

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Emerson Limberger Madruga

**DESEMPENHO TÉRMICO: COMPARATIVO DE
EDIFICAÇÕES EM *LIGHT STEEL FRAMING* COM
EDIFICAÇÕES EM BLOCO CERÂMICO ATRAVÉS DE
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Porto Alegre
junho 2016

EMERSON LIMBERGER MADRUGA

**DESEMPENHO TÉRMICO: COMPARATIVO DE
EDIFICAÇÕES EM *LIGHT STEEL FRAMING* COM
EDIFICAÇÕES EM BLOCO CERÂMICO ATRAVÉS DE
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira
Coorientador: Maurício Carvalho Ayres Torres

Porto Alegre
junho 2016

EMERSON LIMBERGER MADRUGA

**DESEMPENHO TÉRMICO: COMPARATIVO DE
EDIFICAÇÕES EM *LIGHT STEEL FRAMING* COM
EDIFICAÇÕES EM BLOCO CERÂMICO ATRAVÉS DE
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelos Orientadores e pela Coordenadora da atividade de ensino Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2016

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira
Dra. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul
Orientadora

Mauricio Carvalho Ayres Torres
Dr. pela Universidad Politécnica de Cataluña
Coorientador

Profa. Luciani Somensi Lorenzi
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira
(UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Mauricio Carvalho Ayres Torres
(UNISINOS)
Dr pela Universidad Politécnica de Cataluña

Profa. Ana Paula Kirchheim
(UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Tulio Vinicius Petter
(Prática Construções)
Engenheiro Civil

Dedico este trabalho aos meus pais, Jorge e Saete, que sempre me apoiaram e me incentivaram a buscar os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, em especial aos meus pais, Jorge e Salete, pelo exemplo de vida, educação, dedicação e amor, por acreditarem em mim e me apoiarem nos momentos mais difíceis.

Agradeço ao meu irmão que sempre me apoiou desde início da vida acadêmica.

Agradeço aos meus orientadores, Cristiane Sardin Padilla de Oliveira e Mauricio Carvalho Ayres Torres por toda a dedicação e paciência na elaboração deste trabalho. Sempre dispostos a transmitir seus conhecimentos e ajudar a solucionar as dificuldades que surgiram.

Agradeço ao Engenheiro Tulio Vinicius Petter, por me apresentar o *Light Steel Framing* e os conceitos de sustentabilidade, pelos materiais e obras disponibilizadas para poder desenvolver esse trabalho.

Agradeço aos colegas da empresa Pratica por toda ajuda.

Agradeço a todos os amigos que de alguma forma me ajudaram a chegar nesse momento.

Em todas as coisas o sucesso depende de uma preparação
prévia, e sem tal preparação o falhanço é certo.

Confúcio

RESUMO

A preocupação com a natureza vem crescendo junto à população, conseqüentemente a indústria da construção civil começa a ser exigida em desenvolver empreendimentos mais sustentáveis que atendam a padrões mais rígidos. Entre as normas que evoluíram neste cenário está a norma de desempenho, a NBR 15575/2013. Este trabalho visa comparar um sistema construtivo amplamente aceito em países desenvolvidos o *light steel framing* (LSF) e o sistema construtivo tradicionalmente utilizado no Brasil com estrutura de concreto armado e paredes em alvenaria cerâmica. O primeiro possui alto grau de industrialização com técnicas sustentáveis e filosofia de racionalização integrada a todas etapas. Já o sistema construtivo tradicionalmente utilizado no país ainda segue produção artesanal, com grande índice de desperdícios e dificuldade para uniformizar a produção. Contudo, o LSF foi concebido em países de clima temperado, onde fazem uso do fechamento do tipo EIFS, em que a principal preocupação é o frio. Bem diferente do clima brasileiro caracterizado em grande parte do território por clima quente, úmido e com altas variações térmicas durante o dia. Por isso, este trabalho visa a comparação de ambos os sistemas quanto ao desempenho térmico, baseando-se na norma de desempenho e fazendo uso de simulação computacional para a avaliação. A partir da revisão da literatura foram estudados os diversos itens do sistema LSF, a NBR 15.575/2013, NBR 15.220/2005 e o programa para realizar a simulação computacional. Podendo com isso, definir as diversas propriedades térmicas dos materiais que foram utilizados. Com os *softwares Sketch Up* e *Open Studio* modelou-se a edificação e utilizou-se o programa *EnergyPlus* para inserir as propriedades dos materiais. Foram realizados os cálculos de transmitância térmica, de capacidade térmica e de atraso térmico das paredes externas para ambos os sistemas e das coberturas para dois tipos de telhados, os resultados foram comparados com a norma de desempenho. Após a simulação de 8 modelos avaliou-se segundo a NBR 15.575 a aprovação ou não para dias de inverno e verão e também a adequação a critérios de conforto térmico. Os resultados mostraram que todos os modelos atingiram o índice satisfatório ou superior no dia típico de inverno, sendo o LSF o sistema de desempenho superior nessas condições. Já para dia de verão, o LSF não conseguiu atingir o mínimo no segundo pavimento enquanto o sistema tradicional sim, isso provavelmente se deve a alta variação térmica do dia e a arquitetura desenvolvida para regiões frias. No conforto térmico foi avaliado o ambiente com o pior desempenho térmico e ambos sistemas conseguiram se manter por grande parte do dia dentro da zona de conforto no dia de verão saindo em algumas horas antes e após a máxima, mas para o dia de inverno nenhum modelo

conseguiu entrar na faixa de conforto térmico demandando outra estratégia climática. Contudo, ambos os dias que a norma exige a avaliação, são os dias que possuem a temperatura máxima do ano para o verão e a temperatura mínima do ano para o inverno e tais dias podem não representar os dias típicos no restante do ano.

Palavras-chave: *Light Steel Framing*. EIFS. NBR 15.575
Simulação Computacional para Avaliação de Desempenho Térmico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama	21
Figura 2 – Primeiro protótipo de LSF no ano de 1933	23
Figura 3 – Pré-montagem de painéis LSF	25
Figura 4 – Detalhe da fixação do LSF no <i>radier</i>	27
Figura 5 – Residência com cobertura de telha <i>shingle</i>	33
Figura 6 – Colocação de placa de OSB sobre a estrutura metálica	33
Figura 7 – Comparativo entre parede de blocos e parede em LSF	36
Figura 8 – Zoneamento bioclimático brasileiro	40
Figura 9 – Estratégias condicionamento térmico da carta bioclimática	40
Figura 10 – Carta zona bioclimática um para cidade de Caxias do Sul.....	41
Figura 11 – Conforto térmico de Canela.....	42
Figura 12 – Estratégias de condicionamento para Canela.....	42
Figura 13 – Zona de conforto térmico e temperatura de Canela	43
Figura 14 – Localização do condomínio	48
Figura 15 – Implantação do condomínio.....	48
Figura 16 – Implantação Casa.....	49
Figura 17 – Perspectiva renderizada da edificação.....	50
Figura 18 – Planta baixa térreo	51
Figura 19 – Planta baixa segundo pavimento	51
Figura 20 – Corte da edificação	52
Figura 21 – Detalhe em planta baixa da parede de tijolos cerâmicos	54
Figura 22 – Detalhe em planta baixa da parede em LSF	54
Figura 23 – Projeto estrutural gerado em 3D	55
Figura 24 – Laje do segundo pavimento	56
Figura 25 – Detalhe da laje adota no primeiro pavimento	57
Figura 26 – Detalhamento parede externa do térreo	58
Figura 27– Composição parede externa	59
Figura 28 – Aplicação das chapas OSB e XPS	60
Figura 29 – Esquema com ventilação entre beiral e cumeeira	60
Figura 30– Edificação concluída	61
Figura 31 – Imagem do <i>DesignBuilder</i>	63
Figura 32 – Edificação modelada no <i>Skecthup</i> com OS	63
Figura 33 - Pontos de arquivo	72

Figura 34 – Cidades de Gramado e Canela	72
Figura 35 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala	89
Figura 36 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	89
Figura 37 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala	91
Figura 38 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	91
Figura 39 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala	93
Figura 40 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	94
Figura 41 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala	95
Figura 42 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	95
Figura 43 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala	97
Figura 44 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	97
Figura 45 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala	99
Figura 46 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	100
Figura 47 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala	101
Figura 48 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	101
Figura 49 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala	103
Figura 50 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	103
Figura 51 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala	104
Figura 52 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	105
Figura 53 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	107
Figura 54 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	107
Figura 55 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	109
Figura 56 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	110
Figura 57 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	110
Figura 58 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Áreas por ambiente da edificação	52
Tabela 2 – Tipos de Modelos	64
Tabela 3 – Especificação dos Materiais	65
Tabela 4 – Resistência de câmaras de ar	66
Tabela 5 – Características dos vidros utilizados	67
Tabela 6 – Resistências superficiais	74
Tabela 7 – Câmara de ar	74
Tabela 8 – Resultados da resistência térmica parede LSF	75
Tabela 9 – Resultado resistência térmica do tijolo 6 furos quadrados	76
Tabela 10 – Resistência e transmitância térmica dos fechamentos	77
Tabela 11 – Comparativo da transmitância térmica com a norma	78
Tabela 12 – Resistências superficiais	78
Tabela 13 – Resistências camada de ar das coberturas	78
Tabela 14 – Resistências superfície a superfície das coberturas <i>shingle</i>	79
Tabela 15 – Resistências superfície a superfície das coberturas cerâmica	79
Tabela 16 – Resistências ambiente a ambiente e transmitância térmica das coberturas ..	80
Tabela 17 – Avaliação da transmitância térmica das coberturas	80
Tabela 18 – Capacidade térmica das paredes	82
Tabela 19 – Avaliação da capacidade térmica das paredes	82
Tabela 20 – Capacidade térmica das coberturas	83
Tabela 21 – Atraso térmico das paredes	85
Tabela 22 – Atraso térmico das coberturas	86
Tabela 23 – Dias típicos	87
Tabela 24 – Critério de desempenho dia de verão	88
Tabela 25 – Avaliação de desempenho térmico	90
Tabela 26 – Avaliação de desempenho térmico	92
Tabela 27 – Avaliação de desempenho térmico	94
Tabela 28 – Avaliação de desempenho térmico modelos 4 e 8	96
Tabela 29 – Critério de desempenho dia de inverno	98
Tabela 30 – Avaliação de desempenho térmico modelos 1 e 5	100
Tabela 31 – Avaliação de desempenho térmico modelos 2 e 6	102
Tabela 32 – Avaliação de desempenho térmico modelos 3 e 7	104
Tabela 33 – Avaliação de desempenho térmico modelos 4 e 8	106

Tabela 34 – Zona de conforto térmico	108
--	-----

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

EIFS – *External Insulation Finishing System*

EPS – *Expanded polystyrene*

LSF – *Light Steel Framing*

NBR – Norma Brasileira

OSB – *Oriented Strand Board*

PVC – *Polyvinyl Chloride*

RF – Resistente a Fogo

RU – Resistente a Umidade

ST - *Standard*

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

XPS – *Extruded polystyrene*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 DIRETIZES DA PESQUISA	18
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA	18
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	18
2.2.1 Objetivo Principal	18
2.2.2 Objetivos Secundários	18
2.3 PRESSUPOSTO	19
2.4 PREMISA	19
2.5 DELINEAMENTO	19
2.6 LIMITAÇÃO	19
2.7 DELINEAMENTO.....	19
3. LIGHT STEEL FRAMING	22
3.1. HISTÓRICO	22
3.2 CONCEITO	24
3.3 FUNDAÇÃO	26
3.4 PAINÉIS	27
3.5 ISOLAMENTO TÉRMICO	28
3.6 FECHAMENTO	29
3.6.1 Painéis OSB	29
3.6.2 Argamassa	29
3.6.3 EIFS	30
3.6.4 Sidding	31
3.6.5 Placa Cimentícia	31
3.6.6 Chapa de Gesso Acartonado.....	32
3.7 COBERTURA	32
3.8 LAJES DE ENTREPISO	34
4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO	35
4.1 DEFINIÇÃO	35
4.2 MÉTODO DE AVALIAÇÃO	36
4.2.1 NBR 15575/2013	36
4.2.1.1 Simulação computacional na NBR 15575/2013	37
4.2.1.2 Medição <i>in loco</i>	38
4.2.2 NBR 15220/2005 e conforto térmico	38

4.3 ENERGYPLUS	43
4.3.1 Conceito e História do <i>EnergyPlus</i>	43
4.3.2 Modelagem e Avaliação com Programa <i>EnergyPlus</i>	45
5 PROJETO PARA ESTUDO	47
5.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E TERRENO	47
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	49
5.2.1 Projeto Arquitetônico	50
5.2.2 Sistema Empregado na Obra	53
5.2.2.1 Compatibilização projeto arquitetônico com estrutura LSF.....	53
5.2.2.2 Execução	57
5.3 ADAPTAÇÕES E COMPATIBILIZAÇÕES PARA MODELAGEM	61
5.4 METODOLOGIA	62
5.4.1 Modelagem	62
5.4.1.1 Modelos de Simulação	64
5.4.1.2 Caracterização dos materiais da simulação	65
5.4.1.3 Vedações	68
5.4.1.3.1 Parede <i>Light steel framing</i>	68
5.4.1.3.2 Parede Convencional	68
5.4.1.3.3 Coberturas	68
5.4.1.3.4 Esquadrias	69
5.4.2 Definições gerais da simulação	69
5.4.2.1 Arquivo IDF	69
5.4.2.1.1 Parâmetros de simulação.....	69
5.4.2.1.2 Zonas térmicas	70
5.4.2.1.3 Rotinas de funcionamento e cargas térmicas	70
5.4.2.2 Arquivo EPW	71
6 RESULTADO E ANÁLISE DE ACORDO COM AS NORMAS DE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO	73
6.1 PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO	73
6.1.1 Transmitância Térmica	73
6.1.1.1 Parede	74
6.1.1.2 Coberturas	78
6.1.2 Capacidade Térmica	80
6.1.2.1 Parede	80
6.1.2.2 Coberturas	82

6.1.3 Atraso Térmico	83
6.1.3.1 Parede	83
6.1.3.2 Coberturas	85
6.2 PROCEDIMENTO DE SIMULÇÃO	86
6.2.1 Simulação dos dias típicos	86
6.2.1.1 Simulação: Dias Típico de verão	87
6.2.1.2 Comparação considerando tipo de vidro, no dia de verão	96
6.2.1.3 Simulação: Dias Típico de inverno.....	98
6.2.1.4 Comparação considerando tipo de vidro, no dia de inverno	106
6.3 CONFORTO TÉRMICO	108
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
7.1 CONCLUSÕES	112
7.2 SUGESTÕES	114
REFERÊNCIAS	115
APÊNDICE A	118

1 INTRODUÇÃO

A crise energética vivida pelo Brasil leva ao atual cenário no qual a energia elétrica está cada vez mais cara para o consumidor final, assim como para o Estado. Apesar da crise, os sistemas de refrigeração se tornam cada vez mais acessíveis ao público em geral, onerando ainda mais o sobrecarregado sistema elétrico do País. Somado ao quadro, tem-se um sistema construtivo, hoje amplamente utilizado, no qual inexistem ambas as preocupações: atenuar a propagação de calor para dentro da habitação e isolar o ambiente interno do externo.

A partir deste panorama, sistemas construtivos com uma elevada eficiência energética, tanto na produção quanto na vida útil da residência, ganham cada vez mais espaço no mercado. Porém, o desconhecimento do sistema do *light steel framing* (LSF) resulta – entre outras – na ideia equivocada de estrutura “frágil” em comparação a paredes de blocos cerâmicos, dificultando sua adoção em construções residenciais. Contudo, cabe ressaltar, uma crescente aceitação do LSF em construções comerciais, por se tratar de um sistema cujo prazo de execução é relativamente menor quando comparado aos sistemas tradicionalmente empregados no Brasil.

Visando melhorar o desempenho térmico de edificações pode-se através de simulação computacional, avaliar diferentes cenários, sem grandes gastos. Gomes (2007) explica sobre as simulações com o *software EnergyPlus*:

O *EnergyPlus* possibilita grande flexibilidade nas simulações e maior precisão na simulação de ambientes condicionados naturalmente. A modelagem matemática empregada no *EnergyPlus* utiliza o menor número de hipóteses simplificadoras entre todos os *softwares* disponíveis, implicando na melhor representação física das trocas térmicas no interior dos ambientes em modelos de simulação detalhada. Este *software* também permite a solicitação de diversos relatórios, incluindo a temperatura interna de cada zona térmica (LBNL, 2006; PEREIRA, 2004¹).

Programas, como o *EnergyPlus*, poderiam auxiliar em tomadas de decisões na elaboração do projeto tanto para residências em LSF, quanto para edificações em alvenaria de bloco cerâmico não estrutural. Melhorando o desempenho térmico e verificando a possível

¹ PEREIRA, I. M. **Novas metodologias para simulação energética de edificações**: estudo de caso, 2004. 231 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

necessidade de condicionadores de ar nos ambientes. Porém, como Gomes (2007, p.77) explica, “Embora sejam muitos programas e informações disponibilizados, a aplicação prática dessas ferramentas tem sido pouco expressiva devido ao tempo necessário para treinamento do usuário.”.

Este trabalho visa verificar se o sistema LSF consegue atenuar trocas térmicas do interior da residência com o meio externo ao longo do ano, em comparação com o desempenho térmico de uma edificação em alvenaria de blocos cerâmicos sem função estrutural. Para o comparativo far-se-á simulação computacional. Também será verificado se o LSF atende a nova norma de desempenho térmico da NBR 15575/2013. Com os resultados, espera-se incentivar a adoção de sistemas construtivos com maior eficiência térmica pelas construtoras e pelos consumidores finais. Bem como a importância do uso de simuladores de desempenho térmico de edificações ainda na fase de projeto.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: como, comparativamente, são os resultados relativos a desempenho e conforto térmico, frente às exigências da NBR 15575/2013 enquanto a eficiência energética, de uma residência executada ora pelo sistema LSF ora pelo sistema com blocos cerâmicos em paredes simples?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é o comparativo de desempenho térmico entre uma residência construída em *light steel framing* e outra com alvenaria de blocos cerâmicos sem função estrutural, através de simulação computacional com o programa *EnergyPlus*, considerando-se os preceitos da NBR 15575/2013 quanto ao desempenho térmico para dispor de conforto térmico adequado.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) apresentação da metodologia para execução da simulação computacional com o programa *EnergyPlus* de uma residência construída em *light steel framing* e outra com alvenaria de blocos cerâmicos;
- b) descrição do sistema construtivo *light steel framing*;

- c) detalhamento de todo o comportamento térmico de cada uma das edificações estudadas.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que o programa computacional *EnergyPlus*, previsto para avaliação do desempenho térmico de edificações pela NBR 15575/2013, é válido para o estudo proposto.

2.4 PREMISA

O trabalho tem por premissa a necessidade de melhoramento do desempenho térmico dos sistemas construtivos auxiliando na sustentabilidade das edificações.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a comparação do desempenho térmico de edificação executada com dois possíveis sistemas construtivos: LSF e paredes simples de blocos cerâmicos.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) projeto arquitetônico único – serão duas casas de dois pavimentos localizadas em Gramado/RS;
- b) informações de características térmicas dos materiais fornecidas pelos fabricantes ou uso de estimativas comumente aceitas para os materiais;
- c) será feita somente análise computacional sem realizar medição *in loco*, por dificuldade de se obter equipamentos com alta precisão e aferidos para medição, bem como o controle de fatores intervenientes, dificultando a validação dos resultados;
- d) uso de apenas um *software*, o *EnergyPlus*, para o comparativo de desempenho térmico das edificações.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) modelagem da edificação com sistema *light steel framing*;
- c) modelagem da edificação com sistema de alvenaria de bloco cerâmico não estrutural;
- d) introdução dos dados dos materiais usados no sistema LSF e execução do programa *EnergyPlus*;
- e) introdução dos dados dos materiais usados no sistema de alvenaria e execução do programa *EnergyPlus*;
- f) obtenção e comparação dos resultados obtidos através da simulação;
- g) conclusões.

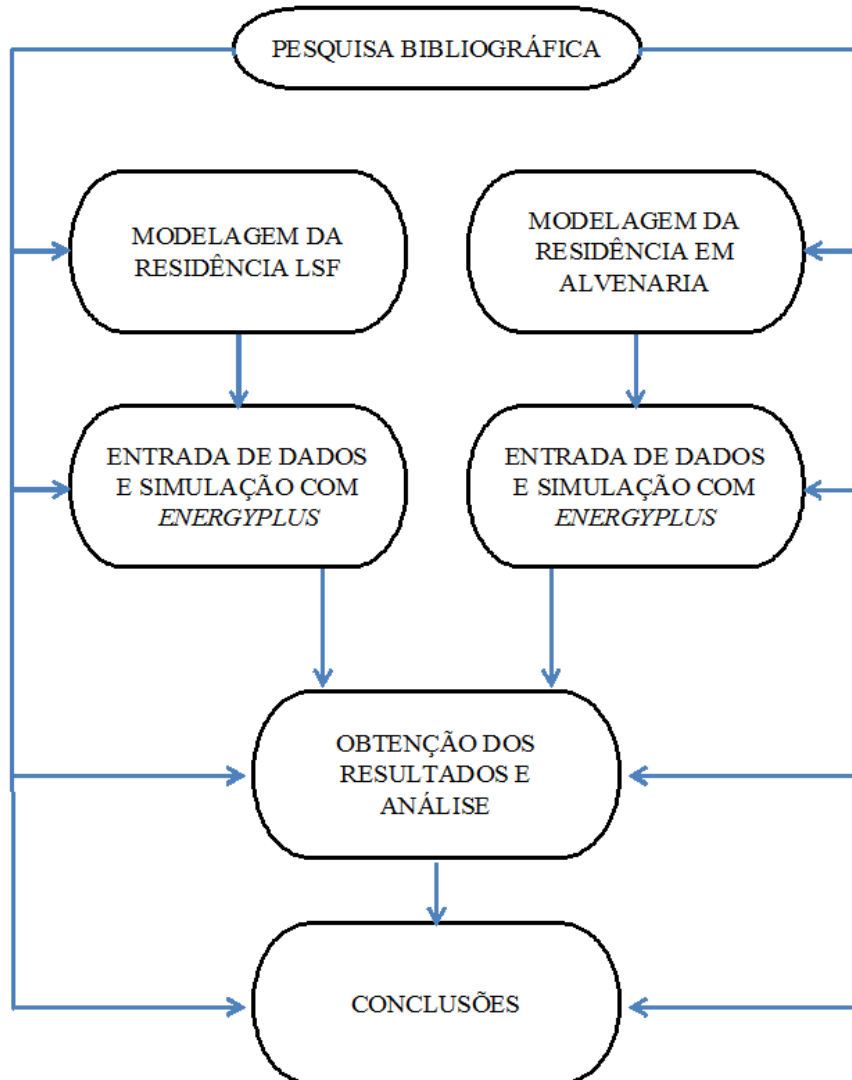
Inicialmente realizou-se a pesquisa bibliográfica, aprofundando-se no assunto proposto neste trabalho. Buscando o conhecimento necessário sobre os sistemas construtivos e também o *software* de simulação para avaliação de desempenho térmico. Isso foi feito através de pesquisas em livros, publicações em revistas, catálogos de fabricantes, manuais de fabricantes, trabalhos de conclusões, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Essa pesquisa seguiu por todo o período em que se foi realizado, principalmente devido à dificuldade de se dominar o *software EnergyPlus*.

Após obter conhecimento suficiente para utilizar o *EnergyPlus*, foi dado início a modelagem da edificação para os dois sistemas, sendo elaborado a modelagem nos programas *Sketchup* com o complemento *Open Studio* e a entrada de dados e simulações no *EnergyPlus*. Após a entrada de dados para caracterizar o clima da região em estudo, é realizada a entrada das características dos materiais de cada tipo de edificação com informações de propriedades térmicas nos catálogos de fabricantes, ou com dados obtidos de estudos em laboratório, ou ainda das normas correspondentes. Feito isso, iniciou-se a simulação numérica com o *software EnergyPlus* para após poder analisar o desempenho térmico de cada modelo de casa.

Terminada a fase de modelagem e execução do programa obtêm-se os resultados para os dois tipos de edificações. Com esses resultados é feito o comparativo entre as edificações e o comparativo com parâmetros da norma NBR 15575/2013. Analisando, primeiramente, se as residências atendem requisitos mínimos estipulados na norma citada e após, comparando através da plotagem dos dados obtidos para qual dos sistemas que irá se obter o maior

percentual de dias dentro da faixa de limites de conforto térmico para uma edificação na região da cidade de Gramado/RS sem a necessidade de condicionadores de ar ou outra fonte de calor.

Figura 1 – Diagrama



(fonte: elaborado pelo autor)

3 LIGHT STEEL FRAMING

3.1 HISTÓRICO

Iniciado o uso do sistema *Light Steel Framing* (LSF) na América do Norte, mais especificamente nos Estados Unidos, este ganhou destaque após a segunda guerra mundial, alavancado pelo desenvolvimento do aço galvanizado. Desde seu surgimento disputou o espaço com o sistema no qual foi inspirado, o *Wood Framing*, sistema semelhante que usa em suas paredes perfis de madeira ao invés de aço galvanizado, que perdeu espaço quando medidas ambientais restringiram a exploração das florestas que possuíam madeiras com melhor qualidade. Características como a homogeneidade dos perfis em comparação à madeira, bem como a maior industrialização, fazem que este sistema, LSF, ganhe cada vez mais espaço no mercado mundial da construção civil.

Crasto (2005, p. 9) cita que:

Apesar de ser considerada uma tecnologia nova, a origem do *Steel Framing* remonta ao início do século XIX (*Consul Steel*, 2002²). Na verdade, historicamente inicia com as habitações em madeira construídas pelos colonizadores no território americano naquela época. Para atender ao crescimento da população, foi necessário empregar métodos mais rápidos e produtivos na construção de habitações, utilizando os materiais disponíveis na região, no caso a madeira.

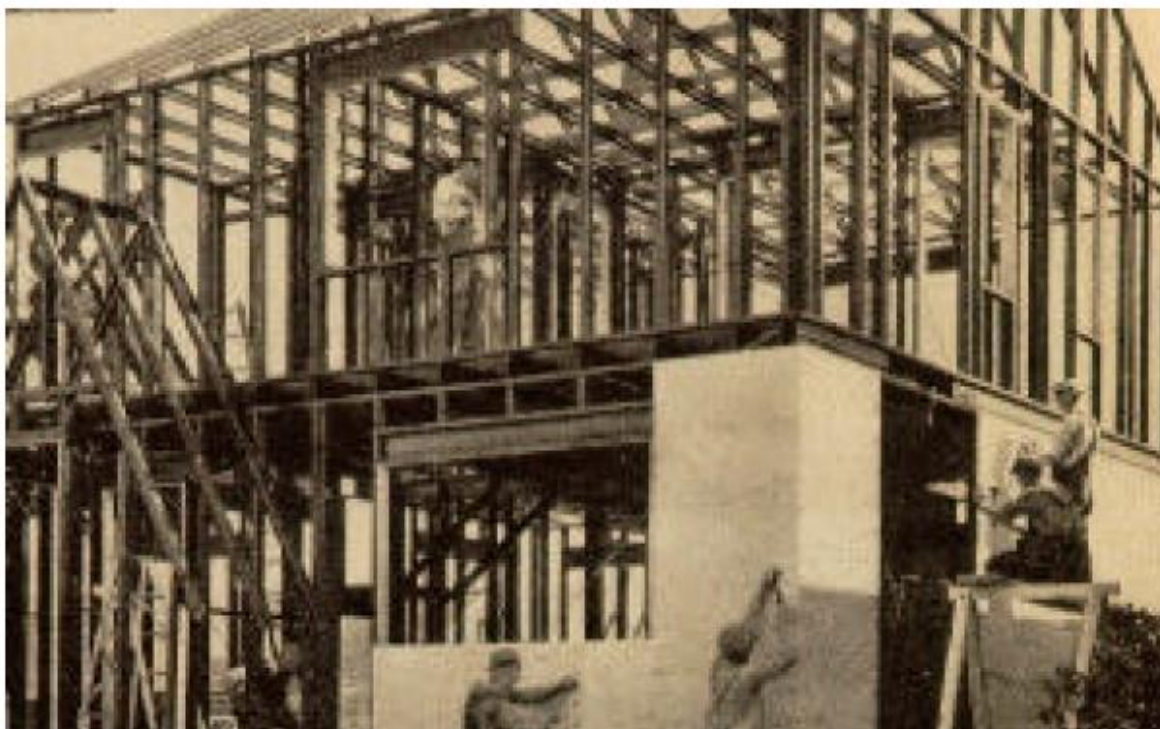
Já o *Light Steel Framing* teve sua primeira aparição somente no ano de 1933, alavancado pelo grande desenvolvimento da indústria do aço nos Estados Unidos, quando foi apresentado pela primeira vez como um protótipo de uma residência em *Steel Framing* com dois pavimentos na Exposição Mundial de Chicago nos Estados Unidos (CRASTO, 2005, p. 10).

Sua velocidade de construção fez com que o Japão adotasse este sistema como um método economicamente viável para a reconstrução do País após a segunda guerra mundial (CRASTO, 2005, p. 11). Por essa mesma característica e pelo bom desempenho em testes de abalos sísmicos, países como o Japão, EUA, Canada, Chile e Itália tem aumentado a participação deste sistema em seus mercados. Atualmente, a nação que possui o maior

² CONSUL STEEL. **Construcción com acervo leviano – Manual de Procedimento**. Buenos Aires: Consul Steel 2002. 1 CD-ROM. 258p

conhecimento de construção em perfis de aço leve é o Japão, onde o mercado deste sistema é altamente desenvolvido (CRASTO, 2005, p. 12).

Figura 2 – Primeiro protótipo de LSF no ano de 1933



(fonte: MARSHALL UNIVERSITY, 2005 *apud* CRASTO, 2005, p. 10)

Sobre o início da utilização LSF no Brasil Crasto (2005, p. 4–5) informa que ao final da década de 90 o setor da construção civil brasileira tornou-se mais favorável a entrada de novas tecnologias, alavancando o uso de *drywall*³. Com a aceitação deste sistema, construtoras do País iniciam a importação de kits pré-fabricados em LSF oriundos dos Estados Unidos. A autora ressalta que apesar de esses kits não serem adaptados ao clima e cultura brasileira, pode-se verificar as vantagens do uso de um sistema baseado no conceito de industrialização. Porém, afirma que a adequação ao clima e a arquitetura brasileira consiste em uma dificuldade para o estabelecimento do sistema no país.

Segundo Santiago (2008, p. 5) as principais utilizações do LSF no Brasil estão em construções unifamiliares de pequeno porte, sendo também utilizado, em menor escala, em

³ *Drywall* – Do Inglês, parede seca (tradução nossa). Refere-se a todas as chapas usadas no sistema.

outros tipos de construções como, hospitais, escolas, edifícios de até 4 pavimentos e *retrofit*. No entanto, a aplicação como elemento de fechamento vertical de fachadas em edifícios com aço convencional ou concreto, pratica muito comum em outros países ao redor do mundo, não é muito explorada no Brasil, se limitando a poucas construções, principalmente na região sul e sudeste do país.

3.2 CONCEITO

Na definição de Santiago (2008, p. 10), o *Light Steel Framing* é um sistema baseado em uma concepção racionalizada, que consiste em perfis leves em aço galvanizado conformados a frio capazes de resistir as cargas solicitantes de uma edificação. Estes perfis são montados em quadros divididos e dispostos como paredes de toda a edificação. Essa quantidade expressiva de quadros divide a carga de maneira que cada parcela resista a um pequeno percentual da carga total. Os principais perfis dos painéis são as guias horizontais e os montantes verticais. Adicionalmente aos painéis, o sistema também possui vigas de piso, vigas secundárias, tesouras de telhado, caibros, escadas, cintas e outros componentes. O LSF não consiste somente no sistema em aço leve, ele é um conjunto de materiais e soluções a partir da fundação, abrangendo fechamento de paredes, isolamento térmico e acústico, instalações hidráulicas, instalações elétricas e cobertura que possibilita a construção industrializada a seco com extrema rapidez (SANTIAGO, 2008, p. 12). O LSF e seus subsistemas permitem a construção em escala industrial no canteiro de obra ou de forma mais eficiente, através da construção dos painéis com as placas de fechamento sendo fixadas dentro da fábrica e posteriormente entregues na obra (figura 3). Além destes dois métodos de construção, o LSF permite a construção em módulos da edificação dentro da fábrica e entregues na obra já com os acabamentos, bastando unir os módulos para finalizar a obra. Este método de construção modular pode conferir maior rapidez na execução da obra, por praticamente não sofrer com as intempéries, apesar de poder necessitar uma logística mais complexa quando a construção dos módulos for distante da obra.

O LSF visa desde a sua concepção, o desempenho térmico da edificação, com sistemas de isolamento nas paredes, entrepisos e coberturas. No entanto, obviamente só pode garantir o desempenho superior em relação aos outros sistemas, se a execução do sistema LSF for bem realizada com precisão milimétrica. Em conjunto as esquadrias devem apresentar

estanqueidade e uma ótima interface de ligação com o sistema. Como Magalhães (2013, p. 36) explica:

O desempenho termoacústico das edificações em *Light Steel Frame* está intimamente ligado à qualidade de isolamento de seus sistemas de vedações verticais externas. Como são esses elementos que comandam as trocas de calor com o ambiente externo, suas propriedades térmicas, formas de execução e acabamentos são fundamentais para as melhorias de condições de habitabilidade da edificação como um todo.

Segundo Gomes (2007, p. 67) o LSF usa o conceito de multicamadas para o isolamento, onde se usam placas leves de fechamento preservando o espaço no miolo para se preencher com material isolante, normalmente lã de rocha ou lã de vidro. Quanto maior for o número de camadas maior será a capacidade de isolamento da parede, mas a eficiência depende das propriedades dos materiais ali aplicados. O autor também explica a possibilidade de empregar o chamado painel EIFS (*External Insulation and Finish System*) que contém painéis de poliestireno expandido (EPS) para isolar termicamente a edificação no lado externo da parede.

Figura 3 – Pré-montagem de painéis LSF



(fonte: foto do autor)

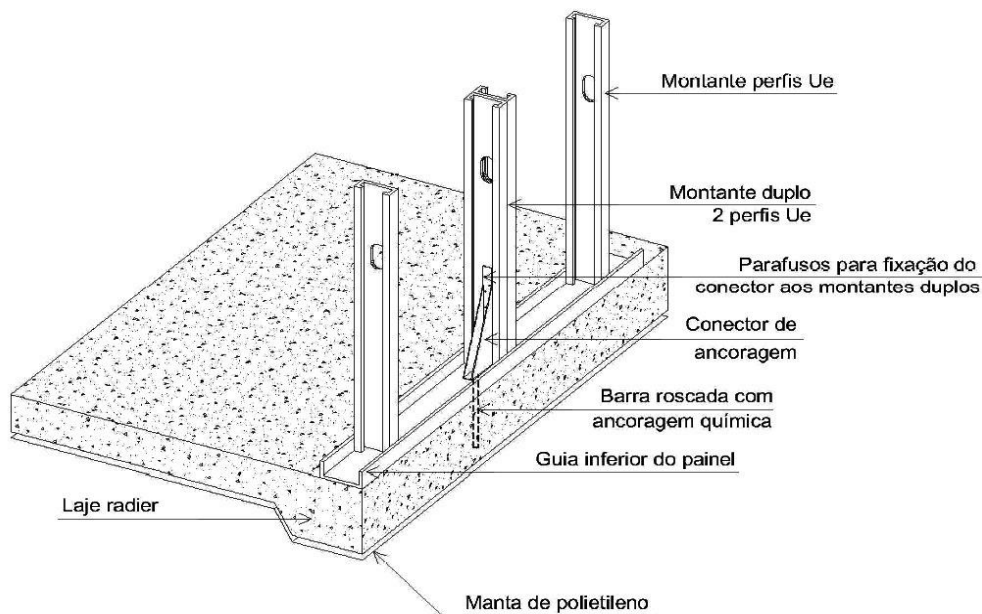
3.3 FUNDAÇÃO

Sobre as fundações para o sistema LSF, Trebilcock⁴ (1994 *apud* CRASTO, 2005) define que por se ter um sistema com painel estrutural que pesa somente 20% de uma parede equivalente em blocos, exige muito menos da fundação em comparação as construções em que a parede é constituída por blocos. O sistema segue o preceito de distribuir a carga uniformemente ao longo da estrutura descarregando uma carga continua ao longo de toda a fundação. Por ser uma distribuição uniforme, a fundação deverá ser continua, normalmente sendo usado o *radier* ou a sapata corrida. Mesmo sendo tipos de fundações comumente utilizadas na construção civil, os projetos e execução devem ser feitos com o máximo de cuidado para que a montagem dos painéis possa ocorrer de modo eficiente e com precisão.

Gomes (2005, p. 55) explica que o *radier*, é uma fundação de fácil execução por ser do tipo rasa onde seu funcionamento é como de uma laje de concreto armado contínua, com vigas no seu perímetro e onde os painéis estruturais descarregam a carga. Toda a carga que o *radier* recebe, depois é transmitida para o solo por toda a fundação.

A fixação dos painéis de LSF na fundação é feita a partir da ancoragem e para isto é definido no cálculo estrutural quais os tipos de ancoradores, as dimensões e o espaçamento entre eles, permitindo a fixação de toda a estrutura na fundação, impedindo movimentos pela ação do vento (CRASTO, 2005, p. 58). Segundo Gomes (2007, p. 55), normalmente é feita a ancoragem do tipo química com barra roscada, em que a barra fixa o conector de ancoragem e a guia inferior à fundação utilizada (figura 4). O conector de ancoragem também é fixo no montante para aumentar a estabilidade da estrutura de LSF.

⁴ TREBILCOCK, P.J. **Building design using cold formed steel sections:** na architect's guide. Berkshire:Steel Constructio Institute (SCI) Publication, 1994. 97p.

Figura 4 – Detalhe da fixação do LSF no *radier*

(fonte: CRASTO, 2005, p. 34)

3.4 PAINÉIS

Os painéis podem ser estruturais ou também não-estruturais. Quando são de função estrutural devem suportar as cargas oriundas da ação do vento, abalos sísmicos, sobrecargas de utilização e, sobretudo as cargas verticais vindas dos componentes acima deste painel (pisos, painéis e cobertura). A carga deve ser absorvida pelos montantes e transmitidas de um pavimento para o outro até chegar às fundações. Estes painéis podem estar tanto no perímetro externo da edificação, quanto internamente. Um quadro possui os montantes (elementos verticais do quadro) com perfis chamado Ue, já os perfis horizontais são chamados de guias e são perfis U. A modulação entre montantes normalmente é a cada 400 ou 600 mm, podendo ser de 200 mm em regiões que a carga prevista é muito alta (CRASTO, 2005, p. 40–41).

Já para painéis não-estruturais, Crasto (2005, p. 56) explica que estes não têm a função de suportar os carregamentos da estrutura, somente o peso próprio. São mais utilizados para paredes externas enquanto que para internas o mais comum é o uso do sistema *drywall* que usa perfis de espessura menor.

3.5 ISOLAMENTO TÉRMICO

Sobre isolamento Santiago (2008, p. 22):

Diferente de conceitos tradicionais de isolamento, onde a massa da parede é o fator determinante de seu desempenho, nas construções em LSF os isolamentos térmicos e acústicos baseiam-se no conceito de isolação multicamada, que consiste em combinar placas leves de fechamento, sendo o espaço entre elas preenchido com material isolante. Nesse conceito, diversas combinações podem ser feitas a fim de aumentar o desempenho do sistema, por meio de colocação de mais camadas de placas ou aumentando a espessura do material intermediário (isolante).

Esta explicação demonstra claramente a diferença entre o isolamento térmico no LSF e nas construções tradicionais, ainda que como feito no estudo feito por Pereira e Ghisi (2010, p. 27) da Casa Eficiente localizada na cidade de Florianópolis/SC. Neste trabalho, visando avaliar uma construção convencional, foi realizado um comparativo entre uma parede dupla de tijolos com lã mineral no meio e sem reboco com uma parede de tijolo simples com reboco em ambos os lados. Esse comparativo demonstrou que a transmitância térmica da primeira composição, a parede dupla com lã mineral entre paredes, é menor em relação à outra parede. No entanto, essa configuração aumenta muito o peso próprio da parede, onerando as lajes e as fundações. Além disso, o uso de uma parede dupla diminui o espaço interno de toda a residência.

Como já citado anteriormente também é possível fazer o uso do isolamento térmico pelo lado externo da residência com o sistema EIFS. Magalhães (2013, p. 36) explica “O EIFS é um sistema de acabamento com elevada capacidade de isolamento térmico, fornecendo, assim, além de um acabamento externo de qualidade, melhores condições de habitabilidade aos ambientes da edificação.”.

Além dos métodos citados acima existem outras maneiras para se melhorar a eficiência do isolamento térmico do sistema LSF. É possível alterar as características dos perfis metálicos aumentando tamanhos das almas dos montantes ou diminuindo a largura das mesas (Gomes, 2012, p. 28). Isso irá aumentar a camada de ar no interior da parede com o aumento das almas e diminuir o efeito de pontes térmicas ao reduzir o tamanho das mesas no perfil.

Gomes (2012) salienta que existe o fenômeno chamado pontes térmicas, no qual a troca de calor ocorre entre os meios, essa transição pode ocorrer através dos montantes. Medidas como isolamento entre montantes e placas ou furação de partes dos perfis são medidas usadas para evitar as pontes térmicas, garantindo o isolamento térmico da residência.

3.6 FECHAMENTO

O sistema LSF usa quadros estruturais em aço leve que deve ser cobertos para se constituir a parede do sistema. Para isso, podem ser usadas chapas em múltiplas camadas configurando os fechamentos das paredes. As propriedades das chapas variam de acordo com a necessidade de utilização. Nos subitens a seguir serão descritas as principais placas utilizadas no fechamento do sistema construtivo em aço leve.

3.6.1 Painéis OSB

A utilização da placa OSB pode ser tanto para fechamento interno e externo das paredes, forros e pisos. Deve ser respeitada a carga limite de cada espessura de chapa e os painéis não podem ficar expostos a intempéries por longos períodos de tempo, obrigando o uso de outro revestimento por cima quando usado no lado externo. A principal utilização de painéis OSB é em fechamentos verticais e horizontais de edificações (CRASTO, 2005, p. 125 – 126).

Os fechamentos mais utilizados no Brasil para o lado externo são: painel OSB (*Oriented Strand Board*), sendo usado com revestimento argamassado, EIFS ou *siding* e a placa cimentícia. Enquanto no lado interno é usado o gesso cartonado (SANTIAGO, 2008, p. 21). No lado interno também pode-se combinar o OSB ao gesso cartonado dando uma maior resistência a paredes internas.

Quando utilizado no lado externo da edificação também é possível usar em conjunto com as chapas cimentícias, que não possuem função estrutural, e um revestimento argamassado com tela de fibra de vidro por toda a fachada externa. Esse tipo de acabamento argamassado, também chamado de *base coat*, confere uma diminuição na incidência de calor na parede e uma aparência igual ao revestimento argamassados tradicionais (PLACLUX, 2015).

3.6.2 Argamassa

O sistema de revestimento em argamassa no lado externo consiste em combinar o plaqueamento com OSB e aplicar a argamassa junto com uma tela de fibra artificial. Esta tela auxilia na prevenção da fissuração do revestimento argamassado. Deve-se ter cuidado com as juntas, visando orientar as fissuras. Nesse método deve se ter o mesmo cuidado que na execução do revestimento argamassado comum, evitando executar em dias extremamente quentes e com insolação direta na fachada. (CRASTO, 2005, p. 134 – 136).

Já Santiago (2008, p. 106) ressalta as desvantagens do revestimento e a contrariedade do seu uso no sistema LSF:

A utilização de argamassa no acabamento de painéis de LSF é um processo artesanal, que contraria a filosofia de industrialização do sistema, levando a uma execução mais lenta do fechamento. Além disso, a movimentação inerente ao sistema LSF, não é bem absorvida pela argamassa, favorecendo o aparecimento de diversas patologias que comprometem frequentemente a integridade da construção. Por esses motivos, o acabamento em argamassa é pouco utilizado e bastante não recomendado pelos construtores da área.

3.6.3 EIFS

O acabamento em EIFS (*External Insulation Finishing System*) é uma alternativa a sistemas de revestimentos como o argamassado e também adiciona uma camada que aumenta o desempenho térmico, principalmente para baixas temperaturas, com a placa de EPS. Ele consiste basicamente da chapa de OSB sobreposta com uma camada de EPS, e por cima, é aplicada a argamassa com tela de reforço. A tela visa evitar a fissuração da argamassa quando curada (SANTIAGO 2008, p. 107).

Alternativamente é possível utilizar a placa de XPS (Poliestireno extrudado). Esta placa possui desempenho térmico, resistência mecânica e resistência a umidade superior às chapas EPS. Por absorver menos umidade também consegue manter estável a sua resistência térmica por um período maior de tempo (OWENSCORNING AS, [2011]). Essas características conferem vantagens ao XPS especialmente em locais muito úmidos.

O uso do EIFS vem crescendo nas novas construções. Segundo Santiago (2008, p. 107) muito se deve ao acabamento extremamente semelhante aos tradicionais da construção civil, mas com um comportamento mais apropriado ao LSF. Principalmente na região sul do país, ele também vem ganhando espaço pela condição térmica da região com períodos muito frios seguidos de outros muito quentes.

Gomes (2012, p. 26 – 27) remete ao sistema EIFS com o nome de reboco térmico, o autor explica que EIFS é como se conhece o sistema no Estados Unidos. Ele também afirma que esse sistema é capaz de reduzir os efeitos das pontes térmicas e aumentar o isolamento térmico através de uma barreira externa o que pode reduzir o consumo energético da edificação.

Porém, esse sistema ainda utiliza a argamassa como acabamento, isto tem o ponto positivo de aceitação, mas também mantém um processo mais artesanal do que outros tipos de acabamentos aqui citados.

3.6.4 Sidding

Sobre o revestimento externo com *siding*, Crasto (2005, p. 128) destaca a variedade do tipo de revestimento que consiste em placas paralelas fixadas sobre o OSB. O autor cita os *sidings* em PVC, madeira e cimentício, mas definiu o vinílico (PVC) como o de melhor desempenho, para fixação, conservação e manutenção. A sua fixação é com parafusos no OSB sem necessitar muitos cuidados, por isso a execução é muito rápida e eficiente.

3.6.5 Placa Cimentícia

O principal uso da placa cimentícia é no fechamento externo da edificação, mas também pode ser usado em substituição às placas de gesso acartonado ou como citado no item de painéis em OSB, pode compor com essa placa para áreas molháveis. Ela consiste em uma placa de cimento Portland e fibras de celulose (SANTIAGO, 2008, p. 139 – 140).

Zatt(2010, p. 27) destaca a industrialização que estes painéis carregam:

A utilização das placas cimentícias como fechamento apresenta diferentes níveis de industrialização na produção de habitações, os quais se diferem pelo esquema de montagem adotado. As etapas de produção da edificação, bem como a experiência da adoção dessa tecnologia em países industrializados, evidenciam o alto poder de industrialização do sistema construtivo.

Por serem fixadas placas uma do lado da outra até o fechamento do painel, se faz necessário definir qual tipo de tratamento será dado para as juntas das placas. Deve-se optar pela junta aparente ou pela junta invisível. Em juntas aparentes se é usado um selante ou pode ser usado

um perfil metálico, em ambos os casos é possível ver onde são as juntas. Esse tipo de junta tem um processo mais acelerado e é recomendado especialmente para regiões com muita variação térmica. Já no tratamento da junta para ficar invisível ou não aparente, é feito com a sobreposição de camadas com argamassa, tela de reforço, fita e outra camada de argamassa. Essas repetições podem variar de acordo com o fabricante da placa, as placas devem ter o rebaixo nas bordas para um nivelamento melhor (CRASTO, 2005, p. 142 – 143).

3.6.6 Chapa de Gesso Acartonado

Nos fechamentos em paredes pelo lado interno da edificação a camada mais utilizada é a placa de gesso acartonado, sendo usada em painéis estruturais ou não-estruturais (CRASTO, 2005, p. 144).

Gomes (2007, p. 63) cita que existem três tipos de chapas no mercado nacional. A chamada *Standard* (ST), Resistente a Umidade (RU) e Resistente a Fogo (RF). As chapas ST são para uso geral em locais secos e sem fonte de chamas. Já a RU é destinada especialmente para ambientes úmidos, ela tem uma maior resistência à umidade mas não é imune a água. Por fim, a RF é a placa que tem uma maior capacidade de resistir por um tempo ao fogo e não deve ser aplicada em lugar com ação da umidade, seu uso é indicado para zonas que necessitem uma proteção maior contra o fogo, como escadas e *shafts*.

Em uma obra em LSF as chapas de gesso acartonado são as últimas chapas a serem fixadas na edificação, por serem um material já de acabamento e pelo risco de molharem quando a edificação não está fechada externamente.

3.7 COBERTURA

No *Light Steel Framing*, a cobertura pode seguir os mesmos preceitos dos tradicionais telhados com estrutura de madeira, apenas utilizando perfis leves em aço galvanizado ao invés da madeira. Ainda que seja uma estrutura em LSF é possível utilizar todos os tipos de telhas do mercado brasileiro. Porém, as telhas mais recomendadas para o sistema são as telhas asfálticas, também chamadas de telhas *shingle* (figura 5). Esta telha segue o conceito de leveza do sistema. Antes da telha asfáltica é necessário fixar na estrutura do telhado placas de OSB (*Oriented Strand Board*) além de uma manta de subcobertura para dar estanqueidade e

então é colocada as telhas *shingle*. Esse tipo de telha permite uso de inclinações pequenas (a partir de 15°) a inclinações grandes (até 90°) CAMPOS (2014, p. 80-82).

Este tipo de telha *shingle* permite um ganho no desempenho térmico da edificação, pois com grandes inclinações a superfície do telhado pode ficar mais afastada do piso do pavimento, formando uma espécie de colchão de ar na parte superior do pavimento, diminuindo a velocidade de troca de calor do ambiente interno com o ambiente externo.

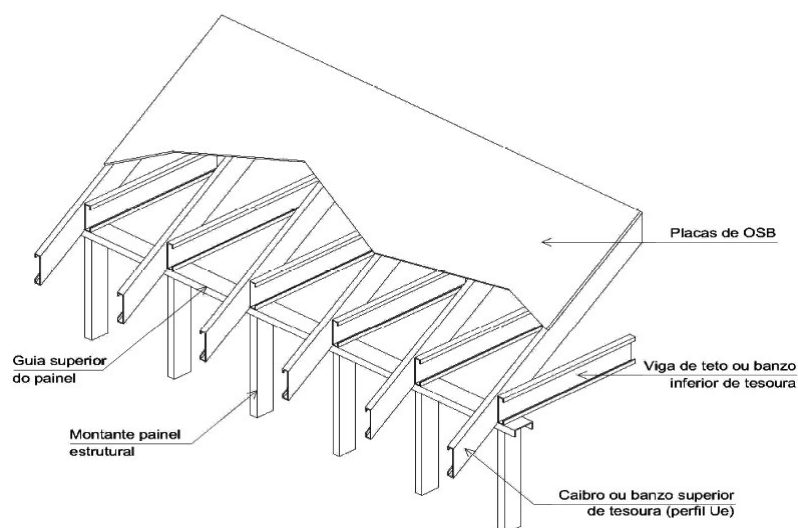
Figura 5 – Residência com cobertura de telha *shingle*



(fonte: foto do autor)

Além da cobertura com telhados inclinados (figura 6), também é possível utilizar a cobertura plana com laje úmida. Ela consiste na utilização de uma chapa metálica ondulada, usada como forma, por cima é adicionado o concreto armado, o desnível é o mínimo necessário para poder escorrer a água da laje (CONSUL STEEL, 2002, *apud* CRASTO, 2005, p. 95). Esse tipo de laje posteriormente irá precisar um tratamento de impermeabilização e acabamento final.

Figura 6 – Colocação da placa OSB sobre a estrutura metálica



(fonte: CRASTO, 2005, p. 97)

3.8 LAJES DE ENTREPISO

As lajes de entrepisos possuem uma estrutura parecida com os painéis de fechamento vertical. Eles também respeitam uma modulação entre as vigas e tem a função de absorver cargas de uso do pavimento e transmitir para os painéis em que estão apoiados. Essas vigas são do tipo seção Ue (CRASTO, 2005, p. 71 – 72). Para se preparar o equivalente ao contrapiso do sistema convencional segundo Gomes (2007, p. 51) existem dois tipos de lajes, laje seca e laje molhada. A laje molhada segue o mesmo princípio da laje já citada para a cobertura, apenas não é usada a impermeabilização e o desnível onde serão os ambientes de áreas secas, mas mantendo para aquelas áreas que estão previsto receber água com frequência. Enquanto que a laje seca utiliza painéis em sua composição, sem fazer uso de água, ela é feita com painéis OSB de 18mm e placas cimentícias. A placa de OSB tem função estrutural e é usado como base em todo o pavimento. Somente onde são as chamadas áreas molhadas deve-se necessariamente usar a placa cimentícia, por possuir resistência à água.

Já Campos (2014, p. 78) cita outros componentes disponíveis no mercado para execução de lajes secas. Além da chapa de OSB a autora destaca o *masterboard* ou *painel wall*, constituído em um painel com um miolo de madeira e duas chapas cimentícias revestido a madeira. Ele possui função estrutural e dependendo da espessura do painel permite um vão maior entre vigas em comparação com a laje seca feita com o OSB.

4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

4.1 DEFINIÇÃO

Em seu trabalho Gomes (2007, p. 70) define a avaliação do desempenho térmico de uma edificação como “[...] verificar se as condições dos ambientes internos atendem as exigências de conforto térmico de seus usuários.” Já Batista e Lamberts (2010, p. 19) salientam a diferença entre comportamento térmico e desempenho térmico. Sendo que o comportamento térmico é definido pelas respostas da edificação a ação climática pelo lado externo e de fontes de calor internas devido ao uso. Ao se obter leituras de variação de temperatura e umidade e verificá-las com valores pré-definidos realizamos uma avaliação do desempenho térmico.

Para avaliação de desempenho térmico da parede de LSF em comparação com parede em alvenaria tradicional (figura 7) é demonstrado em Pereira Junior⁵ (2004 *apud* GOMES, 2012, p. 12 a). A análise feita pelo autor citado:

Em relação ao desempenho térmico do sistema LSF, Pereira Júnior (2004) fez o cálculo da resistência térmica de dois fechamentos: um tradicional em alvenaria e outro em LSF para comprovar a eficácia do sistema estruturado em aço [...]. O autor conclui que, se consideradas as mesmas dimensões geométricas de um fechamento em alvenaria, o painel em LSF possui desempenho térmico muito superior. Vale ressaltar que o autor utilizou somente a resistência térmica dos painéis como critério de avaliação de desempenho.

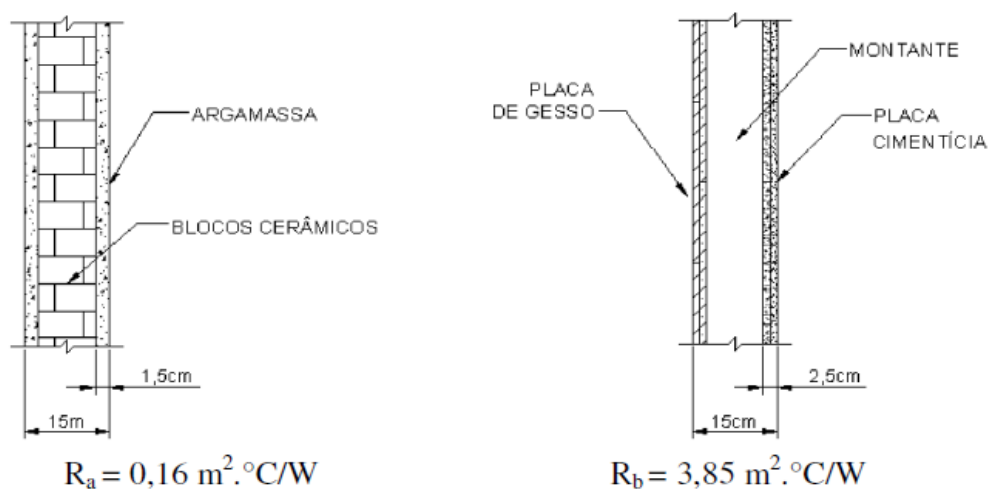
Segundo ISO 7730⁶ (2007 *apud* GOMES, 2012, p. 31):

As exigências humanas de conforto térmico são caracterizadas por valores, ou intervalos de valores inter-relacionados de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média do ambiente. Esses valores são fixados em função da taxa metabólica e do índice de resistência térmica da vestimenta dos ocupantes.

⁵ PEREIRA JUNIOR, C. J. **Edifícios de Pequeno Porte Contraventados com perfis de Chapa Fina de Aço**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COOPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

⁶ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) – **ISSO 7730**: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD índices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1994.

Figura 7 – Comparativo entre parede de blocos e parede LSF



(fonte: GOMES, 2012, p. 12 *apud* PEREIRA JUNIOR, p. 12)

Essa definição afirma que o desempenho térmico não passa somente pela temperatura do ambiente externo e interno, mas do conjunto de todo ambiente. Explicitando que deve até se considerar o tipo de vestimenta que o indivíduo está usando no ambiente e o que está fazendo, já que a taxa metabólica se altera com as atividades. Só assim, pode-se determinar o conforto térmico e conseqüente desempenho térmico exigido.

4.2 METODOS DE AVALIAÇÃO

4.2.1 NBR 15575/2013

A normatização para avaliação de desempenho térmico de uma edificação está detalhada na norma de desempenho NBR 15575/2013. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005b, p.3 *apud* MAGALHÃES 2013, p. 43) explica que devido à grande extensão territorial do Brasil existe uma grande variação climática entre as regiões do país e inclusive dentro de um mesmo estado, necessitando um sistema de critérios diferentes dependendo da região.

Na parte 4 da NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 26- 27) são definidos requisitos mínimos de máxima transmitância térmica, capacidade térmica e área mínima de janelas para serem usados no procedimento 1 em caráter normativo. Os cálculos para transmitância térmica e capacidade térmica são de acordo com os

procedimentos da NBR 15220-2. Este método é definido como simplificado por considerar os critérios e requisitos para um sistema de vedação e não a edificação como um todo.

Na parte 5 da NBR 15575/2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c, p. 26- 27) são definidos requisitos e critérios mínimos para o desempenho térmico da cobertura de uma residência. O método de cálculo é conforme NBR 15220-2 e é tido como o método simplificado, sem analisar a unidade como um todo. A norma determina níveis máximos de capacidade térmica e transmitância térmica de acordo com a zona climática.

A capacidade térmica é definida na NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 6):

Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema em $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ calculada conforme ABNT NBR 15220-2:2005, 4.3.

Já a transmitância térmica é definida pela NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 10) como:

Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo; neste caso, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas e coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. A transmitância térmica deve ser calculada utilizando o método de cálculo da ABNT NBR 15220-2 ou determinada através do método da caixa quente protegida da ABNT NBR 6488.

4.2.1.1 Simulação computacional na NBR 15575/2013

A norma NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 21) na determinação do procedimento 1, chamado de simplificado, determina que a simulação computacional deve ser usada para avaliação do desempenho térmico da edificação como um todo, quando os resultados através dos critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5 não atingirem o mínimo previsto na norma. Sendo sugerido o uso do programa *EnergyPlus*, mas ficando livre para o projetista utilizar outro programa desde que atenda os critérios especificados. O procedimento 1 tem caráter normativo. Para se realizar a simulação deve-se considerar a edificação como um todo com cada ambiente sendo uma zona térmica, as propriedades dos materiais devem ter sido obtidas em laboratório, com métodos normatizados, ou dados de fabricantes. Na falta de propriedades

de materiais, é permitido o uso de dados da NBR 15220-2. Para dias de verão as temperaturas do ar no interior da residência com longos períodos de ocupação, sem qualquer fonte de calor, devem ser menores do que a temperatura do ar externa na sombra. Já para o inverno o contrário, a temperatura do ar interior da residência com longos períodos de ocupação sem qualquer fonte de calor, devem ser superiores a 3°C da temperatura mínima externa.

4.2.1.2 Medição *in loco*

Já para a avaliação do desempenho térmico, a mesma norma NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 21) determina que o procedimento 2 deva atender aos requisitos e critérios da mesma, porém seu caráter é meramente informativo e não substitui o procedimento 1. O procedimento 2 consiste em medições na edificação para determinar o atendimento ou não dos critérios estabelecidos em norma.

Porém realizar as medições *in loco* de forma confiável, é uma tarefa difícil pela dificuldade de controlar as condições do local, conforme Magalhães (2013, p. 85), que conclui ao final de seu estudo, que as medições não puderam ser realizadas dentro do ideal, pois teve dificuldades de controlar o ambiente de estudo. As envoltórias eram seguidamente alteradas com acionamento de condicionadores de ar e abertura e fechamento da ventilação natural, afetando as características térmicas do ambiente interno da residência. O tempo de medição também foi muito curto, tendo menos dados e dificultando a caracterização em uma estação do ano. Outro fator de influência foi a possível imprecisão quanto à localização do instrumento na edificação.

4.2.2 NBR 15220/2005 e conforto térmico

A norma NBR 15.220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) tida como título geral o desempenho térmico de edificações é essencial para a realização de estudo térmicos de uma edificação contendo definições térmicas, métodos de cálculo e modos de medições.

Na parte 1 da NBR 15220-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a, p. 1) é apresentado as cinco partes da norma:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

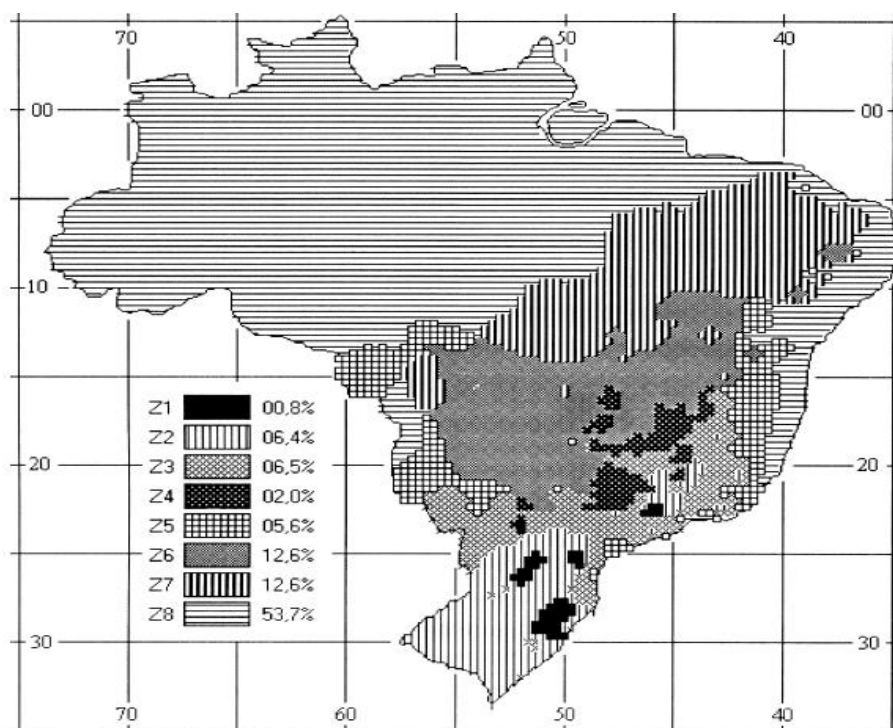
Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

O atraso térmico está definido nesta NBR 15220-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a, p. 2):

Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor.

O zoneamento bioclimático brasileiro é dividido em 8 zonas (figura 8) em que cada uma é tida com um clima homogêneo e características climáticas semelhantes. Destas oito zonas, três estão no estado do Rio Grande do Sul. Para cada zona foi adaptada a Carta Bioclimática de Givoni (1992), definindo as retas de cada mês do ano com os dados plotados de umidade do ar e temperatura. Com as retas é possível definir a estratégia climática a ser seguida para a edificação, isso irá depender em qual das onze zonas de estratégias climáticas da carta a residência está inserida (figura 9) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c).

Figura 8 – Zoneamento bioclimático brasileiro



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 3)

Figura 9 – Estratégias condicionamento térmico da carta bioclimática

A - Zona de aquecimento artificial (calefação)	G+H - Zona de resfriamento evaporativo
B - Zona de aquecimento solar da edificação	H+I - Zona de massa térmica de refrigeração
C - Zona de massa térmica para aquecimento	I+J - Zona de ventilação
D - Zona de conforto térmico (baixa umidade)	K - Zona de refrigeração artificial
E - Zona de conforto térmico (não precisa fazer nada!)	L - Zona de umidificação do ar
F - Zona de desumidificação (renovação do ar)	

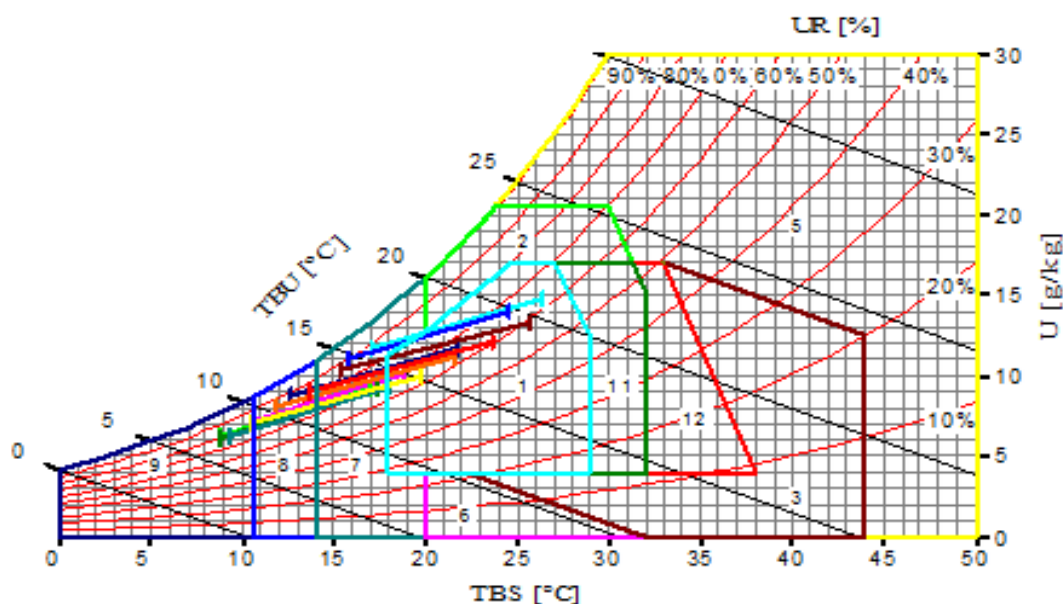
(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005)

A cidade de Gramado está localizada na zona bioclimática 1, e a norma recomenda a adoção das seguintes características e estratégias para uma edificação nesta região e apresenta a carta

bioclimática da cidade de Caxias do Sul na figura 10 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c, p. 4):

- a) aberturas para ventilação média;
- b) permitir sol durante o período frio;
- c) vedações externas;
- d) parede leve;
- e) cobertura leve isolada;
- f) condicionamento passivo com aquecimento solar da edificação (insuficiente no período mais frio do ano);
- g) vedações internas pesadas para melhorar a inércia térmica pesadas (insuficiente no período mais frio do ano).

Figura 10 – Carta zona bioclimática um para cidade de Caxias do Sul

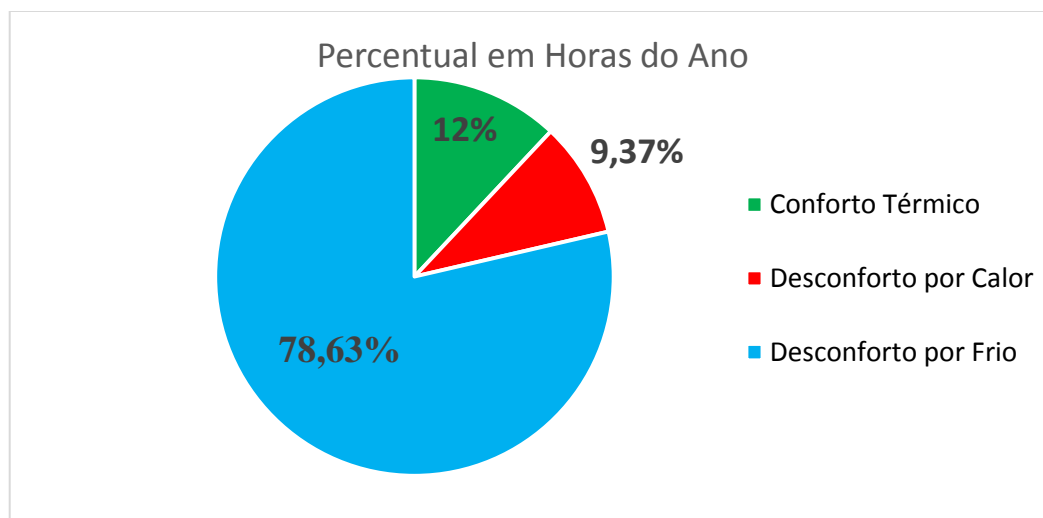


(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c)

Com base na carta bioclimática da região e de dados climatológicos da região, o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) desenvolveu o Projeto de Edificações Energeticamente Eficiente (PROJETEEE) em que dispõem em um sítio da *internet* materiais, dados e sugestões sobre desempenho e conforto térmico sobre algumas cidades brasileiras, sendo a cidade de Canela uma delas. O projeto apresenta as estatísticas em percentual de horas no ano (figura 11) sobre o conforto térmico durante o ano na cidade de Canela. A partir

desta constatação é sugerido as estratégias (figura 12) para a edificação em um percentual horário por ano em que a estratégia será eficiente (PROJETEEE, 2016).

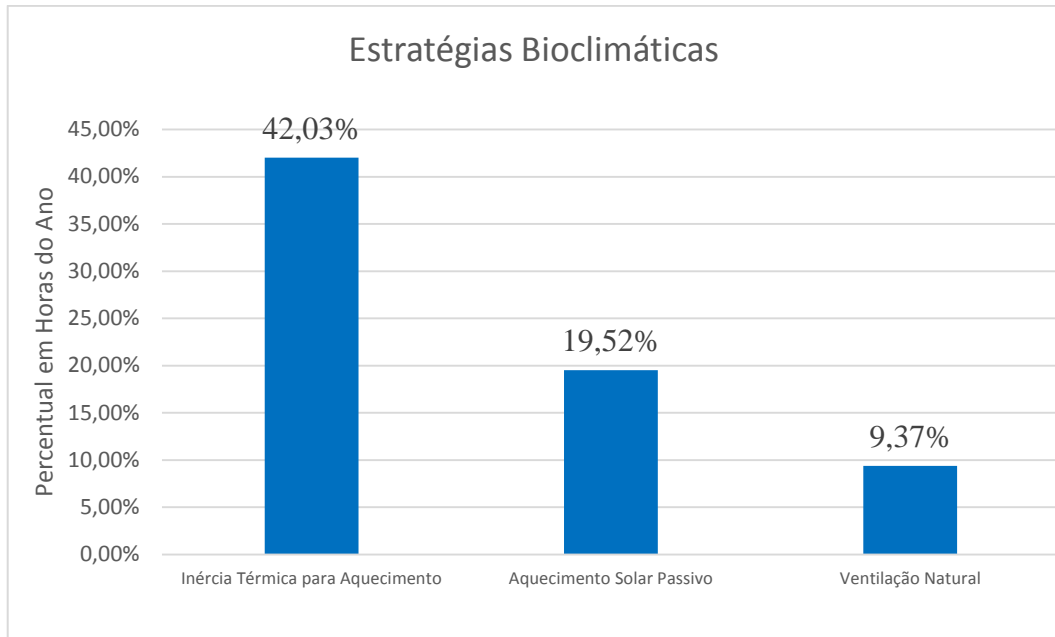
Figura 11 – Conforto térmico de Canela



(fonte: baseado em PROJETEE, 2016)

Além dos dados citados anteriormente o PROJETEEE desenvolveu um gráfico anual de temperatura e conforto térmico (figura 13), onde apresenta os valores de mínima, média e máxima temperatura para os meses do ano. No mesmo gráfico é apresentada a faixa de conforto térmico para a cidade.

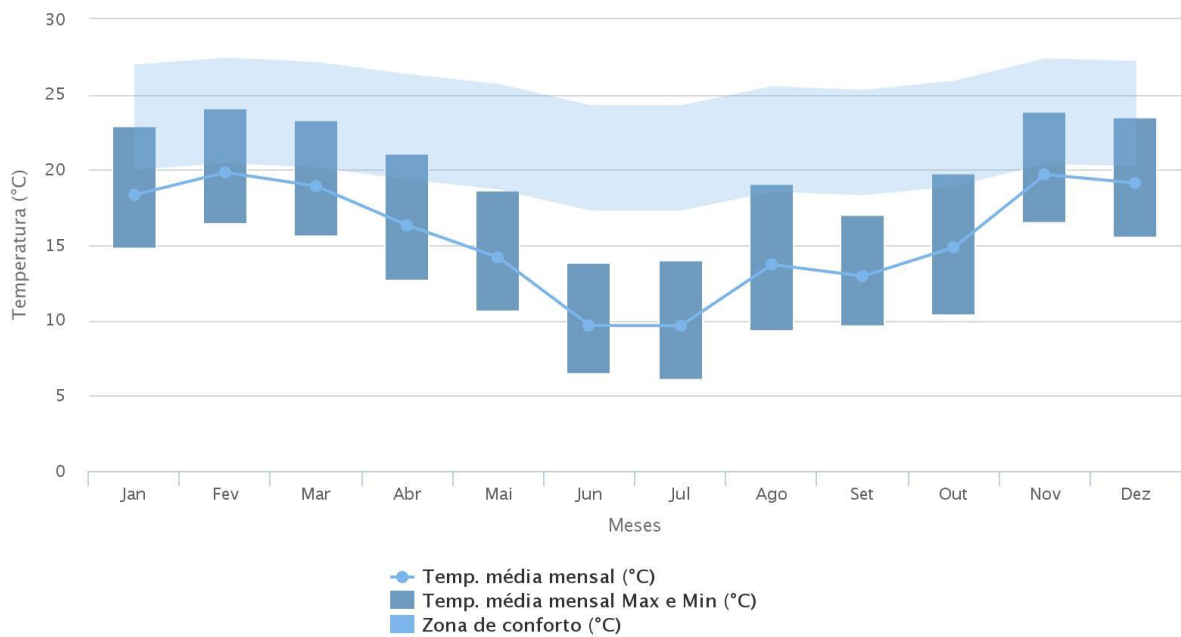
Figura 12 – Estratégias de condicionamento para Canela



(fonte: baseado em PROJETEE, 2016)

Figura 13 – Zona de conforto térmico e temperatura de Canela

Gráfico de temperatura e zona de conforto



Highcharts.com

(fonte: baseado em PROJETEE, 2016)

4.3 ENERGYPLUS

4.3.1 Conceito e Aplicações do EnergyPlus

Em seu trabalho Brofman (2014, p. 15) define o *software EnergyPlus* da seguinte maneira:

O EnergyPlus é um programa de análise de consumo energético de edificações capaz de modelar as 8760 horas de um ano com variações de ocupação, potência de iluminação, equipamentos, sistema de HVAC, efeitos de inércia térmica e é validado pela norma ASHRAE 140. O programa é capaz de modelar aquecimento, arrefecimento, ventilação e outras correntes energéticas levando em consideração os consumos de energia e calculando as cargas térmicas necessárias para se atingir as temperaturas estabelecidas em controle.

Anteriormente foi citado neste trabalho que a NBR 15575/2013 permite o uso de simulação computacional para se fazer a avaliação de desempenho térmico de uma edificação. A norma restringe o seu uso apenas quando a habitação não atender os requisitos mínimos das partes 4 e 5 da NBR 15575. Porém, o estudo do projeto através de simulações computacionais pode trazer grandes ganhos para o projeto da edificação antes de se iniciar a execução da obra. Evitando gastos desnecessários tanto na construção do projeto quanto na vida útil da edificação. Para Gomes (2007, p. 71 – 72), a diferença entre a medição na residência pronta e a simulação computacional, demonstra a vantagem de se realizar a simulação computacional com o *EnergyPlus* ou outro programa com abordagem numérica:

A resposta térmica de uma edificação frente às condições típicas de exposição ao clima e de ocupação pode ser avaliada por meio de medição *in loco* das variáveis representativas do desempenho ou por meio de simulação computacional (numérica). Na avaliação térmica feita por medições *in loco*, busca-se corrigir alguns problemas na construção e retro alimentar o processo de projeto de edificações cuja resposta térmica atende às exigências de conforto. Por outro lado, a abordagem numérica pode eliminar a necessidade de futuras intervenções arquitetônicas e/ou uso de equipamentos de condicionamento de ar, uma vez que esta avaliação pode ser feita na fase de projeto.

No estudo do projeto com simulação computacional para desempenho térmico pode ser feito diversos cenários diferentes, variando condicionantes de clima, material, ocupação e equipamentos da edificação. Isso pode levar a economias imediatas e futuras na obtenção de uma edificação mais eficiente, com gasto reduzido de energia. Como detalham Pereira e Batista (2010, p. 17), em seus estudos da Casa Eficiente usando o programa *EnergyPlus* primeiramente foram elaborados dez modelos computacionais com planta arquitetônica e volumetria idêntica que foram simulados e testados com critérios específicos. Com os resultados foi escolhida a configuração com melhor desempenho para o projeto.

Gomes (2007, p. 78) afirma que “Atualmente, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) disponibiliza informações sobre 318 programas de simulação para avaliação da

eficiência energética, da energia renovável e da sustentabilidade nos edifícios.” Sendo o *EnergyPlus* um destes. Em Matos (2007, p. 36) explica o funcionamento simulação do fluxo de ar no *software* da seguinte maneira “O programa *EnergyPlus* utiliza um modelo multizona que, como todos os modelos multizona, calcula o fluxo de ar entre zonas e o exterior, através de frestas e janelas.”.

O *EnergyPlus* permite muita flexibilidade nas simulações, é o melhor *software* disponível para representação física das trocas térmicas nos ambientes interno simulados. Também gera relatórios com temperatura interna das zonas térmicas (GOMES, 2007, p. 77 – 78 *apud* LBNL, 2006; PEREIRA, 2004).

Porém a respeito da dificuldade do uso de muitas variáveis, Gomes (2012, p. 30) explica:

A caracterização de um modelo no *EnergyPlus* implica no conhecimento de um grande número de variáveis. A diversidade dos dados de entrada aumenta a precisão nos resultados, mas também pode gerar dúvidas e levar a resultados errôneos. A precisão dos resultados está relacionada a um profundo entendimento do programa utilizado e do comportamento da edificação a ser simulada.

Gomes (2012, p. 32) determina que o programa de simulação do comportamento térmico de uma edificação deve considerar:

As variáveis de projeto são as características da edificação e seu entorno a serem modeladas. Essas variáveis referem-se às propriedades termofísicas dos componentes e materiais, configuração da planta, orientação solar, tipo de adensamento do entorno, sombreamento causado por edificações vizinhas e outros. As variáveis de uso e ocupação correspondem à caracterização de um ambiente em função das atividades para as quais foi destinado. Considera-se a densidade de ocupação e cargas térmicas internas, além das rotinas de operação do ambiente, como abertura de portas e janelas.

A simulação numérica do comportamento térmico da edificação deve ser feita por programas que considerem o caráter dinâmico dos fenômenos de trocas de energia e massa entre a edificação e o ambiente externo.

4.3.2 Modelagem e Avaliação com Programa *EnergyPlus*

Em seu trabalho Gomes (2012, p. 36 – 38) desenvolveu uma sequência de etapas para se modelar e analisar o desempenho térmico da edificação fazendo o uso da simulação no *EnergyPlus*. As oito etapas são:

A primeira etapa é a definição dos parâmetros gerais de simulação numérica. Nesta etapa inicial é definido o modelo de cálculo de transferência de calor e umidade que será utilizado pelo programa, o intervalo de tempo entre cada simulação e o tipo de condicionamento ambiental: natural ou artificial. Determinam-se parâmetros que influenciam nos cálculos da carga térmica, ventilação e sombreamento, além dos dados gerais da edificação e seu entorno, como orientação solar e tipo de terreno.

Na segunda etapa, faz-se a caracterização das condições climáticas. As variáveis climáticas que podem ser consideradas são: temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento, pressão barométrica, radiação solar, temperatura do solo, índice de limpidez do céu e indicadores de chuva. Em uma simulação numérica anual é importante observar as datas dos feriados e rotinas diferenciadas para o período de férias ou do horário de verão. Porém, em uma simulação numérica com condicionamento artificial, os dias típicos também devem ser inseridos, pois eles são utilizados para estimar as cargas térmicas iniciais.

Na descrição do arquivo de simulação numérica é necessário especificar os materiais e a composição dos fechamentos internos e externos. No *EnergyPlus*, os materiais podem ser caracterizados por suas propriedades termofísicas (condutividade térmica, massa específica e calor específico), espessura, absorvidade e rugosidade ou pela resistência térmica ($m^2.K/W$). Os materiais descritos são utilizados para compor os fechamentos (ou painéis) em camadas.

Na fase seguinte, define-se as zonas térmicas para a modelagem da geometria da edificação. Cada zona térmica corresponde a um volume de ar de temperatura uniforme. O projeto arquitetônico pode ser simplificado em uma análise preliminar, unindo-se zonas adjacentes. Cada zona é formada por superfícies que constituem os fechamentos da edificação: paredes, piso, teto, cobertura, portas e janelas. Estes fechamentos são relacionados aos materiais e condições de ventilação e iluminação. Nesta etapa, também são desenhados os dispositivos de proteção solar (internos ou externos) ou superfícies externas que sombreiem o edifício.

Uma etapa importante na entrada de dados da simulação numérica é a definição das rotinas de uso e ocupação. Deve-se criar uma rotina diária, semanal ou anual para a abertura e fechamento de portas e janelas, períodos de acionamento do sistema de ar condicionado, densidade de ocupação e cargas térmicas internas.

A próxima etapa é a caracterização das cargas térmicas internas. As cargas mais comuns são: pessoas, iluminação e equipamentos elétricos. Dentre os parâmetros principais na entrada das cargas internas, é importante caracterizar a atividade realizada pelos ocupantes e a respectiva taxa de calor liberada e as taxas e fração radiante da iluminação e equipamentos elétricos.

A última etapa consiste na descrição da ventilação natural ou do sistema de condicionamento de ar e definição dos relatórios de saída.

5 PROJETO PARA ESTUDO

O clima da região sul do Brasil é diferente em relação ao restante do país, apresentando zonas muito frias com temperaturas chegando ao zero graus Célsius e grande variação térmica dentro de um mesmo dia. Neste trabalho foi escolhido um projeto de uma unidade unifamiliar em *Light Steel Framing* na cidade de Gramado no Estado do Rio Grande do Sul. O município pertence ao clima subtropical, caracterizado por umidade alta, com temperaturas baixas durante o inverno que podem chegar a 0°C e verão com temperaturas amenas na maior parte da estação.

A residência foi projetada para ser executada com estrutura de concreto armado moldado *in loco* e mais tarde o proprietário decidiu pela adoção do sistema LSF com fechamento externo em EIFS. Esta modificação demonstrou que é possível a adaptação do sistema estrutural sem alterações arquitetônicas significativas no projeto em relação ao original. A edificação encontra-se agora acabada e em uso.

Para este trabalho, a avaliação térmica será executada através do método de simulação computacional de acordo com o procedimento apresentado pela NBR 15575/2013. Onde será comparado o desempenho térmico de um mesmo projeto arquitetônico para dois sistemas construtivos distintos, o sistema LSF com fechamento em EIFS e o sistema com estrutura de concreto armado moldado no local e paredes de vedação com tijolos cerâmicos com revestimento argamassado em ambos os lados.

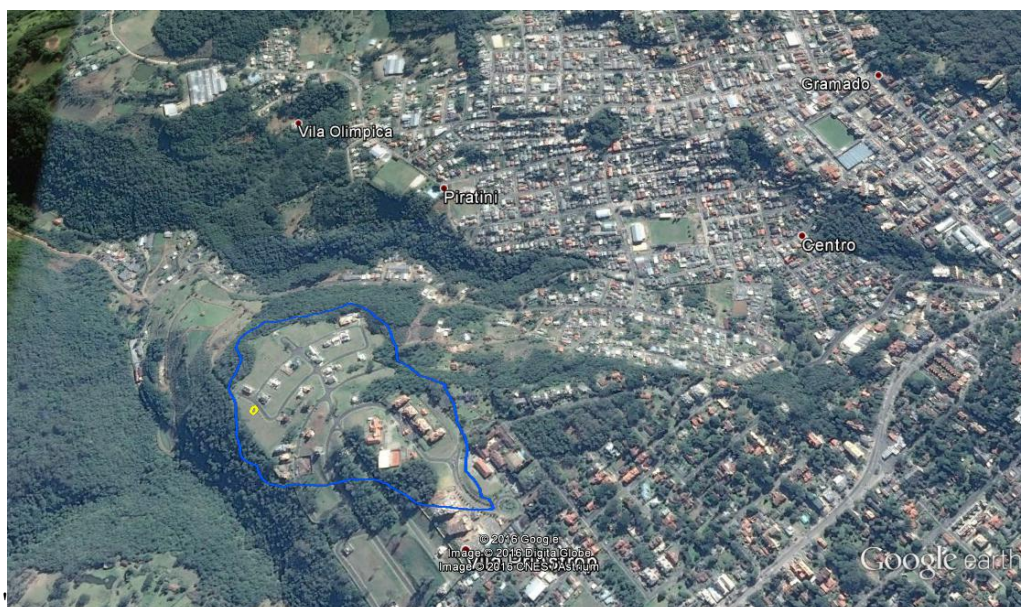
Nos próximos itens serão apresentados detalhes sobre a edificação em estudo desde caracterização do local do projeto a detalhamento arquitetônico e construtivo para ambas as simulações, com especificação das composições adotadas

5.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E TERRENO

A casa em estudo está localizada dentro do condomínio Alphaville Gramado distante aproximadamente 3km a sudoeste do centro da cidade de Gramado (figura 14). O condomínio é constituído de terrenos residenciais de alto padrão com áreas comum de lazer, a implantação está apresentada na figura 15.

O condomínio está na região do subúrbio da cidade e o lote possui distância das edificações vizinhas suficiente para não haver sombreamento nas fachadas, não há árvores ou vegetações próximas que sirvam como barreira para ação do sol.

Figura 14 – Localização do condomínio



(fonte: adaptado do GOOGLE MAPS, 2016)

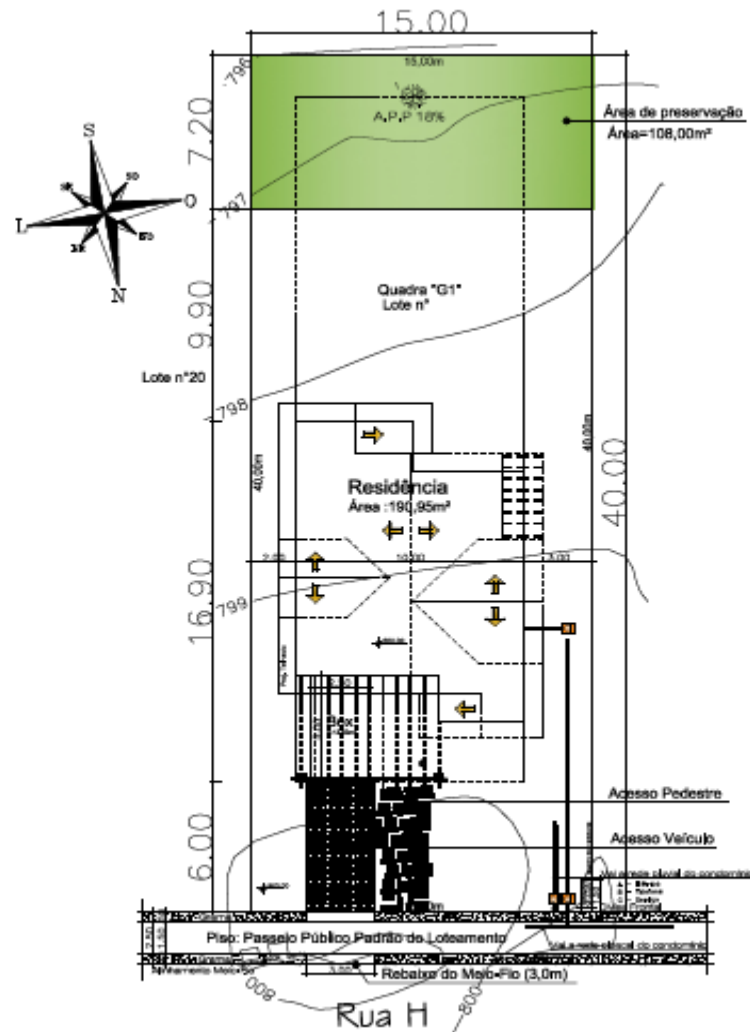
Figura 15 – Implantação do condomínio



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

A casa (figura 16) foi construída em um terreno de 15 x 40 m terreno totalizando uma área de 600 m², sendo que 108m² no fundo do terreno destinados a conservação ambiental. O lote possui orientação norte.

Figura 16 – Implantação casa



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Os itens a seguir irão detalhar as etapas de projeto e execução da edificação. Sendo apresentados os procedimentos adotados para se realizar a obra e os materiais empregados na residência.

5.2.1 Projeto Arquitetônico

A residência é uma edificação unifamiliar, preservando um afastamento dos limites com os terrenos vizinhos. A edificação vizinha é térrea e está a leste do loteamento, enquanto a oeste o terreno vizinho ainda não está edificado e está a uma cota de aproximadamente um metro abaixo do nível do terreno em que o empreendimento em estudo foi construído. Não existe vegetação no terreno ou nos vizinhos capaz de apresentar um sombreamento nas fachadas da casa. Abaixo a imagem renderizada (figura 17):

Figura 17 – Perspectiva renderizada da edificação

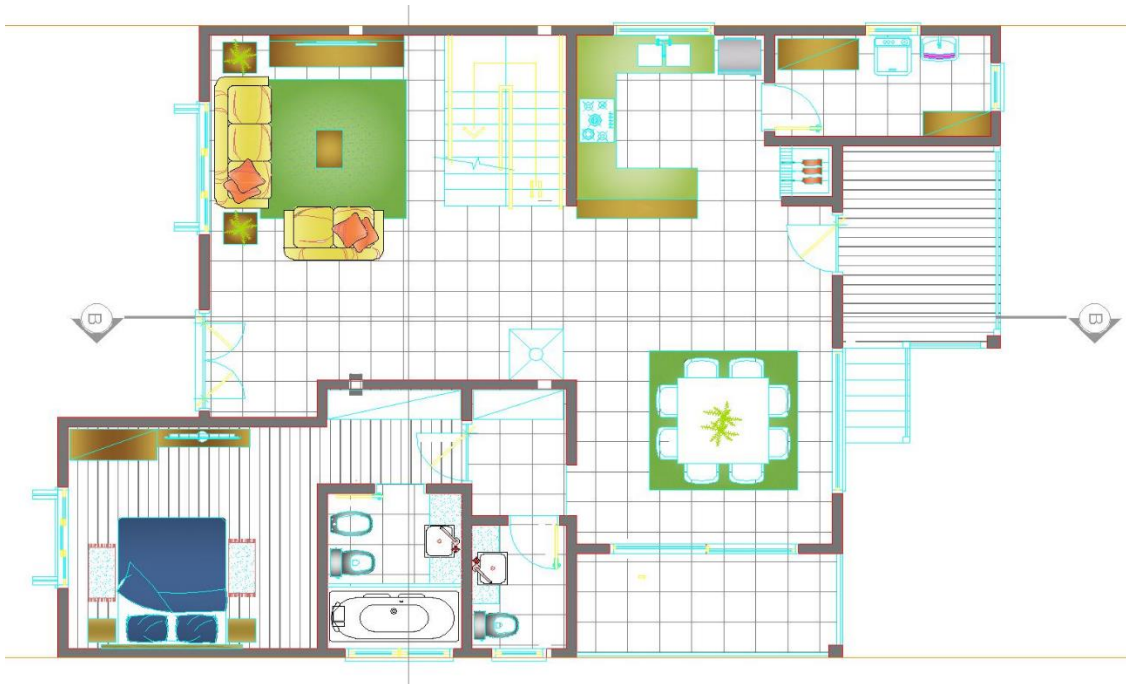


(fonte: empresa responsável pelo projeto)

O projeto foi elaborado com dois pavimentos e 3 dormitórios sendo uma suíte. A arquitetura mais colonial clássica foi a opção do proprietário, possuindo uma grande área de telhado e vigas aparentes de madeira.

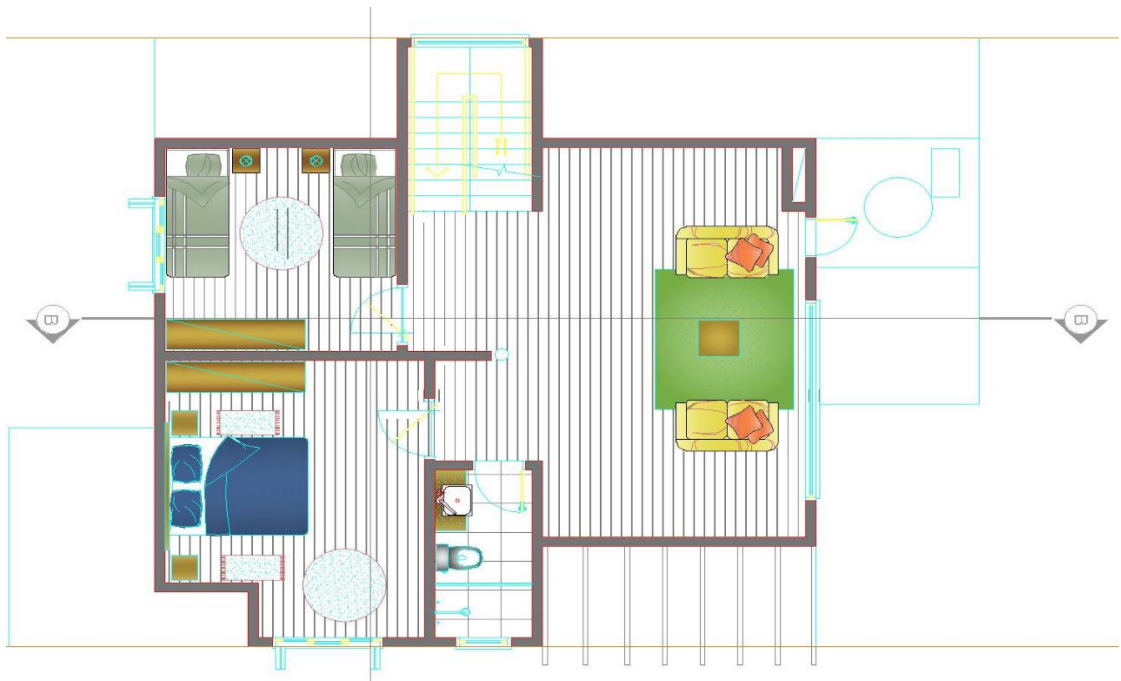
Em seu pavimento térreo foram projetados a sala de estar, cozinha, sala de jantar, área de serviço, lavabo, dormitório suíte e banho suíte (figura 18). Já no segundo pavimento (figura 19) existe um estar íntimo, dois dormitórios e um banheiro social.

Figura 18 – Planta baixa térreo



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

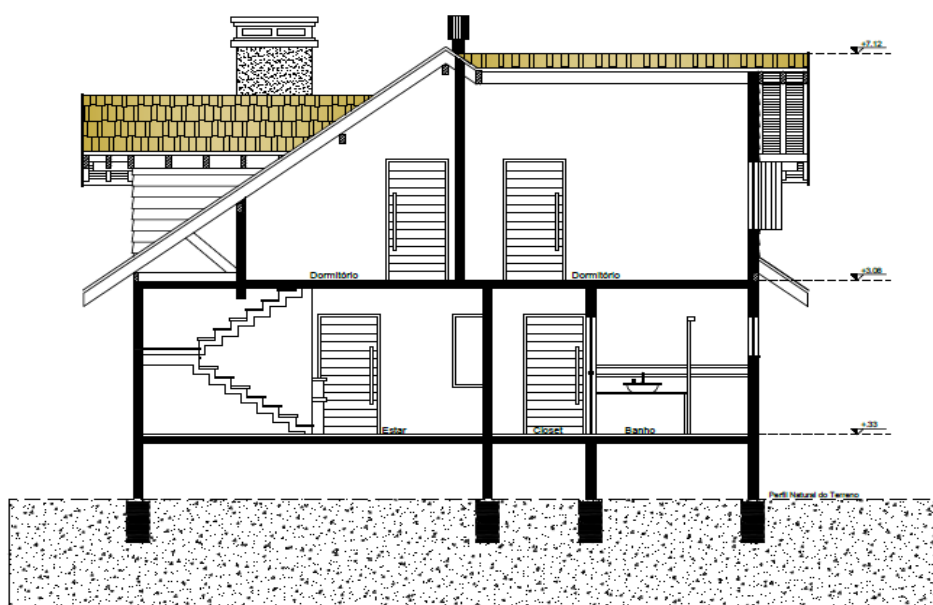
Figura 19 – Planta baixa segundo pavimento



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

O pé direito do segundo pavimento acompanha o caimento do telhado, conforme figura 20.

Figura 20 – Corte da edificação



Corte AA

(fonte: empresa responsável pelo projeto)

A área total da edificação é de 183,79 m² e as áreas por ambientes estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Áreas por ambiente da edificação

LOCAL	PAVIMENTO	ÁREA (m ²)
Sala de Estar	Térreo	32,41
Cozinha/Jantar	Térreo	31,08
Área de Serviço	Térreo	6,37
Corredor	Térreo	2,81
Lavabo	Térreo	4,68
Dormitório Suíte	Térreo	18,75
Banho Suíte	Térreo	5,91
Estar Intimo	Segundo Pavimento	41,13

continua

continuação

LOCAL	PAVIMENTO	ÁREA (m ²)
Dormitório 01	Segundo Pavimento	18,55
Dormitório 02	Segundo Pavimento	17,82
Banheiro	Segundo Pavimento	4,28
Total		183,79

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.2 Sistema Empregado na Obra

5.2.2.1 Compatibilização projeto arquitetônico com estrutura LSF

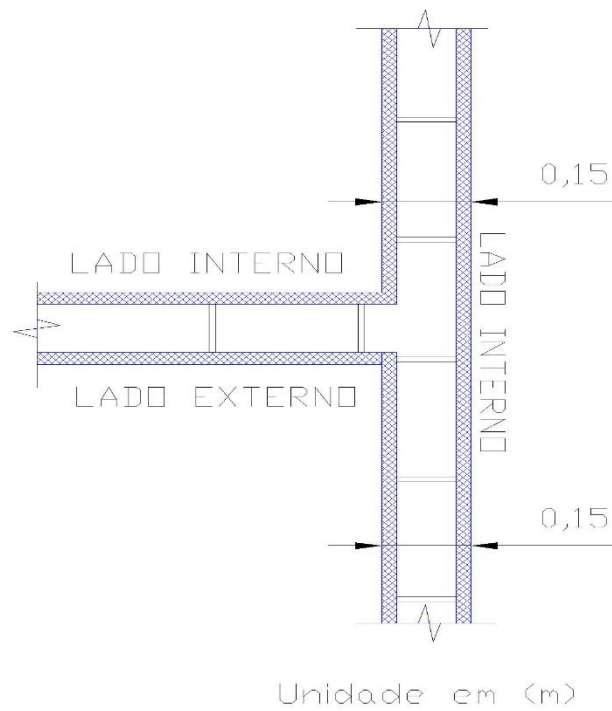
Neste tipo de sistema é comum a própria empresa que fornece a estrutura em LSF realizar o cálculo estrutural, ou seja, empresa analisa o projeto arquitetônico, realiza o cálculo estrutural e produz a estrutura. Isso reduz erros durante a produção da unidade, pois o fornecimento do sistema é controlado pela mesma empresa que desenvolveu o projeto da estrutura.

No entanto, tal qual é feito no sistema convencional, primeiramente é necessário se fazer a verificação de viabilidade do projeto quanto a vãos maiores e sugerir apoios intermediários. Essa é uma etapa comum ao projeto estrutural com concreto armado, que também possui limitações quanto a vãos e projetos muito arrojados.

Porém, na maioria dos projetos o LSF não exige alterações, sendo que ainda é possível usar estrutura do tipo mista com pilares e vigas de aço em vãos maiores do que limite suportado pelo sistema de aço leve. Utilizando o LSF apenas como vedação vertical nos locais onde forem necessárias as vigas em aço convencional.

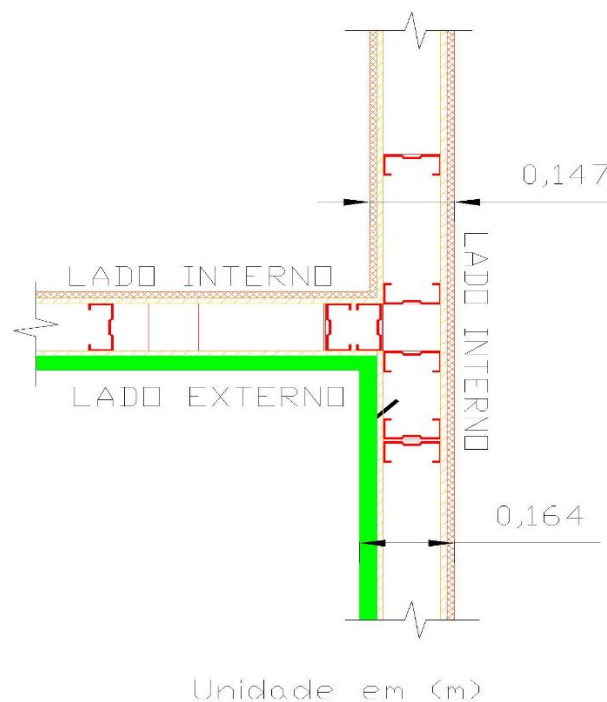
No caso do projeto estudado, não foram necessárias grandes alterações, mantendo o projeto similar ao escolhido pelo cliente. As alterações restringiram-se a redução nas espessuras das paredes internas e aumento na espessura da parede externa, como é possível ver na figura 21 e figura 22 a seguir:

Figura 21 – Detalhe em planta baixa da parede de tijolos cerâmicos



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 22 – Detalhe em planta baixa da parede em LSF

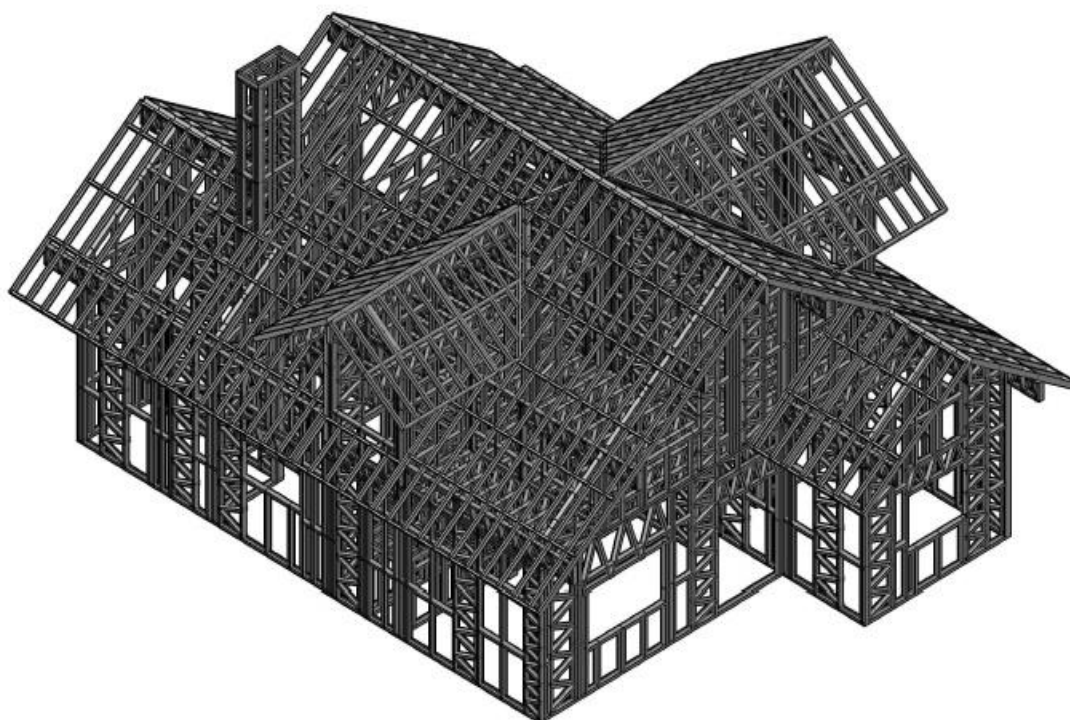


(fonte: elaborado pelo autor)

O grande diferencial do projeto estrutural em LSF é a possibilidade da modelagem dos painéis, lajes e coberturas com detalhamento de ordem de montagem e compatibilização da

estrutura em projeto 3D (Figura 23), conferindo um sistema industrializado de produção. Além do aço, é possível considerar no cálculo o uso de chapas de estruturais de OSB nas paredes como contraventamento, permitindo a economia de aço e conferindo maior resistência a flambagem e torção.

Figura 23 – Projeto estrutural gerado em 3D



(fonte: responsável pelo projeto)

Os perfis da estrutura das paredes externas e paredes internas são de guias de 100 mm com e montantes de 92mm. O espaçamento dos montantes na edificação em estudo é de 600 mm. A laje do segundo pavimento (Figura 24) foi projetada com vigas caixão que segundo a construtora proporcionam-menor vibração em comparação com as lajes com quadros.

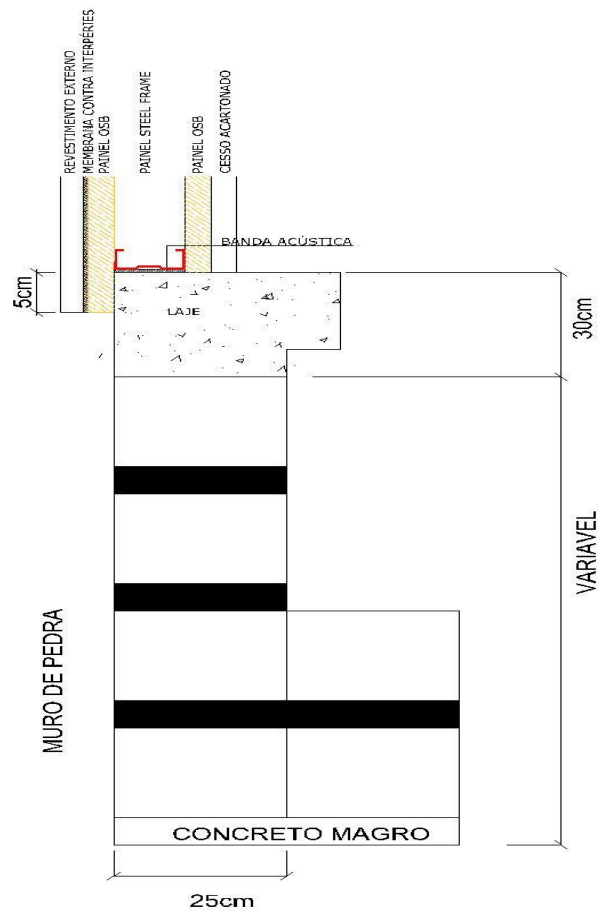
Figura 24 – Laje do segundo pavimento



(fonte: elaborado pelo autor)

Complementarmente ao projeto de estrutura do aço leve, é necessário o projeto estrutural do *radier* responsável por receber cargas distribuídas da estrutura ao longo das paredes. Originalmente, o projeto previa o uso de um *radier*, porém por ser um terreno em declive a construtora optou por construir paredes em pedra ao longo de todo o perímetro da casa e então foi apoiada uma laje de concreto armado capaz de receber as cargas distribuídas oriundas dos quadros em aço de toda a estrutura. Na figura 25 é possível ver o corte do muro de pedra em que a laje é apoiada, o muro acompanha o caimento do terreno e possui altura variável para manter a laje em nível. Acima da laje está a representação do sistema LSF, em que a composição a partir do lado externo para o interno é revestimento externo, membrana hidrófuga, painel OSB, quadro em LSF, painel OSB e finalmente a placa de gesso acartonado. Nos vãos da estrutura de aço leve foi colocada a lã de vidro. Também foi detalhado a banda acústica que deve ser colocada em todas as interfaces entre a laje de concreto armado e a guia da estrutura *light steel framing*, além do transpasse de 5 centímetros que todos os materiais do lado externo devem possuir por todo o perímetro do primeiro pavimento para evitar que a água possa ter contato direto com as guias das estruturas de aço leve.

Figura 25 – Detalhe da laje adota no primeiro pavimento



(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.2.2 Execução

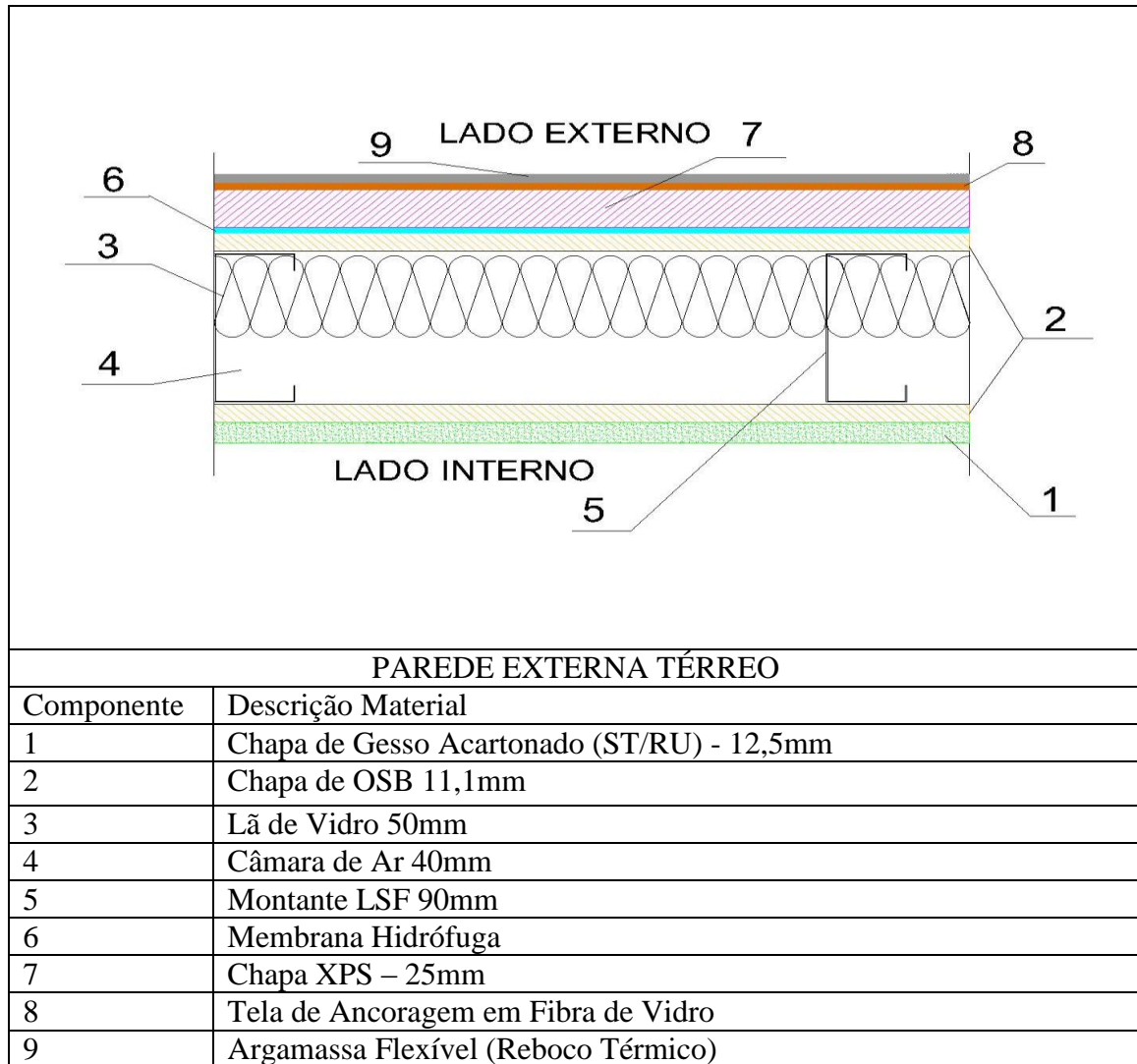
Inicialmente deve-se fixar a estrutura na laje de concreto por parafuso tipo *parabolts*. Eles ao serem rosqueados ficam presos ao concreto conferindo a ancoragem necessária.

Na edificação em estudo foi optado pela montagem dos quadros no local, pois a estrutura foi produzida na região metropolitana de Porto Alegre e dessa maneira permitiu um número menor de viagens.

Assim como no condomínio estudado por Magalhaes (2013), no fechamento externo das paredes foi utilizado o sistema EIFS no térreo com revestimento com argamassa flexível e no segundo pavimento o mesmo sistema foi utilizado com o *siding* de madeira reconstituída. Segundo a empresa fornecedora, não se tem notícia da utilização de régua de madeira (*sidding*) com o XPS no Brasil. Na figura 28 a fachada já foi coberta com a chapa de OSB

11,1mm (placas de madeira) e está parcialmente coberta o isolamento térmico XPS (chapas de cor rosa). A figura 26 detalha a composição de camadas da parede externa no pavimento térreo começando do lado interno para o externo.

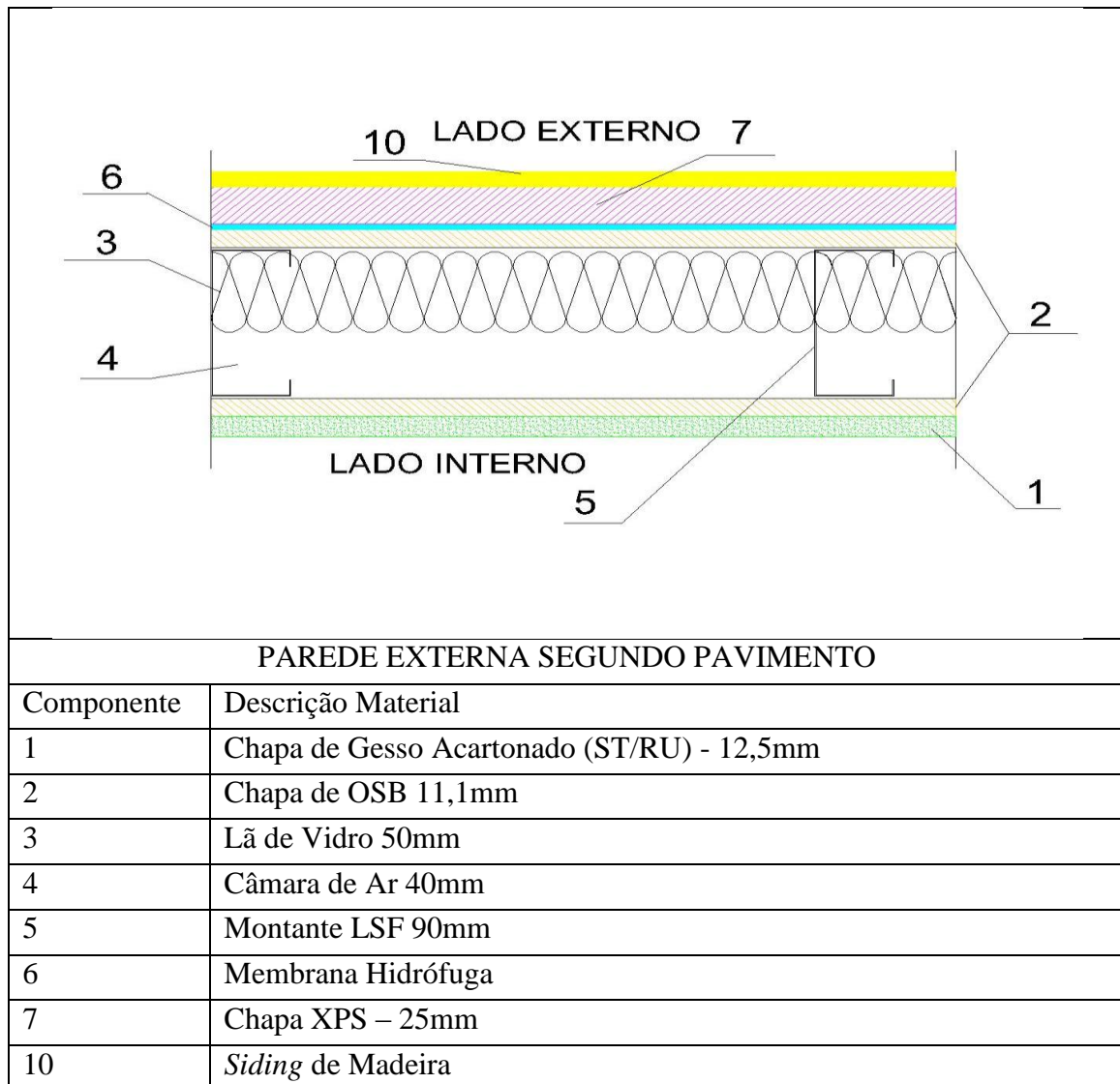
Figura 26 – Detalhamento parede externa do térreo



(fonte: elaborado pelo autor)

No segundo pavimento a composição da parede externa é alterada, substituindo a tela de ancoragem e o reboco térmico pela fixação da madeira em régua, a figura 27 apresenta as diversas camadas da parede.

Figura 27– Composição parede externa



(fonte: elaborado pelo autor)

Na revisão bibliográfica sobre o LSF desse trabalho, foi explicado a melhor adaptação do XPS a climas úmidos em relação ao EPS. Motivo pelo qual foi adotado na obra as chapas de XPS.

Nas paredes exclusivamente internas a composição de chapas é com chapas de gesso acartonado com uma placa de OSB em cada lado. Sendo que em áreas secas são colocadas as chapas chamadas ST e em áreas úmidas foram utilizadas placas resistentes a umidade (RU).

Para a laje do segundo pavimento foi adotada um tipo de laje úmida, pois o proprietário optou por colocar um piso aquecido nos cômodos. A laje foi feita com uma placa de OSB 18mm

apoiada nas vigas metálicas, acima uma manta térmica, depois o piso radiante e finalmente o contrapiso cimentado de 4cm.

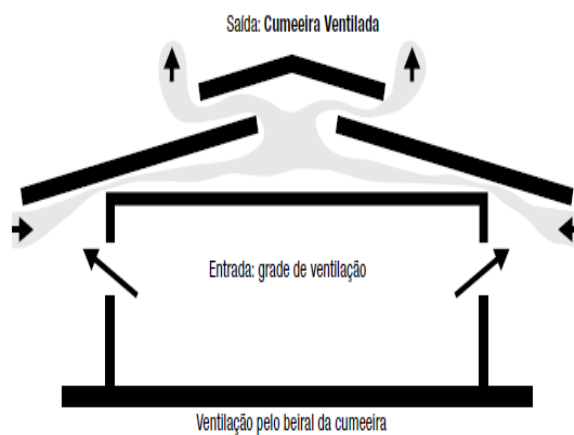
Figura 28 – Aplicação das chapas OSB e XPS



(fonte: elaborado pelo autor)

Na cobertura foi usado a telha asfáltica ou tipo *shingle*. A sequência de montagem é: primeiro, placa em OSB para apoio das telhas, depois uma subcobertura e por fim a própria telha *shingle*. A cumeeira pode ser ventilada em conjunto com o beiral com acabamento em vinílico proporcionando um maior conforto térmico no verão através da troca de ar com meio (Figura 29). O beiral e a cumeeira possuem pequenos furos permitindo a entrada de ar mais frio pelos beirais e expulsando o ar quente pela cumeeira da telha *shingle*.

Figura 29 – Esquema com ventilação entre beiral e cumeeira



(fonte: BRASILIT SAINT GOBAIN [2011])

O gesso acartonado também foi adotado no forro da edificação, com o forro inclinado acompanhando o caimento do telhado no segundo pavimento e no térreo é horizontal tendo um pé direito constante. Ainda na composição dos forros, foram colocadas lãs de vidro de 50mm no forro do térreo e de 90 mm no pavimento superior.

Para as esquadrias foram utilizadas janelas de PVC com persianas nos principais ambientes. Nos ambientes dormitórios, salas, cozinha e jantar os vidros são duplos com variação de espessura de acordo com vão da janela.

O proprietário optou por uma cor acinzentada para as paredes externas com esquadrias na cor branca. A aparência final pode ser vista na figura 30.

Figura 30– Edificação concluída



(fonte: foto elaborada pelo autor)

5.3 ADAPTAÇÕES E COMPATIBILIZAÇÕES PARA MODELAGEM

Antes de se iniciar a modelagem foram adotadas algumas adaptações em relação ao projeto base de estudo. Essas alterações foram necessárias ou para uniformizar os modelos ou por não fazer parte do escopo deste trabalho.

Na edificação original a fachada possuía um revestimento em madeira em todo o pavimento superior. Esse material foi substituído por um revestimento em argamassa nos dois tipos de sistemas construtivos aqui estudados. Tal modificação interfere no desenho arquitetônico, porém, se o mantivesse os sistemas iriam se diferenciar, pois seria necessário se considerar

alguma alteração para se fixar a madeira no sistema tradicional com alvenaria afetando o desempenho térmico da parede.

Outra alteração foi a simplificação do telhado *shingle* e beiral. Sabe-se que neste tipo de telhado, podem ser executados a cumeeira e o beiral ventilados, proporcionando a troca de ar quente e frio no meio entre cobertura e forro, melhorando o desempenho térmico da edificação. No entanto, a quantificação dessa troca demandaria toda uma pesquisa que não é o foco deste trabalho. Por isso, na simulação serão consideradas somente as propriedades térmicas dos materiais da cobertura *shingle* sem considerar a ventilação pela cumeeira e pelo beiral.

No estudo se visou o comparativo do comportamento térmico dos sistemas construtivos em relação ao ambiente sem fazer uso de barreiras ou sombreamentos. O solarium e o pergolado não foram modelados, pois não são elementos de sombreamento ostensivo e sim elementos decorativos e setorizadores. Nas simulações só foram mantidos os sombreamentos por parte dos beirais.

Para se simplificar e ter uma comparação direta entre os dois tipos de sistemas fechamentos, as estruturas não foram consideradas na avaliação de desempenho térmico. Nos itens a seguir serão determinadas e explicadas as considerações que foram feitas para se obter os diferentes modelos de simulação e a própria simulação

5.4 METODOLOGIA

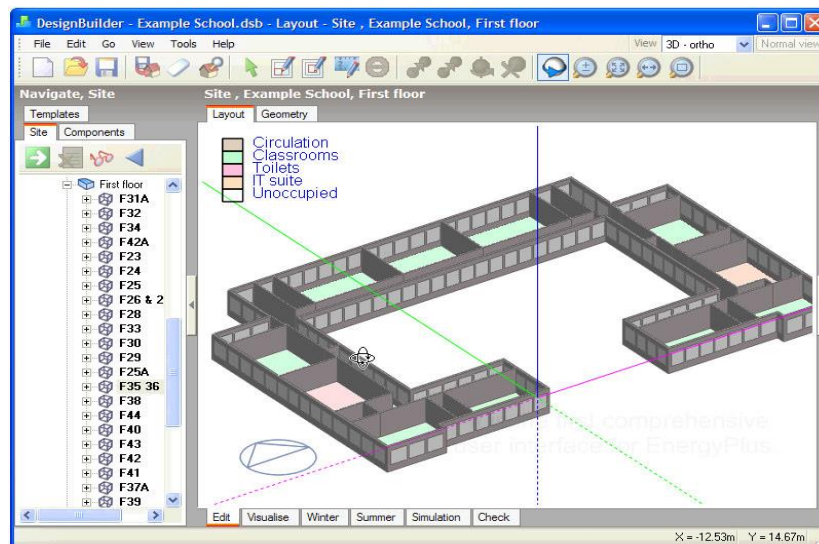
5.4.1 Modelagem

Gomes (2007), em seu o capítulo sobre o software de simulação numérica para desempenho térmico *EnergyPlus*, explica que esse programa não possui uma interface gráfica, pois é baseado em sistema com preenchimento de parâmetros e tabelas para gerar as superfícies e suas especificações. Logo, para se agilizar o processo de modelagem outros softwares foram adaptados ou desenvolvidos com este intuito. Eles usam uma interface gráfica em que é possível facilmente desenhar os ambientes de uma edificação. Em seu trabalho Gomes (2007) utiliza programa pago *Designbuilder* (Figura 31). Além deste, existem outros programas ou complementos de programas (*plug-in*) gratuitos. Nos programas gratuitos se destaca o *plug-in*

Open Studio (OS) em que é rodado dentro de um programa amplamente utilizado o *Sketchup* (Figura 32.). O OS possui como principal vantagem o fato de usar o *Sketchup*, uma interface que muitos usuários já estão habituados a utilizar.

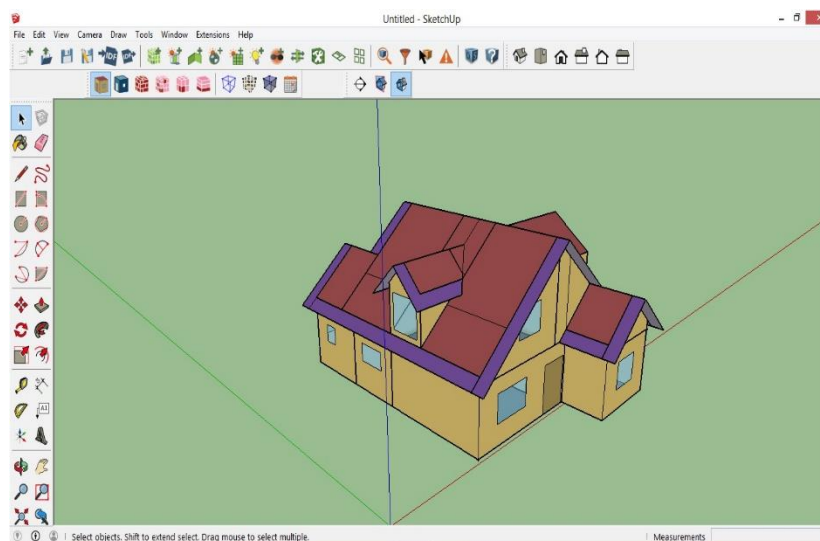
O *plugin Open Studio* exporta o arquivo geométrico e outras definições e predefinições estabelecidas no ambiente do *Sketchup* para o formato de arquivo IDF. Este é o formato de arquivo utilizado pelo *Energyplus*, podendo ser aberto e editado de maneira nativa neste programa.

Figura 31 – Imagem do *DesignBuilder*



(fonte: GOMES, 2007)

Figura 32 – Edificação modelada no *Sketchup* com OS



(fonte: elaborado pelo autor)

Assim, foi utilizado a versão 2016 do *Skechtup Pro* em conjunto com o *plug-in Open Studio* 1.10.0 para se fazer a modelagem básica da edificação. Todos os ambientes da Tabela 1, apresentada na página 46 deste trabalho, foram considerados como zonas térmicas da edificação.

5.4.1.1 Modelos de Simulação

Conforme mencionado anteriormente, esse trabalho visa à comparação de desempenho térmico através da simulação computacional entre modelos com sistemas construtivos distintos e baseados no mesmo projeto arquitetônico. Esses modelos foram divididos em dois grandes grupos, o sistema em estrutura de aço leve e o sistema convencional brasileiro de estrutura em concreto armado moldado in loco com alvenaria tijolos 6 furos quadrados sem função estrutural. Dentro destes dois grupos foram feitas 4 variações de modelagem, variando o tipo de telha e o tipo de vidro das esquadrias. Totalizando oito modelos de simulação que foram criados dentro do *Energy Plus*, após a modelagem nos dois programas mencionados no item anterior. Os componentes dos modelos então foram nominados da seguinte maneira:

- a) Estrutura: *Light steel framing*(LSF) e Concreto armado(CA);
- b) Paredes Externas: Parede externa em EIFS (PE-EIFS) e Parede externa de tijolo cerâmico 6 furos quadrados (PE-Cerâmico);
- c) Paredes Internas: Parede interna em gesso acartonado (PI-Gesso) e Parede interna de tijolo cerâmico 6 furos quadrados (PI-Cerâmico);
- d) Laje de Entrepiso: Laje seca leve (LSL) e Laje úmida pesada (LUP);
- e) Janelas: Vidro simples (VS) e Vidro duplo(VD);
- f) Coberturas: Telha *shingle* (*Shingle*) e Telha cerâmica (Cerâmica).

Com as seis categorias descritas acima, foram definidos oito modelos para serem gerados e suas definições estão apresentadas na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Tipos de Modelos

Modelos	Estrutura	Paredes Externas (PE)	Paredes Internas (PI)	Laje Entrepiso	Janelas	Cobertura
1	LSF	PE-EIFS	PI-Gesso	LSL	VS	<i>Shingle</i>
2	LSF	PE-EIFS	PI-Gesso	LSL	VD	<i>Shingle</i>

continua

continuação

Modelos	Estrutura	Paredes Externas (PE)	Paredes Internas (PI)	Laje Entrepiso	Janelas	Cobertura
3	LSF	PE-EIFS	PI-Gesso	LSL	VS	Cerâmica
4	LSF	PE-EIFS	PI-Gesso	LSL	VD	Cerâmica
5	CA	PE-Cerâmica	PI-Cerâmica	LUP	VS	<i>Shingle</i>
6	CA	PE-Cerâmica	PI-Cerâmica	LUP	VD	<i>Shingle</i>
7	CA	PE-Cerâmica	PI-Cerâmica	LUP	VS	Cerâmica
8	CA	PE-Cerâmica	PI-Cerâmica	LUP	VD	Cerâmica

(fonte: elaborado pelo autor)

5.4.1.2 Caracterização dos materiais da simulação

Os materiais utilizados na simulação são os especificados nas tabelas 3, 4 e 5 abaixo:

Tabela 3 – Especificação dos Materiais

Nome	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade (W/(m.K))	Densidade (kg/m ³)	Calor Específico (J/(kg.K))	Coefficiente de Absorção Térmica
Placa Cimentícia	Meio Rugoso	0,011	0,95	2200	840	0,9
Placa OSB	Meio Rugoso	0,0111	0,12	550	2300	0,9
	Meio Rugoso	0,018	0,12	550	2300	0,9
Placa de Gesso Acartonado	Liso	0,0125	0,35	1000	840	0,9
Placa de XPS	Meio Liso	0,025	0,035	38	1420	0,8
Filme <i>Foil</i> Aluminizado	Liso	0,0025	0,035	322	880	0,8
Lã de Vidro	Rugoso	0,05	0,045	100	700	0,9
	Rugoso	0,09	0,045	100	700	0,9

continua

continuação

Nome	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade (W/(m.K))	Densidade (kg/m ³)	Calor Específico (J/(kg.K))	Coefficiente de Absorção Térmica
Telha <i>Shingle</i>	Rugoso	0,005	0,15	1121,3	1256	0,9
Telha Cerâmica	Rugoso	0,01	1,05	2000	920	0,9
Concreto Laje	Rugoso	0,12	1,75	2200	1000	0,9
Tijolo Cerâmico	Rugoso	*	0,9	2000	920	0,9
Madeira	Meio Rugoso	0,025	0,15	608	1400	0,9
Argamassa	Rugoso	0,01	1,15	2100	1000	0,9
	Rugoso	0,025	1,15	2100	1000	0,9

(fonte: NBR 15220/2005; GOMES, 2007; OWENSCORNING, 2011; SIKA, 2011)

Os valores adotados de resistência térmica das câmaras de ar estão na tabela 4.

Tabela 4 – Resistência de câmaras de ar

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar (cm)	Resistência térmica Rar m ² .K/W		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	1,0 < e < 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 < e < 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 5,0	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	1,0 < e < 2,0	0,29	0,23	0,29
	2,0 < e < 5,0	0,37	0,25	0,43
	e > 5,0	0,34	0,27	0,61

(fonte: NBR 15220)

Valores adotados para o vidro das janelas estão na tabela 5. Foram adaptados os valores da própria biblioteca do programa EnergyPlus versão 8.4.0.

Tabela 5 – Características dos vidros utilizados

Nome	Unidade	Vidro Simples	Vidro Duplo		
			Vidro (3mm)	Ar (8mm)	Vidro (3mm)
Composição		Vidro (3mm)	Vidro (3mm)	Ar (8mm)	Vidro (3mm)
Propriedade óticas		Média espectral	Média espectral		Média espectral
Espessura	m	0,003	0,014		0,014
Transmitância com incidência solar normal		0,837	0,837		0,837
Refletância superfície frontal com incidência solar normal		0,075	0,075		0,075
Refletância superfície oposta, incidência solar normal		0,075	0,075		0,075
Transmitância na faixa do visível, incidência normal		0,898	0,898		0,898
Refletância na faixa da visível superfície frontal, incidência solar normal		0,081	0,081		0,081
Refletância na faixa da visível superfície oposta, incidência solar normal		0,081	0,081		0,081
Transmitância na faixa do infravermelho, incidência normal		0	0		0
Emissividade hemisférica na faixa do infravermelho, superfície frontal		0,84	0,84		0,84
Emissividade hemisférica na faixa do infravermelho, superfície oposta		0,84	0,84		0,84
Condutividade térmica	W/m.K	0,9	0,9		0,9
Fator de correção e transmitância na faixa do visível		1	1		1
Difusão Solar		Não	Não		Não
Resistência térmica Rar m ² .K/W				0,14	

(fonte: baseado ENERGYPLUS, 2015)

5.4.1.3 Vedações

5.4.1.3.1 Parede Light steel framing

Os fechamentos das paredes externas para os modelos em LSF seguem a mesma composição aplicada nas paredes térreas da edificação real, somente sendo desconsiderada a estrutura em aço leve (figura 26). Nas paredes internas as camadas foram consideradas com chapa de gesso acartonado 12,5 mm mais chapa de OSB 11,1mm em ambos os lados da parede interna. No meio onde fica a estrutura parte foi preenchida com lã de vidro 50 mm, ficando com 40 mm de câmara de ar.

5.4.1.3.2 Parede Convencional

O outro sistema de fechamento adotado é o tipo de composição tradicionalmente utilizado no Brasil. Foi escolhido o tijolo de 6 furos quadrados, com argamassa de revestimento em ambos os lados das paredes. As dimensões dos tijolos são 9cm x 14cm x 19cm sendo assentados na menor direção e o reboco possui espessura de 2,5 cm tanto na face externa quanto na face interna. Essa composição foi adotada para as paredes externas e para paredes internas.

5.4.1.3.3 Coberturas

Foram adotadas duas composições diferentes de telhados, optando pela cobertura em telha *Shingle* e cobertura em telha cerâmica. A primeira é comumente utilizada em sistemas como o LSF e o *wood frame*. O detalhamento desta cobertura está descrito abaixo, iniciando do meio externo para o interno:

- a) telha *shingle*;
- b) subcobertura;
- c) chapa de OSB 11,1 mm;
- d) filme *foil* aluminizado;
- e) camada de ar 90mm;
- f) lã de vidro 90mm;
- g) chapa de gesso acartonado 12,5mm.

O segundo tipo de cobertura, amplamente utilizado no Brasil está descrito abaixo, iniciando do meio externo para o interno:

- a) telha cerâmica 10mm;

- b) filme *foil* aluminizado;
- c) camada de ar 90mm;
- d) chapa de gesso acartonado 12,5mm.

5.4.1.3.4 Esquadrias

As simulações possuem dois tipos de janelas, em que se variou a quantidade de vidros. A primeira opção são vidros de 3 milímetros, já o segundo tipo optou-se pelo uso de vidro duplo com dois vidros de 3 milímetros e uma câmara de ar com 8 milímetros entre os vidros.

Todas as portas são de madeira e foram adotadas painéis maciços de 25 milímetros de espessura. Foi considerada cor clara para as portas.

5.4.2 Definições gerais da simulação

Ao se realizar uma simulação devem ser definidos quais parâmetros serão adotados no programa de acordo com o tipo de análise que se deseja fazer, ou seja, devem ser definidas quais propriedades que serão avaliadas. Neste trabalho foi utilizada a versão 8.4.0 do *Energy Plus* para se executar a simulação e são necessários dois arquivos: o IDF que possui a modelagem e o EPW que possui as características climáticas da cidade adotada.

5.4.2.1 Arquivo IDF

No arquivo IDF é onde constam todos os dados que foram inseridos para se fazer a simulação numérica. Depois de terminada a modelagem gráfica com o *Open Studio*, se gerou o arquivo de extensão IDF básico que posteriormente foi editado e definido os parâmetros a seguir.

5.4.2.1.1 Parâmetros de simulação

1. Edificação

Foi adotada a orientação solar real da edificação.

O tipo de terreno adotado é *city* – região urbana da cidade.

Distribuição solar adotada *Full Exterior* – Considerando as sombras existentes externamente.

O número máximo de dias de aquecimento até convergir adotado foi 25, default para edificações que não são muito complexas.

O número mínimo de dias de aquecimento até convergir adotado foi 15.

2. Cálculo de sombras

Método de cálculo adotado: *Average Over Days In Frequency* é o padrão e mais rápido (controle de dias de sol e sombra na edificação).

Frequência de cálculo é de 20 dias.

3. Algoritmo de convecção da superfície interna correlaciona o coeficiente de transferência térmica com a variação de temperatura para todas as zonas internas. Foi adotado o TARP (convecção baseada na variação natural entre diferença de temperatura).
4. Algoritmo de convecção da superfície externa – DOE-2 (Correlaciona pela rugosidade da superfície).
5. Algoritmo de transferência de calor:

Foi adotado o algoritmo de *Conduction Transfer Functions*, que considera o calor sensível.

Limite superior de temperatura considerado em 2000°C.

6. Serão calculadas 60 de trocas térmicas a cada hora. Isso garante o máximo de precisão nos resultados evitando arredondamentos dos valores.
7. O período de simulação adotado foi o anual. Com este período, são simulados todos os dias do ano de acordo com o arquivo climático utilizado, permitindo uma análise mais próxima do real.

5.4.2.1.2 Zonas térmicas

As zonas térmicas já foram pré-definidas na modelagem com o programa *Sketchup* auxiliado pelo *plug-in Open Studio*. Elas foram delimitadas de acordo com os ambientes da residência. Sendo cada ambiente uma zona térmica, o que possibilita uma análise mais detalhada da simulação.

5.4.2.1.3 Rotinas de funcionamento e cargas térmicas

Na simulação é possível desenvolver as rotinas de ocupação e funcionamento da edificação. Esse detalhamento deve ser feito com o uso de uma *schedule* onde será definido o cronograma de alterações que irão interferir no comportamento térmico do modelo.

No modelo desenvolvido para este trabalho não foram consideradas nenhum tipo de ocupação e tão pouco acionamento de equipamentos, luzes, pisos aquecidos ou condicionadores de ar, não incluindo qualquer tipo de fonte térmica interna por ocupação.

A NBR 15575/2013 determina a adoção de ventilação natural durante as 24 horas do dia considerando uma troca de ar por hora em cada ambiente com janela durante todo dia. Dessa maneira, o ar de um ambiente será totalmente renovado em uma hora.

No caso de a edificação não atingir o mínimo exigido pela norma é possível aumentar para 5 trocas de ar por hora.

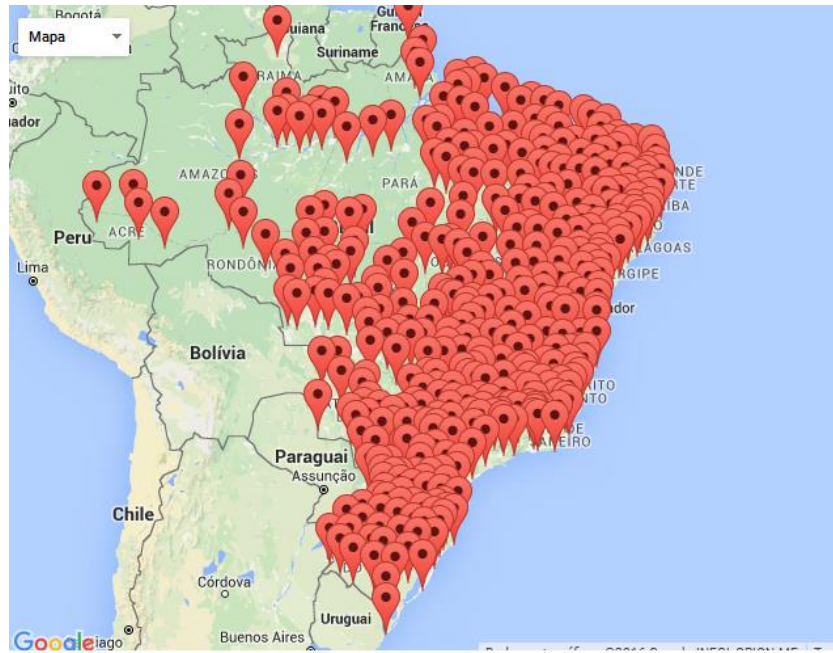
Por se tratar de padrão de funcionamento simples, se optou pela *schedule compact*. Nela se adotou uma rotina para todo o dia durante todo o ano sendo adotado o valor um na variável numérica. Com essa rotina se determinou para cada zona térmica uma troca de ar por hora do ambiente através da *zone infiltration: Design flow rate*.

5.4.2.2 Arquivo EPW

A NBR 15575/2013 determina que na análise de desempenho térmico deva se usar as informações climáticas da cidade ou de uma cidade semelhante da mesma zona bioclimática. Os dados são encontrados na norma de desempenho térmico de edificações NBR 15220/2005 que trata das zonas bioclimáticas e define os parâmetros que devem ser adotados para cada zona. A norma traz apenas dados de algumas cidades e somente para os dias típicos de verão e inverno.

Contudo, é permitido pela norma o uso de arquivos climáticos criados por universidades ou institutos de pesquisas de notada capacitação técnica. Por essa permissão e pela real necessidade de se desenvolver estudos nessa área, o Professor Maurício Roriz da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) elaborou os arquivos com dados de 411 estações climatológicas (Figura 33) do INMET entre os anos de 2000 e 2010. Já no ano 2012 o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE/UFSC) disponibilizou estes arquivos em seu site para o público em geral. O arquivo tem o formato EPW, compatível com o *software Energy Plus*.

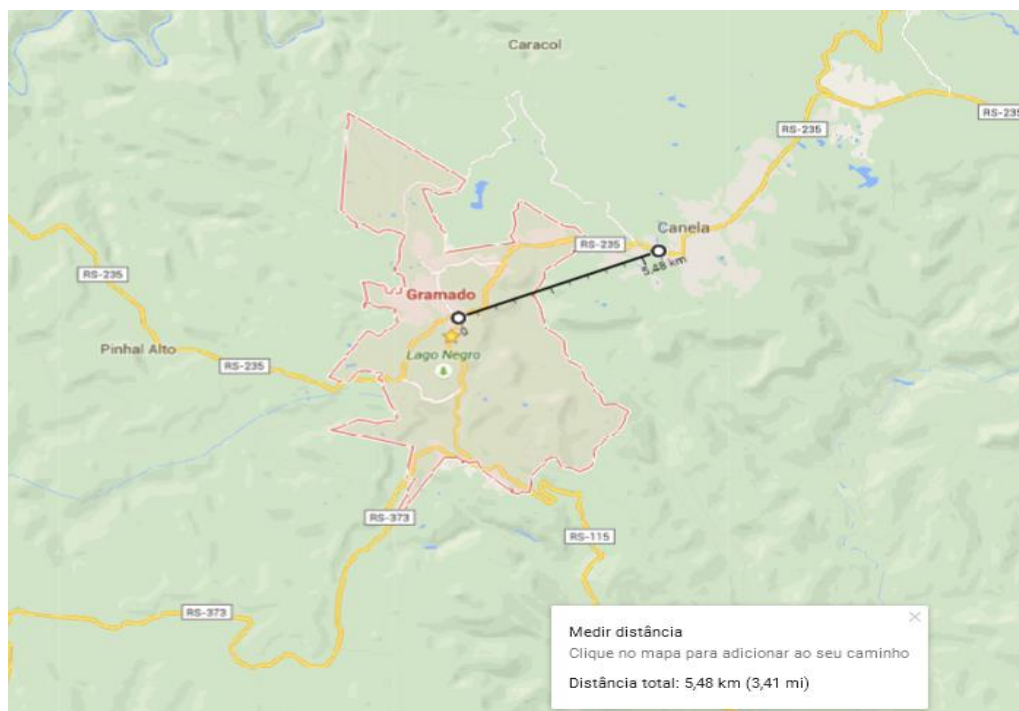
Figura 33 - Pontos de arquivo



(fonte: LABEE/UFSC, 2016)

Entre esses arquivos não existe a cidade de Gramado, mas existe o arquivo climático da cidade de Canela. Cidade vizinha (figura 34) que possui as mesmas características climáticas, e portanto perfeitamente aplicável para a simulação numérica da edificação em Gramado.

Figura 34 – Cidades de Gramado e Canela



(fonte: adaptado do GOOGLE MAPS, 2016)

6 RESULTADO E ANÁLISE DE ACORDO COM AS NORMAS DE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO

O desempenho térmico dos modelos considerados neste trabalho, serão apresentados e analisados nos itens a seguir de acordo com a NBR 15575/2013 nos dois primeiros itens, sendo considerado o Procedimento 1 (Simplificado) e o Procedimento de Simulação respectivamente. No terceiro item serão expostos os resultados e análises de acordo com o conforto térmico.

6.1 PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

O Procedimento 1, também chamado pela norma de desempenho NBR 15575-1 de procedimento simplificado, possui o caráter normativo. Este método avalia o desempenho térmico mínimo de paredes externas e coberturas sendo os parâmetros de aprovação da parede apresentados na NBR 15575-3 e os de cobertura na NBR 15575-5.

Para se fazer essa avaliação é necessário realizar os cálculos de Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (C_T) descritos na NBR 15220/2005 utilizando os dados de propriedades térmicas dos materiais da tabela 3 e tabela 4. Selecionando os materiais que estiverem nas composições apresentadas no item 5.4.1.3.1 desse trabalho para as paredes e no item 5.4.1.3.2 desse trabalho para as coberturas.

Nos próximos itens serão apresentados os cálculos para as paredes externas e coberturas quanto à transmitância e capacidade térmica. Bem como as avaliações e análises em relação à NBR 15575/2013.

6.1.1 Transmitância Térmica

No primeiro subitem que segue será calculada a transmitância térmica para as paredes externas em EIFS e em tijolo cerâmico 6 furos com revestimento argamassado em ambos os lados. Após o cálculo das paredes é realizado o cálculo para a cobertura com telha *shingle* e cobertura com telha com telha cerâmica.

6.1.1.1 Parede

Para se determinar a transmitância térmica de uma parede é preciso determinar a resistência térmica da mesma, onde se determina o somatório da resistência térmica de cada camada obtendo a resistência (R_T) e as resistências térmicas das superfícies internas (R_i) e externas (R_e).

Os valores das resistências superficiais foram retirados da Tabela A1 no Anexo A da NBR 15.220-2/2005 e estão na tabela 6.

Tabela 6 – Resistências superficiais

Superfície	Resistência m ² .K/W
Resistência Superficial Interna (R_{SI})	0,13
Resistência Superficial Externa (R_{SE})	0,04

(fonte: NBR 15.220/2005)

Tanto na parede de LSF quanto na parede de alvenaria cerâmica existem câmaras de ar. As câmaras de ar não ventiladas possuem resistências predefinidas pela norma de acordo com espessura da camada quanto pelo nível de emissividade. Em ambas as paredes foram consideradas de alta emissividade ($\epsilon > 0,8$) e os valores de resistência das câmaras de ar (R_{ar}) foram obtidas da Tabela B.1 no Anexo B da NBR15.220-2/2005, sendo os valores apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Câmara de ar

Parâmetros	Parede de LSF EIFS	Parede de Tijolos 6 Furos
Espessura da camada de ar (cm)	4	3
Resistência da camada de ar R_{ar} (m ² .K/W)	0,16	0,16

(fonte: NBR 15.220/2005)

As demais resistências térmicas são calculadas para cada material (fórmula 1) e a resistência total de superfície a superfície da parede com camadas homogêneas (fórmula 2) é obtida pelo

somatório dessas resistências e da resistência da camada de ar, conforme recomenda a NBR15.220/2005. Os resultados estão na tabela 8.

$$R_{ti} = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (\text{fórmula 1})$$

Sendo:

R_{ti} = resistência térmica de cada camada i [(m².K)/W];

e_i = espessura de cada material [m];

λ_i = condutividade térmica do material i [W/(m.K)];

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + R_{arn} \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

R_{ti} = resistência térmica de cada camada i [(m².K)/W];

R_t = resistência térmica de superfície a superfície [(m².K)/W];

Tabela 8 – Resultados da resistência térmica parede LSF

Parâmetros	Parede de LSF EIFS
Resistência do gesso acartonado $R_{t,G.A}$ (m ² .K/W)	0,036
Resistência do OSB $R_{t,OSB}$ (m ² .K/W)	0,093
Resistência da camada de ar R_{ar} (m ² .K/W)	0,160
Resistência lã de vidro $R_{Lã}$ (m ² .K/W)	1,111
Resistência do OSB $R_{t,OSB}$ (m ² .K/W)	0,093
Resistência do XPS $R_{t,XPS}$ (m ² .K/W)	0,714
Resistência da argamassa $R_{t,Argamassa}$ (m ² .K/W)	0,009
Resistência de superfície a superfície R_t (m ² .K/W)	2,215

(fonte: elaborado pelo autor)

Já para componentes de camadas homogêneas e não homogêneas a NBR 15.220/2005 orienta que seja usada a fórmula 3, para o cálculo de resistência térmica de superfície a superfície total conforme descrito abaixo e os resultados estão na tabela 9.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (\text{fórmula 3})$$

Sendo:

Aa, Ab, ... An são áreas de cada seção;

Ra, Rb, ... Rn são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção e calculadas pela fórmula 2.

Tabela 9 – Resultado resistência térmica do tijolo 6 furos quadrados

Parâmetros	Parede de Tijolos 6 Furos
Resistência do tijolo $R_{t \text{ Tijolo}}$ (m ² .K/W)	0,214162
Área da seção A (reboco+argamassa+reboco) A_a (m ² .K/W)	0,0034
Resistência da seção A $R_{t a}$ (m ² .K/W)	0,130434783
Área da seção B (reboco+tijolo+reboco) A_a (m ² .K/W)	0,0266
Resistência da seção A $R_{t a}$ (m ² .K/W)	0,257640182
Resistência de superfície a superfície R_t (m ² .K/W)	0,23199805

(fonte: elaborado pelo autor)

Com os resultados das resistências térmicas de superfície a superfície é feito o cálculo total da resistência térmica ambiente a ambiente (fórmula 4) e com os resultados finalmente é possível calcular a transmitância térmica de cada componente pela fórmula 5.

$$R_T = R_{Se} + R_t + R_{Si} \quad (\text{f\u00f3rmula 4})$$

Sendo:

R_T = resist\u00eancia t\u00e9rmica total de ambiente a ambiente [(m².K)/W];

R_t = resist\u00eancia t\u00e9rmica de superf\u00edcie a superf\u00edcie [(m².K)/W];

R_{Se} = resist\u00eancia t\u00e9rmica da superf\u00edcie externa [(m².K)/W];

R_{Si} = resist\u00eancia t\u00e9rmica da superf\u00edcie interna [(m².K)/W].

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (\text{f\u00f3rmula 5})$$

Sendo:

U = transmit\u00eancia t\u00e9rmica [W/(m².K)];

R_T = resist\u00eancia t\u00e9rmica total de ambiente a ambiente [(m².K)/W].

A seguir s\u00e3o apresentados os resultados para ambas as paredes estudadas (tabela 10). Onde a parede de LSF foi calculada sendo considerada formada por camadas homog\u00eneas e para a parede com alvenaria de tijolo cer\u00e2mico seguiu os c\u00e1lculos de camadas homog\u00eneas e n\u00e3o homog\u00eneas.

Tabela 10 – Resist\u00eancia e transmit\u00eancia t\u00e9rmica dos fechamentos

Par\u00e2metros	Parede de LSF EIFS	Parede de Tijolos 6 Furos
Resist\u00eancia de ambiente a ambiente R_T (m ² .K/W)	2,385	0,402
Transmit\u00eancia T\u00e9rmica U (W/m ² .K)	0,419	2,488

(fonte: elaborado pelo autor)

Ap\u00f3s obter os resultados da tabela 10 foram comparados com os requisitos da NBR 15575 (tabela 11), chegando aos seguintes resultados:

Tabela 11 – Comparativo da transmitância térmica com a norma

Sistemas	Transmitância Térmica $U_{\text{calculada}}$ (W/m ² .K)	Transmitância Térmica Máxima U_{max} (W/m ² .K)	
		Zonas 1 e 2	
Parede de LSF EIFS	0,419	2,5	Atende
Parede de Tijolos 6 Furos	2,488		Atende

(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.2.2 Coberturas

Na avaliação das coberturas foram usadas as fórmulas 1, 2, 4 e 5 já apresentadas. As resistências superficiais estão na tabela 12.

Tabela 12 – Resistências superficiais

Superfície	Resistência m ² .K/W
Resistência Superficial Interna (R_{SI})	0,17
Resistência Superficial Externa (R_{SE})	0,04

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 13 apresenta os valores das resistências térmicas das câmaras de ar utilizadas para coberturas com filme metálico, superfície de baixa emissividade.

Tabela 13 – Resistências camada de ar das coberturas

Parâmetros	Telha <i>Shingle</i>	Telha Cerâmica
Espessura da camada de ar (cm)	9	9
Resistência da camada de ar R_{ar} (m ² .K/W)	0,61	0,61

(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados obtidos para a resistência de superfície a superfície na cobertura com telha *shingle*. As fórmulas utilizadas nos cálculos para gerar a tabela 14 foram a fórmula 1 e fórmula 2.

Tabela 14 – Resistências superfície a superfície das coberturas *shingle*

Parâmetros	Telha <i>Shingle</i>
Resistência telhado shingle $R_{t,G.A}$ (m ² .K/W)	0,033
Resistência do OSB $R_{t,OSB}$ (m ² .K/W)	0,093
Resistência foil aluminizado R_{alum} (m ² .K/W)	0,071
Resistência da camada de ar R_{ar} (m ² .K/W)	0,610
Resistência lâ de vidro $R_{Lã}$ (m ² .K/W)	2,000
Resistência do gesso acartonado $R_{t,G.A}$ (m ² .K/W)	0,036
Resistência de superfície a superfície R_t (m ² .K/W)	2,843

(fonte: elaborado pelo autor)

Para obter os resultados da resistência de superfície à superfície da cobertura cerâmica (tabela 15), utilizou-se as mesmas fórmulas usadas para a tabela 13.

Tabela 15 – Resistências superfície a superfície das coberturas cerâmica

Parâmetros	Telha Cerâmica
Resistência telhado shingle $R_{t,G.A}$ (m ² .K/W)	0,010
Resistência foil aluminizado R_{alum} (m ² .K/W)	0,071
Resistência da camada de ar R_{ar} (m ² .K/W)	0,610
Resistência do gesso acartonado $R_{t,G.A}$ (m ² .K/W)	0,036
Resistência de superfície a superfície R_t (m ² .K/W)	0,727

(fonte: elaborado pelo autor)

De posse dos valores de resistência de superfície a superfície das coberturas, foi possível calcular as resistências térmicas de ambiente a ambiente e transmitância térmica para as duas coberturas (tabela 16) com as fórmulas 4 e 5.

A seguir foram avaliadas as coberturas (tabela 17) de acordo com a NBR 15.575-5/2013, verificando se atende o valor de transmitância máxima exigida pela norma para coberturas. O atendimento desse critério garante o índice M (de mínimo) para as coberturas.

Tabela 16 – Resistências ambiente a ambiente e transmitância térmica das coberturas

Parâmetros	Telha <i>Shingle</i>	Telha Cerâmica
Resistência de ambiente a ambiente R_T (m ² .K/W)	3,053	0,937
Transmitância Térmica U (W/m ² .K)	0,328	1,068

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 17 – Avaliação da transmitância térmica das coberturas

Sistemas	Transmitância Térmica $U_{calculada}$ (W/m ² .K)	Transmitância Térmica Máxima U_{max} (W/m ² .K)	
		Zonas 1 e 2	
Telha <i>Shingle</i>	0,328	2,3	Atende
Telha Cerâmica	1,068		Atende

(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.2 Capacidade Térmica

Neste item serão realizados os cálculos de capacidade térmica de acordo com a NBR 15220/2005 tanto para as paredes quanto para os dois tipos de coberturas. Primeiramente é calculado a capacidade térmica para a parede em EIFS e parede em tijolo cerâmico 6 furos, no subitem seguinte para as coberturas com telha *shingle* e telha cerâmica.

6.1.2.1 Parede

As capacidades térmicas seguem a mesma divisão entre componentes somente homogêneos e componentes com camadas homogêneas e não homogêneas. Onde a fórmula 6 define o cálculo para componentes de camadas homogêneas.

$$C_{ti} = e_i \times \rho_i \times c_i \quad (\text{fórmula 6})$$

Sendo:

C_{ti} = capacidade térmica [kJ/(m².K)];

e_i = espessura da camada ambiente [m];

ρ_i = densidade de massa aparente do material [kg/m³];

c_i = calor específico [kJ/(kg.K)].

A capacidade térmica para componentes de camada homogêneas e não homogêneas é calculada pela fórmula 7.

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (\text{fórmula 7})$$

Sendo:

C_T = capacidade térmica [kJ/(m².K)];

C_{Ti} = capacidade térmica do componente para cada seção (a,b,c, ...n) [kJ/(m².K)];

$A_a, A_b, \dots A_n$ são áreas de cada seção.

A NBR 15220/2005 permite desconsiderar as câmaras de ar nos cálculos da capacidade térmica dos componentes devido ao ar possuir uma baixa densidade de massa aparente. Além disso, exige que em paredes externas dotas de isolamento com condutividade térmica menor ou igual a 0,65 W/m².K e uma resistência térmica superior a 0,5 m².K/W não seja considerado o revestimento externo em seu cálculo de capacidade térmica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p.27). Sendo assim, a parede de *light steel framing* com sistema de fechamento externo EIFS deverá ser avaliada sem os materiais após a lâ de vidro em direção ao lado externo. Não foram usados no cálculo da capacidade térmica a chapa de OSB, o XPS e a argamassa flexível, pois isolante térmico (lã de vidro) impede a troca de calor em ambos os sentidos. Desta maneira os valores de Capacidade Térmica (tabela 18) são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 18 – Capacidade térmica das paredes

Parâmetros	Parede de LSF EIFS	Parede de Tijolos 6 Furos
Capacidade Térmica C_T [kJ/m ² .K]	28,042	158,88

(fonte: elaborado pelo autor)

O valor da capacidade térmica para a parede EIFS sofre uma grande redução pela determinação da norma quanto aos materiais considerados, caso fosse considerado todos materiais o valor seria de 64,43 kJ/m².K. De qualquer forma, com os resultados da tabela 18 foi possível avaliar (tabela 19) a aprovação ou não de cada sistema nos critérios mínimos do procedimento simplificado apresentado na NBR 15.575-3/2013.

Tabela 19 – Avaliação da capacidade térmica das paredes

Sistemas	Capacidade Térmica $C_{Tcalculada}$ [kJ/m ² .K]	Capacidade Térmica C_{Tmin} [kJ/m ² .K]	
		Zonas 1,2,3,4,5,6 e 7	
Parede de LSF EIFS	28,042	130	Não Atende
Parede de Tijolos 6 Furos	158,88		Atende

(fonte: elaborado pelo autor)

Logo, a parede do LSF não atendeu o valor mínimo da capacidade térmica exigida pela norma. Determinando a necessidade de se realizar a simulação numérica e verificar se atenderá os valores exigidos na norma de desempenho térmico.

6.1.2.2 Cobertura

O princípio de cálculo da Capacidade Térmica das coberturas é análogo ao descrito no item anterior para as paredes sendo usados na fórmula 6 e fórmula 7 utilizadas para se obter os resultados da tabela 20 a seguir:

Tabela 20 – Capacidade térmica das coberturas

Parâmetros	Telha <i>Shingle</i>	Telha Cerâmica
Capacidade Térmica C_T [kJ/m ² .K]	38,59	31,208

(fonte: elaborado pelo autor)

A NBR 15575-5 não especifica um valor mínimo de capacidade térmica para as coberturas e também não determinar se deve ser considerado somente os materiais até o isolamento térmico como é exigido para as vedações verticais externas. Por isso, foi considerado todos os materiais na obtenção da capacidade térmica de ambos os telhados. Contudo, os resultados da tabela 20 servem para verificar que a diferença entre as duas composições de coberturas não é muito acentuada ainda que demonstre um provável desempenho superior na simulação dos modelos com a telha *shingle*.

6.1.3 Atraso Térmico

A Norma 15.575/2013 não determina um desempenho mínimo para a inércia térmica de uma parede. No entanto em um país tropical como o Brasil, onde existem variações térmicas elevadas dentro de um mesmo dia, a determinação deste indicador é importante para se prever qual será resposta térmica da edificação.

Além da capacidade térmica, o outro parâmetro para a inércia térmica é o atraso térmico e seu cálculo para paredes e coberturas estão nos subitens que seguem. Para obtenção dos resultados, as fórmulas descritas neste trabalho foram buscadas na NBR 15.220/2005.

6.1.3.1 Parede

O atraso térmico de uma parede de um elemento heterogêneo é calculado com a expressão descrita abaixo (fórmula 8). Um elemento heterogêneo é o conjunto de “n” camadas superpostas paralelamente com fluxo de calor perpendicular (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p.5).

$$\varphi = 1,382 \times R_t \times \sqrt{B_1 + B_2} \quad (\text{fórmula 8})$$

Sendo:

ϕ = atraso térmico [horas];

R_t = resistência térmica de superfície a superfície do componente [$m^2.K/W$];

B_1 = variável calculada na fórmula 9;

B_2 = variável calculada na fórmula 10.

$$B_1 = 0,226 \times \frac{B_0}{R_t} \quad (\text{fórmula 9})$$

Sendo:

B_0 = variável calculada na fórmula 11.

$$B_2 = 0,205 \times \left(\frac{(e_i \times \rho_i \times c_i)}{R_t} \right) \times \left(R_t \times \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) \quad (\text{fórmula 10})$$

Sendo:

R_{ext} = resistência térmica do componente externa.

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} \quad (\text{fórmula 11})$$

Sendo:

C_T = capacidade térmica total do componente;

$C_{T_{ext}}$ = capacidade térmica total da camada externa do componente.

A variável B_2 deve ser desconsiderada na expressão do atraso térmico quando o valor de B_2 for negativo. Os valores encontrados para as duas paredes (tabela 21) são:

Tabela 21 – Atraso térmico das paredes

Parâmetros	Parede de LSF EIFS	Parede de Tijolos 6 Furos
Resistência de superfície a superfície R_t [$m^2.K/W$]	2,215	0,232
Variável B0	43,432	108,880
Variável B1	4,432	106,065
Variável B2	-47,522	-19,103
Atraso térmico ϕ [h]	6,44	3,30

(fonte: elaborado pelo autor)

É possível ver que a parede em EIFS possui uma transmitância térmica e uma capacidade térmica muito menor do que a parede do sistema tradicional. No entanto, o atraso térmico é dependente da resistência térmica e capacidade térmica. Levando a parede com EIFS a ter um atraso térmico com o dobro do tempo em relação a parede de tijolo cerâmico 6 furos. Essa característica é muito importante ser verificada para climas de alta variação térmica, caso de muitas cidades do Brasil especialmente na região sul do país. Esse comportamento será avaliado na simulação térmica e verificado se terá um impacto negativo para os modelos em estudos.

6.1.3.2 Cobertura

O atraso térmico de uma cobertura deve ser obtido com as mesmas expressões apresentadas para paredes (fórmulas 8,9,10 e 11). Os valores encontrados para as coberturas estão na tabela 22.

Tabela 22 – Atraso térmico das coberturas

Parâmetros	Telha <i>Shingle</i>	Telha Cerâmica
Resistência de superfície a superfície R_t [$m^2.K/W$]	2,843	0,727

Variável B0	31,550	11,208
Variável B1	2,508	3,486
Variável B2	-3,811	-38,235
Atraso térmico ϕ [h]	6,22	1,88

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas para toda a edificação utilizando cada ambiente como uma zona térmica. Depois gerou-se os gráficos com a temperatura externa do ambiente e as temperaturas internas dos ambientes para os ambientes sala de estar e dormitório 02.

Nos próximos itens serão apresentados os resultados, avaliações e análise de dois ambientes da residência. Foram escolhidos dois cômodos que tivessem função diferentes entre si e que contam com um tempo de permanência elevado dos usuários. Por isso, para o pavimento superior foi escolhido o quarto 02, esse ambiente além de ser um local de permanência prolongada é o com o pior desempenho da edificação. O outro ambiente adotado é a sala de estar do pavimento térreo, e opção por esse ambiente é por estar localizado no lado oposto do quarto 02, permitindo analisar a influência solar em mais de uma orientação e ser um tipo de ambiente com função diferente do dormitório.

6.2.1. Simulação dos dias típicos

Após as simulações foram escolhidos os dias típico para o verão e para o inverno. A norma NBR 15575/2013 determina que deva ser adotado como dia típico a data em que possuir a maior temperatura em uma hora do dia no ano para o verão e a menor temperatura do ano para o inverno. Essa determinação garante verificar o dia com a maior e menor temperatura no ano, mas não garante que aquele será o dia mais quente ou mais frio, já que para isso seria necessário verificar os dias com a média do dia mais alto ou mais baixo. Considerando o clima brasileiro, com grandes variações térmicas, esse tipo de critério adotado pela norma pode não garantir uma boa avaliação dos dias. Os valores de temperatura foram gerados pelo programa e plotados em uma planilha eletrônica, as temperaturas do ambiente externo estão dentro do arquivo climático disponibilizado pelo LABEEE (UFSC, 2016). Assim, as temperaturas do ambiente externo para os dias típicos estão na tabela 23.

Tabela 23 – Dias típicos

	Dia típico de Verão	Dia típico de Inverno		Dia típico de Verão	Dia típico de Inverno
Dia do ano	02/11	30/09	Dia do ano	02/11	30/09
Hora do dia	Temperatura [°C]	Temperatura [°C]	Hora do dia	Temperatura [°C]	Temperatura [°C]
0	21,86	2,50	13	30,36	11,40
1	22,10	2,04	14	30,75	11,65
2	21,55	2,46	15	31,11	12,41
3	21,71	3,51	16	31,35	12,64
4	21,29	4,05	17	30,33	11,54
5	20,50	4,10	18	29,35	10,14
6	20,35	4,41	19	28,33	8,89
7	21,57	6,02	20	26,33	8,15
8	23,61	7,51	21	24,54	7,75
9	25,32	8,61	22	23,24	7,65
10	27,27	9,71	23	22,45	7,85
11	28,81	9,95	24	22,61	8,05

(fonte: UFSC, 2016)

6.2.1.1 Simulação: Dias Típico de verão

A seguir são apresentados os gráficos para dias típicos de verão, onde foram comparados os modelos citados na tabela 2. A comparação aconteceu sempre entre o sistema em LSF com vedações verticais em EIFS e o sistema tradicional brasileiro de concreto armado moldado *in loco* com vedação em tijolos cerâmicos e revestimento argamassado em ambos os lados. Os gráficos variam de acordo com o ambiente, cobertura e tipo de vidro.

Para a avaliação de desempenho térmico por simulação a norma NBR 15575-1/2013 exige que os seguintes requisitos sejam atendidos para aprovação e classificação, podendo variar em três níveis diferentes (tabela 24). Os níveis de desempenho térmico são classificados em nível mínimo (M), nível intermediário (I) e nível superior (S). Nos critérios são comparados os

valores de temperatura máxima no interior da edificação (T_{max}) e temperatura máxima externa do ambiente (T_{emax}).

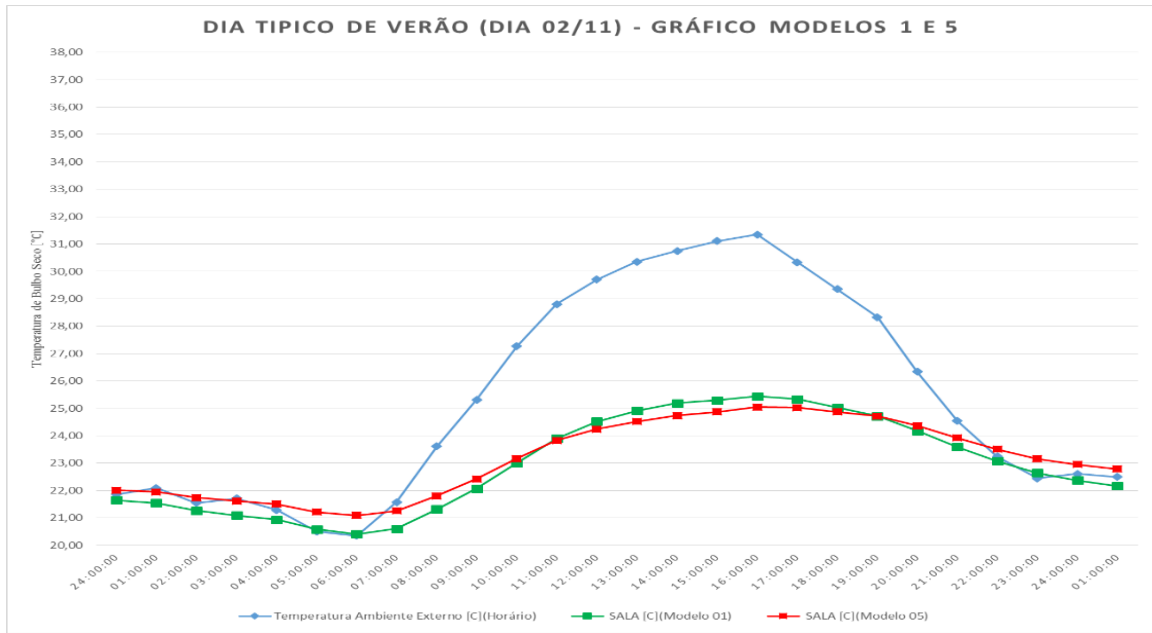
Tabela 24 – Critério de desempenho dia de verão

Nível de Desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{max} < T_{emax}$	$T_{max} < T_{emax}$
I	$T_{max} < (T_{emax} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{max} < (T_{emax} - 2^{\circ}\text{C})$
S	$T_{max} < (T_{emax} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{max} < (T_{emax} - 4^{\circ}\text{C})$

(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 62)

A figura 35 apresenta os resultados de temperatura no ambiente externo e no cômodo sala para o modelo 1 (fechamento em EIFS, laje seca leve, vidro simples e cobertura *shingle*) e para o modelo 5 (fechamento em parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados, laje úmida pesada, vidro simples e cobertura *shingle*). Na tabela A1 e na tabela A9 do apêndice A estão as temperaturas obtidas no dia típico de verão para o modelo 1 e modelo 5 respectivamente.

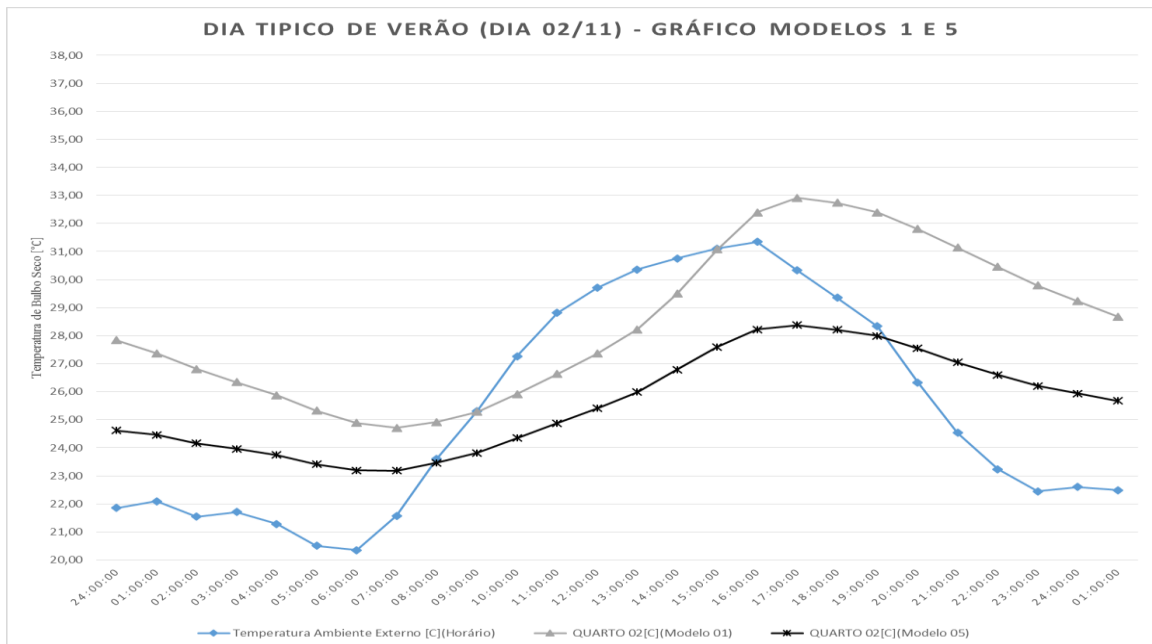
Figura 35 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 36 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo e no quarto 02 para os modelos 01 e 05.

Figura 36 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

Avaliando-se os dados das figuras 35 e 36, percebe-se que a sala no pavimento térreo tem um desempenho semelhante em ambos os modelos, porém o modelo 1 apresenta as temperaturas

mais baixas e a mais alta entre os dois modelos. A curva do modelo 1 tende a acompanhar a curva da temperatura externa sendo mais suscetível as variações do meio. Isso se deve a baixa inércia térmica do sistema LSF, enquanto no modelo 5 (tijolo cerâmico 6 furos quadrados) as variações são mais graduais. No ambiente do segundo pavimento fica ainda mais perceptível a suscetibilidade do modelo 1 a mudanças bruscas da temperatura, apresentando inclinações mais acentuadas do que no modelo 5 e chegando a um valor de pico superior a máxima temperatura do dia no ambiente externo.

A tabela 25 apresenta a definição dos níveis de atendimento, para cada cômodo nos dois modelos, segundo os critérios NBR 15575/2013 indicados na tabela 23.

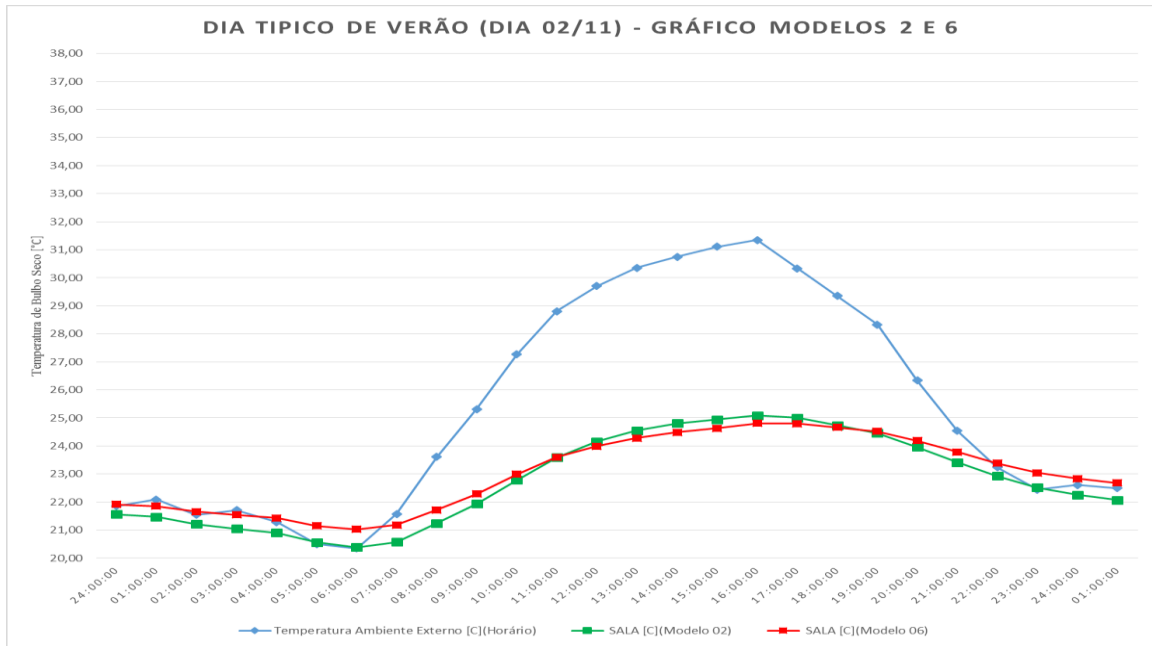
Tabela 25 – Avaliação de desempenho térmico

Modelo/Ambiente	Valor Referência Nível M	Valor Referência Nível I	Valor Referência Nível S	Nível Atendido
Modelo 1/ Sala	31,4	29,4	27,4	S
Modelo 1/ Quarto 02				INSATISFATÓRIO
Modelo 5 /Sala				S
Modelo 5/ Quarto 02				I

(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 37 apresenta os resultados de temperatura no ambiente externo e no cômodo sala para o modelo 2 (fechamento em EIFS, laje seca leve, vidro duplo e cobertura *shingle*) e para o modelo 6 (fechamento em parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados, laje úmida pesada, vidro duplo e cobertura *shingle*). Na tabela A3 e na tabela A11 do apêndice A estão as temperaturas obtidas no dia típico de verão para o modelo 2 e modelo 6 respectivamente.

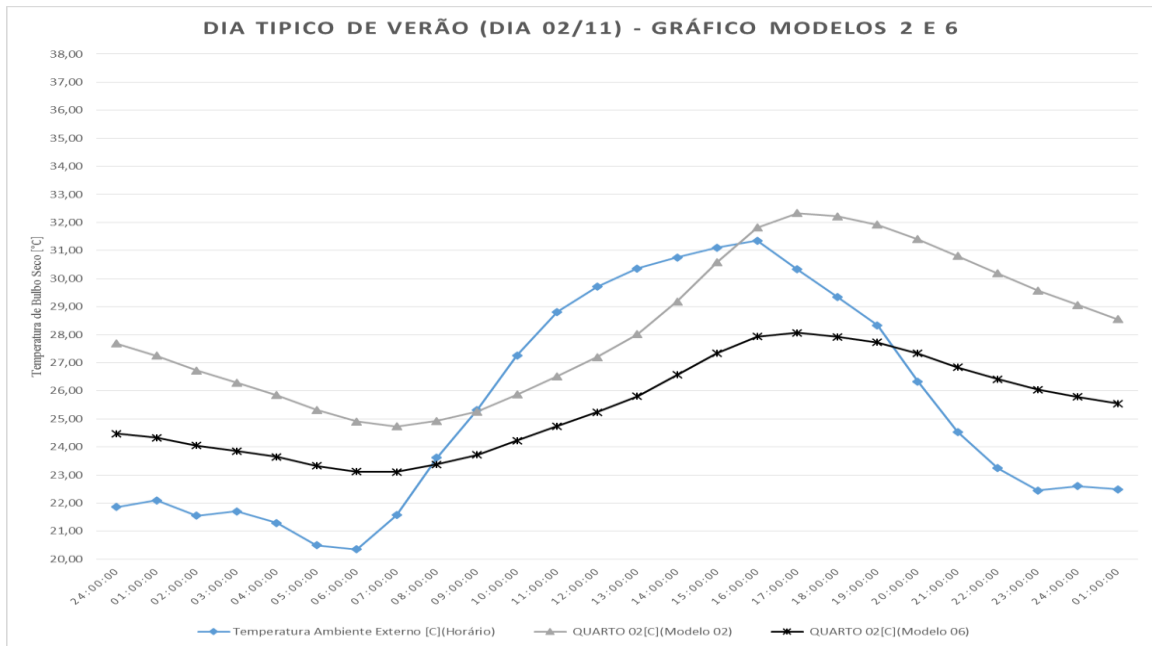
Figura 37 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 38 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo e no quarto 02 para os modelos 02 e 06.

Figura 38 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

Com os dados das figuras 37 e 38, pode-se concluir que a adoção de vidros duplos nos dois sistemas construtivos melhora o desempenho térmico em todos os ambientes. No entanto, mesmo com a alteração para vidro duplo (modelo 2), o quarto 02 da edificação em LSF não consegue atender ao critério mínimo de estar com a temperatura do ambiente interno menor ou igual a do ambiente externo na hora de temperatura máxima do dia.

A tabela 26 apresenta a definição dos níveis de atendimento, para cada cômodo nos dois modelos, segundo os critérios NBR 15575/2013 indicados na tabela 23.

Tabela 26 – Avaliação de desempenho térmico

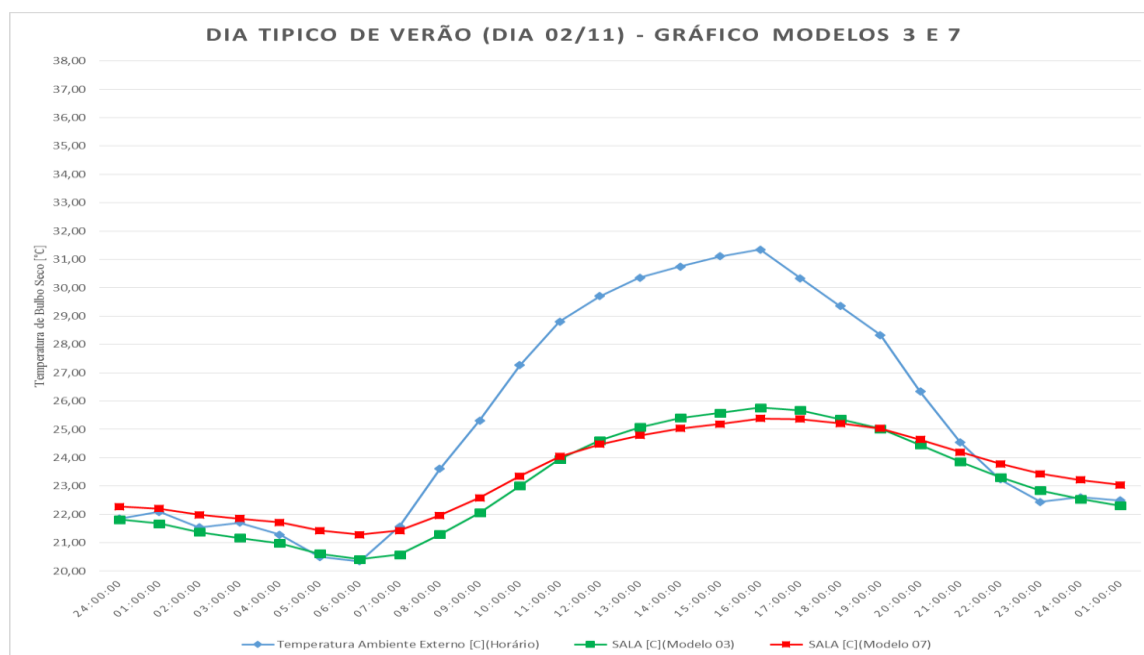
Modelo/Ambiente	Valor Referência Nível M	Valor Referência Nível I	Valor Referência Nível S	Nível Atendido
Modelo 2/ Sala	31,4	29,4	27,4	S
Modelo 2/ Quarto 02				INSATISFATÓRIO
Modelo 6 /Sala				S
Modelo 6/ Quarto 02				I

(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 39 apresenta os resultados de temperatura no ambiente externo e no cômodo sala para o modelo 3 (fechamento em EIFS, laje seca leve, vidro simples e telha cerâmica) e para o modelo 7 (fechamento em parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados, laje úmida pesada, vidro simples e telha cerâmica). Na tabela A5 e na tabela A13 do apêndice A estão as temperaturas obtidas no dia típico de verão para o modelo 3 e modelo 7 respectivamente.

A figura 40 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo e no quarto 02 para os modelos 3 e 7.

Figura 39 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala

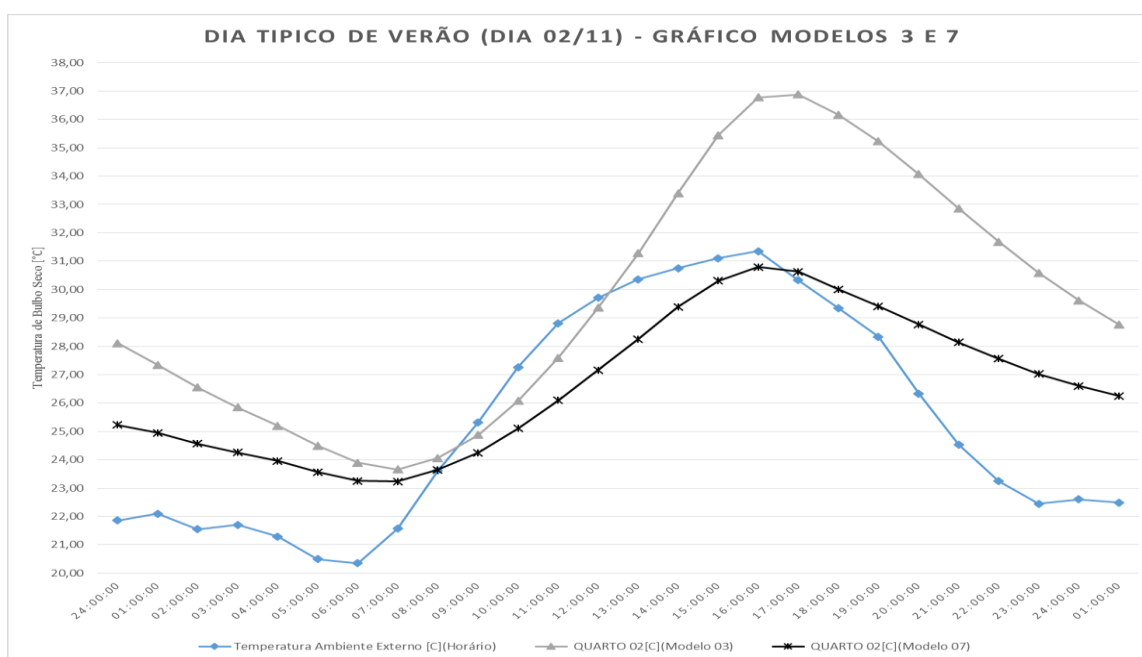


(fonte: elaborado pelo autor)

Considerando-se os dados das figuras 39 e 40, percebe-se que para ambos sistemas construtivos, o uso da cobertura em telha cerâmica piora muito o desempenho térmico nos cômodos do segundo pavimento e mesmo ambientes do pavimento térreo tem seu desempenho térmico afetado pela alteração no tipo de cobertura. Essa alteração não chega a afetar muito o ambiente do térreo (sala de estar) a ponto de não atender ao desempenho térmico exigido pela NBR 15.575/2013, mas ela aumenta a temperatura nos dois sistemas construtivos. No segundo pavimento, a edificação em LSF do modelo 1 e 2 que já não atendiam o mínimo da norma para dias de verão com a telha *shingle* com a adoção da telha cerâmica (modelo 3) piora ainda mais chegando a quase 36,78°C na hora de temperatura máxima no ambiente externo e o modelo 7, sistema tradicional brasileiro de edificação, também piora o seu desempenho com a telha cerâmica, ainda que não ultrapasse a temperatura máxima permitida. Nessas condições de alta variação e de elevadas temperaturas máximas no quarto 02, certamente causará desconforto nos usuários.

Uma forma de possivelmente melhorar a o desempenho térmico nos ambientes do andar superior seria a adoção de algum tipo de laje seca ou laje úmida. Opção que muitas vezes é utilizada nas edificações.

Figura 40 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 27 apresenta a definição dos níveis de atendimento, para cada cômodo nos dois modelos apresentados nas figuras 39 e 40, segundo os critérios NBR 15575/2013 indicados na tabela 23.

Tabela 27 – Avaliação de desempenho térmico

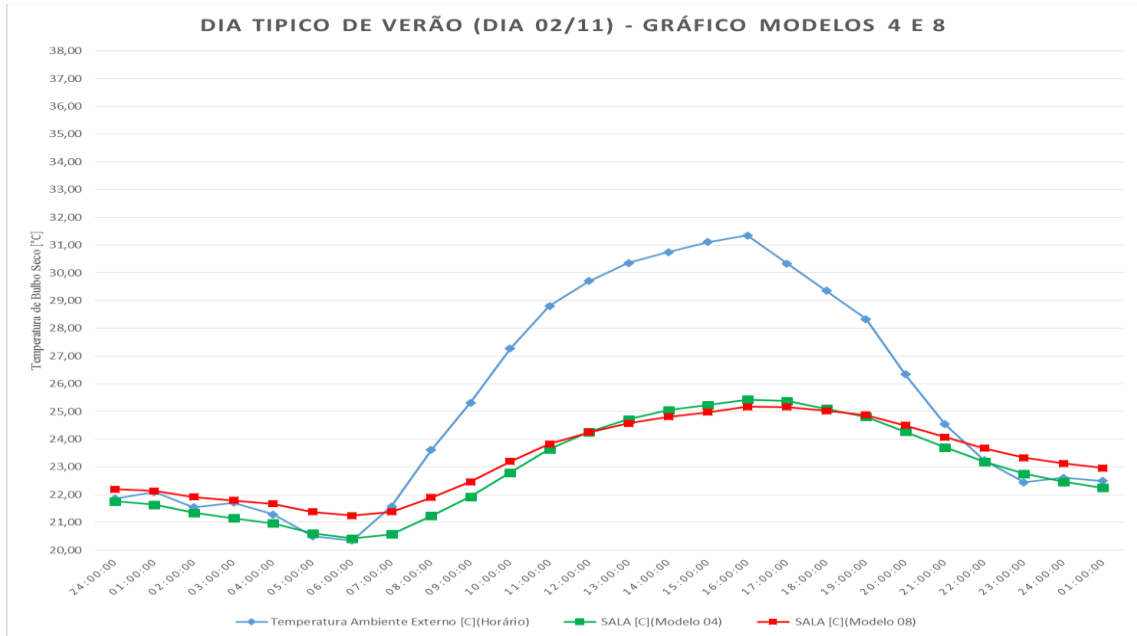
Modelo/Ambiente	Valor Referência Nível M	Valor Referência Nível I	Valor Referência Nível S	Nível Atendido
Modelo 3/ Sala	31,4	29,4	27,4	S
Modelo 3/ Quarto 02				INSATISFATÓRIO
Modelo 7 /Sala				S
Modelo 7/ Quarto 02				M

(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 41 apresenta os resultados de temperatura no ambiente externo e no cômodo sala para o modelo 4 (fechamento em EIFS, laje seca leve, vidro duplo e telha cerâmica) e para o modelo 8 (fechamento em parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados, laje úmida pesada,

vidro duplo e telha cerâmica). Na tabela A4 e na tabela A15 do apêndice A estão as temperaturas obtidas no dia típico de verão para o modelo 4 e modelo 8 respectivamente.

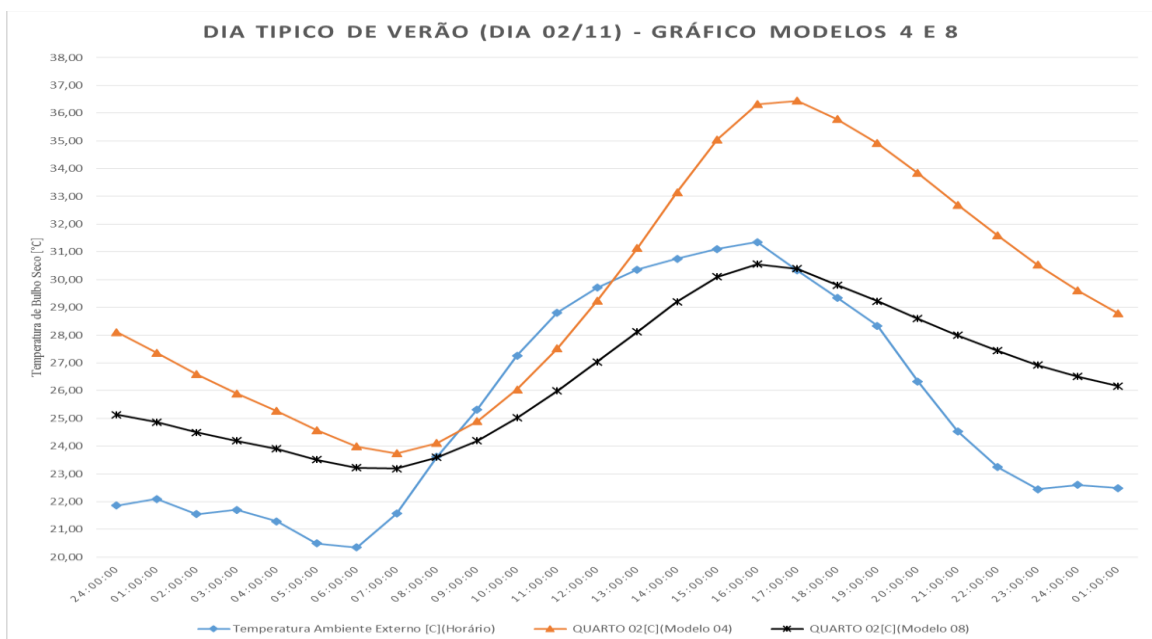
Figura 41 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 42 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo e no quarto 02 para os modelos 04 e 08.

Figura 42 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

Com os dados das figuras 41 e 42, percebe-se que a alteração do vidro simples para o vidro duplo nos sistemas com telha cerâmica possibilita a redução nas variações de temperatura entre máximo e mínimo dos ambientes, mesmo efeito causado quando usado a cobertura com telha *shingle*. No entanto, novamente as reduções de temperatura máximas não são tão significativas a ponto de conseguir a aprovação do quarto 02 no sistema em LSF (modelo 4).

A tabela 28 apresenta a definição dos níveis de atendimento, para cada cômodo nos dois modelos apresentados nas figuras 41 e 42, segundo os critérios NBR 15575/2013 indicados na tabela 23.

Tabela 28 – Avaliação de desempenho térmico modelo 4 e 8

Modelo/Ambiente	Valor Referência Nível M	Valor Referência Nível I	Valor Referência Nível S	Nível Atendido
Modelo 4/ Sala	31,4	29,4	27,4	S
Modelo 4/ Quarto 02				INSATISFATÓRIO
Modelo 8 /Sala				S
Modelo 8/ Quarto 02				M

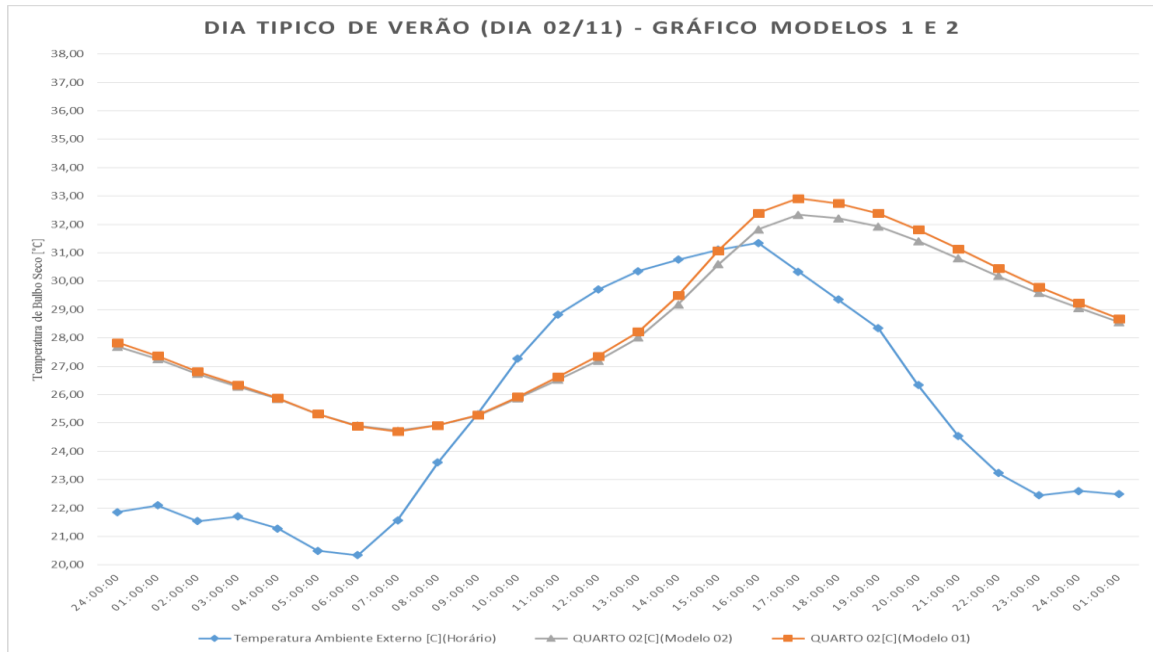
(fonte: elaborado pelo autor)

6.2.1.2 Comparação considerando tipos de vidro, no dia de verão

Após a plotagem dos gráficos gerados no item anterior, optou-se por gerar dois gráficos comparando a opção para os sistemas com a cobertura em telha *shingle* do dormitório 02 e variando o tipo de vidro empregado nas esquadrias, entre simples e duplo. A decisão em relação à avaliação dos resultados do dormitório 02 baseou-se no fato de ser o ambiente com maior variação térmica. Em relação à cobertura em telha *shingle*, foi a escolhida por ser a que obteve melhor resultado.

O primeiro gráfico (figura 43) apresenta a comparação entre os modelos de *light steel framing* fechamento em EIFS com vidro simples (modelo 1) e com vidro duplo (modelo 2).

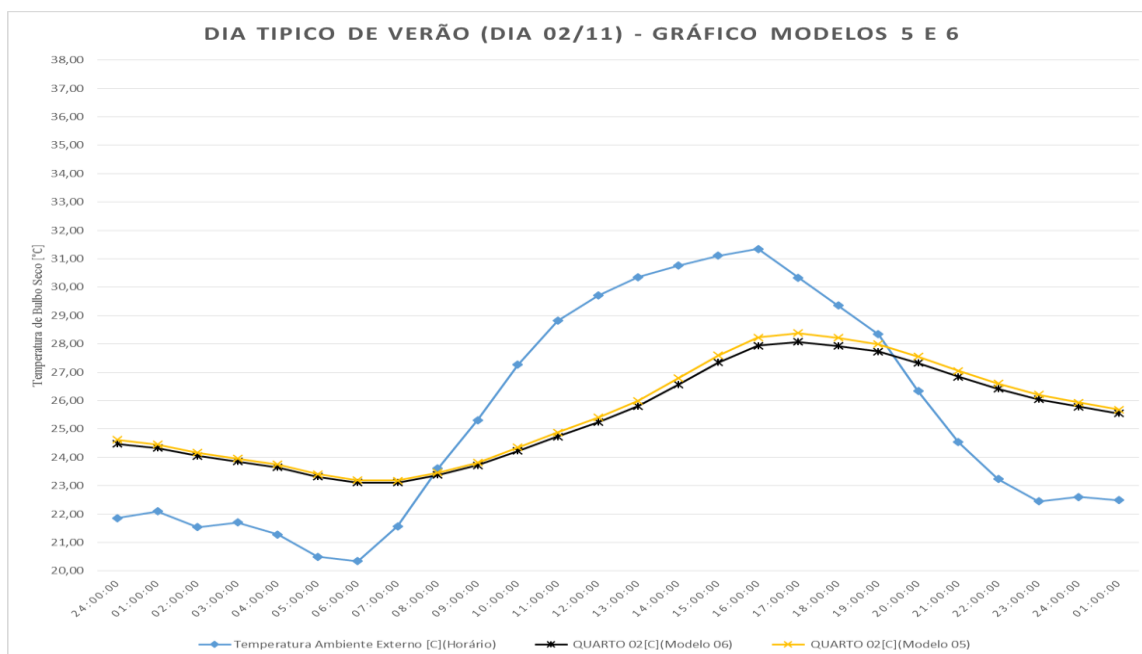
Figura 43 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 44 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo e no quarto 02 para o sistema tradicional com tijolo 6 furos quadrados revestimento argamassado em ambas as faces com vidro simples (modelos 05) e vidro duplo (modelo 6).

Figura 44 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

Em ambos os sistemas construtivos foi obtido uma redução da temperatura interna durante quase todas as horas do dia, considerando o uso do vidro duplo. Os resultados mostram que com o uso do vidro duplo, pode-se chegar a uma redução de 32,92°C para 32,33°C na comparação entre os modelos 1 e 2, já entre os modelos 5 e 6 a redução foi de 28,38°C para 28,07°C. A redução maior no primeiro gráfico provavelmente esteja relacionada com a alta variação no ambiente enquanto no segundo gráfico a variação é menor e não atinge valores tão extremos.

6.2.1.3 Simulação: dias típicos de inverno

A seguir são apresentados os gráficos para dias típicos de inverno, onde foram comparados os modelos citados na tabela 2. A comparação aconteceu sempre entre o sistema em *light steel framing* com vedações verticais com EIFS e o sistema tradicional brasileiro de concreto armado moldado in loco com parede de vedação em tijolos cerâmicos com revestimento argamassado em ambos os lados. Os gráficos variam de acordo com o ambiente, cobertura e tipo de vidro.

Para a avaliação de desempenho térmico por simulação a norma NBR 15575/2013 exige que os seguintes requisitos sejam atendidos para aprovação e classificação (tabela 29), podendo variar em três níveis diferentes.

Tabela 29 – Critério de desempenho dia de inverno

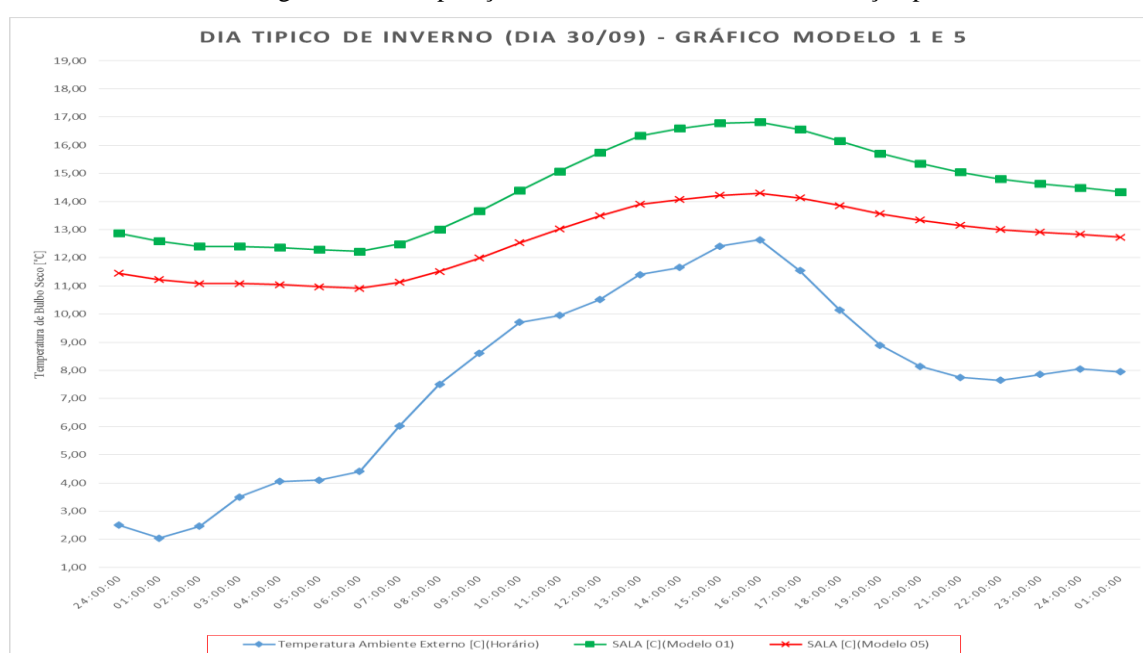
Nível de Desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 5	Zona 6,7,8
M	$T_{imin} > (T_{emin} + 3^{\circ}\text{C})$	Não precisa ser avaliado
I	$T_{imin} > (T_{emin} + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{imin} > (T_{emin} + 7^{\circ}\text{C})$	

(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 62)

Os níveis de desempenho térmico são clasificados em nível mínimo (M), nível intermediário (I) e nível superior (S). Nos critérios são comparados os valores de temperatura máxima no interior da edificação (T_{imax}) e temperatura máxima externa do ambiente (T_{emax}).

A figura 45 apresenta os resultados de temperatura no ambiente externo e no cômodo sala para o modelo 1 (fechamento em EIFS, laje seca leve, vidro simples e cobertura *shingle*) e para o modelo 5 (fechamento em parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados, laje úmida pesada, vidro simples e cobertura *shingle*) para o dia típico de inverno. Na tabela A2 e na tabela A10 do apêndice A estão as temperaturas obtidas no dia típico de inverno para o modelo 1 e modelo 5 respectivamente.

Figura 45 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala

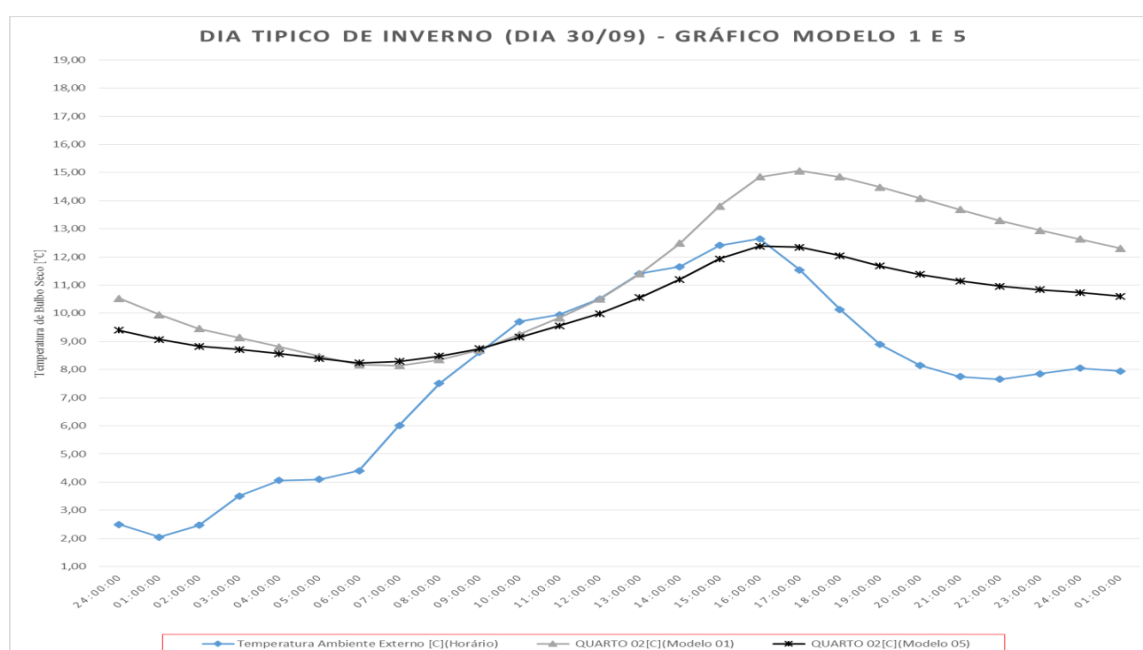


(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 46 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo e no quarto 02 para os modelos 1 e 5.

Para o dia de inverno, os gráficos para a sala (figura 45) e para o quarto 02 (figura 46) apresentam um desempenho superior do sistema em LSF (modelo 1), em que apresenta em quase todas as horas do dia uma temperatura superior em relação ao outro sistema (modelo 4). Apenas em algumas horas do início da manhã o quarto 2 do modelo 4 teve a temperatura superior a temperatura do modelo 1. Isso provavelmente se deva novamente a diferença de inércia entre os modelos em que o modelo 1 por ser modelo com menor inércia térmica sofreu uma influência maior quando a temperatura do ambiente externo reduziu a sua elevação entre 4 e 6 horas da manhã.

Figura 46 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 30 apresenta a definição dos níveis de atendimento, para cada cômodo nos dois modelos, segundo os critérios NBR 15575/2013 indicados na tabela 23.

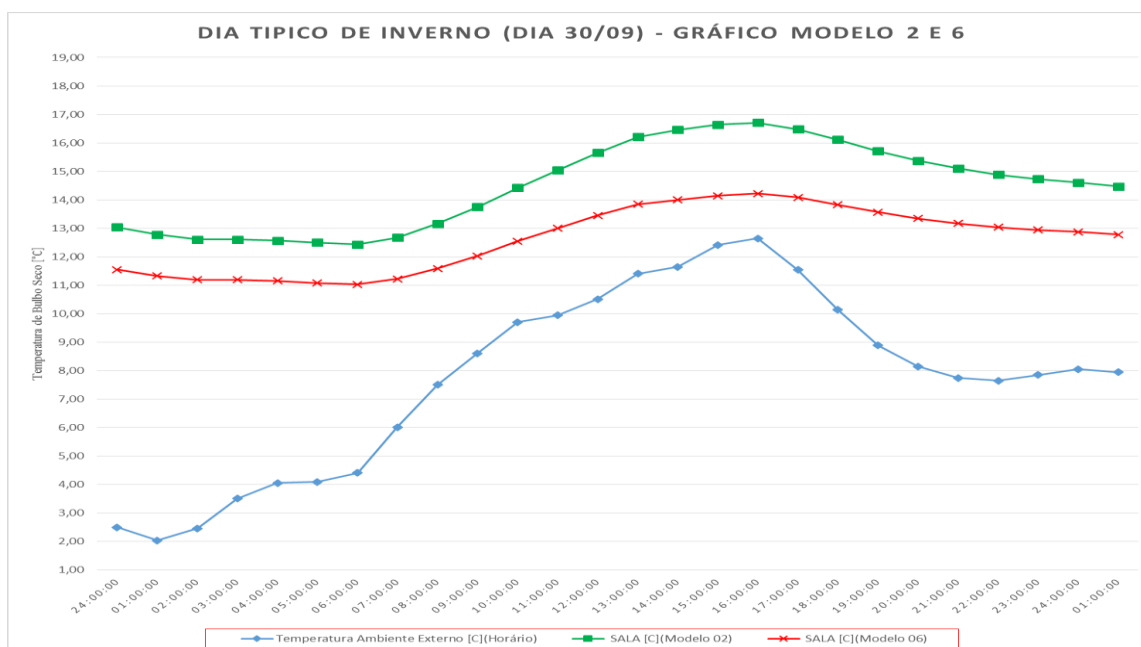
Tabela 30 – Avaliação de desempenho térmico modelos 1 e 5

Modelo/Ambiente	Valor Referência Nível M	Valor Referência Nível I	Valor Referência Nível S	Nível Atendido
Modelo 1/ Sala	5,04	7,04	9,04	S
Modelo 1/ Quarto 02				I
Modelo 5 /Sala				S
Modelo 5/ Quarto 02				I

(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 47 apresenta os resultados de temperatura no ambiente externo e na sala para o modelo 2 (fechamento em EIFS, laje seca leve, vidro duplo e cobertura *shingle*) e para o modelo 6 (fechamento em parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados, laje úmida pesada, vidro duplo e cobertura *shingle*) no dia típico de inverno. Na tabela A4 e na tabela A12 do apêndice A estão as temperaturas obtidas no dia típico de inverno para o modelo 2 e modelo 6 respectivamente.

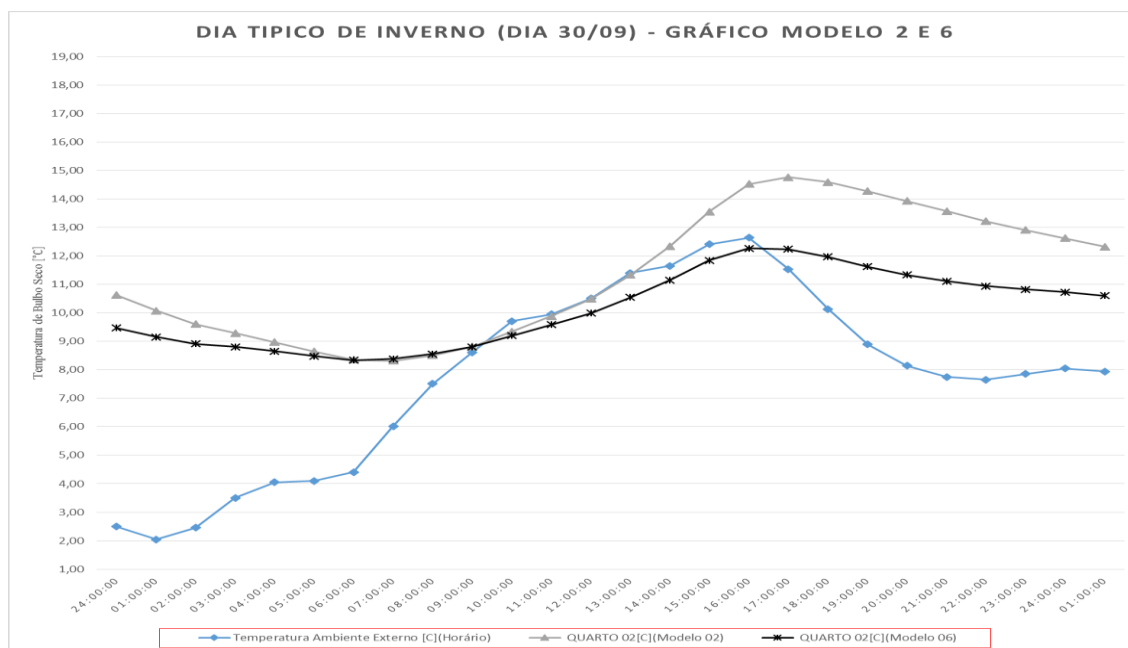
Figura 47 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 48 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo e no quarto 02 para os modelos 2 e 6.

Figura 48 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando os gráficos das figuras 47 e 48 é possível perceber que a utilização do vidro duplo não causou um impacto muito alto nos modelos simulados. Sendo, perceptível uma pequena elevação, nas temperaturas mínimas e uma redução das temperaturas máximas.

A tabela 31 apresenta a definição dos níveis de atendimento, para cada cômodo nos dois modelos, segundo os critérios NBR 15575/2013 indicados na tabela 23.

Tabela 31 – Avaliação de desempenho térmico modelos 2 e 6

Modelo/Ambiente	Valor Referência Nível M	Valor Referência Nível I	Valor Referência Nível S	Nível Atendido
Modelo 2/ Sala	5,04	7,04	9,04	S
Modelo 2/ Quarto 02				I
Modelo 6 /Sala				S
Modelo 6/ Quarto 02				I

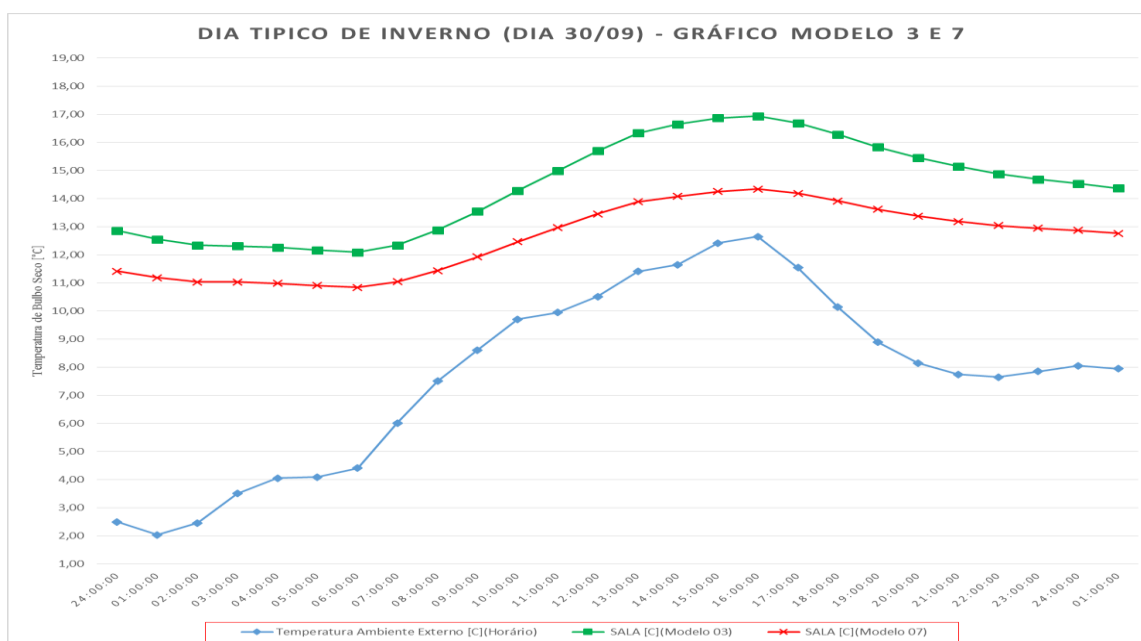
(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 49 apresenta os resultados de temperatura no ambiente externo e no cômodo sala para o modelo 3 (fechamento em EIFS, laje seca leve, vidro simples e telha cerâmica) e para o

modelo 7 (fechamento em parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados, laje úmida pesada, vidro simples e telha cerâmica). Na tabela A6 e na tabela A14 do apêndice A estão as temperaturas obtidas no dia típico de inverno para o modelo 3 e modelo 7 respectivamente.

A utilização da telha cerâmica nos modelos 3 e 7 não afeta a aprovação quanto ao critério mínimo da NBR 15575 em nenhum dos dois locais da edificação, mas comparando a tabela 32 sistemas com telhas cerâmicas com a tabela 30, onde os modelos estão com a telha *shingle*, nota-se que o níveis de desempenho térmico do quarto 02 foi rebaixado para o LSF e quase rebaixado para o modelo construtivo tradicional. Essa constatação demonstra um pior desempenho do telhado cerâmico em relação ao telhado *shingle* em um dia de temperaturas baixas típicas do inverno na região de Gramado. Além disso, pelo gráfico da figura 50 foi verificado uma alta amplitude das temperaturas no pavimento superior ao longo do dia para ambos os modelos com telha cerâmica, podendo causar desconforto aos usuários.

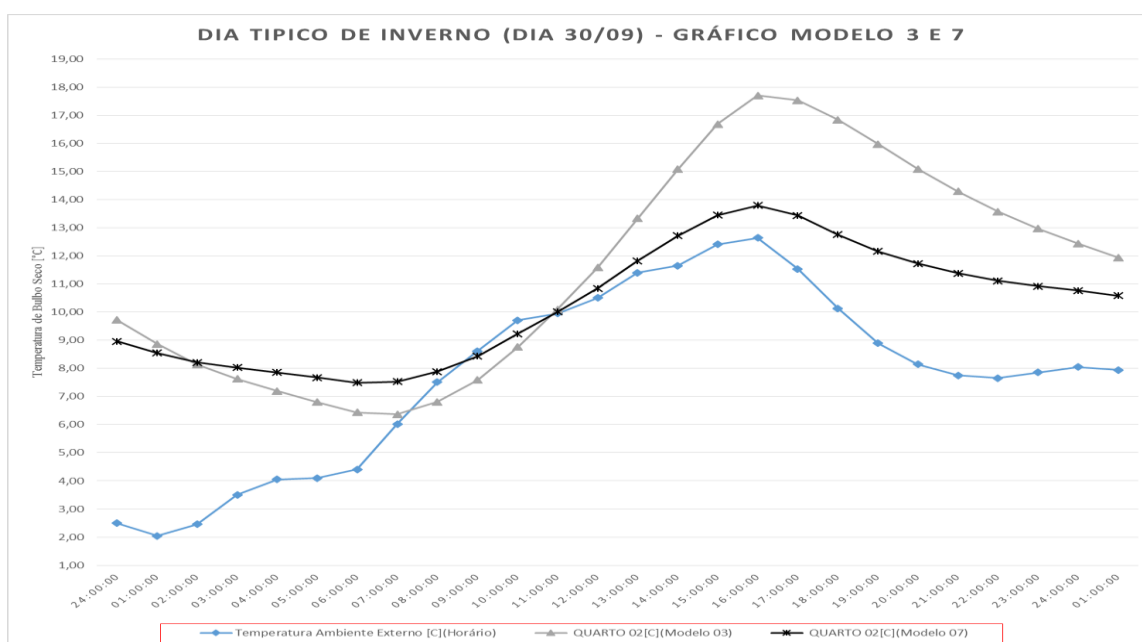
Figura 49 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 50 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo no quarto 02 para os modelos 3 e 7.

Figura 50 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 32 apresenta a definição dos níveis de atendimento, para cada cômodo nos dois modelos, segundo os critérios NBR 15575/2013 indicados na tabela 23.

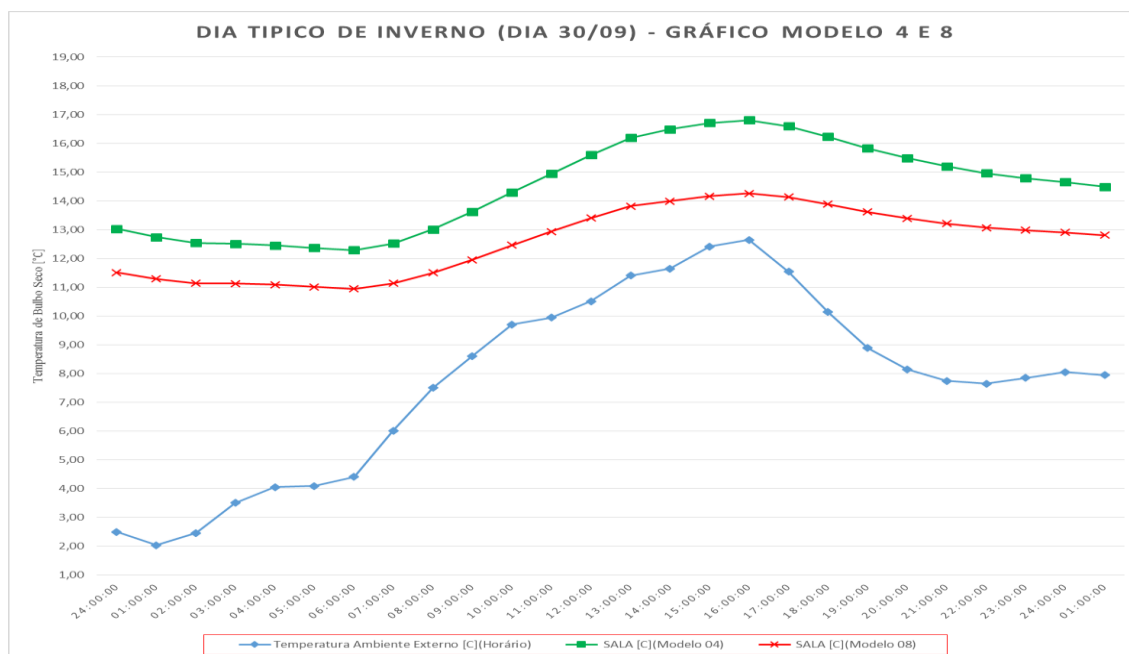
Tabela 32 – Avaliação de desempenho térmico modelos 3 e 7

Modelo/Ambiente	Valor Referência Nível M	Valor Referência Nível I	Valor Referência Nível S	Nível Atendido
Modelo 3/ Sala	5,04	7,04	9,04	S
Modelo 3/ Quarto 02				M
Modelo 7 /Sala				S
Modelo 7/ Quarto 02				I

(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 51 apresenta os resultados de temperatura no ambiente externo e no cômodo sala para o modelo 4 (fechamento em EIFS, laje seca leve, vidro duplo e telha cerâmica) e para o modelo 8 (fechamento em parede de tijolo cerâmico 6 furos quadrados, laje úmida pesada, vidro duplo e telha cerâmica). Na tabela A8 e na tabela A16 do apêndice A estão as temperaturas obtidas no dia típico de inverno para o modelo 4 e modelo 8 respectivamente.

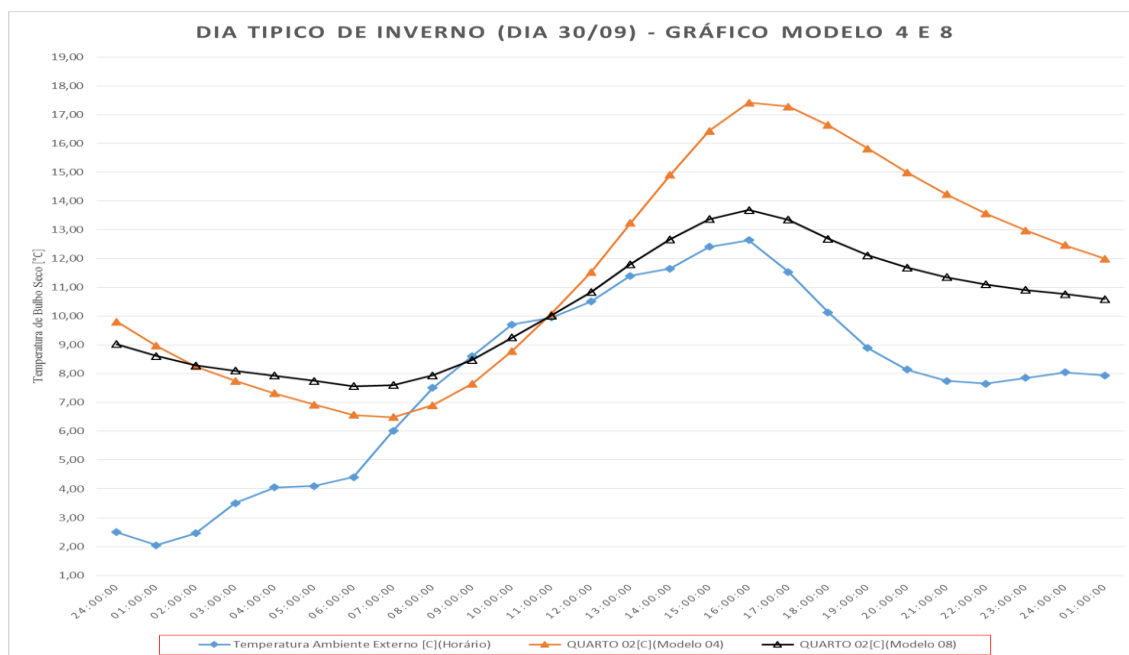
Figura 51 – Comparação de resultados obtidos em simulação para sala



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 52 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo e no quarto 02 para os modelos 4 e 8.

Figura 52 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

Ao avaliar os gráficos da figura 51 e figura 52, é percebido que a variação entre extremos, principalmente no quarto 02, é atenuada. A comparação das figuras 51 e 52 com as figuras 49 e 50 mostram que o uso do vidro duplo é ainda mais eficaz em ambientes que apresentam uma variação de temperatura alta ao longo do dia, reduzindo as temperaturas máximas e aumentando temperaturas mais baixas auxiliando no conforto térmico do ambiente.

A tabela 33 apresenta a definição dos níveis de atendimento, para cada cômodo nos dois modelos, segundo os critérios NBR 15575/2013 indicados na tabela 23.

Tabela 33 – Avaliação de desempenho térmico modelos 4 e 8

Modelo/Ambiente	Valor Referência Nível M	Valor Referência Nível I	Valor Referência Nível S	Nível Atendido
Modelo 4/ Sala	5,04	7,04	9,04	S
Modelo 4/ Quarto 02				M
Modelo 8 /Sala				S
Modelo 8/ Quarto 02				I

(fonte: elaborado pelo autor)

Nota-se que ao adicionar o vidro duplo, mudando do modelo 3 para o 4, foi possível melhorar o desempenho térmico em relação ao ambiente “quarto 02”. A mesma mudança, passando do modelo 7 para 8, também fez melhorar o desempenho do ambiente “quarto 02”.

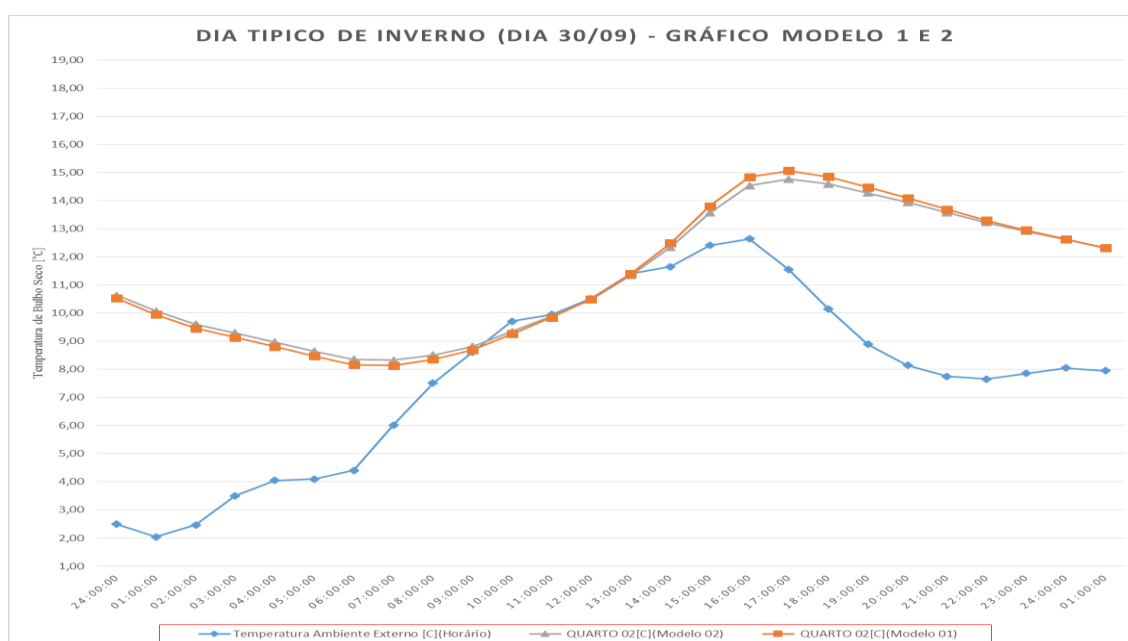
É possível perceber um melhor comportamento do LSF com telha *shingle* durante os dias de temperaturas baixas. Enquanto que o sistema tradicional tende a apresentar um desempenho abaixo ao longo do dia em relação à construção de aço leve, mas com uma variação entre extremos menor.

6.2.1.4 Comparação com tipos de vidros, no dia de inverno

Igualmente ao dia típico de verão, foram gerados dois gráficos para a comparação de modelos com vidro simples e vidro duplo. Sendo analisados os sistemas com cobertura de telha *shingle*.

O primeiro gráfico (figura 53) apresenta a comparação entre os modelos de *light steel framing* fechamento em EIFS com vidro simples (modelo 1) e com vidro duplo (modelo 2).

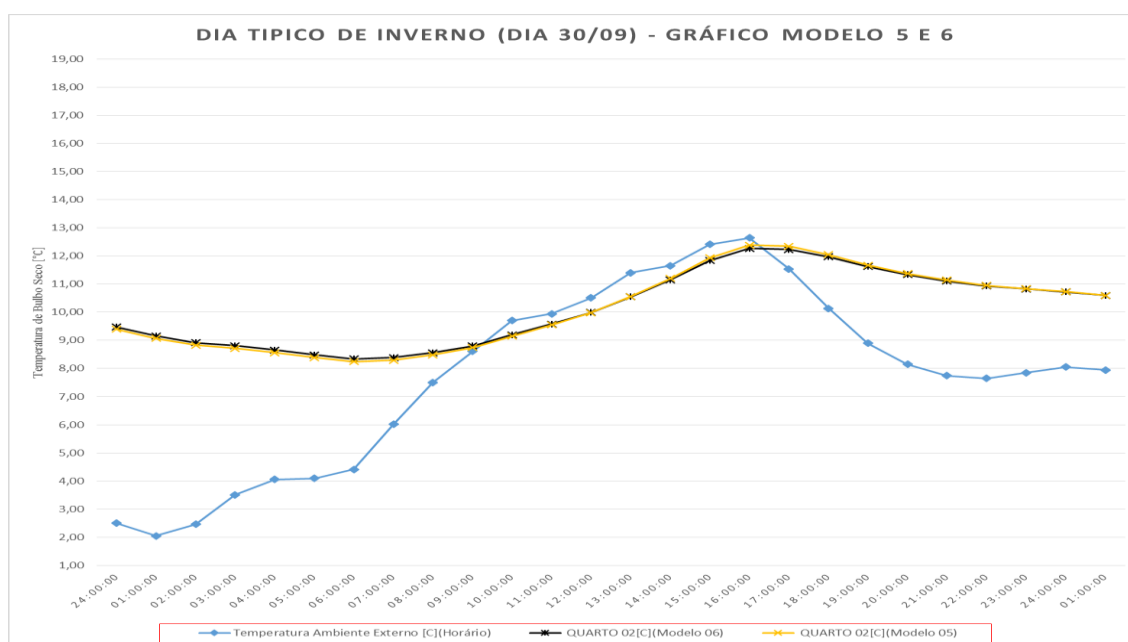
Figura 53 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

O segundo gráfico (figura 54) apresenta a comparação para o sistema tradicional com tijolo 6 furos quadrados revestimento argamassado em ambas as faces com vidro simples (modelo 5) e com vidro duplo (modelo 6).

Figura 54 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

Nos gráficos das figuras 53 e 54 para o dia típico de inverno foi verificado o oposto do comportamento no dia típico de verão. Em ambos os gráficos existe um aumento de temperatura ao utilizar vidros duplos no ambiente. Na figura 53, a temperatura mínima do ambiente interno aumentou de 8,14°C para 8,32°C, porém também se notou uma temperatura menor no modelo com vidros duplos para o momento mais quente do dia. Esses mesmos comportamentos foram verificados nos modelos com sistema tradicional de construção (figura 54) passando de 8,24°C para 8,34°C na hora mais fria do dia no ambiente interno.

6.3 CONFORTO TÉRMICO

Neste subitem serão analisados os resultados das simulações com os critérios de conforto térmico apresentados na tabela 21. Essa tabela foi gerada com os dados obtidos na pesquisa bibliográfica feita no item 4.2 deste trabalho. Por se tratar do projeto de um laboratório de referência brasileira em estudos e publicações na área sustentabilidade e eficiência energética, optou-se por adotar a faixa de conforto térmico (figura 9) dos meses em que estão incluídos os dias típicos de verão e inverno da cidade. Esses meses são novembro para verão e setembro para inverno, com as faixas ficando nos valores descrito na tabela 34.

Tabela 34 – Zona de conforto térmico

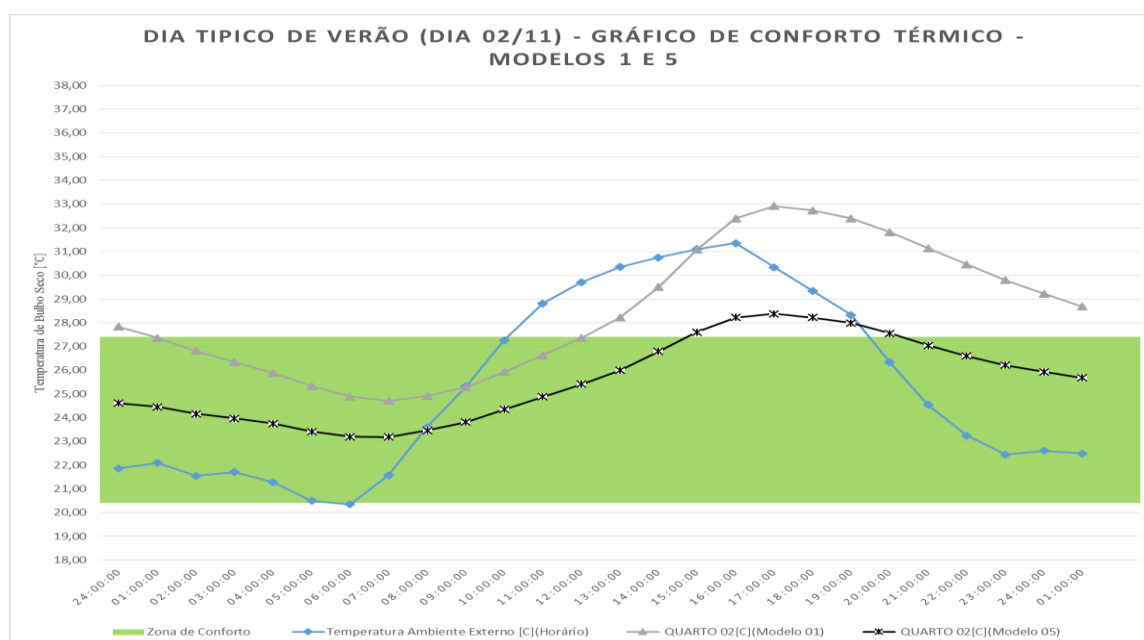
Mês	Zona de Conforto [°C]	
	Mínimo	Máximo
Novembro	20,40	27,40
Setembro	18,31	25,31

(fonte: elaborado pelo autor)

Com esses dados foram criados os seguintes gráficos para o quarto 02, selecionado por apresentar os resultados mais críticos na simulação. Onde foram plotadas as faixas de conforto térmico, temperatura no ambiente externo, temperatura interna no sistema LSF e temperatura interna no sistema tradicional para o dia de verão e para dia de inverno.

No gráfico da figura 55, constam os resultados da simulação para o modelo 1, modelo 5 e ambiente externo.

Figura 55 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02

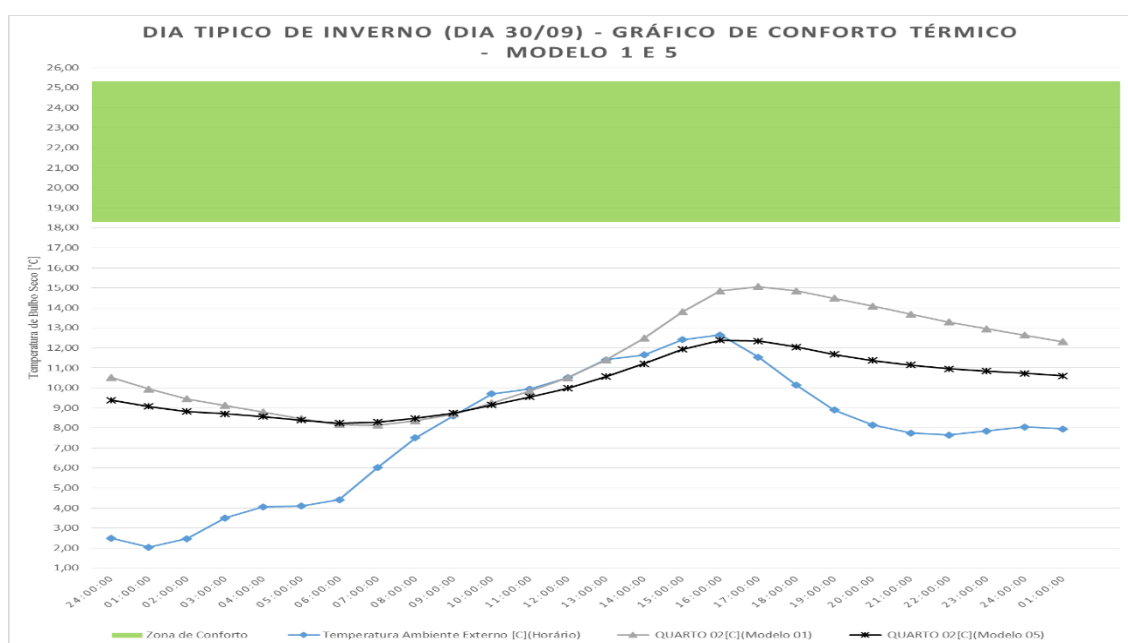


(fonte: elaborado pelo autor)

No gráfico (figura 55), ambos os modelos tiveram horas fora da zona de conforto, porém o modelo 1 sai dos limites de conforto térmico antes que o modelo 5, e, até o fim do dia simulado, não retorna. O gráfico demonstra que o ambiente do modelo 1 permanece em desconforto térmico por pelo menos 12 horas, já o modelo 5 alcança aproximadamente 5 horas de desconforto térmico. Enquanto que o ambiente externo totaliza cerca de 9,5 horas fora da faixa de conforto térmico

O conforto térmico não é alcançado pelos modelos 1 e 5 no dia típico de inverno (figura 56). Sendo necessário a adoção de outras estratégias de condicionamento natural ou ainda algum tipo de condicionamento artificial para se atingir o conforto térmico.

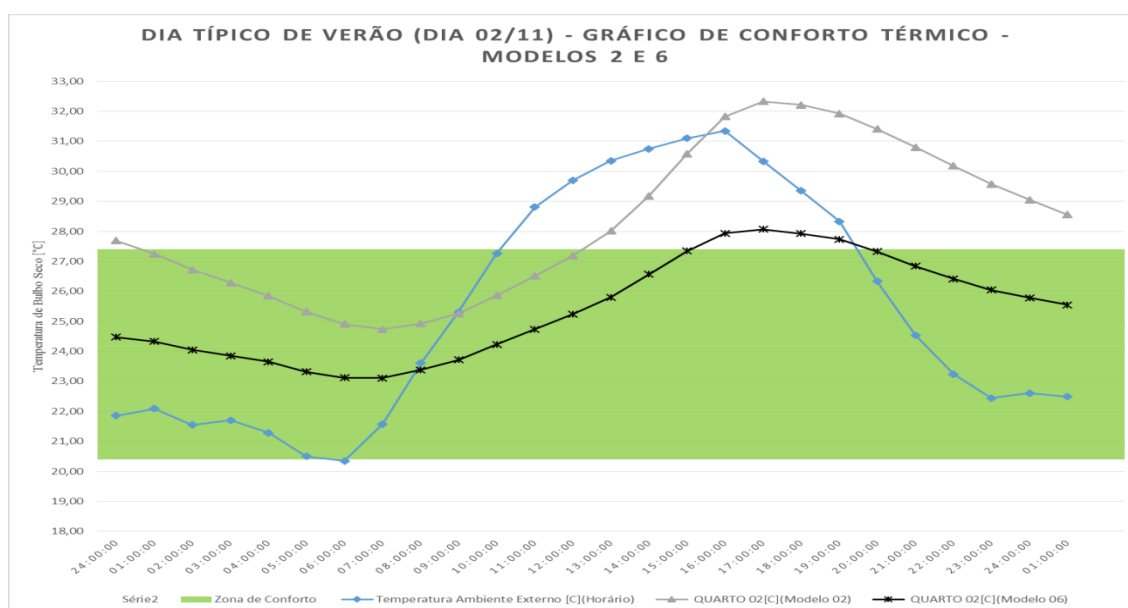
Figura 56 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

No dia de verão a figura 57 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo, no quarto 02 para os modelos 2 e 6 e a zona de conforto.

Figura 57 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



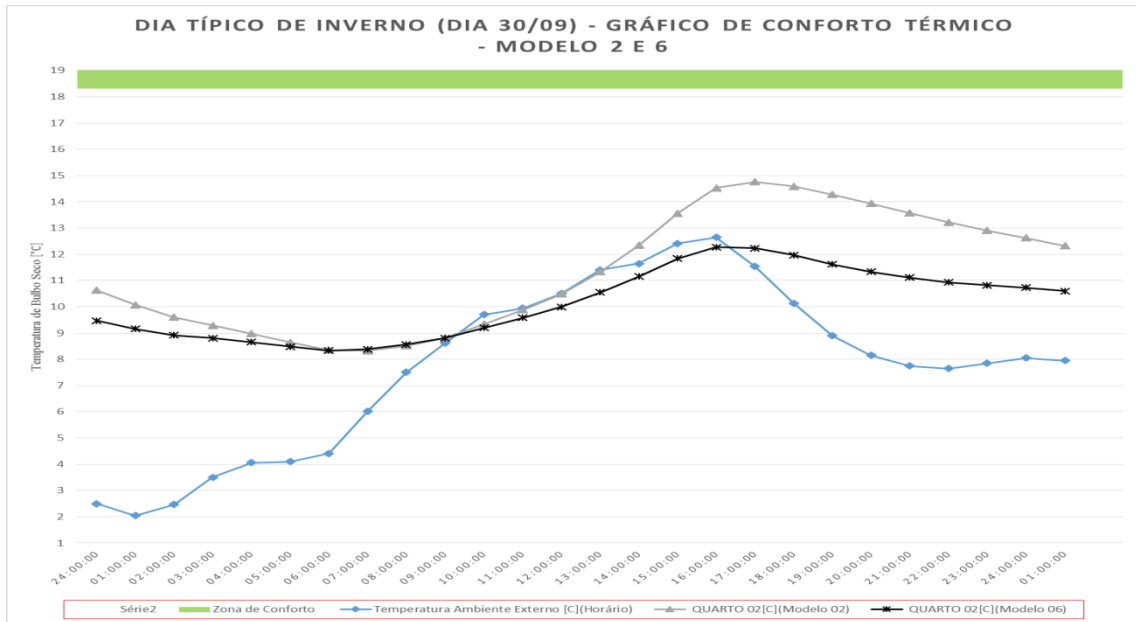
(fonte: elaborado pelo autor)

Novamente o modelo em LSF, modelo 2, é o que permanece por mais horas acima da faixa de conforto térmico, ainda que tenha reduzido um pouco esse tempo fora da zona de conforto térmico (figura 57). Somente a adoção do vidro duplo não foi suficiente para manter os modelos dentro da zona de conforto em um dia de verão.

A figura 58 apresenta os valores de temperatura no ambiente externo, no quarto 02 para os modelos 02 e 06 e a zona de conforto no dia de inverno.

O conforto térmico não é alcançado pelos modelos 2 e 6 no dia típico de inverno (figura 58). Sendo necessário a adoção de outras estratégias de condicionamento natural ou ainda algum tipo de condicionamento artificial para se atingir o conforto térmico.

Figura 58 – Comparação de resultados obtidos em simulação para quarto 02



(fonte: elaborado pelo autor)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visou-se comparar e analisar, se o uso do LSF com fechamento em EIFS poderia apresentar um desempenho térmico superior ao sistema com alvenaria de tijolo cerâmico 6 furos de revestimento argamassado em ambos os lados, especificamente na zona bioclimática um do Brasil. A escolha da zona um, por representar o caso da serra gaúcha e por ser a zona mais semelhante a países de clima temperado. Estas considerações aqui apresentadas servem para o trabalho em questão não devendo ser levada como única fonte nem generalizada para climas diferentes do estudado. Nos itens a seguir serão apresentadas as conclusões sobre este trabalho, dificuldades encontradas e sugestões para trabalhos futuros.

7.1 CONCLUSÕES

A avaliação pelo procedimento simplificado da NBR 15575/2013 é de grande ajuda para uma análise mais rápida do desempenho térmico de uma edificação, mas os resultados apresentados neste trabalho demonstram que somente a avaliação pela transmitância térmica e capacidade térmica podem não ser suficiente para as condições do clima na região sul do Brasil, uma vez que as grandes variações térmicas exigem uma análise completa em especial quanto a inércia térmica de uma residência. Para tal devem ser consideradas além da transmitância térmica e da capacidade térmica o atraso térmico, sendo esses três fatores os principais para determinar a inércia térmica

O sistema LSF com fechamento externo em EIFS possui a transmitância térmica muito baixa com o atraso térmico superior ao da parede tradicional estudada. Porém, a capacidade térmica é muito baixa, não atendendo o mínimo exigido pela norma de desempenho térmico. Essas são características de uma parede de inercia térmica baixa enquanto a parede de tijolos cerâmicos com revestimento argamassado possui uma inércia térmica de média para alta.

Por ser um sistema de baixa inércia térmica em comparação a outro sistema de inércia térmica superior, o sistema com fechamento EIFS apresentou na simulação um desempenho pior no dia de verão, já que sistemas de pouca inércia térmica tendem a ter um desempenho inferior em climas quentes, úmidos e com alta variação de temperatura no dia. O sistema *light steel*

framing inclusive não passou no critério da norma para dias verão em um dos ambientes, ainda que a norma permita o aumento para 5 renovações de ar por ambiente na simulação. Além disso, não foram consideradas as infiltrações de ar nos diferentes tipos de telhados, em especial o *shingle*. Neste tipo de cobertura, normalmente usa-se o sistema de cumeeira ventilada, associado a entradas de ar pelos beirais ou oitões, gerando renovação da camada de ar de forma constante. Considerar na simulação estas infiltrações de ar nos sistemas de cobertura, certamente afetaria o desempenho nas condições de verão, melhorando o seu resultado final.

Contudo, é importante ressaltar que, segundo análises bioclimáticas para a região em que está localizada a cidade de Gramado, na serra gaúcha, os dias com desconforto por calor acontecem em apenas 12% dos dias do ano. Isso indica que essa não é a principal preocupação, mas sim o desconforto por frio que está presente em 70% dos dias do ano na cidade. Para situações de verão, a revisão arquitetônica, repensando as aberturas para conferir ventilação cruzada nos ambientes do segundo pavimento, melhoraria o desempenho térmico dos ambientes e poderia possibilitar o atendimento às normas. Já para o dia de inverno, ambos sistemas atendem os critérios mínimos da NBR 15575/2013 de desempenho térmico em simulação independentemente do tipo de cobertura e do tipo de esquadria utilizada, mas o *light steel framing* apresentou um desempenho superior em todas horas do dia no ambiente do pavimento térreo e em quase todas as horas do dia no ambiente localizado no pavimento superior. Por isso o sistema LSF foi considerado adequado para o local empregado.

O trabalho visou a verificação de sistemas sem considerar alterações na arquitetura. Buscou-se verificar se é possível atingir um desempenho melhor somente com alteração nos sistemas construtivos. Nessa edificação para o dia típico de inverno, o LSF com EIFS consegue ser superior ao sistema comparado, mas para o dia de verão o desempenho é inferior. No entanto, a arquitetura é típica de uma unidade para locais frios com uma grande área de telhado, este substituindo quase que completamente uma das paredes dos ambientes. Isso permite um maior aquecimento da edificação pela propriedade térmica do material do telhado, gerando uma grande influência da escolha deste material no desempenho térmico, principalmente no pavimento superior.

Adicionalmente foi verificada a substituição de vidro simples por uma esquadria com vidro duplo de mesma espessura e um meio de ar entre as camadas de vidro. Essa solução concedeu

um melhor desempenho aos sistemas simulados, aumentando as temperaturas dos ambientes em horas mais frias e reduzindo em horas mais quentes, demonstrando ser uma boa estratégia a utilização do sistema de esquadrias com vidro duplo para compensar a influência na variação térmica causada pelas aberturas. Nos apêndices são apresentados os resultados para os demais ambientes simulados.

Ainda que a simulação numérica não seja muito difundida no país, pela dificuldade e tempo necessário para dominar ferramentas de modelagem, a sua grande importância para os estudos sobre o desempenho térmico de edificações é inegável. Neste trabalho foram estudados o desempenho térmico de diversos modelos diferentes determinando o melhor desempenho em cada situação e permitido definir a melhor opção ou alterações necessárias antes de se executar o projeto. Além disso, a crescente preocupação com a sustentabilidade na construção civil cada vez mais irá demandar a necessidade de estudos nessa área antes da execução de um empreendimento e a abordagem numérica para a avaliação térmica poderá contribuir no melhoramento desses estudos.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em trabalhos futuros, sugere-se o estudo dos modelos com diferentes taxas de renovação de ar tanto pelas janelas quanto pelo telhado da edificação e adoção de persianas nas janelas. Adotando rotinas diferentes para cada período do dia e do ano. Essas alterações deverão proporcionar um melhor desempenho térmico para os modelos, especialmente para o *light steel framing* em relação ao dia de verão, e tornar a simulação computacional mais próxima do real. Ainda, sugere-se o estudo em zonas bioclimáticas diferentes e a alteração de elementos arquitetônicos da edificação para avaliar a alteração de desempenho.

Além das medidas anteriores, também é possível realizar a simulação com o uso de condicionamento artificial nas horas fora da faixa de conforto. Permitindo avaliar qual dos sistemas construtivos terá um melhor desempenho mantendo a temperatura do local e consequentemente diminuindo o gasto em energia da edificação.

Já para o auxílio na tomada de decisão quanto a qual sistema adotar, seria importante a análise de viabilidade econômica. Traçando um comparativo desde fundação até os acabamentos finais entre os dois tipos de sistemas aqui estudados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220- 1**: desempenho térmico de edificações- parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220- 2**: desempenho térmico de edificações- parte 2: método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar dos elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15220- 3**: desempenho térmico de edificações- parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais – desempenho – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais – desempenho – parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15575-5**: edificações habitacionais – desempenho – parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

BROFMAN, E. G. **Estudo de cogeração em hotéis**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CAMPOS, P. F. da. **Light Steel Framing: Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento**. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CONSUL STEEL. **Construcción com acervo leviano – Manual de Procedimento**. Buenos Aires: Consul Steel 2002. 1 CD-ROM. 258p

CRASTO, R. C. M. de. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing**. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

ENERGYPLUS, A. [2015]. Disponível em:
< <https://energyplus.net/downloads>>. Acesso em: 27 dezembro. 2015.

GIVONI, B. **Comfort climate analysis and building design guidelines**. Energy and Building, v. 18; 1992.)

GOOGLE MAPS. [**Gramado, RS**], 2016. Disponível em: < <https://maps.google.com.br>>. Acesso em: 10 maio 2016.

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em Light Steel Framing**. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

GOMES, A. P. **Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residências em Light Steel Framing**. 2012. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

LAMBERTS, R. GHISI, E. PEREIRA, C. D. BATISTA, J. O.; **Casa eficiente: simulação computacional do desempenho termo-energético**. Florianópolis; UFSC/LabEEE; v. 4(53 p.); 2010.

LAMBERTS, R. GHISI, E. PEREIRA, C. D. BATISTA, J. O.; **Casa eficiente: bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis; UFSC/LabEEE; v. 1(127 p.); 2010.

MAGALHÃES, R. F. **Edificação em Light Steel Frame isoladas externamente com EIFS: avaliação de desempenho térmico pela NBR 15575/2013**. 2013. 92 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007

OWENSCORNING SA **Foamular**. Rio Claro, [2011]. Disponível em:
< <http://www.owenscorning.com.br/upload/produto/pdf/319aa397-42f3-4318-b47c-0ccfdc97a211.pdf>>. Acesso em: 15 abril 2015.

PEREIRA, I. M. **Novas metodologias para simulação energética de edificações: estudo de caso**, 2004. 231 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

PEREIRA JUNIOR, C. J. **Edifícios de Pequeno Porte Contraventados com perfis de Chapa Fina de Aço**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COOPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

PLACLUX. **Placa Cimentícia Profort ds**. Araucária, [2014]. Disponível em:
< <http://placlux.com.br/produtos>>. Acesso em: 15 abril 2016.

PROJETEEE. **Estratégias climáticas [Canela, RS]**, 2014. Disponível em:
< <http://150.162.76.139/estrategias/>>. Acesso em: 20 abril 2016.

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

SIKA S.A. BRASIL. **SikaFoil**. Osasco, [2011]. Disponível em: <<http://bra.sika.com/pt/solucoes-produtos/construcao/coberturas/subcoberturas.html>>. Acesso em: 10 maio 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Arquivos climáticos: Canela**. Florianópolis, [2012]. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. Acesso em: 5 março 2016.

ZATT, G. **Fechamento de paredes de vedação: sistema Light Steel Frame utilizando placas cimentícias**. 2010. 70 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

APÊNDICE 1 – Resultados da Simulação

APÊNDICE A

As tabelas A1 e A2 apresentam as temperaturas dos ambientes internos para os dias típicos de verão e inverno na cidade de Gramado para o modelo 1 (Estrutura LSF, fechamento externo EIFS, cobertura em telha *shingle* e vidros simples).

Tabela A1 – Temperaturas do modelo 1 no dia típico de verão

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02[C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	21,86	21,65	27,83	26,51	21,67	21,66	27,27
1	22,10	21,54	27,37	26,06	21,56	21,54	26,83
2	21,55	21,27	26,81	25,51	21,32	21,24	26,31
3	21,71	21,09	26,34	25,05	21,16	21,05	25,87
4	21,29	20,93	25,88	24,62	21,01	20,88	25,42
5	20,50	20,58	25,32	24,07	20,71	20,50	24,90
6	20,35	20,40	24,89	23,66	20,55	20,33	24,48
7	21,57	20,60	24,71	23,56	20,65	20,66	24,32
8	23,61	21,31	24,92	23,99	21,10	21,60	24,59
9	25,32	22,07	25,28	24,67	21,50	22,56	25,10
10	27,27	23,00	25,92	25,62	21,99	23,61	26,10
11	28,81	23,90	26,63	26,67	22,60	24,41	27,39
12	29,71	24,52	27,35	27,69	23,18	25,04	28,75
13	30,36	24,92	28,22	28,70	23,55	25,58	30,00
14	30,75	25,19	29,50	29,71	23,78	25,99	30,97
15	31,11	25,30	31,08	30,60	24,01	26,21	31,61
16	31,35	25,44	32,40	31,34	24,23	26,61	32,04
17	30,33	25,33	32,92	31,62	24,25	26,57	32,07

18	29,35	25,03	32,74	31,49	24,16	25,90	31,83
19	28,33	24,72	32,39	31,23	24,03	25,27	31,55
20	26,33	24,18	31,81	30,64	23,69	24,53	31,02
21	24,54	23,59	31,14	29,94	23,28	23,84	30,41
22	23,24	23,08	30,46	29,22	22,88	23,23	29,80
23	22,45	22,64	29,79	28,52	22,55	22,72	29,19
24	22,61	22,37	29,22	27,93	22,34	22,40	28,66

Tabela A2 – Temperaturas do modelo 1 no dia típico de inverno

Hora	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02 [C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]()
0	2,50	12,87	10,53	9,37	13,66	12,26	10,66
1	2,04	12,59	9,95	8,81	13,40	11,97	10,06
2	2,46	12,41	9,45	8,34	13,22	11,80	9,55
3	3,51	12,40	9,13	8,08	13,18	11,84	9,19
4	4,05	12,36	8,80	7,81	13,11	11,85	8,84
5	4,10	12,29	8,47	7,54	13,01	11,80	8,48
6	4,41	12,23	8,17	7,30	12,93	11,76	8,17
7	6,02	12,49	8,14	7,38	13,10	12,13	8,15
8	7,51	13,01	8,35	7,76	13,44	12,83	8,43
9	8,61	13,66	8,69	8,33	13,87	13,63	8,98
10	9,71	14,39	9,25	9,15	14,40	14,45	9,87
11	9,95	15,07	9,84	9,99	14,96	15,06	10,98
12	10,51	15,74	10,50	10,87	15,58	15,55	12,38
13	11,40	16,33	11,39	11,88	16,17	16,11	13,85
14	11,65	16,60	12,48	12,79	16,45	16,46	14,90
15	12,41	16,78	13,80	13,63	16,64	16,68	15,62
16	12,64	16,82	14,84	14,29	16,69	17,01	15,96
17	11,54	16,56	15,06	14,46	16,56	16,72	15,85
18	10,14	16,15	14,84	14,29	16,31	16,05	15,52
19	8,89	15,71	14,48	13,94	16,00	15,43	15,08
20	8,15	15,35	14,09	13,53	15,73	14,97	14,62

21	7,75	15,05	13,68	13,10	15,49	14,61	14,15
22	7,65	14,80	13,29	12,69	15,28	14,34	13,70
23	7,85	14,63	12,95	12,34	15,12	14,17	13,30
24	8,05	14,49	12,63	12,03	14,99	14,04	12,94

As tabelas A3 e A4 apresentam as temperaturas dos ambientes internos para os dias típicos de verão e inverno na cidade de Gramado para o modelo 2 (Estrutura LSF, fechamento externo EIFS, cobertura em telha *shingle* e vidros duplo).

Tabela A3 – Temperaturas do modelo 2 no dia típico de verão

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02[C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	21,86	21,57	27,68	26,44	21,61	21,56	27,13
1	22,10	21,48	27,25	26,01	21,55	21,46	26,73
2	21,55	21,22	26,73	25,48	21,35	21,18	26,24
3	21,71	21,05	26,29	25,05	21,23	21,00	25,82
4	21,29	20,90	25,85	24,63	21,11	20,84	25,41
5	20,50	20,56	25,32	24,10	20,84	20,49	24,91
6	20,35	20,39	24,91	23,70	20,70	20,33	24,51
7	21,57	20,57	24,74	23,60	20,81	20,65	24,37
8	23,61	21,24	24,92	23,99	21,24	21,54	24,60
9	25,32	21,93	25,26	24,62	21,63	22,40	25,08
10	27,27	22,78	25,87	25,51	22,09	23,34	26,01
11	28,81	23,59	26,52	26,48	22,64	24,05	27,13
12	29,71	24,16	27,20	27,45	23,14	24,60	28,32
13	30,36	24,55	28,01	28,42	23,44	25,09	29,45
14	30,75	24,81	29,18	29,39	23,63	25,47	30,37
15	31,11	24,94	30,59	30,26	23,81	25,68	31,00
16	31,35	25,09	31,82	30,98	23,97	26,06	31,46
17	30,33	25,01	32,33	31,28	23,95	26,04	31,54

18	29,35	24,74	32,22	31,17	23,82	25,44	31,34
19	28,33	24,46	31,93	30,93	23,68	24,88	31,09
20	26,33	23,96	31,40	30,38	23,36	24,21	30,62
21	24,54	23,41	30,80	29,72	23,00	23,56	30,08
22	23,24	22,92	30,18	29,05	22,66	23,01	29,52
23	22,45	22,51	29,58	28,39	22,38	22,54	28,97
24	22,61	22,26	29,06	27,84	22,23	22,26	28,50

Tabela A4 – Temperaturas do modelo 2 no dia típico de inverno

Hora	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02 [C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	2,50	13,04	10,63	9,56	13,79	12,74	10,75
1	2,04	12,78	10,07	9,01	13,58	12,47	10,19
2	2,46	12,61	9,60	8,56	13,44	12,31	9,70
3	3,51	12,60	9,29	8,30	13,43	12,34	9,36
4	4,05	12,57	8,97	8,04	13,39	12,33	9,02
5	4,10	12,50	8,65	7,77	13,31	12,28	8,68
6	4,41	12,44	8,35	7,53	13,25	12,23	8,37
7	6,02	12,68	8,32	7,60	13,42	12,57	8,35
8	7,51	13,17	8,51	7,94	13,74	13,20	8,59
9	8,61	13,75	8,82	8,46	14,14	13,93	9,09
10	9,71	14,42	9,34	9,23	14,63	14,68	9,91
11	9,95	15,04	9,88	10,00	15,12	15,23	10,91
12	10,51	15,65	10,49	10,83	15,68	15,66	12,16
13	11,40	16,21	11,34	11,79	16,18	16,18	13,50
14	11,65	16,46	12,34	12,67	16,40	16,50	14,45
15	12,41	16,64	13,56	13,48	16,54	16,71	15,13
16	12,64	16,70	14,53	14,13	16,56	17,03	15,49
17	11,54	16,48	14,77	14,32	16,39	16,77	15,43
18	10,14	16,11	14,59	14,18	16,13	16,17	15,17

Desempenho térmico: comparativo de edificações em *light steel framing* com edificações em bloco cerâmico através de simulação computacional

19	8,89	15,71	14,27	13,86	15,85	15,62	14,79
20	8,15	15,38	13,93	13,48	15,62	15,22	14,39
21	7,75	15,10	13,57	13,09	15,43	14,90	13,98
22	7,65	14,88	13,22	12,72	15,27	14,66	13,59
23	7,85	14,73	12,91	12,39	15,16	14,51	13,24
24	8,05	14,61	12,62	12,11	15,07	14,39	12,92

As tabelas A5 e A6 apresentam as temperaturas dos ambientes internos para os dias típicos de verão e inverno na cidade de Gramado para o modelo 3 (Estrutura LSF, fechamento externo EIFS, cobertura em telha cerâmica e vidros simples).

Tabela A5 – Temperaturas do modelo 3 no dia típico de verão

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02[C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	21,86	21,82	28,11	26,04	21,90	21,81	27,17
1	22,10	21,68	27,34	25,31	21,81	21,67	26,43
2	21,55	21,38	26,55	24,57	21,59	21,35	25,68
3	21,71	21,17	25,85	23,93	21,44	21,15	25,01
4	21,29	20,99	25,20	23,37	21,29	20,95	24,39
5	20,50	20,62	24,49	22,73	21,00	20,56	23,72
6	20,35	20,42	23,89	22,20	20,83	20,37	23,15
7	21,57	20,59	23,66	22,20	20,92	20,69	23,07
8	23,61	21,29	24,06	23,20	21,36	21,62	23,90
9	25,32	22,06	24,88	24,72	21,77	22,55	25,36
10	27,27	23,01	26,08	26,69	22,25	23,59	27,47
11	28,81	23,95	27,59	28,99	22,85	24,40	30,03
12	29,71	24,61	29,35	31,33	23,41	25,04	32,54
13	30,36	25,07	31,28	33,46	23,76	25,59	34,59
14	30,75	25,41	33,40	35,12	23,97	26,03	35,84
15	31,11	25,58	35,44	36,10	24,18	26,29	36,20
16	31,35	25,77	36,78	36,37	24,38	26,72	36,07

17	30,33	25,68	36,88	35,94	24,37	26,71	35,58
18	29,35	25,37	36,16	35,04	24,24	26,04	34,86
19	28,33	25,03	35,22	33,94	24,10	25,43	34,05
20	26,33	24,46	34,07	32,58	23,74	24,71	32,97
21	24,54	23,86	32,86	31,17	23,36	24,02	31,82
22	23,24	23,32	31,69	29,84	23,02	23,41	30,70
23	22,45	22,85	30,58	28,63	22,72	22,89	29,64
24	22,61	22,55	29,62	27,62	22,55	22,56	28,71

Tabela A6 – Temperaturas do modelo 3 no dia típico de inverno

Hora	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02 [C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	2,50	12,86	9,72	7,93	13,68	12,30	9,25
1	2,04	12,55	8,87	7,09	13,44	12,00	8,39
2	2,46	12,34	8,14	6,41	13,28	11,81	7,64
3	3,51	12,31	7,63	5,99	13,26	11,84	7,12
4	4,05	12,26	7,19	5,67	13,20	11,83	6,69
5	4,10	12,17	6,80	5,41	13,11	11,77	6,30
6	4,41	12,09	6,44	5,18	13,03	11,72	5,95
7	6,02	12,34	6,37	5,31	13,19	12,08	5,97
8	7,51	12,87	6,81	6,18	13,54	12,77	6,74
9	8,61	13,54	7,59	7,52	13,97	13,57	8,06
10	9,71	14,28	8,76	9,34	14,50	14,39	9,95
11	9,95	14,98	10,10	11,24	15,04	15,00	12,05
12	10,51	15,69	11,59	13,13	15,65	15,49	14,36
13	11,40	16,32	13,33	15,02	16,22	16,06	16,57
14	11,65	16,64	15,08	16,49	16,48	16,42	17,95
15	12,41	16,86	16,68	17,38	16,64	16,67	18,52
16	12,64	16,93	17,70	17,65	16,64	17,02	18,38
17	11,54	16,68	17,53	17,21	16,47	16,76	17,84

18	10,14	16,27	16,84	16,35	16,20	16,11	17,08
19	8,89	15,83	15,97	15,27	15,91	15,50	16,14
20	8,15	15,45	15,09	14,20	15,66	15,06	15,17
21	7,75	15,14	14,29	13,24	15,46	14,70	14,29
22	7,65	14,88	13,57	12,44	15,29	14,42	13,51
23	7,85	14,69	12,96	11,80	15,16	14,24	12,85
24	8,05	14,53	12,44	11,29	15,05	14,10	12,29

As tabelas A7 e A8 apresentam as temperaturas dos ambientes internos para os dias típicos de verão e inverno na cidade de Gramado para o modelo 4 (Estrutura LSF, fechamento externo EIFS, cobertura em telha cerâmica e vidros duplos).

Tabela A7 – Temperaturas do modelo 4 no dia típico de verão

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02[C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	21,86	21,76	28,11	26,08	21,81	21,73	27,20
1	22,10	21,63	27,36	25,36	21,74	21,61	26,48
2	21,55	21,34	26,59	24,63	21,52	21,31	25,74
3	21,71	21,15	25,90	23,99	21,39	21,11	25,08
4	21,29	20,97	25,27	23,43	21,24	20,93	24,48
5	20,50	20,61	24,57	22,80	20,96	20,56	23,82
6	20,35	20,42	23,99	22,28	20,81	20,38	23,26
7	21,57	20,57	23,74	22,25	20,90	20,68	23,16
8	23,61	21,23	24,11	23,21	21,32	21,56	23,96
9	25,32	21,93	24,90	24,68	21,69	22,40	25,37
10	27,27	22,79	26,05	26,60	22,13	23,34	27,40
11	28,81	23,64	27,52	28,84	22,67	24,04	29,84
12	29,71	24,26	29,24	31,14	23,17	24,61	32,22
13	30,36	24,71	31,13	33,26	23,48	25,12	34,17
14	30,75	25,05	33,15	34,92	23,68	25,52	35,39
15	31,11	25,23	35,05	35,92	23,89	25,77	35,81

16	31,35	25,43	36,32	36,20	24,08	26,18	35,70
17	30,33	25,37	36,45	35,77	24,09	26,19	35,24
18	29,35	25,10	35,79	34,89	23,98	25,60	34,57
19	28,33	24,81	34,92	33,82	23,86	25,05	33,81
20	26,33	24,27	33,84	32,49	23,54	24,40	32,79
21	24,54	23,70	32,70	31,12	23,19	23,76	31,70
22	23,24	23,19	31,59	29,83	22,87	23,21	30,64
23	22,45	22,75	30,53	28,65	22,59	22,73	29,63
24	22,61	22,46	29,61	27,65	22,43	22,43	28,73

Tabela A8 – Temperaturas do modelo 4 no dia típico de inverno

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02 [C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	2,50	13,03	9,80	8,07	13,84	12,78	9,33
1	2,04	12,74	8,97	7,25	13,62	12,50	8,49
2	2,46	12,54	8,26	6,57	13,47	12,32	7,76
3	3,51	12,51	7,75	6,15	13,45	12,33	7,24
4	4,05	12,45	7,32	5,83	13,40	12,31	6,82
5	4,10	12,37	6,93	5,56	13,31	12,24	6,43
6	4,41	12,29	6,57	5,33	13,23	12,18	6,09
7	6,02	12,52	6,50	5,44	13,38	12,51	6,09
8	7,51	13,01	6,90	6,28	13,70	13,14	6,83
9	8,61	13,62	7,66	7,57	14,09	13,86	8,10
10	9,71	14,30	8,79	9,35	14,57	14,60	9,91
11	9,95	14,94	10,07	11,19	15,06	15,15	11,91
12	10,51	15,59	11,53	13,04	15,60	15,60	14,10
13	11,40	16,19	13,24	14,91	16,12	16,12	16,20
14	11,65	16,49	14,91	16,38	16,35	16,46	17,52
15	12,41	16,71	16,43	17,26	16,50	16,69	18,09
16	12,64	16,80	17,41	17,55	16,54	17,03	17,99

17	11,54	16,60	17,28	17,13	16,40	16,81	17,50
18	10,14	16,23	16,63	16,30	16,15	16,23	16,82
19	8,89	15,83	15,82	15,26	15,90	15,69	15,95
20	8,15	15,49	15,00	14,21	15,68	15,30	15,05
21	7,75	15,20	14,24	13,29	15,51	14,99	14,22
22	7,65	14,96	13,56	12,51	15,36	14,75	13,49
23	7,85	14,79	12,98	11,88	15,25	14,58	12,86
24	8,05	14,65	12,47	11,38	15,15	14,46	12,33

As tabelas A9 e A10 apresentam as temperaturas dos ambientes internos para os dias típicos de verão e inverno na cidade de Gramado para o modelo 5 (Estrutura concreto armado, fechamento tijolo cerâmico 6 furos quadrados com revestimento argamassado em ambos os lados, cobertura em telha *shingle* e vidros simples).

Tabela A9 – Temperaturas do modelo 5 no dia típico de verão

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02[C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	21,86	22,01	24,62	24,30	22,16	22,19	24,50
1	22,10	21,95	24,46	24,15	22,08	22,14	24,36
2	21,55	21,74	24,17	23,85	21,88	21,91	24,08
3	21,71	21,62	23,96	23,64	21,77	21,79	23,88
4	21,29	21,50	23,75	23,43	21,65	21,66	23,67
5	20,50	21,22	23,41	23,07	21,41	21,35	23,34
6	20,35	21,09	23,20	22,86	21,29	21,22	23,14
7	21,57	21,25	23,19	22,92	21,36	21,47	23,14
8	23,61	21,81	23,46	23,36	21,68	22,13	23,45
9	25,32	22,42	23,81	23,92	22,01	22,82	23,88
10	27,27	23,17	24,35	24,65	22,47	23,60	24,63
11	28,81	23,83	24,88	25,37	22,99	24,14	25,44
12	29,71	24,24	25,40	26,03	23,44	24,56	26,22
13	30,36	24,52	25,99	26,67	23,71	24,94	26,90

14	30,75	24,73	26,79	27,29	23,92	25,24	27,39
15	31,11	24,87	27,60	27,81	24,18	25,44	27,69
16	31,35	25,05	28,22	28,22	24,44	25,81	27,93
17	30,33	25,02	28,38	28,31	24,56	25,82	27,93
18	29,35	24,87	28,21	28,17	24,58	25,45	27,78
19	28,33	24,71	27,99	27,94	24,54	25,15	27,61
20	26,33	24,36	27,55	27,43	24,32	24,68	27,21
21	24,54	23,92	27,04	26,86	24,02	24,17	26,78
22	23,24	23,50	26,60	26,36	23,67	23,72	26,39
23	22,45	23,15	26,21	25,92	23,35	23,35	26,04
24	22,61	22,95	25,93	25,62	23,16	23,14	25,79

Tabela A10 – Temperaturas do modelo 5 no dia típico de inverno

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02 [C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	2,50	11,45	9,39	9,02	11,54	11,04	9,75
1	2,04	11,22	9,07	8,70	11,32	10,82	9,43
2	2,46	11,08	8,82	8,47	11,16	10,69	9,18
3	3,51	11,08	8,71	8,40	11,11	10,74	9,06
4	4,05	11,05	8,56	8,30	11,04	10,74	8,90
5	4,10	10,98	8,39	8,17	10,94	10,68	8,73
6	4,41	10,92	8,24	8,05	10,87	10,64	8,58
7	6,02	11,13	8,29	8,18	10,99	10,94	8,64
8	7,51	11,51	8,48	8,50	11,21	11,43	8,88
9	8,61	11,99	8,74	8,92	11,53	12,00	9,28
10	9,71	12,53	9,15	9,48	11,93	12,54	9,87
11	9,95	13,02	9,55	10,00	12,34	12,91	10,53
12	10,51	13,49	9,98	10,52	12,81	13,21	11,30
13	11,40	13,91	10,56	11,12	13,21	13,59	12,05
14	11,65	14,07	11,20	11,63	13,39	13,82	12,49

Desempenho térmico: comparativo de edificações em *light steel framing* com edificações em bloco cerâmico através de simulação computacional

15	12,41	14,22	11,93	12,09	13,56	14,02	12,81
16	12,64	14,29	12,38	12,43	13,66	14,34	12,94
17	11,54	14,13	12,34	12,42	13,61	14,14	12,77
18	10,14	13,86	12,05	12,17	13,46	13,68	12,44
19	8,89	13,57	11,68	11,78	13,28	13,28	12,09
20	8,15	13,34	11,38	11,45	13,13	13,00	11,81
21	7,75	13,15	11,14	11,18	13,00	12,80	11,58
22	7,65	13,00	10,96	10,98	12,88	12,67	11,39
23	7,85	12,91	10,84	10,85	12,78	12,60	11,26
24	8,05	12,83	10,73	10,76	12,69	12,54	11,14

As tabelas A11 e A12 apresentam as temperaturas dos ambientes internos para os dias típicos de verão e inverno na cidade de Gramado para o modelo 6 (Estrutura concreto armado, fechamento tijolo cerâmico 6 furos quadrados com revestimento argamassado em ambos os lados, cobertura em telha *shingle* e vidros duplo).

Tabela A11 – Temperaturas do modelo 6 no dia típico de verão

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02[C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	21,86	21,65	27,83	26,51	21,67	21,66	27,27
1	22,10	21,54	27,37	26,06	21,56	21,54	26,83
2	21,55	21,27	26,81	25,51	21,32	21,24	26,31
3	21,71	21,09	26,34	25,05	21,16	21,05	25,87
4	21,29	20,93	25,88	24,62	21,01	20,88	25,42
5	20,50	20,58	25,32	24,07	20,71	20,50	24,90
6	20,35	20,40	24,89	23,66	20,55	20,33	24,48
7	21,57	20,60	24,71	23,56	20,65	20,66	24,32
8	23,61	21,31	24,92	23,99	21,10	21,60	24,59
9	25,32	22,07	25,28	24,67	21,50	22,56	25,10
10	27,27	23,00	25,92	25,62	21,99	23,61	26,10
11	28,81	23,90	26,63	26,67	22,60	24,41	27,39
12	29,71	24,52	27,35	27,69	23,18	25,04	28,75
13	30,36	24,92	28,22	28,70	23,55	25,58	30,00

14	30,75	25,19	29,50	29,71	23,78	25,99	30,97
15	31,11	25,30	31,08	30,60	24,01	26,21	31,61
16	31,35	25,44	32,40	31,34	24,23	26,61	32,04
17	30,33	25,33	32,92	31,62	24,25	26,57	32,07
18	29,35	25,03	32,74	31,49	24,16	25,90	31,83
19	28,33	24,72	32,39	31,23	24,03	25,27	31,55
20	26,33	24,18	31,81	30,64	23,69	24,53	31,02
21	24,54	23,59	31,14	29,94	23,28	23,84	30,41
22	23,24	23,08	30,46	29,22	22,88	23,23	29,80
23	22,45	22,64	29,79	28,52	22,55	22,72	29,19
24	22,61	22,37	29,22	27,93	22,34	22,40	28,66

Tabela A12 – Temperaturas do modelo 6 no dia típico de inverno

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02 [C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	2,50	12,87	10,53	9,37	13,66	12,26	10,66
1	2,04	12,59	9,95	8,81	13,40	11,97	10,06
2	2,46	12,41	9,45	8,34	13,22	11,80	9,55
3	3,51	12,40	9,13	8,08	13,18	11,84	9,19
4	4,05	12,36	8,80	7,81	13,11	11,85	8,84
5	4,10	12,29	8,47	7,54	13,01	11,80	8,48
6	4,41	12,23	8,17	7,30	12,93	11,76	8,17
7	6,02	12,49	8,14	7,38	13,10	12,13	8,15
8	7,51	13,01	8,35	7,76	13,44	12,83	8,43
9	8,61	13,66	8,69	8,33	13,87	13,63	8,98
10	9,71	14,39	9,25	9,15	14,40	14,45	9,87
11	9,95	15,07	9,84	9,99	14,96	15,06	10,98
12	10,51	15,74	10,50	10,87	15,58	15,55	12,38
13	11,40	16,33	11,39	11,88	16,17	16,11	13,85
14	11,65	16,60	12,48	12,79	16,45	16,46	14,90
15	12,41	16,78	13,80	13,63	16,64	16,68	15,62

16	12,64	16,82	14,84	14,29	16,69	17,01	15,96
17	11,54	16,56	15,06	14,46	16,56	16,72	15,85
18	10,14	16,15	14,84	14,29	16,31	16,05	15,52
19	8,89	15,71	14,48	13,94	16,00	15,43	15,08
20	8,15	15,35	14,09	13,53	15,73	14,97	14,62
21	7,75	15,05	13,68	13,10	15,49	14,61	14,15
22	7,65	14,80	13,29	12,69	15,28	14,34	13,70
23	7,85	14,63	12,95	12,34	15,12	14,17	13,30
24	8,05	14,49	12,63	12,03	14,99	14,04	12,94

As tabelas A13 e A14 apresentam as temperaturas dos ambientes internos para os dias típicos de verão e inverno na cidade de Gramado para o modelo 7 (Estrutura concreto armado, fechamento tijolo cerâmico 6 furos quadrados com revestimento argamassado em ambos os lados, cobertura em telha cerâmica e vidros simples).

Tabela A13 – Temperaturas do modelo 7 no dia típico de verão

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02[C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	21,86	22,28	25,22	24,53	22,45	22,47	24,99
1	22,10	22,21	24,94	24,26	22,36	22,40	24,71
2	21,55	21,99	24,57	23,89	22,16	22,16	24,35
3	21,71	21,86	24,26	23,58	22,04	22,03	24,04
4	21,29	21,72	23,96	23,29	21,91	21,88	23,75
5	20,50	21,43	23,56	22,89	21,66	21,56	23,37
6	20,35	21,28	23,26	22,59	21,52	21,42	23,06
7	21,57	21,43	23,23	22,71	21,58	21,65	23,16
8	23,61	21,97	23,64	23,54	21,88	22,29	23,83
9	25,32	22,58	24,25	24,68	22,20	22,96	24,88
10	27,27	23,36	25,11	26,00	22,65	23,75	26,23
11	28,81	24,04	26,10	27,44	23,18	24,30	27,70
12	29,71	24,48	27,16	28,78	23,64	24,74	28,97

13	30,36	24,79	28,25	29,94	23,93	25,14	29,88
14	30,75	25,03	29,39	30,76	24,16	25,47	30,33
15	31,11	25,19	30,31	31,17	24,43	25,70	30,36
16	31,35	25,38	30,79	31,19	24,72	26,09	30,22
17	30,33	25,37	30,63	30,77	24,85	26,12	29,86
18	29,35	25,21	30,01	30,03	24,89	25,75	29,38
19	28,33	25,04	29,41	29,33	24,85	25,43	28,99
20	26,33	24,64	28,77	28,52	24,61	24,94	28,42
21	24,54	24,19	28,14	27,74	24,28	24,44	27,84
22	23,24	23,78	27,56	27,04	23,94	24,00	27,29
23	22,45	23,43	27,03	26,41	23,63	23,63	26,77
24	22,61	23,22	26,61	25,93	23,44	23,41	26,36

Tabela A14 – Temperaturas do modelo 7 no dia típico de inverno

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02 [C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	2,50	11,42	8,96	8,22	11,54	11,04	9,06
1	2,04	11,19	8,55	7,79	11,32	10,81	8,64
2	2,46	11,03	8,21	7,46	11,16	10,68	8,30
3	3,51	11,03	8,03	7,33	11,10	10,72	8,11
4	4,05	10,98	7,86	7,23	11,02	10,71	7,94
5	4,10	10,91	7,67	7,11	10,92	10,64	7,76
6	4,41	10,84	7,49	6,98	10,84	10,59	7,59
7	6,02	11,05	7,53	7,14	10,96	10,88	7,68
8	7,51	11,43	7,89	7,83	11,18	11,38	8,28
9	8,61	11,92	8,44	8,78	11,49	11,93	9,19
10	9,71	12,46	9,23	9,95	11,88	12,46	10,34
11	9,95	12,96	10,01	11,05	12,29	12,83	11,46
12	10,51	13,45	10,84	12,09	12,76	13,15	12,62
13	11,40	13,88	11,82	13,13	13,17	13,54	13,64

Desempenho térmico: comparativo de edificações em *light steel framing* com edificações em bloco cerâmico através de simulação computacional

14	11,65	14,07	12,72	13,85	13,37	13,80	14,12
15	12,41	14,25	13,45	14,17	13,56	14,03	14,22
16	12,64	14,34	13,79	14,16	13,68	14,36	14,00
17	11,54	14,18	13,44	13,67	13,65	14,18	13,52
18	10,14	13,91	12,75	12,91	13,51	13,74	12,98
19	8,89	13,62	12,16	12,17	13,34	13,33	12,47
20	8,15	13,38	11,73	11,61	13,19	13,05	12,03
21	7,75	13,19	11,38	11,19	13,06	12,86	11,67
22	7,65	13,04	11,11	10,89	12,93	12,72	11,40
23	7,85	12,94	10,92	10,68	12,83	12,65	11,19
24	8,05	12,86	10,77	10,53	12,74	12,59	11,02

As tabelas A15 e A16 apresentam as temperaturas dos ambientes internos para os dias típicos de verão e inverno na cidade de Gramado para o modelo 8 (Estrutura concreto armado, fechamento tijolo cerâmico 6 furos quadrados com revestimento argamassado em ambos os lados, cobertura em telha cerâmica e vidros duplos).

Tabela A15 – Temperaturas do modelo 8 no dia típico de verão

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02[C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/ JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	21,86	22,20	25,14	24,46	22,37	22,40	24,90
1	22,10	22,13	24,86	24,19	22,28	22,33	24,63
2	21,55	21,92	24,50	23,83	22,09	22,11	24,28
3	21,71	21,79	24,19	23,53	21,98	21,98	23,98
4	21,29	21,67	23,90	23,25	21,85	21,84	23,70
5	20,50	21,38	23,52	22,86	21,61	21,54	23,33
6	20,35	21,24	23,22	22,56	21,48	21,41	23,03
7	21,57	21,38	23,19	22,68	21,53	21,64	23,12
8	23,61	21,89	23,59	23,48	21,83	22,25	23,79
9	25,32	22,47	24,19	24,60	22,14	22,89	24,81
10	27,27	23,19	25,02	25,90	22,57	23,61	26,13

11	28,81	23,83	25,99	27,31	23,07	24,09	27,54
12	29,71	24,25	27,04	28,64	23,50	24,49	28,76
13	30,36	24,57	28,12	29,79	23,77	24,86	29,63
14	30,75	24,81	29,21	30,60	24,00	25,17	30,06
15	31,11	24,97	30,10	31,00	24,27	25,39	30,10
16	31,35	25,17	30,56	31,02	24,55	25,77	29,97
17	30,33	25,16	30,39	30,60	24,68	25,80	29,63
18	29,35	25,02	29,80	29,88	24,73	25,47	29,17
19	28,33	24,87	29,23	29,19	24,70	25,18	28,79
20	26,33	24,50	28,60	28,39	24,48	24,74	28,24
21	24,54	24,07	27,99	27,63	24,17	24,28	27,68
22	23,24	23,67	27,44	26,95	23,84	23,87	27,16
23	22,45	23,33	26,92	26,33	23,54	23,52	26,66
24	22,61	23,12	26,51	25,86	23,35	23,32	26,26

Tabela A16 – Temperaturas do modelo 8 no dia típico de inverno

HORA	Ambiente Externo [C]	SALA [C]	QUARTO 02 [C]	ESTAR SUPERIOR [C]	SUITE [C]	COZINHA/JANTAR [C]	QUARTO 01[C]
0	2,50	11,51	9,03	8,32	11,62	11,34	9,13
1	2,04	11,29	8,62	7,90	11,40	11,12	8,71
2	2,46	11,14	8,29	7,58	11,25	10,99	8,38
3	3,51	11,13	8,11	7,45	11,19	11,02	8,19
4	4,05	11,09	7,93	7,34	11,11	10,99	8,02
5	4,10	11,01	7,75	7,22	11,01	10,92	7,84
6	4,41	10,95	7,57	7,10	10,93	10,87	7,67
7	6,02	11,14	7,60	7,24	11,04	11,13	7,76
8	7,51	11,50	7,94	7,92	11,25	11,59	8,33
9	8,61	11,96	8,48	8,84	11,54	12,09	9,22
10	9,71	12,47	9,26	9,99	11,91	12,57	10,34
11	9,95	12,93	10,02	11,06	12,30	12,92	11,42

Desempenho térmico: comparativo de edificações em *light steel framing* com edificações em bloco cerâmico através de simulação computacional

12	10,51	13,40	10,83	12,08	12,74	13,21	12,54
13	11,40	13,81	11,80	13,11	13,13	13,58	13,51
14	11,65	13,99	12,67	13,82	13,31	13,82	13,96
15	12,41	14,16	13,37	14,14	13,50	14,03	14,06
16	12,64	14,26	13,68	14,13	13,63	14,35	13,85
17	11,54	14,14	13,35	13,64	13,62	14,20	13,41
18	10,14	13,88	12,69	12,90	13,49	13,81	12,88
19	8,89	13,61	12,11	12,17	13,33	13,45	12,39
20	8,15	13,39	11,69	11,62	13,20	13,20	11,97
21	7,75	13,21	11,36	11,21	13,07	13,03	11,63
22	7,65	13,07	11,10	10,91	12,95	12,90	11,37
23	7,85	12,98	10,91	10,71	12,85	12,83	11,17
24	8,05	12,90	10,76	10,57	12,77	12,77	11,01