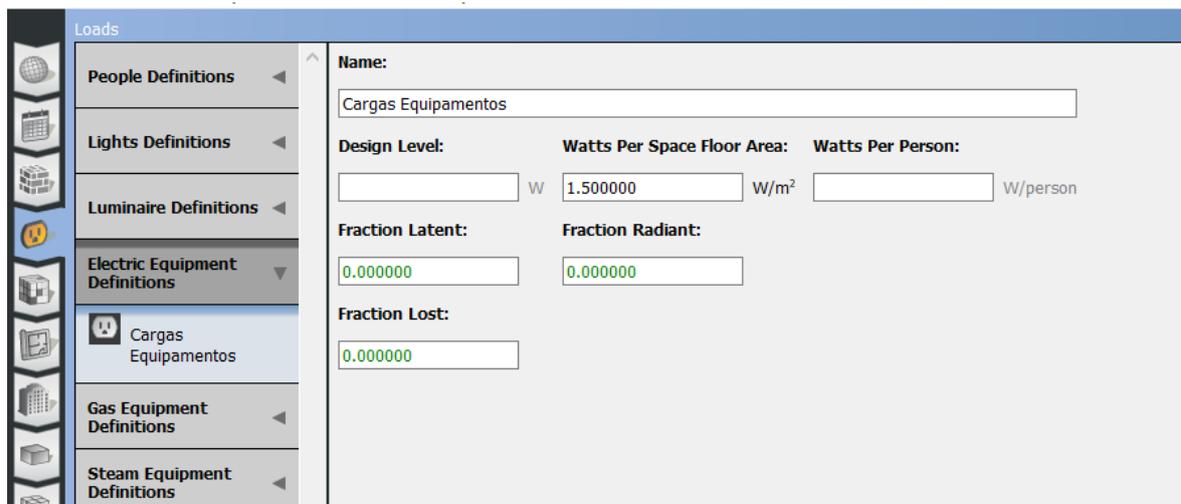
Fonte: RTQ-R (2010), tabela 3.40.

5.3.5 Cargas internas de equipamentos

Segundo o RTQ-R (2010), somente deve ser considerada cargas internas de equipamentos para a sala, por um período de 24 horas e com potência de 1,5w/m².

A figura 23 ilustra como esta condição é inserida no software.

Figura 23: Interface OpenStudio.



Fonte: Acervo do autor.

5.3.6 Padrão de uso da iluminação

Seguindo o mesmo raciocínio do padrão de ocupação, o RTQ-R (2010) utiliza um padrão de uso da iluminação para os dias da semana e um para os finais de semana. Conforme a tabela 12, o modelo apresenta valores de 100% para iluminação ligada e 0% para iluminação desligada. Este padrão foi inserido na simulação por meio de gráficos fracionários em formato de *schedules*.

Ainda assim o RTQ-R (2010) também define uma densidade de potência de iluminação para os ambientes de permanência prolongada de 5,0 W/m² para os dormitórios e 6,0 W/m² para a sala.

Tabela 12: Padrão de iluminação da residência.

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1 h	0	0	0	0
2 h	0	0	0	0
3 h	0	0	0	0
4 h	0	0	0	0
5 h	0	0	0	0
6 h	0	0	0	0
7 h	100	0	0	0
8 h	0	0	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	0	0	0
11 h	0	0	0	100
12 h	0	0	0	100
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	0	0
15 h	0	0	0	0
16 h	0	0	0	0
17 h	0	0	100	100
18 h	0	0	100	100
19 h	0	0	100	100
20 h	0	0	100	100
21 h	100	100	100	100
22 h	100	100	0	0
23 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

Fonte: RTQ-R (2010), tabela 3.41.

5.3.7 Temperatura do solo

O RTQ-R (2010) sugere que se utilize métodos específicos para inserir temperatura do solo na simulação, já que estes dados podem apresentar grande impacto na troca de calor entre as zonas térmicas, de modo a simplificar a execução da modelagem. No presente trabalho, utilizou-se as temperaturas de solo oriundas do próprio arquivo climático.

5.3.8 Caracterização dos materiais e componentes do caso

As propriedades térmicas dos materiais utilizados na modelagem da envoltória dos projetos propostos foram obtidas na norma NBR 15220 (ABNT, 2005a).

As propriedades dos materiais utilizadas na simulação não descritas nos itens a seguir, seguem o padrão da ASHRAE 189.1 (2009).

5.3.8.1 Paredes

Para a modelagem das paredes do projeto original, utilizou-se as características reais citadas no item 4.2 “Programa de necessidades e características da edificação”, bloco estrutural cerâmico 14x19x29cm e 14x19x44cm com revestimento argamassado único de 1 cm de espessura em ambas faces, para paredes internas e externas.

Para a modelagem das paredes do projeto modificado, utilizou-se as características propostas pelo Catálogo de Propriedades Térmicas do INMETRO citado no item 4.2 “Programa de necessidades e características da edificação”, para paredes internas o bloco estrutural cerâmico de 19x14x29cm e 19x14x44cm com revestimento argamassado de 2,5 cm em ambas as faces, e para paredes externas a mesma tipologia de parede do projeto original.

As propriedades térmicas inseridas na modelagem para os dois projetos seguem conforme a tabela 13.

Tabela 13: Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados para paredes.

Material	Propriedade térmica		
	Densidade de massa aparente (ρ)	Condutividade térmica (λ)	Calor específico (c)
	[kg/m ³]	[W/(m.K)]	[J/(kg.K)]
Argamassa de assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto (bloco e parede)	2400	1,75	1,00
Reboco	2000	1,15	1,00
Tijolo cerâmico	1600	0,90	0,92

Fonte: NBR 15220 (2005a) anexo D.

5.3.8.2 Coberturas

Para a modelagem da cobertura do projeto original, baseou-se nas características reais do projeto proposto, neste caso, telha cerâmica do tipo portuguesa de cor vermelha opaca e forrada de material PVC.

Para a modelagem da cobertura do projeto modificado, manteve-se a tipologia do projeto original, entretanto adiciona-se uma camada de 50 mm de isolante térmico de lã de Pet, propiciando o isolamento da cobertura conforme sugerido pela NBR 15220 (2005a) Anexo D.

As propriedades térmicas utilizadas para as modelagens citadas estão descritas nas tabelas abaixo.

Tabela 14: Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados para cobertura.

Material	Propriedade térmica		
	Densidade de massa aparente (ρ)	Condutividade térmica (λ)	Calor específico (c)
	[kg/m ³]	[W/(m.K)]	[J/(kg.K)]
Argamassa de reboco	2000	1,15	1,00
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Concreto (laje)	2200	1,75	1,00
Fibrocimento	1900	0,95	0,84
Gesso	750	0,35	0,84
Madeira	600	0,15	1,34
PVC	1300	0,20	0,96
Telha metálica de aço	7800	55	0,46

Fonte: NBR 15220 (2005a) anexo D.

Tabela 15: Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados como isolante térmico.

Produto	Resistência Térmica (K / W)	Condutividade Térmica (W / mK)
IJ25	0,61	0,041
IL50	1,28	0,039
IN25	0,71	0,035
IE75	1,41	0,038

Fonte: Trisoft, 2019.

5.3.8.3 Aberturas

Para a modelagem do projeto original, as aberturas são de material alumínio da tipologia de correr com vidro de espessura 3 mm.

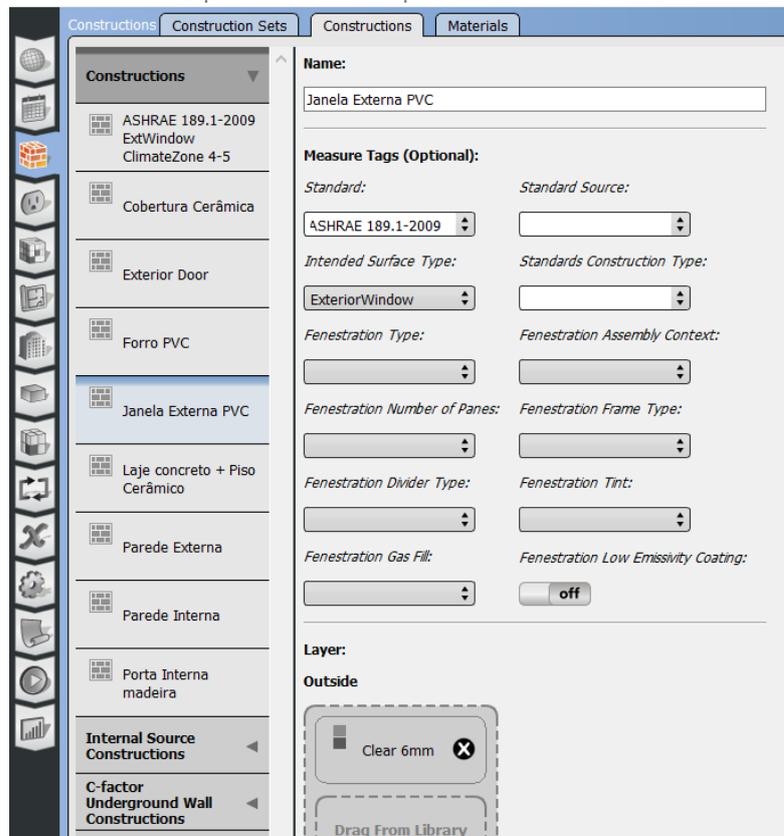
Já para a modelagem das aberturas do projeto modificado utilizou-se o material de PVC da tipologia retrátil, com vidro espessura 6 mm.

Em função da complexidade para programar o sistema de operação das persianas (proteção solar) como também o sistema de aberturas da parede trombe no modelo, estes dispositivos não foram considerados em termos de simulação.

As propriedades térmicas inseridas para configuração dos modelos citados seguem conforme a ASHRAE 189.1 (2009).

A figura 24 ilustra como essas informações são inseridas no software *EnergyPlus* através do plugin *OpenStudio*.

Figura 24: Interface OpenStudio.



Fonte: Acervo do autor.

5.4 Faixa de Conforto

Este trabalho teve como base para metodologia de avaliação de conforto em suas simulações o RTQ-R (2010). Diante disto, utilizam-se a temperatura base máxima de 26 °C sugerida pelo mesmo para compor uma faixa de temperatura de conforto dos ambientes de permanência prolongada.

Para a temperatura base mínima da faixa de conforto o RTQ-R não especifica valor, entretanto Pouey (2011) afirma que para o caso de avaliação da edificação com ventilação natural, é usual utilizar diferentes referências de temperatura, que ficam entorno de 18 e 20 °C em trabalhos realizados na zona bioclimática 2, e que esta temperatura deve ser fixada de modo atingir os melhores índices de conforto PMV/PPD para o projeto.

Neste caso para os resultados apresentados a seguir, a temperatura base mínima de 20 °C obteve o melhor cenário respeitando a faixa de índices PMV/PPD citada no item “2.2 Conforto Térmico e Desempenho Térmico”.

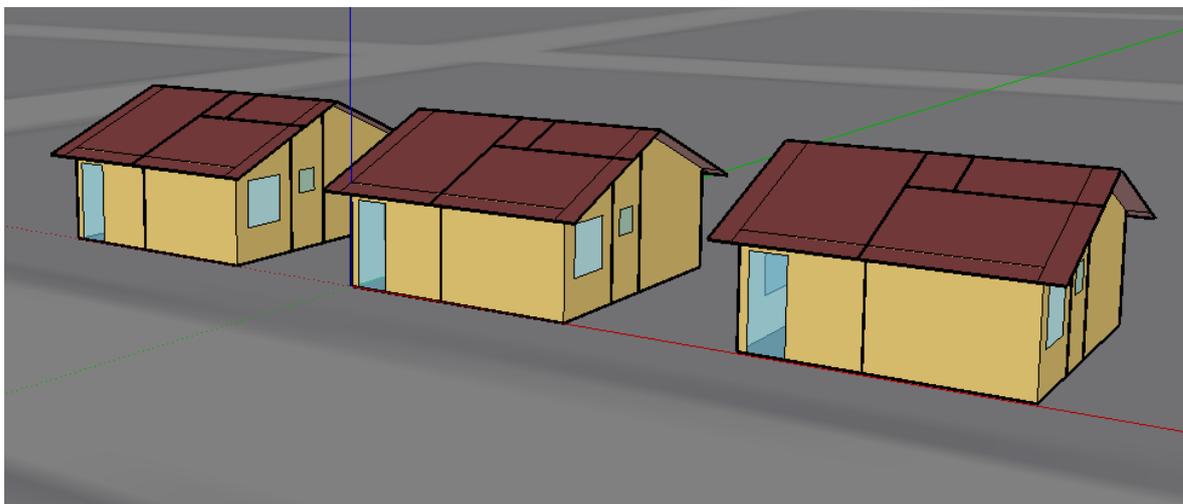
6. RESULTADOS

A simulação consiste na quantificação de trocas térmicas entre os ambientes internos da edificação e o meio climático externo. No presente trabalho, esta quantificação se dará através dos dados graus-horários, que relacionam 8760 horas com suas respectivas temperaturas durante todos os 365 dias de um ano climático normalizado.

Os resultados obtidos serão apresentados da seguinte forma:

- Temperaturas externas comparadas a temperaturas operativas internas do projeto arquitetônico original no item 6.1;
- Temperaturas externas comparadas a temperaturas operativas internas do projeto arquitetônico eficiente no item 6.2;
- Temperaturas operativas internas do projeto arquitetônico original comparado a temperaturas operativas internas do projeto arquitetônico eficiente no item 6.3.

Figura 24: Modelagem do projeto no *Sketchup* geolocalizada no *OpenStudio*.



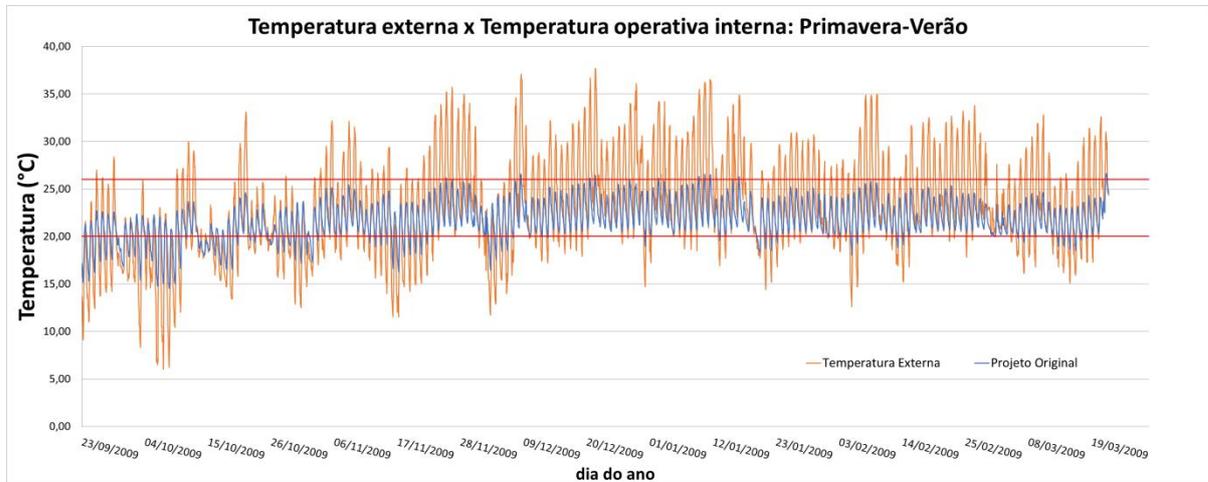
Fonte: Acervo do autor.

6.1 Temperatura externa x temperatura operativa interna do projeto original

A seguir as figuras 25 a 30 descrevem o comportamento térmico dos ambientes de permanência prolongada da edificação no seu projeto original, sem aplicação de estratégias bioclimáticas, diante das temperaturas externas inseridas através dos dados climáticos locais.

6.1.1 Sala: Primavera-Verão

Figura 25: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas

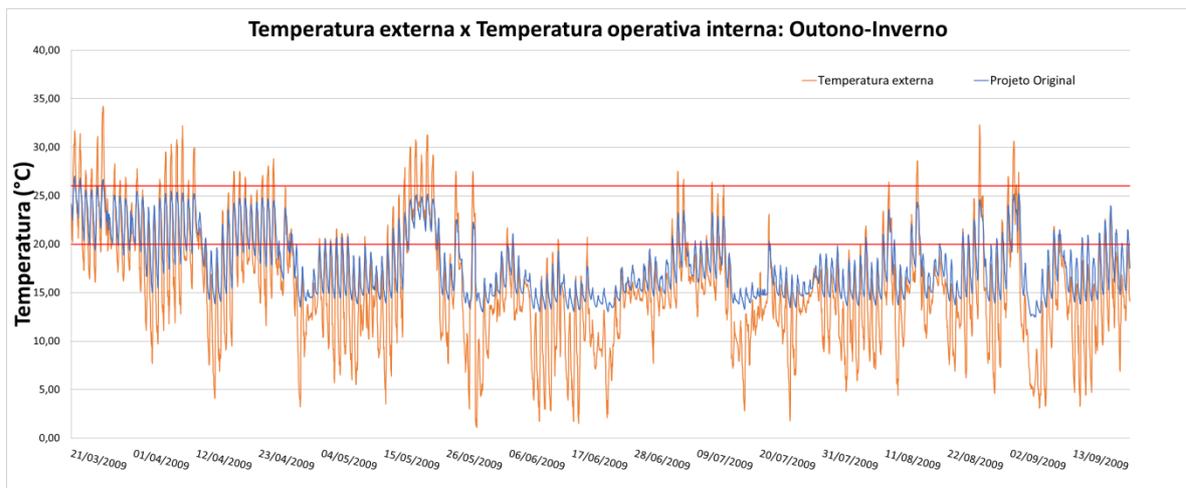


Fonte: Acervo do autor.

Observa-se na figura 25 que a temperatura operativa interna do ambiente, de final de setembro à metade de novembro, eleva-se dos 15°C para a faixa de conforto, acima dos 20°C. E ainda assim inferior aos 26°C por praticamente todo período quente, defronte as máximas externas que passam dos 34°C. Este bom comportamento nas estações mais quentes se justifica pelo fato da orientação deste cômodo, que neste caso é orientado ao sul, onde se recebe menos incidência solar durante todo ano.

6.1.2 Sala: Outono-Inverno

Figura 26: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas

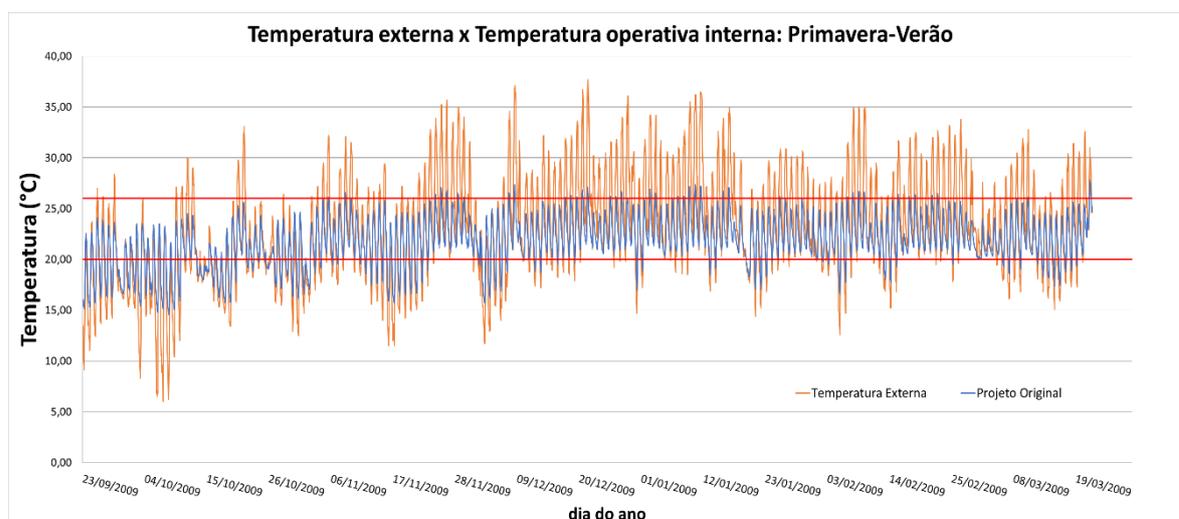


Fonte: Acervo do autor.

Na figura 26 nota-se que a partir da primeira semana de abril as temperaturas começam a cair, o que resulta em um comportamento abaixo da faixa de temperatura mínima de conforto térmico 20°C por praticamente todo período frio. Este comportamento é esperado devido à orientação sul do cômodo como citado anteriormente. Desse modo, constata-se a baixa capacidade da envoltória de reter e conservar calor neste cômodo.

6.1.3 Quarto 1: Primavera-Verão

Figura 27: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas

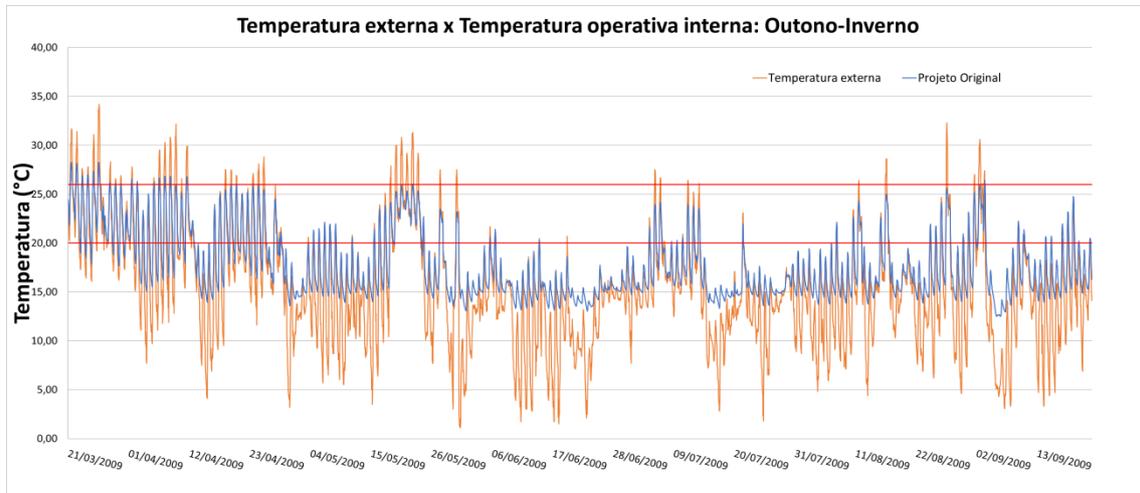


Fonte: Acervo do autor.

A figura 27 apresenta o comportamento térmico do quarto 1 (fundos) da residência, orientado na direção norte. Percebe-se que até a metade do mês de novembro alguns picos de temperatura operativa interna ficam abaixo do nível mínimo de conforto 20°C, e posterior a isto, acompanhando o aumento de temperatura externa, a temperatura operativa interna mantém-se praticamente todo período abaixo da faixa de temperatura máxima de conforto 26°C com alguns pontos extrapolados aos 27°C. A temperatura operativa interna volta a cair no mês de março período próximo ao outono.

6.1.4 Quarto 1: Outono-Inverno

Figura 28: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas

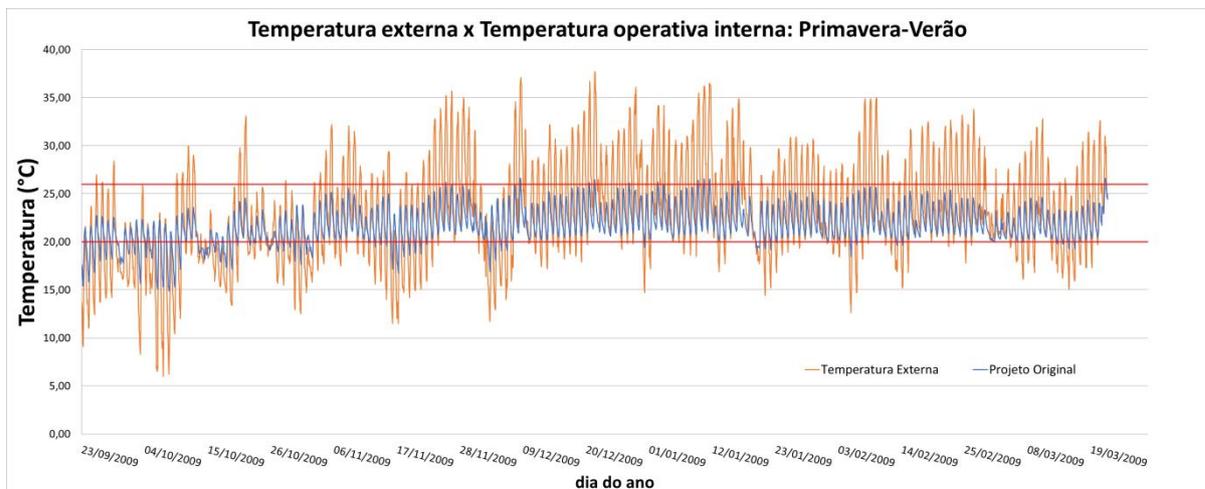


Fonte: Acervo do autor.

Ainda descrevendo o comportamento do quarto 1 (fundos), a figura 28 mostra o comportamento térmico para o período frio. Verifica-se que a partir do mês de abril há uma queda severa de temperatura externa chegando abaixo dos 5°C, o que procede durante toda a estação, deixando bastante visível também a queda da temperatura operativa interna do ambiente. O cômodo permanece praticamente todo período frio abaixo da faixa de conforto mínima de 20°C, operando em torno dos 14°C.

6.1.5 Quarto 2: Primavera-Verão

Figura 29: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas



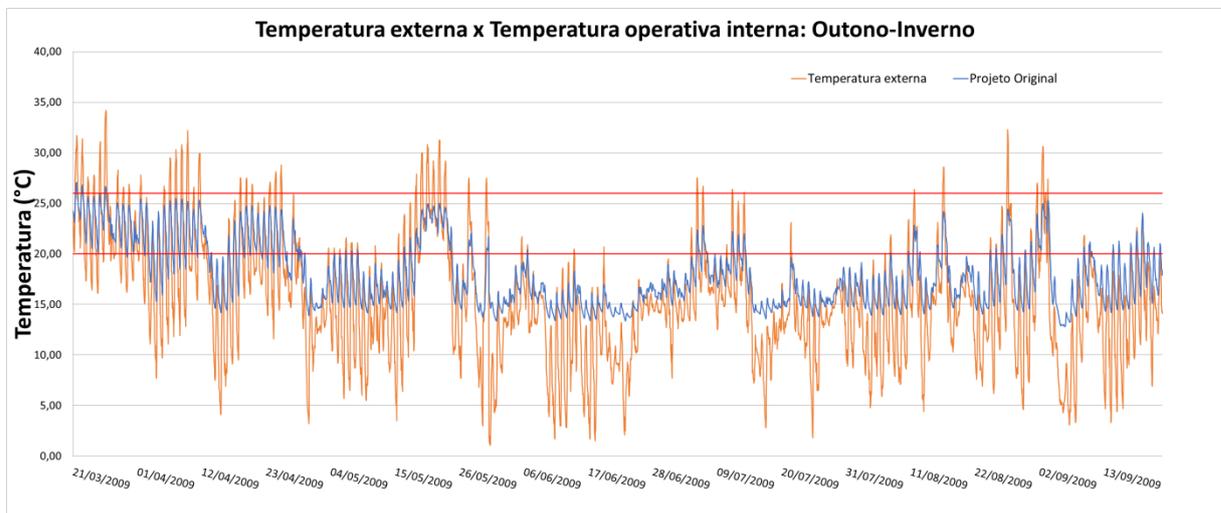
Fonte: Acervo do autor.

A figura 29 apresenta as trocas térmicas do quarto 2 (frente) com o ambiente externo.

O desempenho térmico mostrado pela figura 29 assemelha-se com a figura 27 do quarto 1 citado anteriormente, devido as suas condições serem muito similares, como geometria e materiais construtivos. Entretanto diferem-se pela orientação, neste caso, o cômodo está orientado ao sul, o que ocasiona em pequena queda de temperatura operativa interna, de em média de 2 a 3°C em relação ao quarto 1 norteado. Todavia, observa-se que o cômodo apresenta um comportamento dentro da faixa de conforto por todo período de calor diante de temperaturas máximas externas acima dos 34°C.

6.1.6 Quarto 2: Outono-Inverno

Figura 30: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas



Fonte: Acervo do autor.

A figura 30 descreve o comportamento térmico para o quarto 2, orientado ao sul.

Para este período de baixas temperaturas, o cômodo segue o mesmo comportamento discutido no parágrafo anterior, apresentando-se bastante semelhante ao desempenho térmico do quarto 1, diferindo-se por uma redução de temperatura operativa interna em torno de 2 a 3°C em relação ao quarto 1, o que é justificável diante da sua orientação sul, a qual recebe menos incidência de radiação solar.

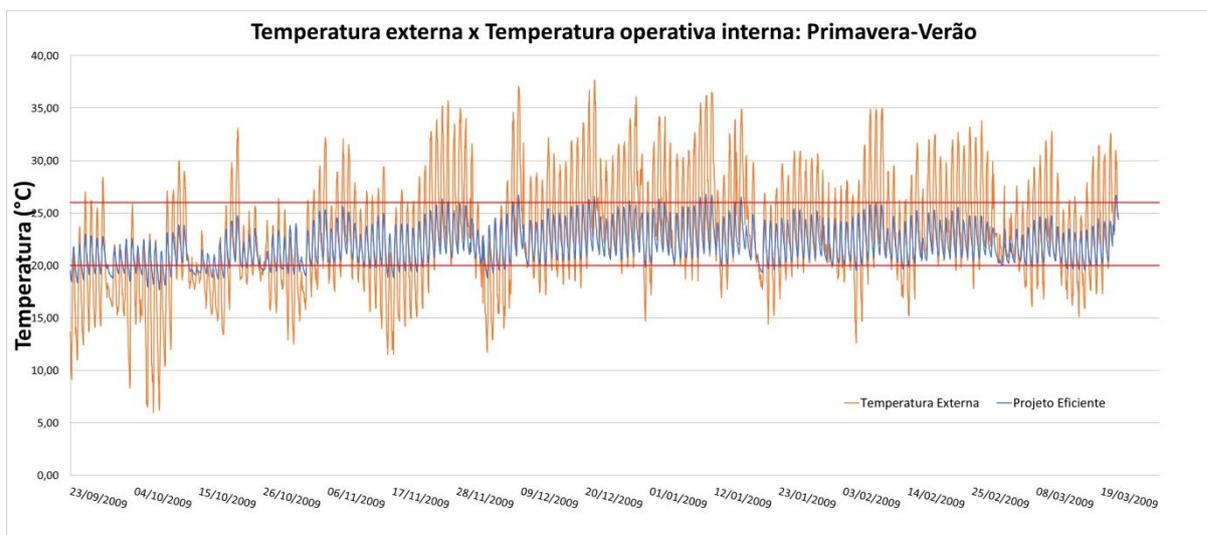
Observa-se também que as diferenças de temperaturas entre os quartos distanciam-se muito mais entre as máximas que as mínimas, ou seja, nas temperaturas operativas mínimas pouco se têm diferença.

6.2 Temperatura externa x temperatura operativa interna do projeto eficiente

A seguir as figuras 31 a 36 descrevem o comportamento térmico dos ambientes de permanência prolongada da edificação com o projeto eficiente, já aplicada as estratégias bioclimáticas, diante das temperaturas externas inseridas através dos dados climáticos locais.

6.2.1 Sala: Primavera-verão

Figura 31: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas

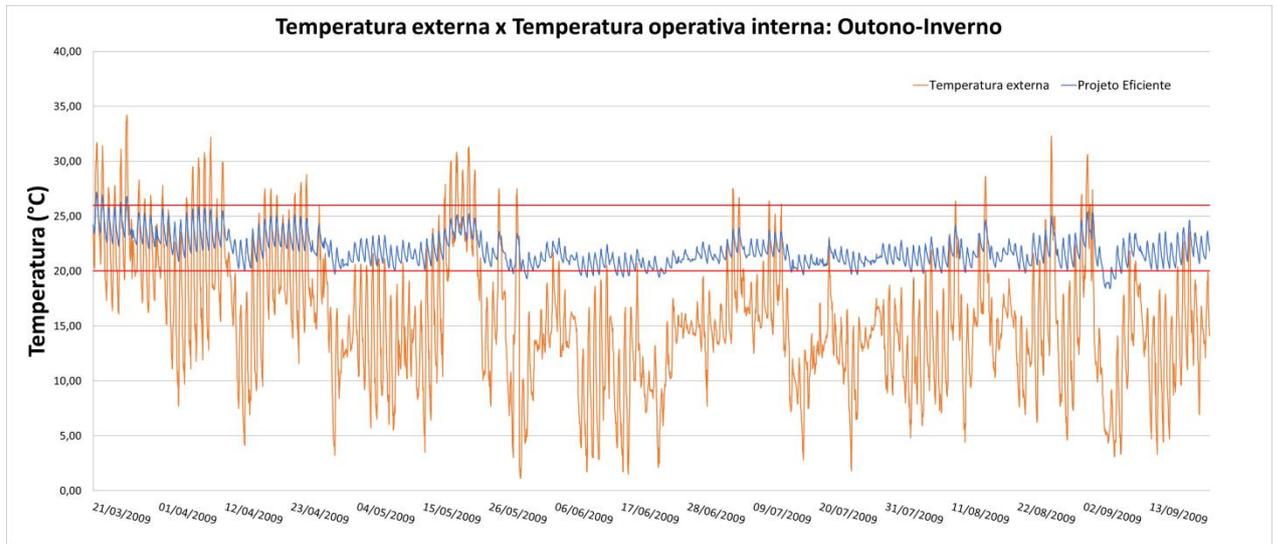


Fonte: Acervo do autor.

Para o período quente, o projeto eficiente apresenta um comportamento térmico excelente para a sala conforme a figura 31, praticamente toda estação com temperaturas operativas internas entre as faixas de conforto, mesmo diante das temperaturas externas extremas acima de 35°C. Observa-se também que a temperatura operativa interna máxima só ultrapassa o limite máximo de conforto 26°C quando a temperatura externa excede aos 35°C.

6.2.2 Sala: Outono-inverno

Figura 32: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas

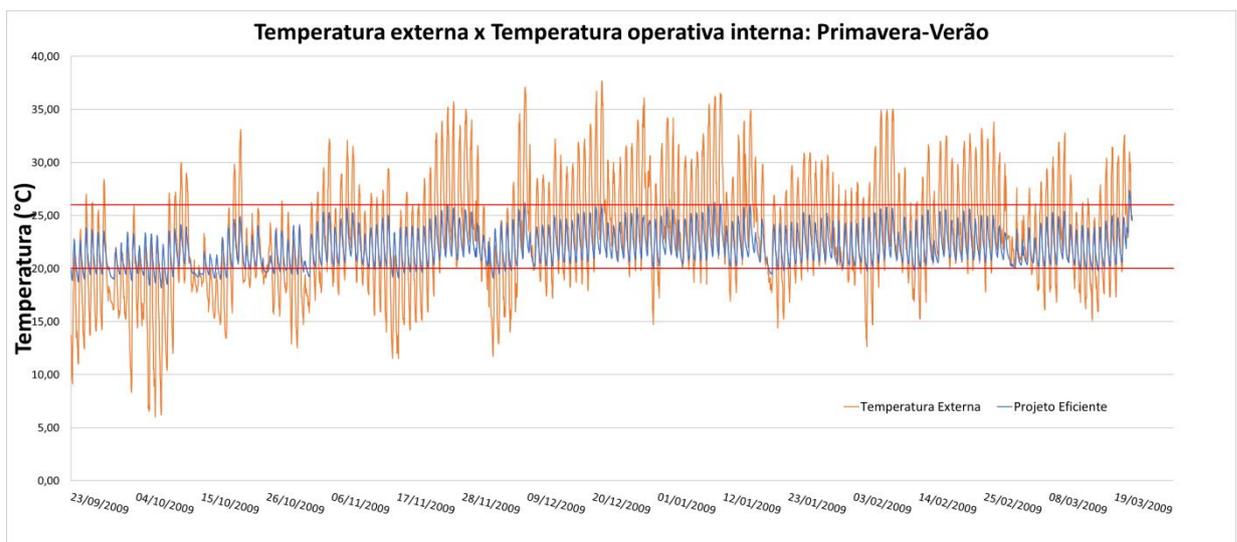


Fonte: Acervo do autor.

A figura 32 apresenta o comportamento térmico da sala no período frio do ano, e fica bastante claro o ganho de calor para este cômodo, pode-se constatar que praticamente toda estação o ambiente apresenta temperaturas operativas internas dentro da faixa de conforto sugerida, mesmo diante de temperaturas externas extremas abaixo dos 5°C.

6.2.3 Quarto 1: Primavera-verão

Figura 33: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas

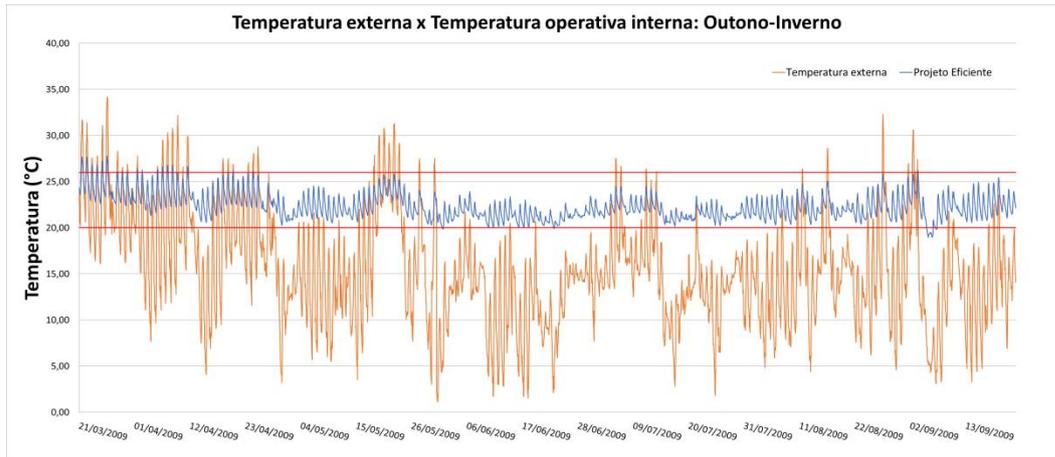


Fonte: Acervo do autor.

A figura 33 mostra as trocas de temperaturas externas e internas previstas para o quarto 1 do projeto eficiente, repara-se que o ambiente permanece praticamente todo período de calor dentro das faixas limites de conforto, entre 20°C e 26°C, mesmo em situações onde a temperatura externa máxima encontra-se acima dos 35°C.

6.2.4 Quarto 1: Outono-inverno

Figura 34: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas

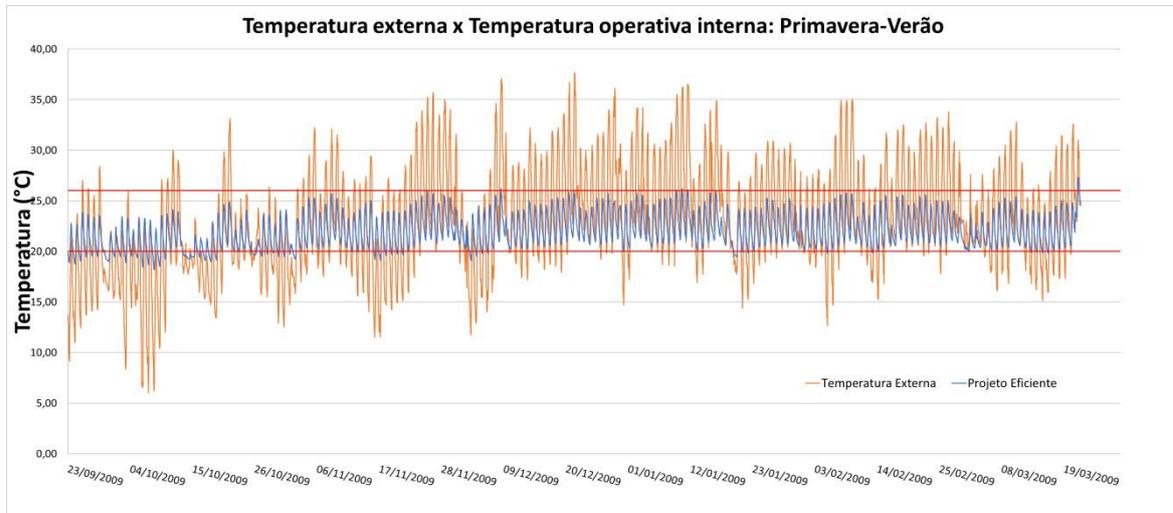


Fonte: Acervo do autor.

Para o período frio, a figura 34 apresenta um excelente desempenho de conforto térmico para o quarto 1, onde se pode observar em quase toda estação temperaturas operativas internas dentro da faixa de conforto sugerida, mesmo diante de temperaturas externas abaixo de 5°C.

6.2.5 Quarto 2: Primavera-Verão

Figura 35: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas

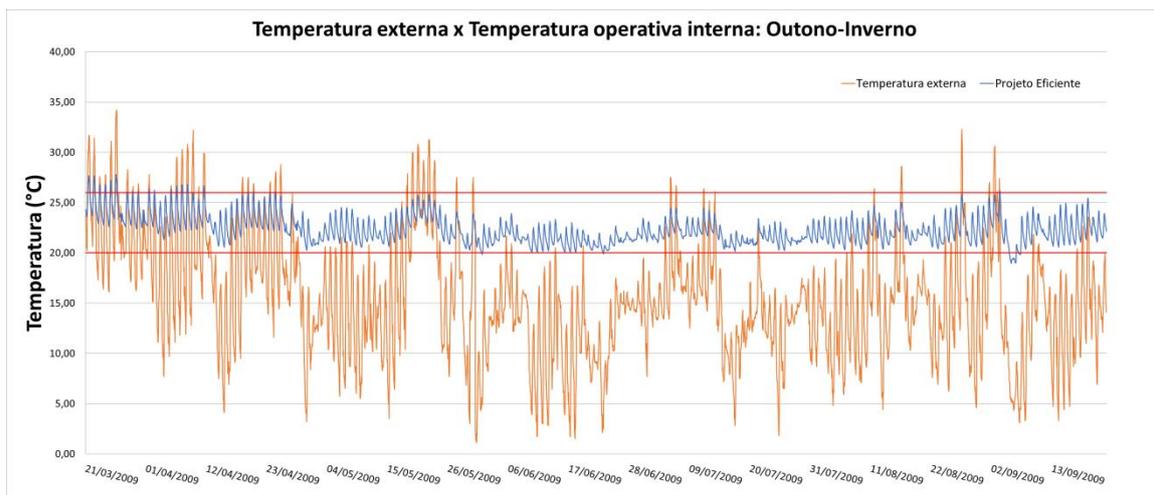


Fonte: Acervo do autor.

A figura 35 apresenta o comportamento térmico para o período quente do ano, onde se constata que o ambiente quarto 2 permanece praticamente com temperaturas operativas internas por toda estação dentro da faixa de conforto sugerida, mesmo diante de temperaturas máximas extremas acima dos 35°C.

6.2.6 Quarto 2: Outono-Inverno

Figura 36: Comparação de temperaturas externas e temperaturas operativas internas



Fonte: Acervo do autor.

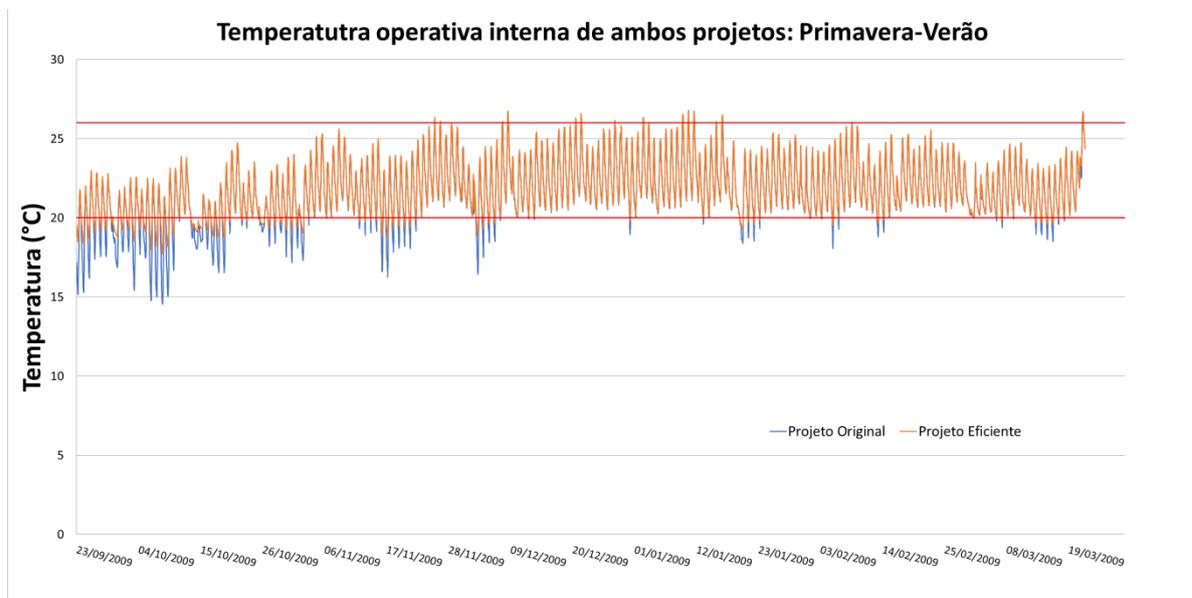
Se tratando ainda do quarto 2, porém agora para o período de baixas temperaturas, observa-se um excelente comportamento térmico para este cômodo na figura 36, já que praticamente todo período frio o ambiente quarto 2 apresenta temperaturas operativas internas entre as faixas de conforto sugeridas, diferenciando-se consideravelmente do projeto original.

6.3 Temperatura operativa interna projeto original x temperatura operativa interna projeto eficiente

A seguir, as figuras 37 a 42 relacionam o comportamento térmico dos ambientes de permanência prolongada da edificação do projeto original com o projeto eficiente, já aplicada às estratégias bioclimáticas, descrevendo ambos os comportamentos e suas respectivas variações.

6.3.1 Sala: Primavera-Verão

Figura 37: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos



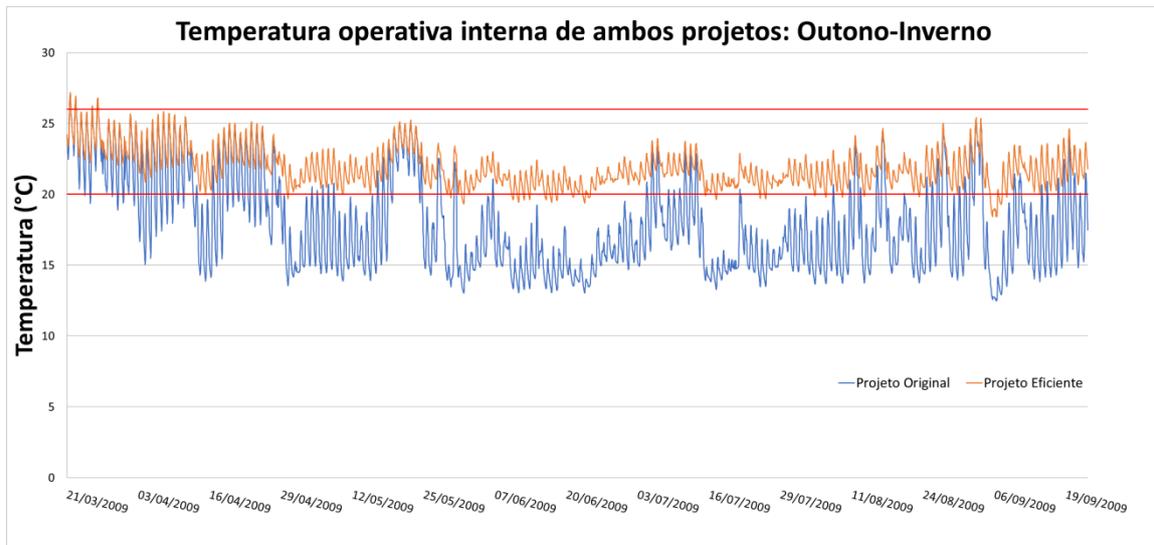
Fonte: Acervo do autor.

Na figura 37 nota-se que não há grandes ganhos de conforto em relação às temperaturas máximas do projeto eficiente em relação ao projeto original, o que se era esperado já que a maior estratégia de resfriamento se referia ao tamanho de aberturas as quais neste cômodo não foram necessário acréscimo. Entretanto, as temperaturas operativas mínimas nesse período tiveram um leve aumento, em relação ao projeto original, em torno de

2 a 3°C, subindo a faixa de comportamento operativo por inteira para dentro da faixa de conforto. Este fato pode ser atribuído a algumas intervenções no cômodo, como a redução de aberturas ao sul e ao aumento de resistência térmica das aberturas, onde troca-se do material alumínio para o material PVC que apresenta uma melhor estanqueidade ao conjunto da envoltória, evitando perda de calor.

6.3.2 Sala: Outono-Inverno

Figura 38: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos

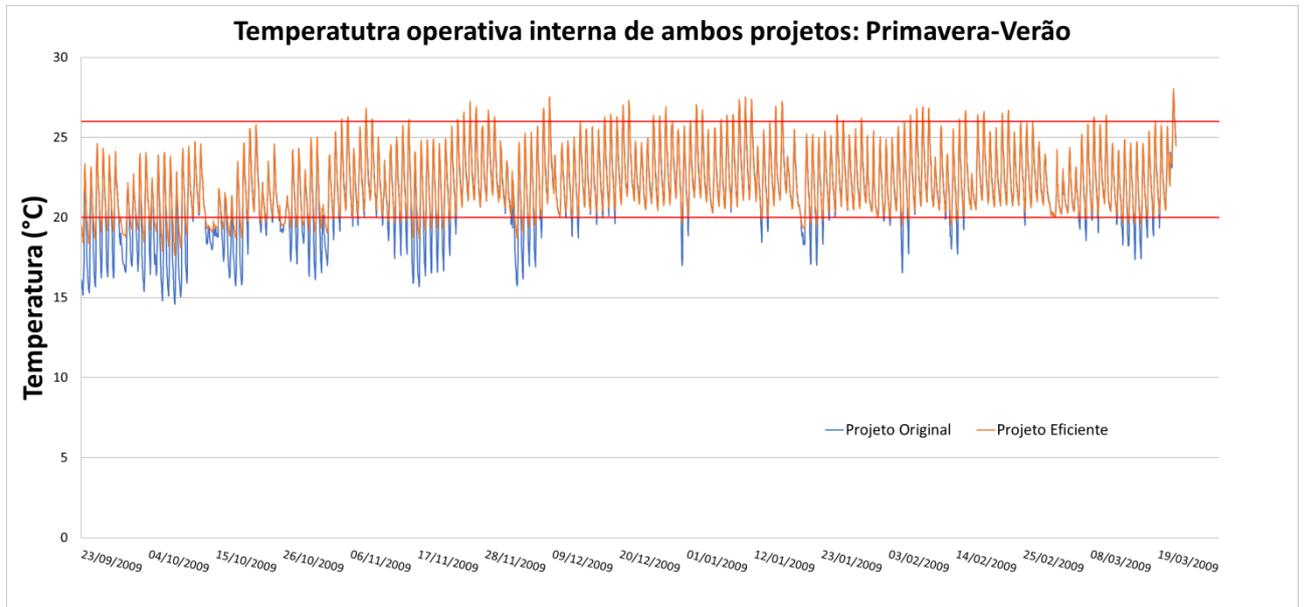


Fonte: Acervo do autor.

O ganho de conforto térmico para o período frio no ambiente da sala é bastante evidente na figura 38, que demonstra que as temperaturas operativas internas do projeto original passam dos 14°C para acima dos 20°C por praticamente toda estação no projeto eficiente, com poucos pontos onde a temperatura fica abaixo do limite mínimo, não sendo menores que 18°C. Parte deste ganho de calor deve-se a redução de aberturas na direção sul, orientação de menor incidência solar e grande infiltração por ventos frios. Ainda fica clara a diminuição de amplitude térmica do ambiente, efeito desejado ao ser aumentado a capacidade térmica das alvenarias internas, que passam a conservar maior quantidade de calor cedido durante o dia (aumento do atraso térmico), somado ao ganho de resistência térmica das aberturas, que reduz a perda de calor por estas.

6.3.3 Quarto 1: Primavera-Verão

Figura 39: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos

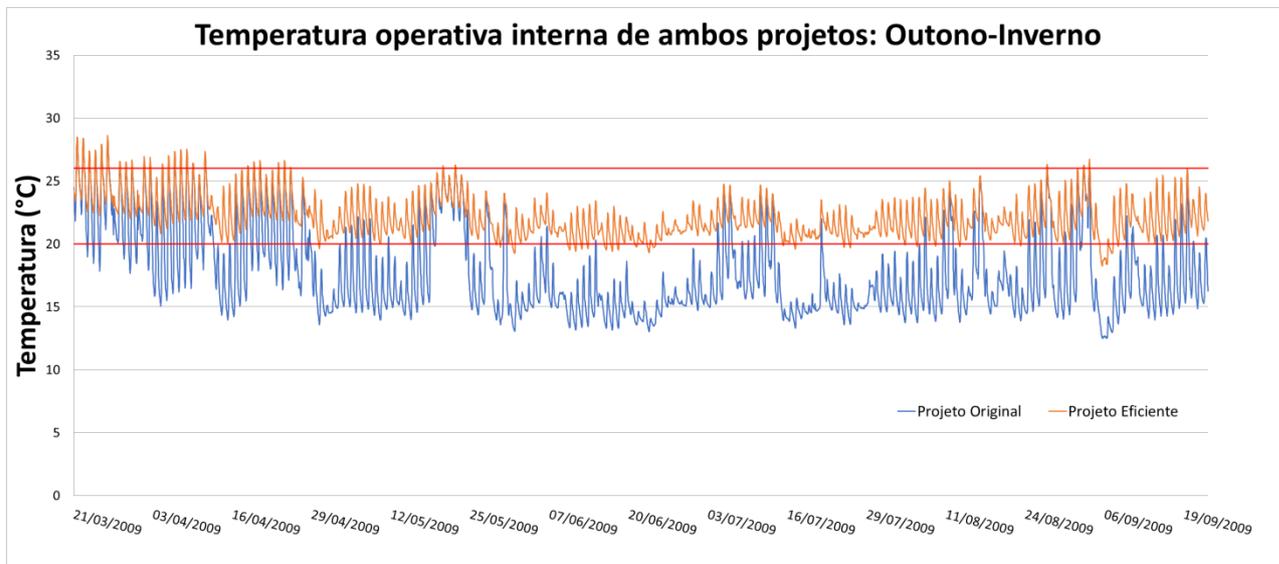


Fonte: Acervo do autor.

A figura 39 apresenta o comportamento térmico do quarto 1 (fundos), orientado ao norte, pode-se observar que não há grandes ganhos de resfriamento após a aplicação das estratégias. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de não ter sido considerado a operação das persianas durante a simulação, em função da complexidade desta configuração, as áreas envidraçadas (aberturas) foram acrescidas e utilizadas para ventilação natural conforme sugestão da NBR 15220 (2005), porém não foi considerado o sistema de proteção destas, no caso as persianas, o que justifica o não resfriamento do cômodo do projeto eficiente. Nota-se também um considerável ganho térmico nas temperaturas mínimas deste período em relação ao projeto original, um aumento de temperatura de em torno de 2 a 3°C mais próximos da faixa mínima de conforto 20°C, por consequência da maior resistência térmica das aberturas e maior capacidade térmica das paredes internas.

6.3.4 Quarto 1: Outono-Inverno

Figura 40: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos



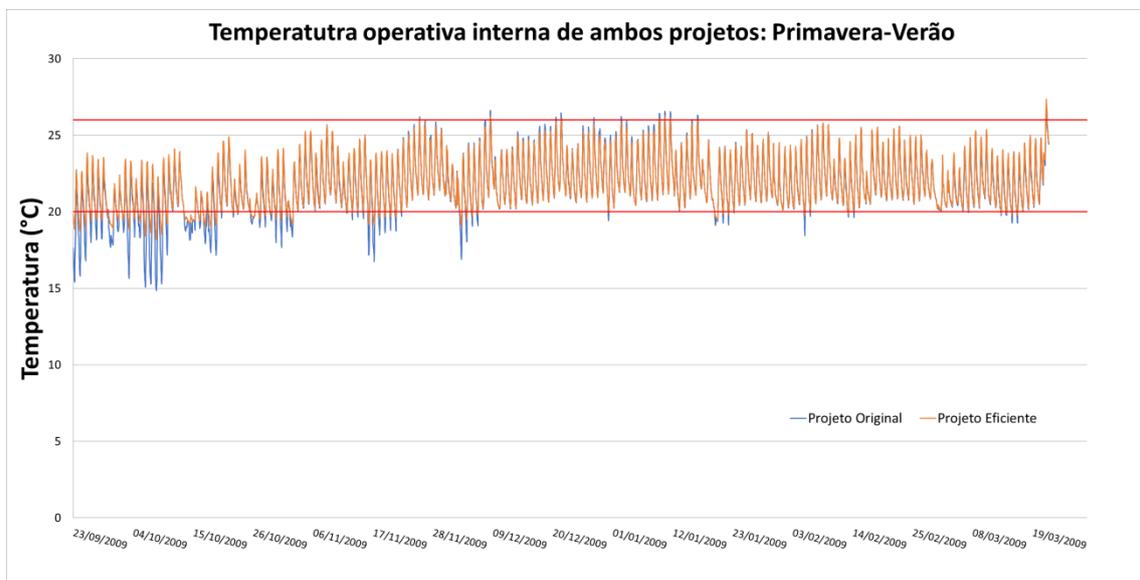
Fonte: Acervo do autor.

Para o período frio do ano, o comportamento térmico do quarto 1 do projeto eficiente, conforme a figura 40, apresenta elevado ganho de calor em relação ao projeto original, pode-se observar que as temperaturas operativas internas do projeto eficiente se elevam em média 5°C em relação ao projeto original.

Esse efeito está relacionado ao conjunto de intervenções construtivas feitas no cômodo, onde se buscou elevar à inércia térmica das paredes internas, aumentando sua capacidade de reter calor, a troca de propriedades térmicas dos materiais das aberturas, adição de isolante térmico na cobertura e ainda, com o acréscimo de área das superfícies envidraçadas ao norte, proporcionando um conjunto de envoltória com elevado nível de eficiência. Também se observa uma considerável diminuição de amplitude térmica no comportamento do projeto eficiente em relação ao projeto original, sendo mais visível nos pontos de maiores amplitude térmica do gráfico, variando em torno de 4°C. Vale ressaltar aqui, que para as simulações deste trabalho, não foi possível a operação do sistema de aquecimento passivo, parede trombe, em função da sua elevada complexidade em termos de programação.

6.3.5 Quarto 2: Primavera-Verão

Figura 41: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos



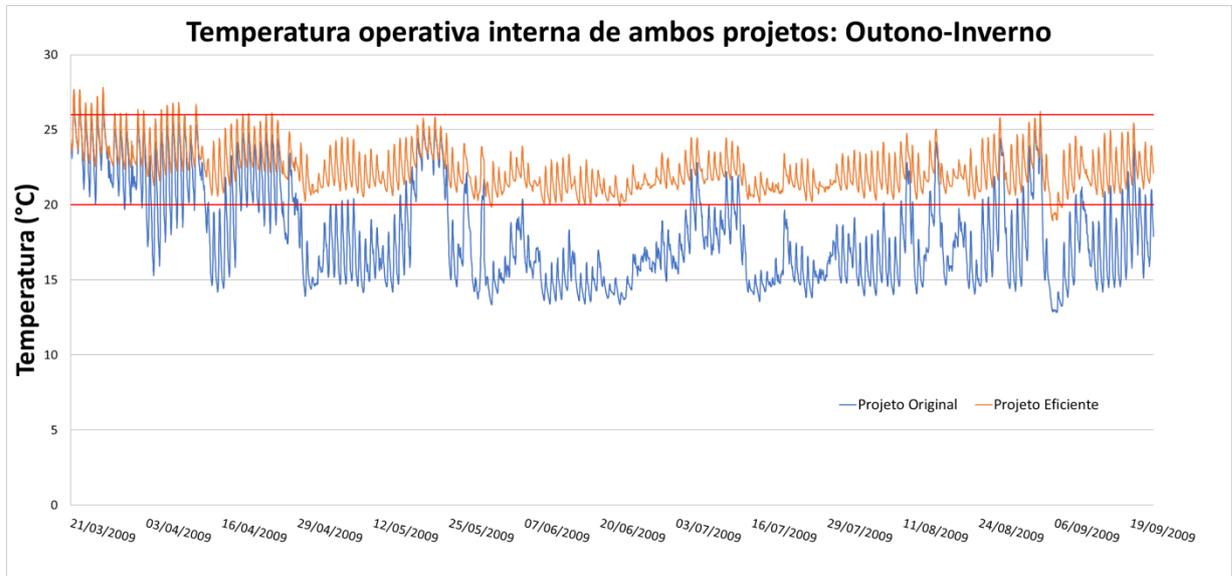
Fonte: Acervo do autor.

A figura 41 apresenta o comportamento térmico do projeto eficiente bastante semelhante ao projeto original, chegando em alguns momentos apresentar temperaturas minimamente superiores ao projeto original, ou seja, não apresenta ganhos de resfriamento.

Tendo em vista que o quarto 2 teve a orientação solar alterada, o mesmo passou da orientação sul, do projeto original, para a orientação norte, no projeto eficiente, o que torna compreensível este desempenho no período de calor, já que a orientação sul fornece a menor radiação solar de todos os planos. Observa-se também um ganho considerável de temperatura operativa interna mínima em relação ao projeto original, diminuindo mais uma vez a amplitude térmica do comportamento do projeto eficiente. Cabe destacar aqui, como já citado, não foi simulada a operação das proteções solares (persianas) devido à alta complexidade em termos de programação.

6.3.6 Quarto 2: Outono-Inverno

Figura 42: Comparação entre temperaturas operativas internas entre ambos os projetos



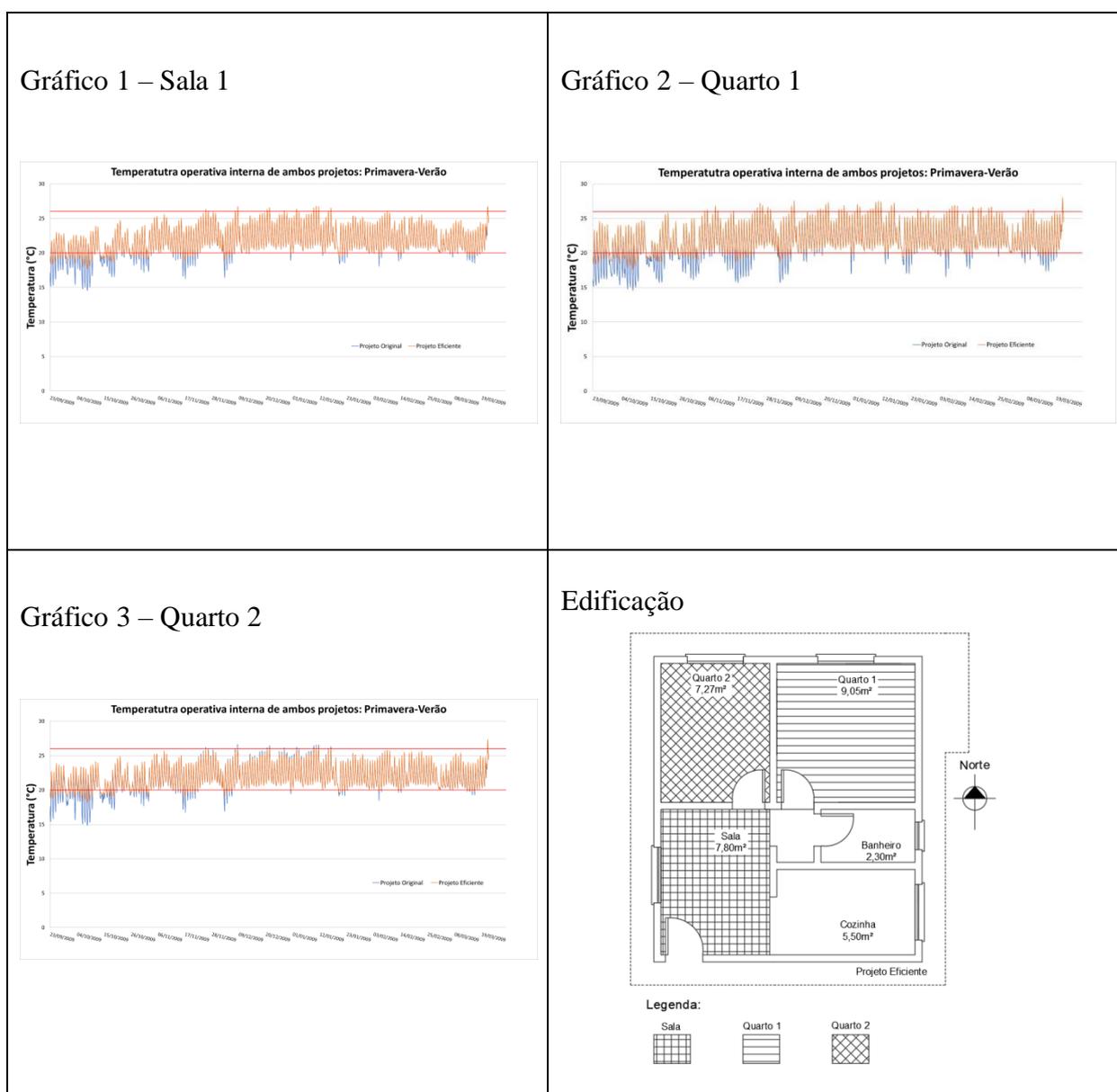
Fonte: Acervo do autor.

Fica bastante claro o ganho de conforto térmico entre o projeto original e o projeto eficiente na figura 42. Observa-se que o comportamento térmico do projeto eficiente tem grandes ganhos de calor em relação ao projeto original, às temperaturas mínimas passam de abaixo dos 15°C para acima dos 20°C por praticamente todo período frio. Desse mesmo modo, nota-se a grande redução de amplitude térmica no interior do cômodo, elevando nível de conforto aos usuários. Ambos os efeitos citados são consequência das modificações atribuídas ao projeto bioclimático, como a orientação solar do cômodo, acréscimo de superfícies envidraçadas para aproveitamento da radiação solar, aumento de resistência térmica das aberturas e ainda, a expansão da capacidade térmica das paredes internas.

7. CONCLUSÕES

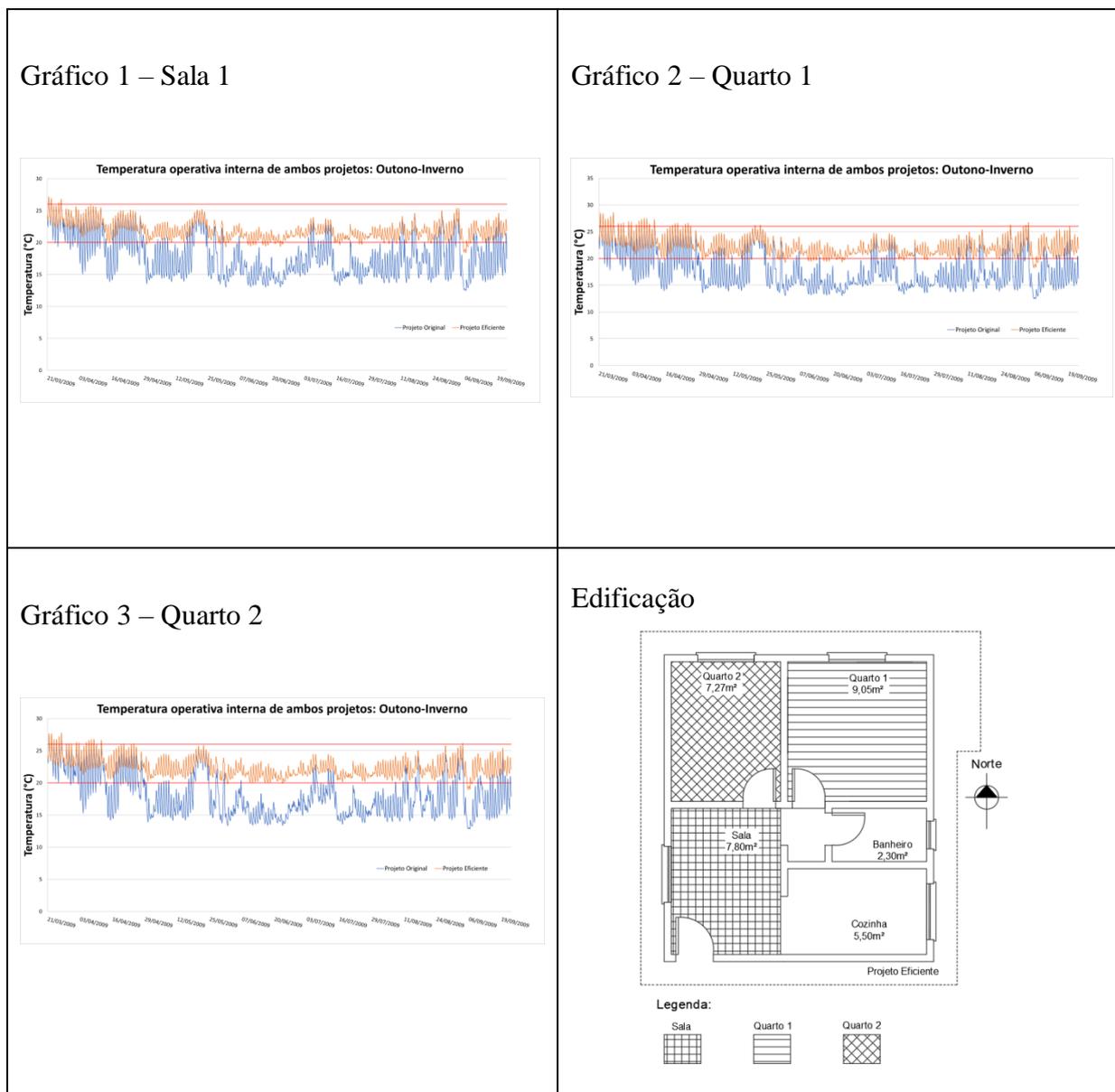
Neste trabalho foi aplicado o estudo dos condicionantes bioclimáticos para uma residência unifamiliar popular, na região de Alegrete-RS, sugeridos pela NBR 15220 (2005b), como base para a composição de estratégias para condicionamento passivo, buscando o aumento de conforto térmico frente as grandes variações climáticas ao longo do ano. Os resultados alcançados são decorrentes da simulação computacional dos projetos, baseados na metodologia de modelagem da envoltória do RTQ-R (2010).

Figura 43: Resumo gráfico dos resultados para o período de primavera-verão.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 44: Resumo gráfico dos resultados para o período de outono-inverno.



Fonte: Acervo do autor.

Observando-se as figuras 42 e 43, com os resultados alcançados, conclui-se que para edificações populares pode-se alcançar a faixa de conforto em ambas as estações mediante a aplicação das sugestões da NBR 15220 (2005b). Conforme consta nesta Norma, o período em que a edificação apresentou maior desconforto durante o ano foi no frio, o que foi possível ser contornado através da aplicação das estratégias. O isolamento da cobertura, o acréscimo de inércia das paredes internas, a correta orientação solar dos cômodos e suas respectivas

superfícies envidraçadas tiveram impacto suficiente nas trocas térmicas, resultando em ganhos de calor expressivos entorno de 6°C.

Para os períodos de calor, a NBR 15220 (2010) recomenda que apenas a ventilação natural pode-se alcançar o conforto térmico, o que observando os resultados, conclui-se que não houve grandes ganhos de resfriamento, mesmo fazendo o uso correto das áreas de aberturas. Ainda assim, a edificação apresentou um comportamento térmico dentro dos limites de conforto utilizados. O baixo impacto das estratégias de resfriamento deve-se ao fato da impossibilidade de operação das proteções solares (persianas) em função da complexidade da modelagem destas na atual pesquisa.

Em virtude dos fatos mencionados, observa-se que os projetos de conjuntos habitacionais populares sofrem grande prejuízo de conforto térmico em seus ambientes, já que seu modelo de execução utiliza um projeto arquitetônico único, onde não considera as condições climáticas de cada residência específica.

Por fim, vale destacar a importância do gerenciamento das estratégias passivas de condicionamento térmico desde a concepção do projeto arquitetônico, para que se possa garantir a sua correta adequação de acordo com a zona bioclimática.

Portanto, como recomendações para trabalhos futuros, seria interessante a operação das demais estratégias as quais não foram consideradas na simulação computacional, como a operação de persianas e da parede trombe, as quais podem elevar substancialmente os resultados já alcançados.

8. REFERÊNCIAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. Standard 189.1: Standard for the Design of High-Performance Green Buildings. Atlanta, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASTRONOO. Obliquidade da Terra. 2013. Disponível em: <<http://www.astronoo.com/pt/artigos/obliquidade-da-terra.html>>. Acesso em: 12 de abril de 2019.

BROWN, G. Z., DEKAY, M. Sol, Vento e Luz: Estratégias para o Projeto de Arquitetura. Bookman Companhia. 2ª Ed. São Paulo, 2004.

BURIOL, G. A. Cartas mensais e anuais das temperaturas médias, das médias das temperaturas máximas e das médias das temperaturas mínimas do Estado do Rio

Grande do Sul. Revista do centro de Ciências Rurais. Suplemento v.9, p 1-43. Santa Maria, 1979.

CAVALCANTI, F. S.; LUKIANTCHUKI, M. A.; ANDRADE, N.; PAIVA, R. C.; CARAM, R. M. **Parede trombe como estratégia passiva promotora de eficiência energética em São Carlos, SP.** IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Juiz de Fora, 2011.

CIB, **Conseil International du Bâtiment.** Agenda 21 on sustainable construction. CIB Report Publication 237. Netherlands, 1999. 120 p. ISBN 90-6363-015-8.

CÓDIGO DE OBRAS MUNICIPAL DE ALEGRETE. Lei nº 1334 art. 122º. Alegrete, 17 de setembro de 1979.

CORREA, C. B. **Arquitetura bioclimática: Adequação do projeto de arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** Portal Vitruvius, 2002. Disponível em:<<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/02.004/1590>>. Acesso em: 25 de maio de 2019.

CUNHA, E. G. **Análise do modelo de adaptação da Norma Alemã EnEv 2007 para o cálculo de carga térmica de aquecimento para a cidade de Porto Alegre, RS, com base em simulação computacional com Software EnergyPlus.** 13ª Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, 2010.

CUNHA, E. G. **Elementos da arquitetura de climatização natural.** 1ª Ed. UPF Editora, Passo Fundo, 2003.

DONIDA, M. M. **Avaliação da ventilação e insolação em edificações na região de Bauru – SP.** Dissertação (Mestre em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2002.

DUMKE, E. M. S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social.** Centro Federal de Educação Tecnológica - PR. Curitiba, 2002.

EUROSYSTEM. **Catálogo do produto.** Disponível em: <<https://eurosystem.com.br/produto/janelas-de-pvc/>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

FANGER, P.O. Thermal Comfort. McGraw Hill Book Company. New York, 1970.

FORUM DA CASA. Disponível em: <<https://forumdacasa.com/discussion/52536/9/moradia-t4-por-100-mil-euros-em-construcao/>>. Acesso em: 28 de maio de 2019a.

FORUM DA CASA. Disponível em: <<https://forumdacasa.com/discussion/43710/parede-de-trombe/>>. Acesso em: 05 de maio de 2019b.

FROTA, A. B., SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico.** São Paulo. Studio Nobel, 2019.

GELLER, H. **O Uso Eficiente da Eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil.** INEE: ACEEE. Rio de Janeiro, 1994.

GOULART, S., PITTA, T. **Advanced Topics in Bioclimatology to Building Design, Regarding Environmental Comfort.** PPGEC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1994.

GREEN BUILDING COUNCIL. Anuário 2015: certificações. **Revista GBC Brasil**, v. 2, n. 4, 2015. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/revistas.php>>. Acesso em: 10 abril 2019.

GRIGOLETTI, G. C., FLORES, M. G., SANTOS, J. C. P. **Tratamento de dados climáticos de Santa Maria, RS, para análise de desempenho térmico de edificações.** Ambiente Construído. Porto Alegre, 2016.

HAAG, R., SOARES, R. S., TOMASZEWSKI G. A., BRAZIL, C., GASPARIN, F. P. , SILVA, A. B. **Atlas Solar do Rio Grande do Sul.** Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

INMET. **Normais Climatológicas.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas/>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

INMETRO - **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R.** INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Eletrobrás, 2010.

INMETRO –Anexo da Portaria n. 372/2010: **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos – RTQ-C.** Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2010a.

INMETRO –Anexo da Portaria n. 449/2010: **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R.** Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2010b.

INMETRO. **Catálogo de Propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros- Anexo V.,** Portaria n° 50/2013.

JABER, S.; AJIB, S. **Optimum design of Trombe wall system in Mediterranean region.** Solar Energy, 2011.

KRUGER, E.; SUZUKI, E.; MATOSKI, A. **Evaluation of a trombe wall system in a subtropical location.** Energy and Building. 2013.

LAMBERTS, R., TRIANA, M. A. **Levantamento do estado da arte: Energia.** Tecnologias para construção habitacional mais sustentável - Projeto Finep 2386/04. São Paulo, 2007.

LAMBERTS, R., XAVIER, A. A. P., GOULART, S. **Conforto e Stress Térmico.** Apostila do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2008.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ª Ed. ProLivros. Rio de Janeiro, 2014.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto e Stress Térmico**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2008.

MACIEL, A. A. **Integração de Conceitos Bioclimáticos ao Projeto Arquitetônico**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MACIEL, A. A., ANDRADE, S. F., GUGEL, E. C., BATISTA, J. O., MARINOSKI, D. L., LAMBERTS, R. **Projeto Casa Eficiente: demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar**. 11º Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 2006.

MASCARÓ, L. R. **Energia na Edificação: Estratégia para minimizar seu consumo**. 1ª Ed. Editora Parma Ltda. São Paulo, 1985.

MATOS, M. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

MENDES, N.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2005.

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

MORELLO, A. **Avaliação do Comportamento Térmico do Protótipo Habitacional Alvorada**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 1989.

OLGYAY, V. **Design With Climate, Bioclimatic Approach to Architecture Regionalism.** Princeton University. New Jersey, 1963.

OLIVEIRA, L.; SILVA, A. C. S. B.; PINTO, M. M. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da nbr 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2.** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió, 2014.

PAPST, A. L. **Diretrizes Bioclimáticas para Estruturação do Programa de Necessidades.** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, 2006.

PERSIANASJOTTAFLX. **Persiana Externa.** Disponível em: <<http://www.persianasemaopaulo.com.br/persiana-externa-automatizada>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

PORTAIS UFG. **Classificação climática de Köppen- Geiger.** Disponível em: <https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica___o_Clim__tica_Koppen.pdf>. Acesso em: 21 de outubro de 2019.

POUEY, J. A. **Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com Avaliação por Simulação Computacional.** Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011.

PRADO, D. F., DIAS, B. N., ALMEIDA, B. F., MANCINI, E. L. A. R. **Estudo do “Minha Casa, Minha Vida” e análise da implantação do programa no município de Alegrete-Rs.** Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia. Alegrete, 2014.

PROCELINFO. **Apresentação PROCEL Edifica.** 2006a. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>>. Acesso em: 15 de abril de 2019.

PROCELINFO. **Sobre o programa PROCEL.** 2006b. Disponível em:

<<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC%7D>>. Acesso em: 15 de abril de 2019.

PT.WEATHERSPARK. **Condições Meteorológicas Médias de Alegrete**. Disponível em:<<http://pt.weatherspark.com/y/29356/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Alegrete-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

QUADRI. **Quadri Esquadrias em PVC Produtos**. Disponível em: <<http://www.quadriesquadriasempvc.com.br/detalhes.php?vantagensdopvc&id=21116>>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. 2ª Ed. D.C. Luzzatto Editores. Porto Alegre, 1986.

RORIZ, M. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações - **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. UFSCar, São Carlos, 2012.

RORIZ, M. **Conforto e desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2008.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares**. 5º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, 1999.

SANCHES, F. O., VERDUM, R., FISCH, G. **Estudo de tendência de chuvas de longo prazo**. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Taubaté, 2013.

SANTOS, C. A. **Avaliação de Desempenho Térmico: Edificações de Conjuntos Habitacionais Multifamiliares de Alegrete/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2018.

SANTOS, J. C. P.; KOTHE, K. K.; MOHAMAD, G.; VAGHETTI, M. A. O.; RIZZATTI, E.

Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira. Revista Matéria. Santa Maria, 2015.

SARTORI, M. G. B. **A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico.** Terra Livre. São Paulo, 2003.

SORGATO, M. J., MELO, A. P., MARINOSKI, D. L., LAMBERTS, R. **Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais.** 2014. Ambiente Construído, Porto Alegre.

SUNEARTHTOOLS. **Carta Solar de Alegrete.** Disponível em: <https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt>. Acesso em: 21 de maio de 2019.

SZOKOLAY, S.V. **Thermal Design of Buildings.** Raia Education Division. Austrália, 1987.

TRISOFT. **Catálogo do produto.** Disponível em: <<https://www.trisoft.com.br/trisoft-tem-alternativa-verde-para-isolamento-termo-acustico-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

VAGHETTI, M. **Arco Jornalismo Científico e Cultural.** 2019. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/arco/Imprensa/NoticiaImprensa.php?Id_Noticia=123>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas.** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Curitiba, 2003.