

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

Marcos Elias Weber

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO NA
REQUALIFICAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO
DE IMIGRAÇÃO ALEMÃ NO RIO GRANDE DO SUL:
ESTUDO DE CASO SALÃO HOLLER**

Porto Alegre

Julho de 2017

MARCOS ELIAS WEBER

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO NA
REQUALIFICAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO
DE IMIGRAÇÃO ALEMÃ NO RIO GRANDE DO SUL:
ESTUDO DE CASO SALÃO HOLLER**

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

Orientador: Rômulo Plentz Giralt

Porto Alegre

Julho de 2017

MARCOS ELIAS WEBER

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO NA
REQUALIFICAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO
DE IMIGRAÇÃO ALEMÃ NO RIO GRANDE DO SUL:
ESTUDO DE CASO SALÃO HOLLER**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Rômulo Plentz Giralt da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2017

Prof. Rômulo Plentz Giralt

Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Profa. Luciani Somensi Lorenzi

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Relatora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Rômulo Plentz Giralt (UFRGS)

Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Cecília Gravina da Rocha (UFRGS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha mãe, Profa.
Maria Valfriede Wentz Weber, meu maior
exemplo e minha maior motivação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao núcleo familiar, em especial à minha mãe Maria Valfriede Wentz Weber e ao meu pai Rudi Miguel Weber, por proporcionar a estrutura necessária para que eu pudesse desfrutar em plenitude toda formação acadêmica de nível superior que culmina com este trabalho.

Ao Prof. Arq. Rômulo Plentz Giralt, orientador desse trabalho, pela atenção, empenho e dedicação aplicados nesta importante etapa na minha vida, ajudando-me a potencializar os conhecimentos e direcioná-los para área acadêmica e profissional.

Ao amigo e colega de trabalho Eng. Renato Fonseca Pedrotti, pela ajuda constante, não somente neste trabalho, mas ao longo de todo o período de curso superior, se tornando peça chave na minha escalada de conhecimento e na minha formação no ofício de engenheiro.

À Sara Luiza Graeff, minha namorada, pelo constante amor e pela paciência durante a produção desse trabalho.

A todos os professores e funcionários que de alguma forma estiveram presentes na minha formação acadêmica, seja na aplicação das aulas das diversas disciplinas, no auxílio nos diversos setores da universidade e nos laboratórios, LabCon/LABSOL/LASTRAN, em que atuei como pesquisador.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por oferecer um ensino público superior de qualidade e por me presentear com a oportunidade de vivenciar momentos incríveis e conhecer maravilhosas pessoas que foram fundamentais no meu crescimento pessoal.

Um abraço especial aos engenheiros e amigos do peito do saudoso “Cabrito Engenharia”.

Nada do que vivemos tem sentido,
se não tocarmos o coração das pessoas.

Cora Coralina

RESUMO

O presente trabalho trata da avaliação de conforto térmico de uma edificação representativa da arquitetura de imigração alemã por meio da investigação de soluções de isolamento térmico. A edificação escolhida para o estudo de caso é o salão Holler, prédio característico do estilo enxaimel, situado no município de Ivoti-RS. O prédio não é habitado e aguarda por um processo de restauração. Esta escolha se dá em função da importância da edificação como prédio histórico da arquitetura alemã no estado do Rio Grande do Sul e pela importância da mesma para o autor do trabalho, pois se trata de uma imponente edificação dentro da cidade da família do autor. A escolha também foi motivada pensando no auxílio que este estudo possa ter na tomada de decisões para a futura restauração do prédio. Para a análise do desempenho térmico das soluções de isolamento propostas, procedeu-se a modelagem computacional da edificação através dos softwares *Google SketchUp Pro*, o plug-in *Legacy OpenStudio* e o *EnergyPlus*. O método de trabalho empregado consistiu inicialmente em levantamentos de arquivo e levantamentos de campo. As soluções investigadas foram o isolamento térmico de pisos e entrepisos, isolamento térmico de cobertura e isolamento térmico de paredes externas. A concepção do modelo geométrico foi realizada com a separação de ambientes por zonas térmicas. De posse deste modelo geométrico, foram incorporados os dados de entrada, sendo estes, arquivo climático, parâmetros de tipologia da construção e parâmetros das soluções de isolamento térmico e outras para o aumento de conforto. Realizaram-se diversas simulações experimentando distintas combinações de soluções. Para a avaliação de conforto térmico foram utilizados como parâmetros de comparação entre os modelos propostos: as médias de temperatura operativa e o percentual de horas de desconforto térmico pela carta de Givoni e pelo índice PMV. Para comparação da eficiência energética das diferentes medidas foi proposto um sistema de ar-condicionado dimensionado pelo programa de simulação. A solução que apresentou o melhor resultado foi a que combinou o isolamento de paredes externas, pisos e cobertura. Essa apresentou redução das horas de desconforto térmico, com valores maiores de 20 % para alguns ambientes, e, aumentou a eficiência energética da edificação, reduzindo o consumo de energia elétrica anual para climatização em 15 %.

Palavras-chave: Conforto Térmico, Eficiência Energética, Simulação termo energética, NBR 15220.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas da pesquisa.....	21
Figura 2 – Escala de sensação térmica usada pelo índice PMV.....	27
Figura 3 – Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV.....	28
Figura 4 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	32
Figura 5 – Carta de Givoni Adaptada.....	33
Figura 6 – Estratégias para a carta de Givoni.....	33
Figura 7 – Classes e CEE para condicionadores de ar tipo Split.....	36
Figura 8 – Fluxograma do Método de Pesquisa.....	42
Figura 9 – Salão Holler.....	43
Figura 10 – Laje porão.....	45
Figura 11 – Piso sótão e térreo.....	45
Figura 12 – Telhado salão visto internamente.....	45
Figura 13 – Telhado não caracterizado.....	46
Figura 14 – Área não caracterizada.....	46
Figura 15 – Salão Holler – Parede Sul.....	47
Figura 16 – Detalhe da parede do porão protegida.....	48
Figura 17 – Localização da edificação.....	50
Figura 18 – Desvio azimutal da edificação.....	50
Figura 19 – Geolocalização do modelo.....	51
Figura 20 – Ivoti no mapa de zoneamento bioclimático brasileiro	52
Figura 21 – Zoneamento térmico e localização em planta das zonas.....	55
Figura 22 – Mapa dos elementos construtivos - porão.....	57
Figura 23 – Mapa dos elementos construtivos - térreo.....	57
Figura 24 – Mapa dos elementos construtivos – sótão	58
Figura 25 – Carta de Givoni adaptada para banda de conforto	70
Figura 26 – Classes de conforto ISO 7730, 2005.....	71
Figura 27 – Consumo de energia elétrico do sistema de ar condicionado	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Temperaturas Operativas Médias (°C) de verão para cada ambiente	73
Quadro 1 – Temperaturas Operativas Médias (°C) de inverno para cada ambiente.....	73
Quadro 3 – Percentual de Horas de Desconforto Térmico (%) no verão segundo carta de Givoni	74
Quadro 4 – Percentual de Horas de Desconforto Térmico (%) no inverno segundo carta de Givoni	75
Quadro 5 – Percentual de Horas de Desconforto Térmico (%) no verão segundo índice PMV.....	76
Quadro 6 – Percentual de Horas de Desconforto Térmico (%) no inverno segundo índice PMV.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de área das zonas térmicas.....	56
Tabela 2 – Construções e propriedades termofísicas dos materiais.....	60
Tabela 3 – Valores de absorvância solar de superfícies	61
Tabela 4 – Tabela de equipamentos por zona	62
Tabela 5 – Cargas Internas de cada zona	63
Tabela 6 – Índices de vestimenta para cada estação e taxa metabólica	64
Tabela 7 – Dia de projeto de inverno	66
Tabela 8 – Dia de projeto de verão	67
Tabela 9 – Propriedades termofísicas da solução do MOD-IS01.....	68
Tabela 10 – Horas avaliadas para cada estação 69.....	72

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BBC – Building Climate Chart

BLAST – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BTU - British thermal unit

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

COP - Coefficient Of Performance

CTF - Conduction Transfer Function

DOE - Department of Energy

EER - Energy Efficiency Ratio

EMPD - Effective Moisture Penetration Model

HVAC - Heating, ventilation and air conditioning

IDF – EnergyPlus Input File

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPHAE - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado

ISO - International Organization for Standardization

IWEC - International Weather for Energy Calculations

KSU – Kansas State University

MOD-IS01 – Modelo com Isolamento de Pisos e Cobertura

MOD-IS01e02 – Modelo com Isolamento nas Paredes Externas, Pisos e Cobertura

MOD-IS02 – Modelo com Isolamento nas Paredes Externas

MOD-REF – Modelo de Referência

NBR – Norma Brasileira Registrada

NO_x – Dióxido de Nitrogênio

OSCIP - Organização da Sociedade Civil de Interesse Público

PMV - Predicted Mean Vote

PPD - Percentage of Dissatisfied

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SO_x – Dióxido de Enxofre

SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment

TMY - Typical Meteorological Year

TRY – Test Reference Year

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LISTA DE SÍMBOLOS

CD – Coeficiente de descarga

clo – Resistencia de vestimenta ($m^2.K/W$)

Cp – Calor específico ($J/kg.K$)

CQ – Coeficiente de fluxo de ar ($kg/s.m$)

e – Espessura (m)

Icl – Índice de vestimenta

k – Condutividade térmica ($W/m.K$)

L – Termo de acumulação de energia (W/m^2)

M – Metabolismo (W/m^2)

Met – Taxa metabólica (W/m^2)

MTbu – Média coincidente dos valores de temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}C$)

n – Expoente de fluxo de ar

R – Resistência térmica ($m^2.K/W$)

Ta – Temperatura do ar ($^{\circ}C$)

Tbs – Temperatura de bulbo seco ($^{\circ}C$)

Tbu – Temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}C$)

Te – Temperatura externa ($^{\circ}C$)

Ti – Temperatura interna ($^{\circ}C$)

Tmr – Temperatura média radiante ($^{\circ}C$)

To – Temperatura operativa ($^{\circ}C$)

T_{om} – Temperatura operativa média (°C)

T_{sp} – Temperatura de setpoint do ar interno (°C)

U – Transmitância térmica (W/m².K)

$U_{média}$ – Velocidade média do vento (m/s)

UR – Umidade relativa (%)

V_a – Velocidade do ar (m/s)

α – Absortância solar

ρ – densidade (kg/m³)

ΔT_{bs} – Amplitude da variação de T_{bs} (°C).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	19
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	19
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA	19
2.3 PREMISSA	19
2.4 DELIMITAÇÕES	19
2.5 LIMITAÇÕES	19
2.5 DELINEAMENTO	20
3 CONFORTO TÉRMICO	23
3.1 VARIÁVEIS DE CONFORTO TÉRMICO.....	24
3.2 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO.....	25
3.2.1 Voto Médio Estimado, PMV	26
3.3.1 Percentagem de Pessoas Insatisfeitas, PPD	27
4 NORMAS DE DESEMPENHO TÉRMICO	29
4.1 ISO 7730	29
4.2 ASHRAE 2005	30
4.3 NBR15220.....	31
5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	35
5.1 EFICIÊNCIA DOS CONDICIONADORES DE AR TIPO SPLIT.....	35
5.1.1 Energy Efficiency Ratio, EER	35
5.1.2 Coefficient Of Performance, COP	36
5.2 CLASSES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO SELO PROCEL.....	36
6 SIMULAÇÃO TERMO ENERGÉTICA	37
6.1 <i>Google SketchUp Pro e Legacy OpenStudio SketchUp Plug-in</i>	37
6.2 <i>EnergyPlus</i>	38
6.2.1 Características do <i>EnergyPlus</i>	38
6.2.2 Algoritmos de solução do <i>EnergyPlus</i>	39
7 MÉTODO DE PESQUISA	41
7.1 ESTUDO DE CASO: SALÃO HOLLER	43
7.2 DEFINIÇÃO DE USO DA EDIFICAÇÃO.....	48
7.3 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO	49
7.3.1 A Localização e a Orientação Solar	49

7.3.2 A zona bioclimática	52
7.3.3 O Arquivo Climático.....	52
7.4 MODELAGEM DO PRÉDIO.....	54
7.4.1 Zoneamento Térmico.....	54
7.4.2 Materiais e Elementos Construtivos.....	56
7.4.2.1 Propriedades Térmicas dos Elementos Construtivos.....	58
7.4.3 Cargas Internas.....	61
7.4.3.1 Atividade e Vestimenta.....	63
7.4.4 Sistema de Ventilação Natural.....	64
7.4.5 Infiltração de ar.....	65
7.4.6 Sistema de Condicionamento do ar.....	65
7.5 SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO.....	67
7.5.1 Isolamento Térmico de pisos e cobertura (MOD-IS01).....	67
7.5.2 Isolamento Térmico de paredes externas (MOD-IS02).....	68
7.5.3 Isolamento Térmico de pisos e coberturas e de paredes externas (MOD-IS01eIS02).....	69
7.6 PARÂMETROS UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO.....	69
7.6.1 Temperaturas médias de verão e inverno.....	69
7.6.2 Banda de conforto pela carta de Givoni.....	70
7.6.3 Banda de conforto pelo índice PMV.....	71
8 RESULTADOS E ANÁLISES.....	72
8.1 COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS INTERNAS DE CADA MODELO.....	72
8.2 COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE HORAS DE DESCONFORTO PELA CARTA DE GIVONI.....	74
8.3 COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE HORAS DE DESCONFORTO PELO ÍNDICE PMV.....	76
8.4 COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	77
8.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	79
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE A	87
APÊNDICE B	89
ANEXO A	97
ANEXO B	100

ANEXO C	102
ANEXO D	106
ANEXO E	109
ANEXO F	112

1 INTRODUÇÃO

A melhoria do conforto térmico e da eficiência energética, com a consequente redução do consumo de energia, agregam-se como critérios na preservação do patrimônio arquitetônico. Estas melhorias podem incentivar proprietários a investirem na manutenção destas edificações na medida em que reduzem seus gastos com energia e incorporam facilidades contemporâneas tanto no uso, quanto na possibilidade de venda ou locação de seus imóveis. Além disso, a tipologia deste tipo de edificação traz consigo o uso de materiais com grande capital energético, que são insubstituíveis e criados com técnicas construtivas que possivelmente não são mais existentes e/ou usuais.

Outro fator relevante que deve ser citado como característica deste tipo de edificação é a sua localização. A grande maioria dos prédios históricos está localizada em pontos privilegiados das cidades, onde existe acesso a uma infraestrutura consolidada, ou, em cidades pequenas, em sítios próximos a córregos, conferindo um grau de beleza ao local onde a edificação se situa. A permanência deste tipo de edificação mediante sua requalificação, além da preservação da memória cultural, contribui para a humanização destes locais.

Um terceiro aspecto que pode ser considerado para incentivar a preservação de prédios históricos entra no campo da concepção da arquitetura na forma de arte. Este conceito é dado por Edgar Graeff.

“Há edifícios que se distinguem independentemente da sua função, das suas características técnicas e construtivas, ou da eventual importância social que lhes é atribuída”. Sobrevivem graças “as suas qualidades artísticas, mesmo quando já estão superados como instrumentos de utilidade prática. É a presença destas dessas qualidades que permite caracterizar um edifício como obra de arte e, em consequência, definir a arquitetura como atividade artística. A manifestação de valor artístico é que permite distinguir a simples construção da obra de arquitetura” (GRAEFF, 1986, p. 15).

Para a avaliação da melhoria do conforto térmico, usou-se como estudo de caso uma edificação existente. A edificação escolhida é o Salão Holler, situado na cidade de Ivoti-RS, importante exemplar da arquitetura popular de imigração alemã.

Por sua representatividade dentro das edificações históricas de arquitetura alemã no estado, o salão Holler foi motivo de estudo por WEIMER (1939) em seu livro: *Arquitetura Popular da Imigração Alemã*. WEIMER realizou um amplo estudo sobre o salão, apresentando aspectos históricos, culturais e arquitetônicos.

A escolha da edificação para o presente estudo também se dá pela importância da mesma para o autor deste trabalho. A edificação está situada na cidade de origem da família do autor. Além disso, a prefeitura da cidade também vê grande importância no prédio, pois pretende fazer uma reforma no mesmo. Dessa forma, este estudo pode ser utilizado como parâmetro na tomada de decisão de que materiais e tipos de isolamento podem ser utilizados na reforma que está por vir.

A análise do prédio foi feita por simulação termo energética por meio do software *EnergyPlus*. Escolha dada pela ampla gama de relatórios que podem ser gerados pelo programa e pela relevância que o software tem dentro do universo acadêmico e de normas brasileiras que endossam seu uso para resolução de modelos computacionais como métodos de avaliação de desempenho térmico (ABNT NBR 15575-1:2013, p. 22).

É importante salientar que as técnicas de intervenção em construções históricas são, a priori, as mesmas técnicas utilizadas em edificações normais. Entretanto, as edificações históricas possuem o fato de, muitas vezes, serem patrimônio, por isso, devem ser tratadas com maior cuidado. Intervenções para o aumento da eficiência energética e redução das horas de desconforto devem considerar não apenas aspectos quantitativos, mas também, questões de compatibilidade da sua arquitetura patrimonial o que não será investigado neste trabalho.

Estes aspectos de cunho cultural, humano, prático e artístico servem de motivação para o presente estudo, que visa avaliar o conforto térmico por meio da investigação de soluções de isolamento térmico. Com os resultados, espera-se a melhoria do conforto térmico e eficiência energética, incentivando a aplicação das intervenções propostas.

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: é possível melhorar o conforto térmico e a eficiência energética do salão Holler através de intervenções de isolamento térmico?

2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo do trabalho é a investigação de soluções de isolamento térmico para o aumento da eficiência energética e do conforto térmico em intervenções no patrimônio arquitetônico do estado do Rio Grande do Sul, tendo como estudo de caso o salão Holler, edificação representativa da arquitetura popular de imigração alemã no estado do Rio Grande do Sul.

2.3 PREMISSA

O trabalho tem a premissa que a falta de habitabilidade nas construções históricas pode ser oriunda da falta de uso das mesmas, condenando-as ao abandono.

2.4 DELIMITAÇÕES

O desenvolvimento do trabalho foi restrito a apenas uma construção histórica característica da imigração alemã, situada no município de Ivoti-RS. Delimita-se a análise de conforto térmico e de eficiência energética desta construção.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

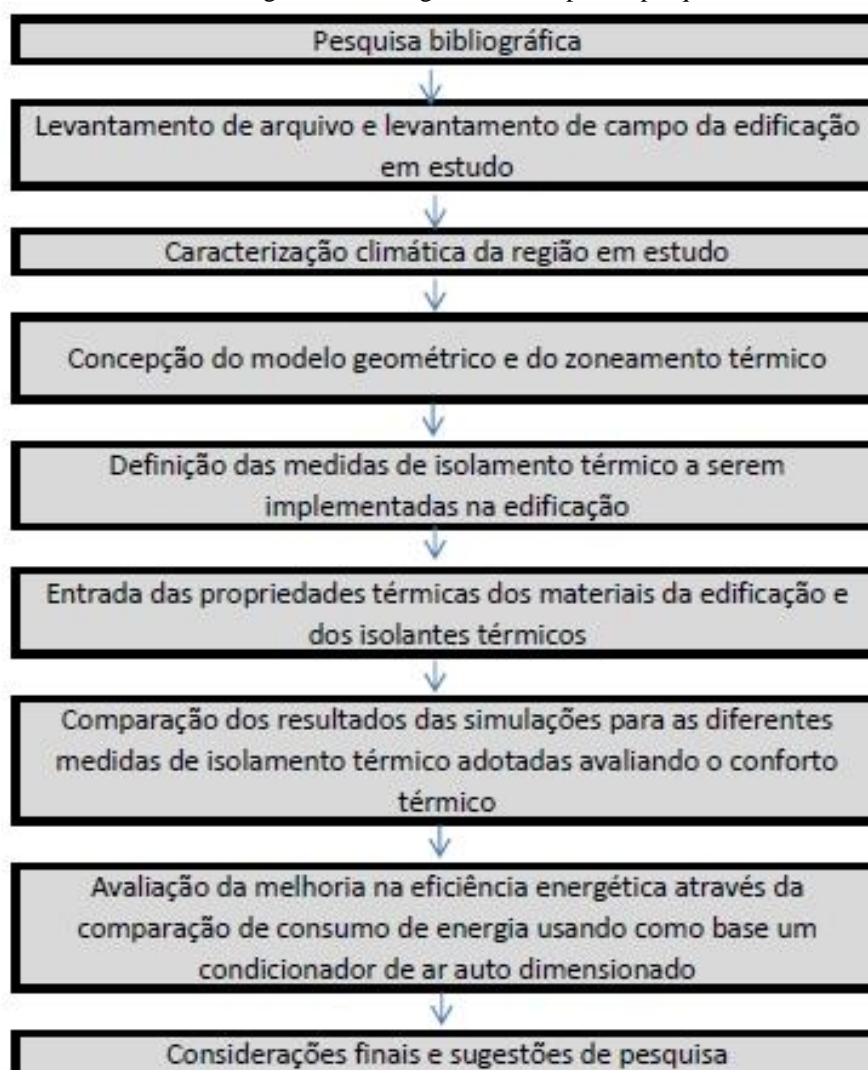
- a) utilização do software EnergyPlus, versão 8.1, para simulações térmicas;
- b) utilização dos dados climáticos da cidade de Rio Pardo (RORIZ, 2012a, 2012b) fornecidos pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações;
- c) informações sobre as características termofísicas dos materiais históricos fornecidas por bibliografia limitada;
- d) Bibliografia: no Brasil praticamente inexitem pesquisas na área.

2.6 DELINEAMENTO

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

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) levantamento de arquivo e levantamento de campo da edificação em estudo;
- c) caracterização climática da região em estudo;
- d) concepção do modelo geométrico e do zoneamento térmico;
- e) definição das soluções de isolamento térmico a serem implementadas na edificação;
- f) entrada das propriedades térmicas dos materiais da edificação e dos isolantes térmicos;
- g) comparação dos resultados das simulações para as diferentes soluções de isolamento térmico adotadas;
- g) Avaliação da melhoria na eficiência energética através da comparação de consumo de energia usando como base um condicionador de ar auto dimensionado;
- h) considerações finais e sugestões de pesquisa;

Figura 1 – Fluxograma das etapas da pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

A primeira etapa do trabalho foi a pesquisa bibliográfica, realizada através de uma revisão dos temas abordados neste trabalho. Foram apresentados os conceitos de conforto térmico assim como os índices e parâmetros mais relevantes para a medição do mesmo. Também foram revisadas informações sobre a edificação em estudo e dos programas utilizados para a simulação da mesma.

Na segunda etapa do trabalho, foi feito um levantamento de arquivos técnicos sobre a edificação e também o levantamento de campo, *in loco*, na mesma.

A terceira etapa foi constituída pela caracterização climática da região em estudo. Analisou-se o sítio onde esta localizada a edificação: em que zona bioclimática ela se encontra e a orientação solar do prédio.

De posse dos dados da edificação e de sua localização, foi construído o modelo computacional da mesma com a respectiva separação dos ambientes em zonas térmicas.

Em seguida, definidos os possíveis materiais de isolamento a serem utilizados, procedeu-se a entrada dos parâmetros térmicos dos mesmos no programa de simulação.

Após a simulação da edificação com as diferentes soluções de isolamento térmico, realizou-se a comparação dos resultados para cada modelo de solução com o modelo existente da edificação.

Depois, foi feita uma avaliação da melhoria da eficiência energética da edificação com as intervenções feitas. Tal avaliação foi feita através do auto dimensionamento de um ar condicionado para cada modelo de simulação.

A etapa posterior é a análise crítica dos resultados obtidos e as subsequentes considerações finais.

3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico, segundo a ASHRAE *Standard 55*, é definido como a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Pode-se dizer que existe uma condição na qual uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente, esta condição é conhecida por neutralidade térmica (FANGER, 1970).

Já para (RUAS, 1999) o conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado da combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura do ambiente, e velocidade relativa do ar com a atividade lá desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas.

O corpo humano necessita de calor para seu funcionamento e este é oriundo do metabolismo dos alimentos ingeridos. O calor gerado é consumido pelas atividades internas do organismo (suficientes para o funcionamento dos órgãos do corpo) e pelas nossas atividades externas (atividades de trabalho e lazer, por exemplo). Dessa forma, o corpo pode ser considerado uma fonte de calor tanto sensível como latente.

Sendo o organismo humano homeotérmico, isto é, sua temperatura deve permanecer praticamente constante, o mecanismo termorregulador cria condições para que isso ocorra (LAMBERTS, 2011). O calor gerado pelo corpo deve ser dissipado para que o mesmo não superaqueça. Desta forma, pode-se dizer, que as atividades desempenhadas pelo corpo geram um calor que deve ser dissipado para que este se encontre em equilíbrio térmico.

O calor do corpo pode ser dissipado através da pele e da respiração. A dissipação pela pele ocorre por perdas de calor por convecção e radiação (calores sensíveis), e perdas de calor por evaporação da transpiração e por difusão da água (calores latentes). A dissipação pela respiração ocorre por perdas de calor por convecção (calor sensível) e perda de calor evaporativo (calor latente).

Já Frota; Schiffer (2001, p. 31) diz que o calor é dissipado através dos mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, envolvendo as trocas secas — condução, convecção e radiação — e as trocas úmidas — evaporação.

A partir daí podemos atingir o conforto térmico segundo Pereira (2005, p. 34) “atinge-se o conforto térmico quando o corpo humano dissipa exatamente a quantidade de calor que está produzindo, sendo capaz de manter sua temperatura interna do tórax em torno de 37 °C.”

3.1 VARIÁVEIS DE CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico depende de variáveis que podem ser separadas em dois grupos: variáveis ambientais e variáveis pessoais. As variáveis ambientais são: temperatura do ar (T_a), umidade relativa do ar (UR), temperatura média radiante (T_{mr}) e velocidade do ar (V_a). Os fatores pessoais envolvidos são: vestimenta (índice de resistência térmica das roupas, I_{cl}) e tipo de atividade (sob a forma de taxa metabólica, Met). Pode-se incluir no grupo de variáveis pessoais os aspectos fisiológicos como a temperatura da pele e a taxa de secreção de suor.

A temperatura do ar é a temperatura de bulbo seco que envolve a pessoa, expressa em °C. Para o estudo de conforto térmico, ela é importante para a determinação do calor por convecção entre a pessoa e o ambiente ao seu redor (WALLAUER, 2003).

A umidade relativa do ar, segundo Ruas (1999), numa determinada temperatura, é a razão entre o número de gramas de vapor d'água existente em um metro cúbico de ar e a quantidade máxima de gramas de vapor d'água que um metro cúbico de ar pode conter, quando está saturado naquela temperatura. A umidade relativa do ar tem grande influência na remoção de calor por evaporação, na medida em que a baixa umidade relativa permite ao ar relativamente seco absorver a umidade da pele rapidamente, e, com isso, promover também de forma rápida a remoção de calor do corpo. A alta umidade relativa produz efeito inverso.

Segundo Lamberts (2011) a temperatura média radiante é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação em um ambiente real não uniforme. Também pode ser calculada através de medições das temperaturas superficiais das paredes ao redor da pessoa, conhecendo-se o tipo das paredes e suas posições em relação à pessoa.

A velocidade do ar é o módulo do vetor velocidade do fluxo do ar, expresso em m/s. Tem importante influência nos estudos de conforto térmico para a determinação de transferência de calor por convecção e por evaporação.

A vestimenta das pessoas é a responsável pela resistência a troca de calor sensível entre o corpo e o ambiente ao seu redor. Podemos representá-la, em relação ao estudo de conforto térmico, pelo seu índice de resistência térmica I_{cl} que é expresso na unidade clo: $1 \text{ clo} = 0,155(\text{ m}^2\text{K})/\text{W}$. Os valores de I_{cl} estão presentes nas normas ASHRAE 55 e ISSO 7730.

A taxa metabólica é a energia gasta durante a realização de atividades físicas. Ela pode variar conforme a atividade, a pessoa e o ambiente em que ela se encontra. Os valores de Met (com unidade de W/m^2 : energia por área do corpo desnudo) podem ser extraídos das normas ASHRAE 55 e ISSO 7730.

Podemos citar outra variável importante, pois relaciona a T_a com a T_{mr} , para a análise de conforto térmico: a temperatura operativa (T_o). Também medida em $^{\circ}\text{C}$, esta pode ser calculada com suficiente aproximação como sendo o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante (LAMBERTS, 2011).

3.2 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico pode ser mensurado através de índices que possam expressar a satisfação ou não de um grupo de pessoas em um ambiente térmico.

A necessidade de se conhecer a sensação térmica experimentada pelas pessoas quando expostas a determinadas combinações das variáveis ambientais e pessoais levou ao desenvolvimento de índices de conforto.

Índice de conforto é um parâmetro que representa o efeito combinado das principais variáveis intervenientes. Através dele é possível avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente, bem como obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas (RUAS, 2001).

Fanger (1970), que realizou diversos experimentos na Dinamarca sobre conforto térmico, é o principal representante da linha analítica de avaliação das sensações térmicas humanas. Suas equações e métodos têm sido utilizados mundialmente e serviram de base para a elaboração

de Normas Internacionais importantes, fornecendo subsídios para o equacionamento e cálculos analíticos de conforto térmico e conhecidos hoje como PMV (*Predicted Mean Vote*) e o PPD (*Percentage of Dissatisfied*) (LAMBERTS, 2011).

As normas ISO 7730 e ASHRAE *Standard 55* ditam sobre estes índices, propondo métodos para a resolução dos mesmos e especificando condições térmicas aceitáveis para o conforto.

3.2.1 Voto Médio Estimado, PMV

Desenvolvido por Fanger (ASHRAE, 2005) o voto médio estimado PMV (*Predicted Mean Vote*) relaciona o conforto térmico com variáveis fisiológicas nas equações de balanço de energia empíricas para relatar as percepções de conforto e as trocas térmicas existentes entre o corpo e o ambiente. Estas equações levam em consideração variáveis, tais como a temperatura e a resistência térmica da vestimenta, a taxa de produção de energia metabólica, a taxa de trabalho realizado, as taxas de calor total dissipado pela pele e pela respiração, a velocidade do ar na zona, os coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação linearizado, e a temperatura média da pele (CAROTENUTO, 2009)

O PMV é um índice em função da taxa metabólica e do balanço de calor do corpo humano, e para calculá-lo analiticamente é necessário obter dados relativos ao ambiente térmico em estudo. A correlação entre estes itens é dada conforme a fórmula 1:

$$PMV = [0,303\exp(-0,036 \times M) + 0,028] \times L \quad (\text{fórmula 1})$$

Sendo:

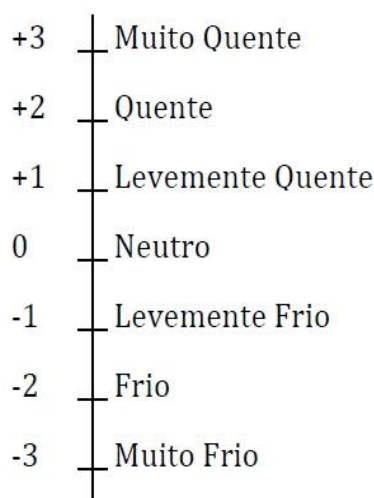
PMV = voto médio previsto, adimensional;

M = metabolismo, W/m²;

L = termo de acumulação de energia, W/m².

O índice PMV utiliza uma escala térmica, a escala sétima, utilizada nos estudos de FANGER (1970), a qual pode ser vista na figura 2.

Figura 2 – Escala de sensação térmica usada pelo índice PMV



(fonte: LAMBERTS, 2011, p. 15)

3.2.2 Percentagem de Pessoas Insatisfeitas, PPD

Com o objetivo de estimar a quantidade de pessoas termicamente descontentes com o ambiente, Fanger (1970) relacionou o valor PMV com a porcentagem estimada de insatisfeitos.

O índice PPD estabelece a quantidade estimada de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente e é baseado na porcentagem de um grande grupo de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio, votando +3, +2 ou -3 e -2, na escala sétima.

Para considerar a insatisfação no grupo de algumas pessoas dentro do grupo de pessoas, foi criada a metodologia do PPD.

Conhecido os valores de PMV, estima-se o PPD através da seguinte correlação, fórmula 2:

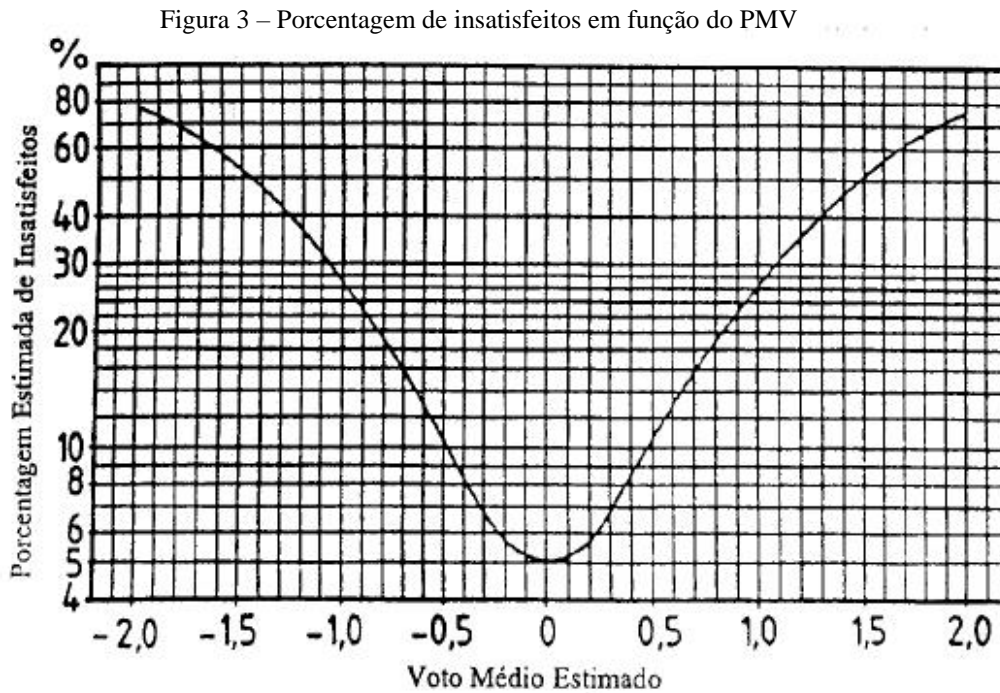
$$PPD = 100 - 95\exp[-0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2] \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

PPD = percentagem de pessoas insatisfeitas, adimensional;

PMV = voto médio previsto, adimensional;

O valor do PPD também pode ser observado pelo gráfico da figura 3:



(fonte: ISO 7730, 1994)

Existem normas de desempenho que definem classes para o conforto térmico utilizando os valores de PMV e PPD. No decorrer do presente relatório serão apresentadas essas normas e suas respectivas classes.

4 NORMAS DE DESEMPENHO TÉRMICO

Os estudos de conforto térmico tiveram nos últimos anos, um aumento de interesse por parte dos pesquisadores, sendo que as normas existentes englobam estudos sobre todas as variáveis que influenciam no conforto térmico, quer sejam em ambientes condicionados ou não. (LAMBERTS, 2011).

Não existe norma técnica específica que oriente o estudo ou determinação de parâmetros de conforto térmico e/ou eficiência energética para prédios históricos. Na falta de normas específicas, as normas comentadas neste capítulo foram usadas para a avaliação de conforto e desempenho térmico da edificação em estudo.

4.1 ISO 7730

Sob o título ISO 7730/94 - Ambientes Térmico Moderados – Determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições de conforto térmico¹ (tradução do autor) esta norma tem por objetivo apresentar um método para determinar a sensação térmica e o grau de desconforto térmico de pessoas expostas a ambientes moderados.

É a ISO 7730 que apresenta a equação completa para o cálculo do índice PMV e especifica condições térmicas aceitáveis para o conforto. Segundo Markov (2002, apud GALLO, RIBEIRO, 2007) a sensação térmica humana está relacionada ao equilíbrio térmico corporal. Este equilíbrio é influenciado pelo nível de atividade física da pessoa e pelo tipo de roupa que a mesma utiliza, bem como por parâmetros físicos como temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do vento e umidade do ar. Caso todos esses fatores possam ser medidos ou estimados, a sensação térmica corporal pode ser prevista através do cálculo do índice PMV (*Predicted Mean Vote*).

Para sua nova versão: ISO 7730:2005 – Ergonomia dos Ambientes Térmicos - Determinação e Interpretação Analítica do conforto térmico com cálculo dos índices PMV e PPD e critérios

¹ Moderate thermal environments -- Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort

de conforto térmico local² (tradução do autor), foi adicionado um método para avaliação de períodos longos, bem como informações sobre desconforto térmico localizado, condições em estado não estacionário e adaptação.

A figura xxx apresenta as categorias de conforto térmico através dos valores de PMV e PPD segundo ISSO 7730:2005.

4.2. ASHRAE 55

Com o título: ASHRAE Standard 55-1992: Ambientes Térmicos - Condições para ocupação humana³ (tradução do autor). Esta norma americana especifica condições ambientais aceitáveis para a saúde das pessoas sujeitas a pressões atmosféricas equivalentes a altitudes superiores a 3,00m, em ambientes internos projetados para ocupação humana por períodos não inferiores a 15 minutos (LAMBERTS, 2011).

Sua nova versão: ASHRAE Standard 55-2010: Ambientes Térmicos - Condições para ocupação humana⁴ (tradução do autor), contém um método opcional para determinar condições térmicas aceitáveis em espaços naturalmente ventilados, considerando a possibilidade ou não de controle das variáveis ambientais por parte do usuário. A Norma incorpora ainda inovações encontradas nas pesquisas mais recentes tais como a utilização de valores elevados de velocidade do ar, o que faz com que se aumente o intervalo aceitável das condições térmicas em um ambiente. Na nova versão os limites de Temperatura Operativa, além do PMV e PPD, foram revistos em função da velocidade do ar e intensidade de turbulência do ar. A Norma incorpora ainda em um dos seus anexos um novo método para determinar o efeito do resfriamento corporal através da velocidade do ar para valores acima de 0,15m/s, permitindo a utilização de ventiladores de teto e outros meios para incremento da velocidade do ar durante os meses mais quentes (LAMBERTS, 2011).

A Norma incorpora ainda em um dos seus anexos um novo método para determinar o efeito do resfriamento corporal através da velocidade do ar para valores acima de 0,15m/s, permitindo a utilização de ventiladores de teto e outros meios para incremento da velocidade do ar durante os meses mais quentes (LAMBERTS, 2011).

² Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria

³ Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

⁴ Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

4.3 NBR 15220

Esta norma brasileira tornou-se importante por ser a primeira a buscar uma padronização inicial na definição das características construtivas necessárias, no sentido de fomentar a melhoria do desempenho térmico das edificações. É dividida em cinco partes, comentadas nos próximos parágrafos.

A NBR 15220-1 estabelece as definições, símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações. Traz, de forma ordenada, em formato de tabela, estas definições. O anexo A do presente trabalho traz as definições das propriedades térmicas segundo a NBR 15220-1.

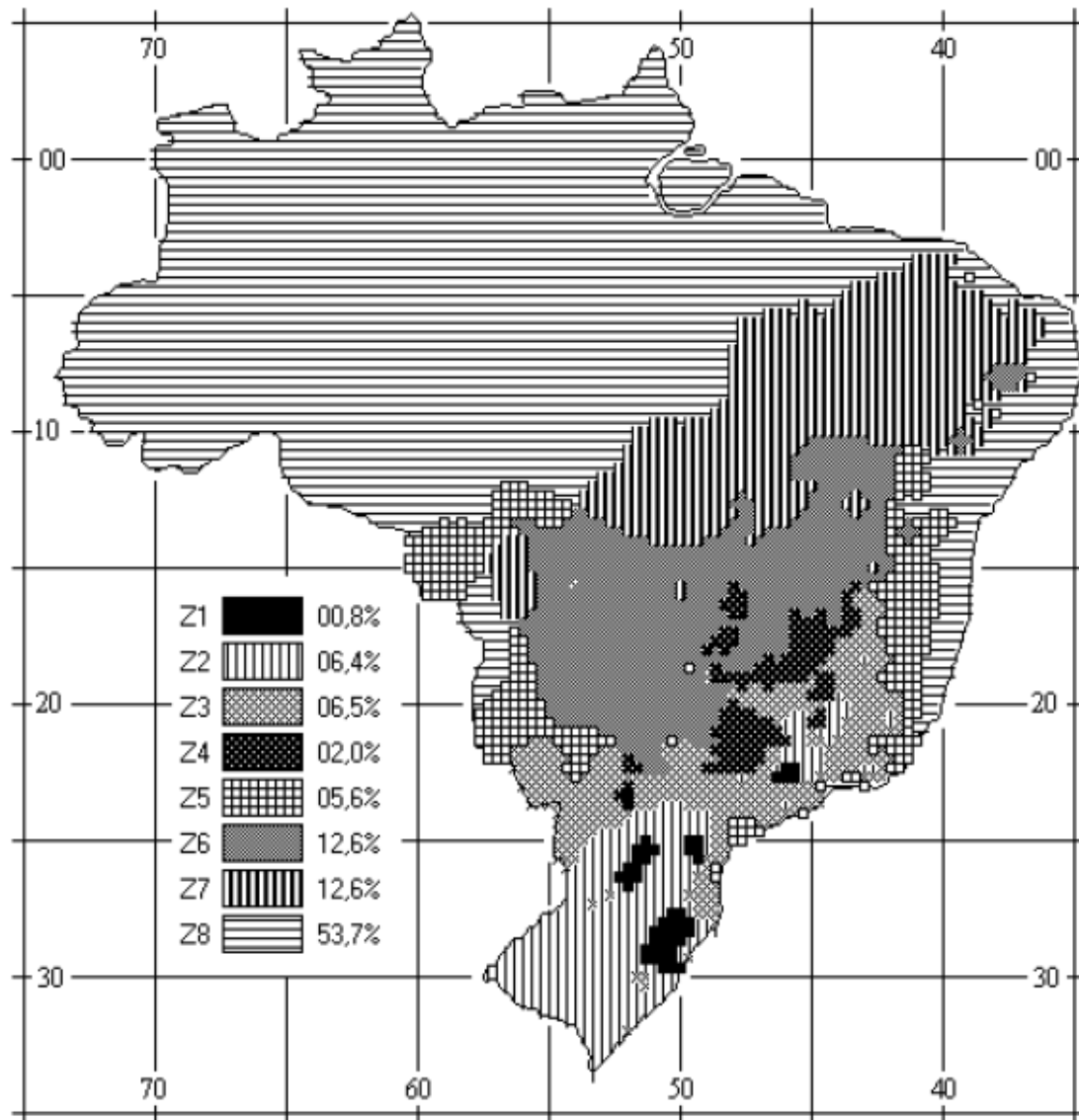
O objetivo da NBR 15220-2 é estabelecer procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar - de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2013).

Além de trazer exemplos de cálculo para construções pré-definidas, possui tabelas com dados de resistências térmica superficiais, resistências térmica de câmaras de ar e das propriedades térmicas dos materiais. Os dados presentes nesta parte da norma foram usados no presente trabalho para definir as propriedades dos elementos construtivos da edificação de estudo.

A NBR 15220-3 ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, recomenda diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

A norma, para efetuar o zoneamento bioclimático, propôs a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (figura 4).

Figura 4 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

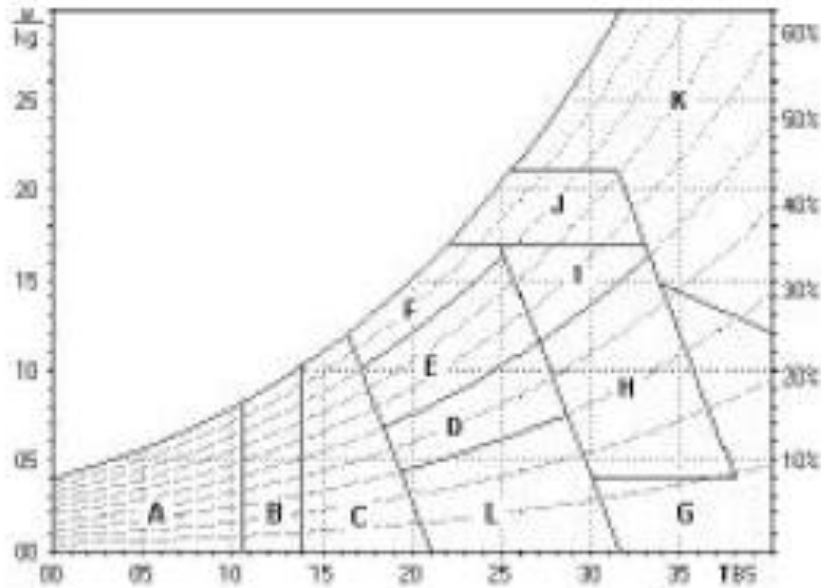


(fonte: NBR 15220-3)

Essa parte da norma também apresenta uma carta bioclimática sugerida por Givoni (figura 5).

As letras na carta da figura 5 representam zonas que correspondem a estratégias de melhoramento térmico para as edificações. A figura 6 mostra quais são estas estratégias.

Figura 5 – Carta de Givoni Adaptada



(fonte: NBR 15220-3)

Figura 6 – Estratégias para a carta de Givoni

As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

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	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

(fonte: NBR 15220-3)

A carta bioclimática para o edifício, (BCC) *Building Climate Chart*, foi desenvolvida por GIVONI (1969), para corrigir as limitações do diagrama bioclimático idealizado por OLGAYAY conforme GIVONI (1992, apud LAMBERTS et al, 1994).

A principal diferença entre os dois sistemas é que o diagrama de OLGAYAY (1963) é desenhado apenas entre os eixos de temperatura externa de bulbo seco e umidade relativa do ar externo enquanto a carta bioclimática de GIVONI é desenhada em cima de uma carta psicrométrica convencional segundo GIVONI (1992).

Outra diferença importante é que GIVONI se baseia em temperaturas internas do edifício enquanto o diagrama de OLGYAY é aplicado estritamente para condições externas.

Na NBR 15220-4 (ABNT, 2005) é apresentado o método para medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Por sua vez, a NBR15220-5 estabelece o método para medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (LAMBERTS et al., 2012 p.5).

Ao reduzir o consumo de energia estaremos reduzindo, conseqüentemente, os impactos ambientais. Podemos concluir isso pelo fato de que, em muitos casos, para gerar energia acabamos gerando os mais diversos impactos ao ambiente.

O estudo do presente trabalho vincula a redução de consumo de energia elétrica, unicamente, à melhoria das condições de conforto térmico através das soluções de isolamento na construção. A redução do consumo de energia elétrica foi analisada através da análise do consumo de um ar condicionado tipo split auto dimensionado pelo programa de simulação para o nível de eficiência A, de acordo com o selo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) de economia de energia.

5.1 EFICIÊNCIA DOS CONDICIONADORES DE AR TIPO SPLIT

A eficiência de um aparelho de ar condicionado tipo split é dada pela relação entre sua capacidade de refrigeração/aquecimento e o seu consumo de energia elétrica.

Existem dois índices que podem ser utilizados para a verificação do rendimento de um ar condicionado: o *Energy Efficiency Ratio* (EER) e o *Coefficient Of Performance* (COP). Estes índices, respectivamente, estão associados à eficiência dos sistemas no resfriamento e à eficiência dos sistemas no aquecimento.

5.1.1 *Energy Efficiency Ratio* (EER)

É a relação entre a capacidade de refrigeração de um ar-condicionado em BTUs (Unidades Térmicas Britânicas) por hora, e a entrada de energia elétrica total em Watts em determinados testes especificados. Quanto mais alto for o EER, mais eficiente é o aparelho de ar condicionado.

5.1.2 Coefficient Of Performance (COP)

Esse termo representa a relação entre a energia térmica fornecida por uma bomba de calor e a energia elétrica consumida pelo sistema. Assim como o EER, quanto maior for o COP, mais eficiente é o equipamento.

5.2 CLASSES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO SELO PROCEL

Com base nos índices de eficiência citados nos itens 5.1.1 e 5.1.2 do presente relatório, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) criou coeficientes que determinam o nível de eficiência para os condicionadores de ar tipo split. Estes coeficientes são utilizados pelo Selo Procel para definir os equipamentos que possuem a melhor eficiência, facilitando a escolha de compra para o consumidor comum. A tabela 1 mostra as classes de eficiência e seus respectivos coeficientes.

Figura 7 – Classes e CEE para condicionadores de ar tipo split

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)	
A	3,23	$<CEE$
B	3,02	$<CEE \leq 3,23$
C	2,81	$<CEE \leq 3,02$
D	2,60	$\leq CEE \leq 2,81$

(fonte: portaria nº 410, INMETRO)

O Coeficiente de Eficiência Energética para a classe A do selo Procel foi utilizado como parâmetro de entrada no programa de simulação. Portanto, o dimensionamento do ar condicionado tipo Split necessário para a análise de eficiência energética presente neste trabalho, foi o mais eficiente segundo o selo Procel.

6 SIMULAÇÃO TERMO-ENERGÉTICA

A simulação térmica de edificações trata-se de um modelo computacional no qual todos os processos térmicos e energéticos são contabilizados e integrados entre si. O uso de programas computacionais para realizar a análise térmica vêm crescendo, visto que permitem uma visão mais ampla dos fatores externos que incidem sobre a edificação e a resposta da mesma a eles.

Outro fato que estimula o uso da simulação computacional é a validação do uso das mesmas em diversas certificações e normas.

Neste capítulo será apresentado o programa que será utilizado para fazer a análise termo energética e das soluções de isolamento a serem adotadas na edificação em estudo.

6.1 *Google SketchUp Pro e Legacy OpenStudio SketchUp Plug-in*

O Google SketchUp Pro é um programa de modelagem tridimensional amplamente utilizado pela comunidade acadêmica, por engenheiros, arquitetos e decoradores. É de fácil manuseio e é utilizado para criar a geometria do modelo 3D que será importado para o programa de simulação.

Já o *Legacy OpenStudio SketchUp Plug-in* é uma ferramenta que adiciona funções ao Sketchup. Através dele o usuário cria e edita a geometria da edificação com as ferramentas padrão de desenho do SketchUp e salva como EnergyPlus Input File (idf) - programa de simulação.

A integração do *SketchUp* com o *Legacy OpenStudio* é que permitirá a criação do modelo 3D da edificação com a definição das zonas térmicas e elementos de sombreamento. O balanço térmico das zonas criadas será feito pelo programa de simulação e os elementos de sombreamento são interpretados como dispositivos que geram impactos nestas zonas.

6.2 *EnergyPlus*

O programa *EnergyPlus* foi criado a partir dos melhores recursos dos programas BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e DOE (*Department of Energy*). Segundo Strand, R., et al (1999) “O BLAST e o DOE surgiram em meio a preocupações dirigidas pela crise mundial de energia no começo da década de 70 e mais tarde o reconhecimento de que o consumo de energia elétrica em edificações é o principal componente do consumo total de energia elétrica. (Strand, R., et al, 1999, apud CAROTENUTO, 2009, p.27).

Como seus progenitores, o *EnergyPlus* é um programa de simulação de carga térmica e de análise do consumo de energia elétrica escrito em Fortran 90. Baseado na descrição do prédio feita pelo usuário a partir da perspectiva da constituição física da edificação e sistemas mecânicos associados, o *EnergyPlus* calcula as cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento necessárias para manter um adequado controle térmico, condições por todo o sistema secundário de HVAC e cargas da serpentina, e o consumo de energia elétrica dos equipamentos da planta primária, como também vários outros detalhes que são necessários com o objetivo de verificar se a simulação está reproduzindo, o mais fiel possível, a edificação real (EnergyPlus, 2008c).

O *EnergyPlus* possui uma estrutura modular bem organizada que facilita a adição de rotinas, módulos e a comunicação com outros programas. Por ser um programa criado na década de 90 sua atualização ainda é feita regularmente e disponibilizada gratuitamente.

6.2.1 Características do *EnergyPlus*

Carotenuto (2009) faz uma lista das principais características do programa, são elas:

- a) Solução simultânea e integrada, onde a resposta da edificação e os sistemas primário e secundário estão rigorosamente acoplados.
- b) Intervalos de tempo definíveis pelos usuários, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente e, intervalos de tempo variáveis para interação entre as zonas térmicas e os sistemas de HVAC (automaticamente e internamente variados para garantir a estabilidade numérica da solução).
- c) Arquivo climático e arquivos de entrada e saída baseados no formato ASCII, que inclui condições ambientais horárias ou sub-horárias e relatórios definíveis pelo usuário.

- d) Técnica de solução baseada no balanço de energia para cargas térmicas de edificações, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos da radiação e da convecção nas superfícies interna e externa em cada intervalo de tempo.
- e) Condução de calor transiente através dos elementos da edificação, tais como paredes, tetos, piso, etc., usando as funções de transferência por condução.
- f) Modelagem avançada da transferência de calor pelo solo, através de modelos de diferenças finitas computacionais e técnicas analíticas simplificadas.
- h) Modelo combinado de transferência de calor e massa que considera a adsorção e a dessorção de umidade, como uma integração camada a camada com as funções de transferência por condução ou o Modelo da Profundidade Efetiva de Penetração de Umidade (EMPD: Effective Moisture Penetration Model).
- i) Modelos de conforto térmico (Fanger, Pierce, KSU) baseados na atividade física, na temperatura de bulbo seco interna, na umidade, etc.
- j) Cálculos avançados para as superfícies transparentes ou translúcidas, como vidros das janelas, incluindo controle de cortinas, balanços de energia por camada dos vidros das janelas, e uma biblioteca de desempenho de muitos vidros comercialmente disponíveis.
- k) Controle da luz do dia, incluindo cálculos de iluminação interior, simulação e controle do brilho, das luminárias e do efeito da redução da luz artificial no aquecimento e na refrigeração.
- l) Sistemas de HVAC configuráveis, que permitem aos usuários modelar sistemas típicos e muito pouco modificados sem recompilar o código fonte do programa.
- m) Cálculo da poluição atmosférica, que predizem os níveis de CO₂, SO_x, NO_x e CO.
- n) Comunicação com outros ambientes de simulação, tal como WINDOW5.

6.2.2 Algoritmos de solução do *EnergyPlus*

O EnergyPlus possui três algoritmos de solução distintos (EnergyPlus, 2008b):

- a) CTF (Conduction Transfer Function), ou Função de Transferência por Condução: usado no presente trabalho, é um algoritmo de solução que considera apenas o calor sensível e não leva em conta o armazenamento ou a difusão de umidade nos elementos de construção.
- b) EMPD (Effective Moisture Penetration Depth), ou Modelo da Profundidade Efetiva de Penetração de Umidade: é um algoritmo que leva em conta a difusão de calor sensível e o armazenamento de umidade nas superfícies internas, e precisa de informações adicionais das características de umidade dos materiais.

- c) CondFD (Conduction Finite Difference), ou Condução por Diferenças Finitas: é um algoritmo de solução voltado para área de pesquisa, que usa a técnica de Diferença Finitas em 1-Dimensão. O algoritmo considera apenas o calor sensível e não leva em conta o armazenamento ou a difusão de umidade nos elementos de construção.

7 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia empregada neste trabalho foi dividida em diversas etapas. No primeiro momento, é caracterizada a edificação em estudo e a zona bioclimática em que a mesma se encontra. Para a caracterização da edificação, foi realizado um levantamento de arquivos e de campo (com levantamento fotográfico).

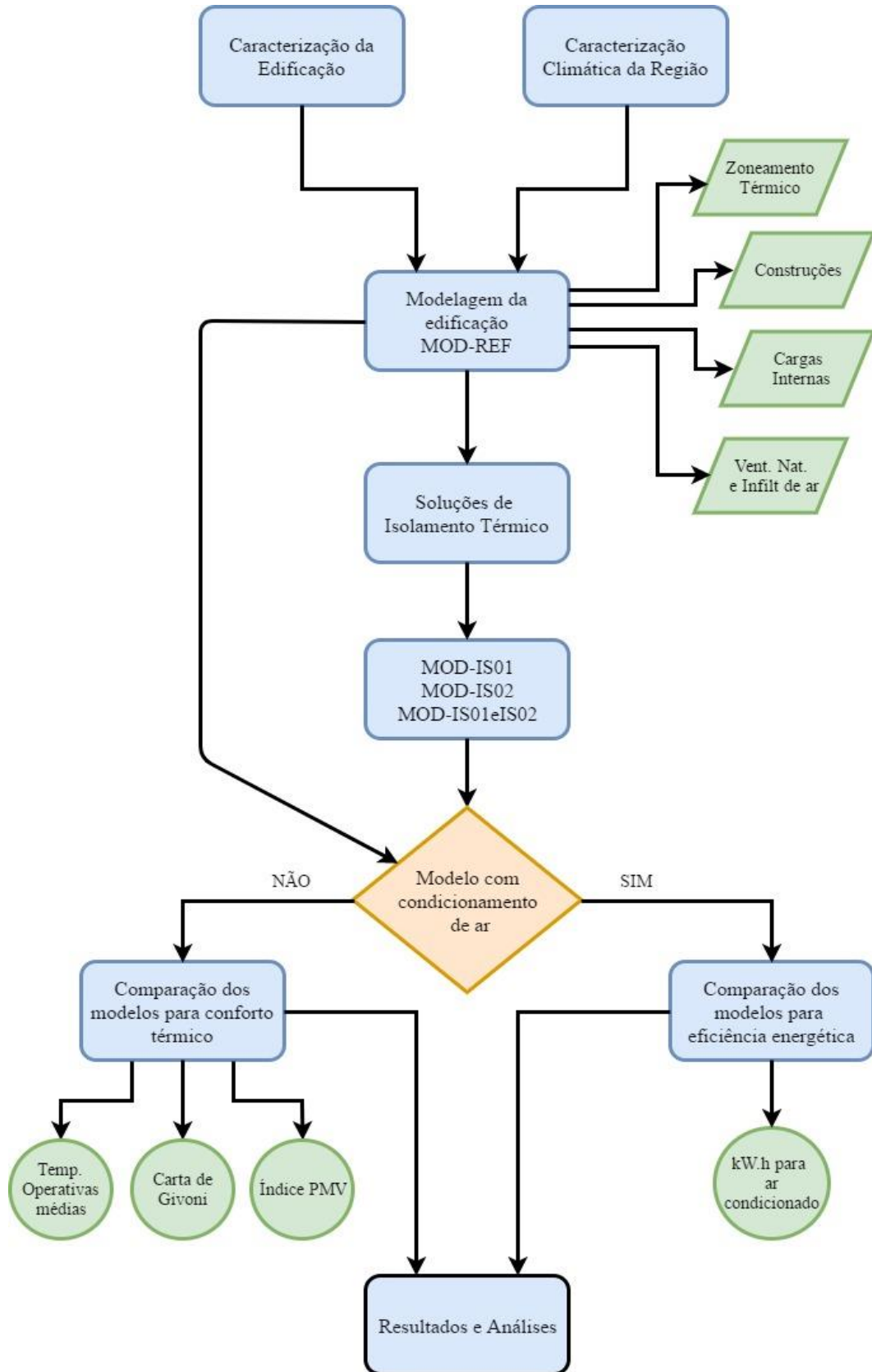
Devidamente caracterizada a edificação, é realizada a modelagem do prédio para a criação do modelo referência (MOD-REF) que representa a situação real da edificação.

A partir do MOD-REF, foram propostas soluções de isolamento térmico, criando-se assim, três modelos adicionais: MOD-IS01, MOD-IS02 e MOD-IS01eIS02. O detalhamento dos isolamentos propostos para cada modelo ainda será tratado neste capítulo.

De posse dos modelos criados, foi realizada a análise de conforto térmico comparando-se os resultados de temperatura média (verão e inverno), do percentual de horas de desconforto térmico (através da banda de conforto de temperatura e umidade relativa pela carta de Givoni) e do percentual de horas de desconforto térmico pelo índice PMV/PPD. Também foi realizada a comparação de consumo de energia para o condicionamento de ar para os diferentes modelos. Com base nesses resultados, foi possível comparar a influência das soluções de isolamento propostas nos resultados referentes ao conforto térmico e eficiência energética.

A figura 8 traz o fluxograma da metodologia empregada. Todas as etapas citadas serão descritas nos próximos itens.

Figura 8 – Fluxograma do Método de Pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

7.1 ESTUDO DE CASO: SALÃO HOLLER

O Salão Holler (figura 9) é um dos maiores exemplares da construção no estilo enxaimel dentro da arquitetura popular de imigração alemã no Rio Grande do Sul, sendo a maior casa neste estilo de construção no estado. Possui três pavimentos - considerando o porão, o térreo e o sótão - somando uma área de aproximadamente 700 m² de construção. É constituído por nove ambientes (na concepção de utilidade original do prédio) sendo eles: porão, restaurante, copa, depósito, circulação, quarto 1, quarto 2, salão de baile e sótão. Posteriormente, foi adicionado um ambiente na área de porão que, por algum momento, foi locado como uma barbearia.

Figura 9 – Salão Holler



(fonte: foto do autor)

Encontra-se no momento como obra tombada pelo IPHAE (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado) e é de propriedade do município de Ivoti, pois, em junho de 2013, o proprietário do salão estava realizando obras e demolições na edificação e as intervenções foram consideradas agressivas pela OSCIP (Organização da Sociedade Civil de Interesse

Público) Defender. O órgão iniciou processo, junto ao Ministério Público, e, em janeiro de 2014, a edificação foi tombada como patrimônio histórico pelo IPHAE.

Não se sabe ao certo a data de construção do prédio. Originalmente, servia de salão de baile e seu porão servia de estábulo. Sucessivamente foi mudando sua funcionalidade, sendo transformado em fábrica de tamancos e de selas (WEIMER, 2005, p. 267), posteriormente em bazar e dividido em pequenas unidades habitacionais que eram alugadas. Hoje em dia encontra-se desocupado para o início de um processo de restauração. O anexo B do presente relatório traz um desenho em vista de perspectiva do salão Holler feito por WEIMER.

Os anexos C, D e E trazem respectivamente, as plantas, cortes e fachadas da edificação.

Todas as paredes, com exceção da parede sul, são feitas de pedra grês. As paredes do porão possuem pedra grês “a vista” (com exceção da parede sul que possui reboco externo) e as paredes do térreo e sótão possuem reboco externo e interno de pigmentação branca.

É impressionante o volume de madeira empregado nesta construção devido a suas grandes dimensões e ao alto pé-direito (18 palmos = 3,96 m) (WEIMER, 2005, p. 270). O enxaimel das paredes se caracteriza por ter cunhais apoiados diretamente nas fundações, não apresentar peitoris nem vergas e ter um pé-direito muito alto. Em cada extremidade dos panos de parede há uma escora. As peças estruturais têm seções quadradas, tendo os cunhais e baldrames 32 cm (+ ou - 2), os esteios principais 28 cm (+ ou - 3) e as demais 16 cm de lado (+ ou - 1) (WEIMER, 2005, p. 271).

As janelas do pavimento térreo possuem vidraças do tipo guilhotina com 12 vidros simples de 3 mm de espessura e tampos internos de quatro folhas. O sótão possui quatro janelas simetricamente distribuídas nos frontões (2 em cada frontão), também possuem vidraças em guilhotina e tampos internos, porém, com dimensões menores do que as do térreo. No porão temos janelas que, na concepção original do prédio, tratam-se apenas de aberturas na parede. Todas as portas são de madeira e cada uma possui um desenho distinto. Os detalhes das portas e janelas encontram-se no anexo F.

O piso do porão é feito com lajes de pedra grês e está em contato direto com o solo (figura 10). Os pisos do pavimento térreo e sótão são formados por um tabuado duplo, com uma câmara de ar entre os dois tabuados (figura 11). A cobertura é de telha canal sem forro e possui um ângulo entre águas de 124° (figura 12).

Figura 10 – Laje porão



(fonte: foto do autor)

Figura 11 – Piso sótão e térreo



(fonte: foto do autor)

Figura 12 – Telhado do salão visto internamente



(fonte: foto do autor)

Algumas construções não são características da edificação original: o telhado de zinco perpendicular à parede Sul da edificação (figura 13), uma área não caracterizada construída em frente da parede norte do prédio (figura 14) e outra área não caracterizada presente na fachada leste (visível no anexo E). Estas construções não foram consideradas para a confecção do modelo.

Figura 13 – Telhado não caracterizado



(fonte: foto do autor)

Figura 14 – Área não caracterizada



(fonte: foto do autor)

A construção esta bem conservada. Contudo, foi necessário fazer algumas reformas. Na elevação Sul, a estrutura de madeira apodreceu e foi substituída por uma parede de alvenaria (WEIMER, pg 270). Na figura 15 podemos ver que a parede Sul não possui o madeiramento característico do estilo enxaimel em função desta reforma.

Figura 15 – Salão Holler – Parede Sul



(fonte: foto do autor)

Uma das paredes do porão está em contato com a terra. Isso aconteceu porque, na fachada oeste do prédio, devido a urbanização da estrada, o nível da estrada foi rebaixado expondo, parcialmente, a parede do porão que originalmente ficava soterrada. Isso também ocasionou a troca de duas portas originais desta fachada principal, por duas janelas. A parede exposta foi rebocada e pintada com tinta de pigmentação marrom. O detalhe do rebaixamento do nível do solo pode ser observado no anexo E do presente relatório.

Outro detalhe construtivo a ser considerado encontra-se na parede norte do porão. Parte dela está protegida, na direção Norte-Sul, por uma área formada por paredes que sustentam a laje de acesso ao prédio, formando uma espécie de câmara de ar de aproximadamente 80 cm. Na direção Leste-Oeste, esta área está protegida por duas escadas: uma, na fachada oeste,

responsável pelo acesso principal ao prédio e outra, na orientação leste, que dá acesso aos fundos do prédio. Este detalhe pode ser visto pela figura 16.

Figura 16 – Detalhe da parede do porão protegida



(fonte: foto do autor)

7.2 DEFINIÇÃO DE USO DA EDIFICAÇÃO

Após a obra ser tombada pelo IPHAE foi iniciado um período de estudo para a reforma do prédio. Atualmente o prédio encontra-se desocupado e sem uso, aguardando o início das obras de restauração.

A definição do tipo de construção se faz necessária para alimentar o modelo simulado com dados de atividades, ocupação, programação e operação de equipamentos e sistemas. Todas

estas configurações afetam diretamente o consumo energético do prédio e também o nível de conforto térmico de quem o ocupa.

Em conversas com a secretaria de cultura e o departamento de obras da cidade ficou claro que a administração pretende usá-lo como Museu depois de concluída a sua reforma.

Então, para o presente estudo, definiu-se que a finalidade do prédio é de Museu. Todas as configurações de entrada para o programa de simulação terão como base esse uso.

7.3 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO

Segundo Lamberts, (2013, p.5) devemos ter como premissa do projeto de arquitetura, o estudo de clima e local do mesmo. Este estudo fornece informações básicas à montagem do programa de necessidades.

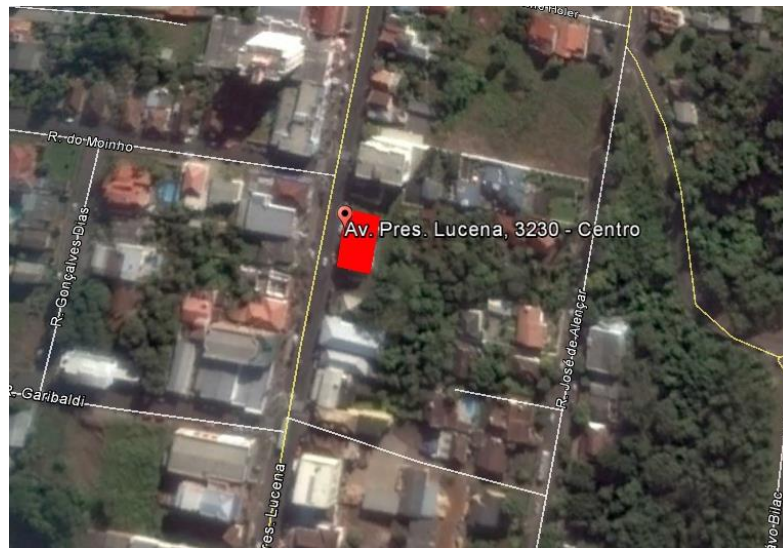
Para realizar a simulação termo energética da edificação, é necessário informar ao programa de simulação a localização e a orientação solar da mesma. Também se faz necessário a implementação do arquivo climático para que o programa realize suas rotinas de cálculo utilizando o clima característico da região.

7.3.1 A Localização e a Orientação Solar

O Salão Holler está situado no endereço: Avenida Presidente Lucena, 3230, Ivoti – RS. As coordenadas de localização do prédio são: Latitude 29,95266S e Longitude 51,160927W. Estas coordenadas foram encontradas através do geolocalizador do programa *Google Earth*. A figura 17 mostra a localização da edificação dentro do mesmo programa.

No seu entorno, o salão não possui edificações vizinhas ou vegetação que possam impedir a chegada de radiação solar através de sombreamento. Os únicos elementos de sombreamento que foram considerados foram as lajes de acesso das fachadas Norte e Sul e a projeção da cobertura sobre a planta da edificação.

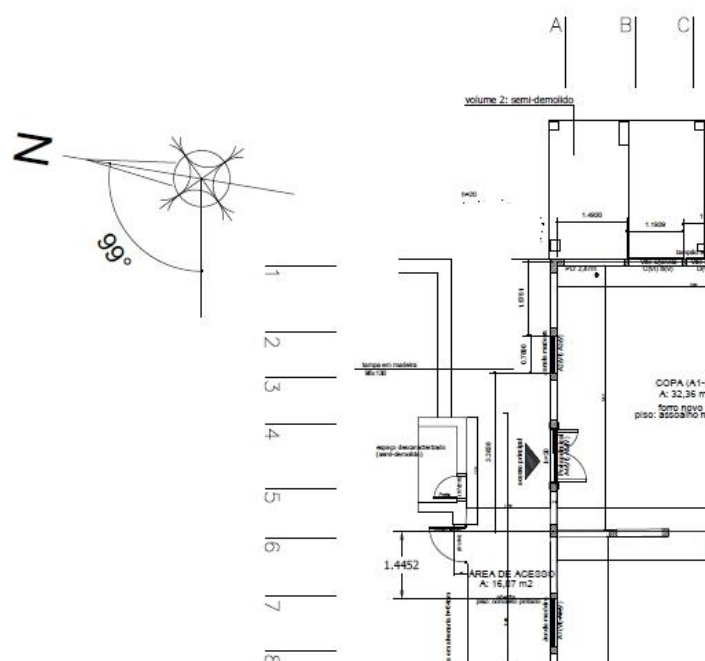
Figura 17 – Localização da edificação



(fonte: elaborada pelo autor)

No que tange a sua orientação solar, é possível verificar que o desvio azimutal da edificação em relação ao norte é de 99° , usando como ponto de referência a fachada Norte da edificação. A figura 18 mostra a medição deste ângulo feita através da planta de levantamento cadastral:

Figura 18 – Desvio azimutal da edificação



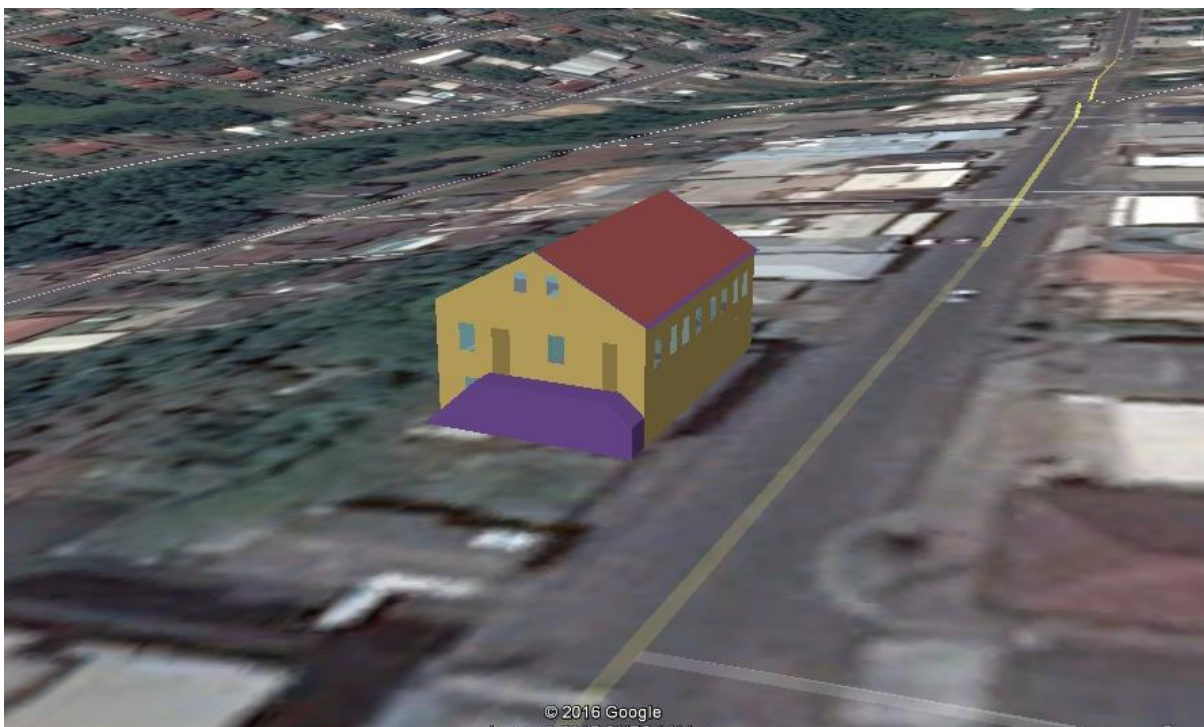
(fonte: elaborada pelo autor)

De posse das coordenadas do prédio e do seu desvio azimutal, foi possível posicionar o modelo da edificação em termos geofísicos. Estes dados foram colocados no programa *Google SketchUp* e através do plug-in *Legacy OpenStudio* foram incrementados no programa de simulação, que, dessa forma, realizou suas rotinas de cálculo considerando a posição correta do modelo.

É de suma importância que o modelo da edificação esteja posicionado exatamente como na construção original, pois o programa *EnergyPlus* realizará o balanço termo energético da edificação, através da simulação, considerando a posição da mesma.

A figura 19 mostra a posição do modelo que será considerada no programa de simulação. Através desta figura, podemos confirmar que as considerações de localização e desvio azimutal estão corretas, pois o modelo se encontra sobre a posição geográfica da edificação.

Figura 19 – Geolocalização do modelo

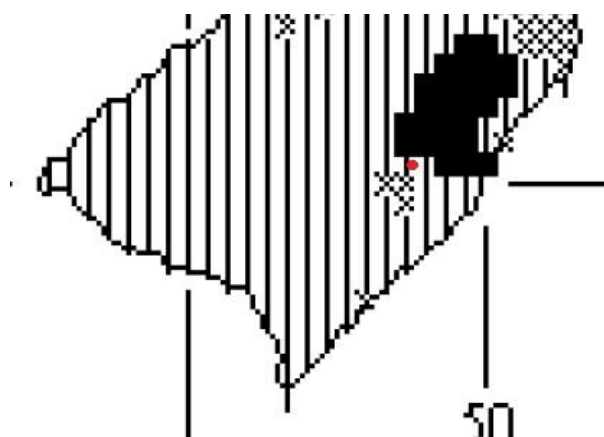


(fonte: elaborada pelo autor)

7.3.2 A zona bioclimática

De acordo com a NBR 15220-3 a cidade de Ivoti encontra-se na zona bioclimática 2. A figura 20 mostra o a localização de Ivoti (ponto vermelho) dentro do mapa bioclimático brasileiro.

Figura 20 – Ivoti no mapa de zoneamento bioclimático brasileiro



(fonte: adaptado de NBR 15220-3)

De acordo com a NBR 15220-3 a zona bioclimática 2 tem como principais recomendações construtivas o uso de aberturas para ventilação de dimensões médias, sombreamento destas aberturas de forma a permitir o sol do inverno e o uso de paredes e coberturas de inércia térmica leve, sendo as coberturas totalmente isoladas. As principais estratégias bioclimáticas para esta região são a ventilação cruzada no verão, o aquecimento solar e a grande inércia térmica das vedações internas (LAMBERTS 2013, p.98).

7.3.3 O Arquivo Climático

Segundo Lamberts et al (2013), o desempenho térmico dos elementos de uma edificação está associado diretamente com as suas variáveis climáticas externas. O conhecimento das condições climáticas externas é de extrema importância, pois representa os requisitos básicos para o projeto de sistemas de condicionamento de ar, cálculos simplificados do consumo de energia e para as simulações termo energéticas de edificações.

A composição de um arquivo climático começa com a medição, em uma localidade ou estação, de uma série de dados meteorológicos horários por um período de tempo de 10 anos ou mais. A partir de um tratamento estatístico de dados, escolhem-se: os meses que melhor representam o clima da localidade, ou seja, a seleção dos meses sem extremos de temperatura (caso do formato TMY) ou, se escolhe o ano mais representativo da série, ou seja, um ano real sem extremos de temperatura (caso do formato TRY). Dessa forma, o arquivo climático contém informações climáticas horárias para as 8760 horas de um ano e também os dados de localização geográfica da cidade.

Atualmente, existem diferentes tipos de arquivos climáticos (DOE, 2015) que podem ser utilizados em programas de simulação computacional. Porém, muitas destes tipos apresentam dados somente para um respectivo país. No Brasil, dentre os diferentes tipos de arquivos climáticos existentes para o uso em simulação computacional destacam-se: *Test Reference Year* (TRY), *Typical Meteorological Year* (TMY), *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), *International Weather for Energy Calculations* (IWEC); INMET (dados medidos nas estações automáticas do INMET, com extensão .epw) (LAMBERTS, 2015, p. 4)

Para o presente trabalho, foi utilizado o arquivo climático no formato EPW (*EnergyPlus Weather*), próprio do *EnergyPlus*, ou seja, é a extensão de arquivo compatível com o programa de simulação utilizado. Este arquivo pertence aos arquivos oriundos da base de dados INMET. Este conjunto de arquivos foi elaborado por Maurício Roriz, a partir de dados horários, registrados em 411 estações climatológicas do INMET entre os anos de 2000 e 2010. O trabalho foi iniciado em abril de 2010, como parte das atividades do grupo constituído no âmbito da ANTAC para estudar a revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil (NBR 15220-3, ABNT 2005) (RORIZ, 2012).

Algumas cidades não possuem arquivo climático próprio, como é o caso de Ivoti. Nesse caso, na falta de dados para a cidade onde se encontra a habitação, recomenda-se utilizar os dados climáticos de uma cidade com características climáticas semelhantes e na mesma zona bioclimática brasileira, conforme a parte 3 da ABNT NBR 15220-3 (NBR 15575-1, pg 21).

O arquivo climático utilizado na simulação foi, portanto, o da cidade de Rio Pardo – RS. Esta cidade possui características climáticas semelhantes e encontra-se na mesma zona

bioclimática da edificação. Além disso, se encontra em uma latitude semelhante a da cidade de Ivoti, tornando-se assim, adequado o uso do seu arquivo climático.

O apêndice A do presente trabalho apresenta a evolução de temperatura de bulbo seco (Tbs) e de umidade relativa do ar (UR), para as 8760 h do ano do arquivo climático de Rio Pardo – RS.

7.4 MODELAGEM DO PRÉDIO

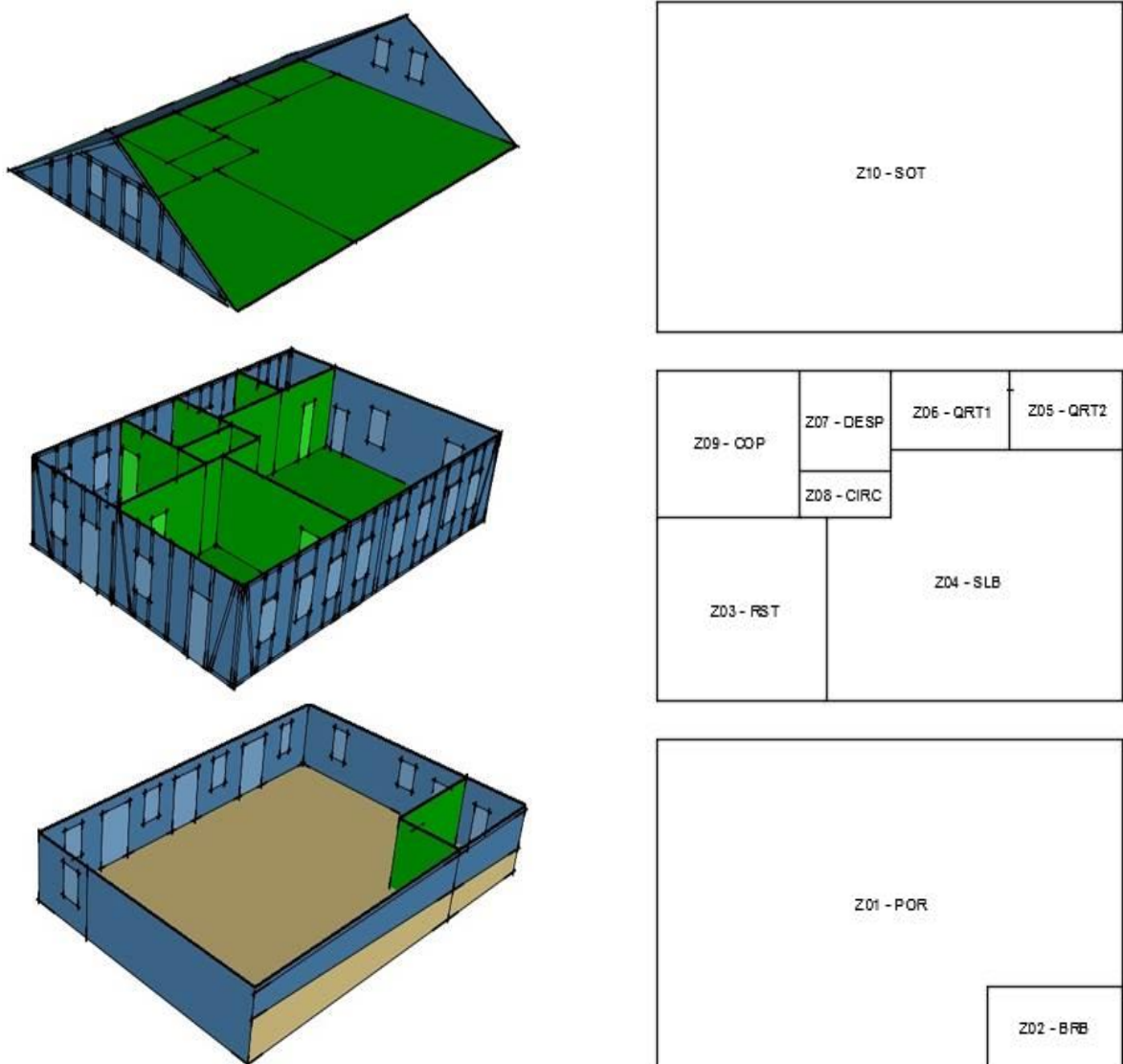
7.4.1 Zoneamento Térmico

As zonas térmicas são definidas no *EnergyPlus* como um volume de ar a temperatura uniforme (EnergyPlus, 2008b), com a envoltória constituída de superfícies de troca térmica, como paredes, pisos, tetos, portas e janelas.

De posse do levantamento realizado no item 7.1 do presente relatório, foi possível criar o modelo da edificação e a divisão das zonas térmicas. A edificação foi dividida em 10 zonas térmicas, levando em consideração todos os ambientes do prédio e procurando manter todos os detalhes construtivos para que o modelo se aproximasse ao máximo da edificação construída.

A figura 21 mostra, as zonas térmicas do porão, térreo e sótão do modelo através de vista em perspectiva e também mostra a identificação das zonas térmicas com vista em planta, para facilitar o entendimento da distribuição das zonas no modelo. Todas as zonas do modelo foram criadas na interface do programa *Google Sketchup* através do plug-in *Legacy OpenStudio*.

Figura 21 – Zoneamento térmico e localização em planta das zonas



(fonte: elaborada pelo autor)

Os dados de área referentes às zonas térmicas do modelo estão na tabela 2. Os valores de área foram calculados pelo *Google SketchUp* a partir das zonas térmicas criadas e mostram a devida semelhança com as plantas presentes no anexo C.

Tabela 1 – Dados de área das zonas térmicas

Nomenclatura zona térmica	Ambiente	Área total de Piso (m ²)
Z01-POR	Porão	233,78
Z02-BRB	Barbearia	17,84
Z03-RST	Restaurante	50,90
Z04-SLB	Salão de Baile	114,82
Z05-QRT2	Quarto 2	14,59
Z06-QRT1	Quarto 1	15,43
Z07-DESP	Despensa	15,25
Z08-CIRC	Circulação	6,89
Z09-COP	Copa	33,75
Z10-SOT	Sótão	251,62

(fonte: elaborada pelo autor)

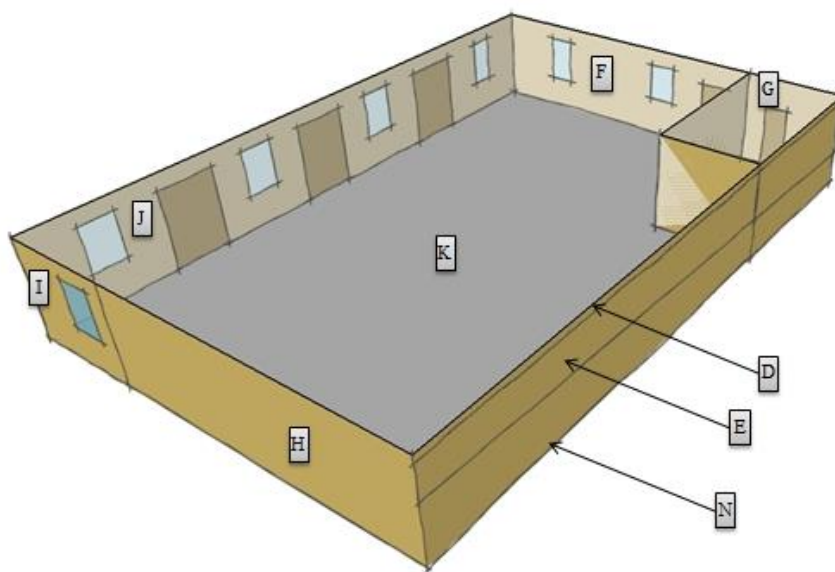
É importante salientar que as zonas Z02-BRB e Z08-CIRC não foram consideradas para os cálculos e análises de conforto térmico e eficiência energética. A primeira, por ser considerada um ambiente que, com o prédio com o uso de museu, poderia se tornar a área de banheiros e a segunda por se tratar de uma pequena área de circulação.

7.4.2 Materiais e Elementos Construtivos

De posse das características da edificação, comentadas no item 7.1 do presente relatório, foi possível realizar a confecção dos elementos construtivos que serão inseridos no modelo.

Com o objetivo de facilitar o entendimento das construções, as figuras 22, 23 e 24 mostram o mapa dos elementos construtivos.

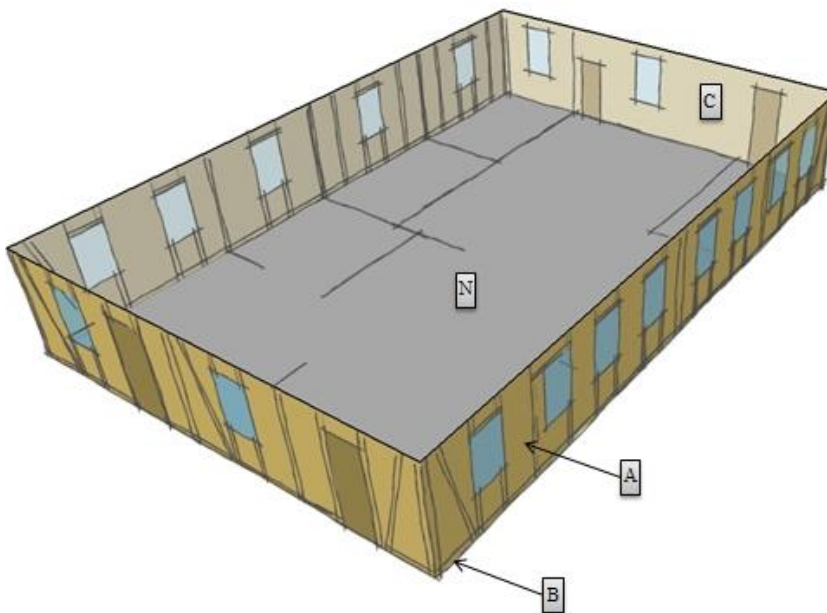
Figura 22 – Mapa dos elementos construtivos - porão



Identificação	Construção
D	Parede Porão - 700mm - Reboco
E	Parede Porão - 700mm - Reb. Marrom
F	Parede Porão - 650mm - Reboco
G	Parede Porão - Reboco Duplo
H	Parede Porão - Protegida
I	Parede Porão - 700mm
J	Parede Porão - 650mm
K	Piso Porão
N	Parede Porão - SOLO

(fonte: elaborada pelo autor)

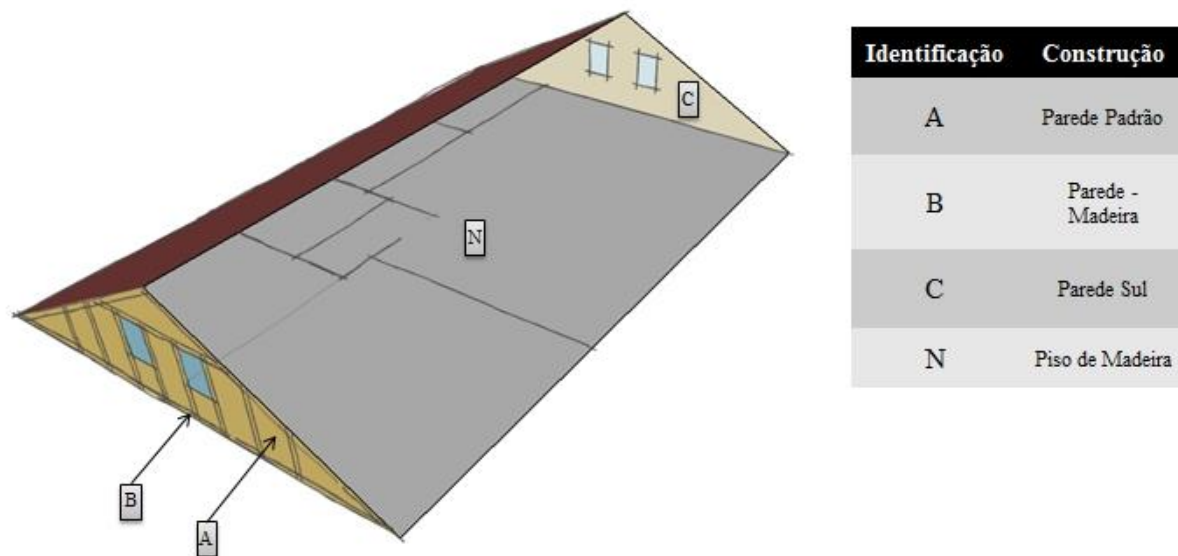
Figura 23 – Mapa dos elementos construtivos - térreo



Identificação	Construção
A	Parede Padrão
B	Parede - Madeira
C	Parede Sul
N	Piso de Madeira

(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 24 – Mapa dos elementos construtivos - sótão



(fonte: elaborada pelo autor)

7.4.2.1 Propriedades térmicas dos elementos construtivos

A propriedade térmica do material é a resposta ou reação do mesmo à aplicação de calor. A posse destas propriedades é importante para a análise do desempenho, pois são os elementos construtivos que formam o envelope da construção, que é o separador físico do exterior e interior da edificação.

As propriedades térmicas mais relevantes são: absorvância a radiação solar, refletância a radiação solar, transmitância a radiação solar, emissividade, condutividade térmica, resistência térmica total, transmitância térmica, capacidade térmica total, e o atraso térmico.

As definições de tais propriedades e suas unidades encontram-se na tabela 1 da norma NBR 15220-1 (ABNT-2001) e no anexo A do presente trabalho.

Sabe-se que existem poucas informações sobre as características termofísicas dos materiais históricos. Dessa forma, foi necessário aproximar as características dos materiais históricos com as características de materiais presentes nas normas ABNT, de onde podemos obter os valores acreditados por norma.

As propriedades termofísicas da pedra grês foram obtidas através do trabalho de Mendonça, 2005. Os demais materiais construtivos tiveram suas propriedades térmicas obtidas através da tabela B.3 da NBR 15220-2.

Existem duas construções da edificação que estão em contato com o solo: o piso do porão e parte da parede da fachada oeste. Como o arquivo climático utilizado para a simulação do modelo possui temperaturas de solo tomadas a 50 cm de profundidade, foi adicionada uma espessura de 40 cm de terra, para que se entendesse que estas construções estivessem em contato com a interface de temperatura conhecida do solo. Utilizou-se a condutividade térmica de 0,6 W/(m.K) que representa o valor intermediário entre a terra argilosa seca e o tijolo de barro, para simular as características desta camada de terra compactada.

Para a construção “Parede Porão Protegida”, comentada no item 7.4.2, considerou-se uma câmara de ar com espessura maior que 5 cm. Os materiais que formam a mesma, em sua direção perpendicular, são duas paredes de alvenaria de pigmentação marrom (superfície de alta absorvência). Portanto, para esta câmara de ar, considerou-se uma resistência do ar segundo a tabela B.1 da NBR 15220-2.

As construções “Piso térreo” e “Piso sótão” possuem resistência de ar conforme tabela B.1 da NBR 15220-2. Considerou-se a direção do fluxo do ar ascendente tendo como base a teoria de convecção, pois as temperaturas dos pavimentos superiores são maiores.

A tabela 2 mostra a relação dos materiais e construções do modelo com suas respectivas propriedades termofísicas.

Na tabela são apresentados os valores de condutividade térmica (k), densidade (ρ) calor específico (C_p), espessura da camada do material, (e) resistência térmica (R) e transmitância térmica (U).

Os valores de transmitância térmica foram calculados segundo os métodos de cálculo da NBR 15220-1 (ABNT 2003). O esquema representativo de cada construção e seus respectivos cálculos de transmitância estão presentes no apêndice B deste trabalho.

Tabela 2 – Construções e propriedades termofísicas dos materiais

Ident.	Construção	Material	k, W/m.K	ρ , kg/m ³	Cp, J/kg.K	e,m	R, m ² .K/W	U, W/m ² .K
A	Parede padrão	Reboco	0,7	1200	840	0,03		2,94
		Pedra Gress	1,9	2300	745	0,16		
		Reboco	0,7	1200	840	0,03		
B	Parede Madeira	Madeira	0,29	800	1340	0,15		1,45
		Reboco	0,7	1200	840	0,03		
C	Parede Sul	Bloco Cerâmico	0,9	1600	920	0,11		1,92
		Argamassa	0,7	1200	840	0,015		
		Bloco Cerâmico	0,9	1600	920	0,11		
		Reboco	0,7	1200	840	0,03		
		Reboco	0,7	1200	840	0,03		
D	Parede Porão – 700 mm -Reb	Reboco	0,7	1200	840	0,03		1,72
		Pedra Gress	1,9	2300	745	0,7		
E	Parede Porão – 700 mm -Reb Marrom	Reboco	0,7	1200	840	0,03		1,72
		Pedra Gress	1,9	2300	745	0,7		
F	Parede Porão – 650 mm -Reb	Reboco	0,7	1200	840	0,03		1,8
		Pedra Gress	1,9	2300	745	0,65		
G	Parede Porão - Reb Duplo	Reboco	0,7	1200	840	0,03		1,67
		Pedra Gress	1,9	2300	745	0,65		
		Reboco	0,7	1200	840	0,03		
H	Parede Porão - Protegida	Bloco Cerâmico	0,9	1600	920	0,11	0,17	1,05
		Camada de ar						
		Bloco Cerâmico	0,9	1600	920	0,11		
		Pedra Gress	1,9	2300	745	0,7		
I	Parede Porão – 700 mm	Pedra Gress	1,9	2300	745	0,7		1,86
J	Parede Porão – 650 mm	Pedra Gress	1,9	2300	745	0,65		1,95
K	Piso Porão	Terra Argilosa	0,6	1700	840	0,4		1,14
		Pedra Gress	1,9	2300	745	0,08		
L	Telhado	Telha de barro	0,7	1000	1340	0,03		4,7
M	Piso térreo e Piso sótão	Madeira	0,29	800	1340	0,03	0,14	1,93
		Camada de ar						
		Madeira	0,29	800	1340	0,03		
N	Parede Porão - SOLO	Terra Argilosa	0,6	1700	840	0,4		0,83
		Pedra Gress	1,9	2300	745	0,7		

(fonte: elaborada pelo autor)

Para as superfícies que ficam expostas ao sol, foi definido um valor de absorvância solar (α) de acordo com a tabela B.2 da norma NBR 15220-2 (ABNT 2003). A tabela 3 apresenta os valores consideradas para estas superfícies:

Tabela 3 – Valores de absorvância solar de superfícies

Tipo de superfície	α
Reboco branco	0,2
Reboco Marrom e Portas	0,86
Telhas de Barro	0,76

(fonte: elaborada pelo autor)

7.4.3 Cargas Internas

As cargas internas compreendem o calor liberado pelas pessoas, equipamentos elétricos, iluminação e infiltração, as quais têm grande influência na carga térmica do ambiente, além das condições ambientais externas, microclima da zona e dos elementos construtivos do prédio. (CAROTENUTO, pg 98)

Além da influência na carga térmica do ambiente, as cargas internas, juntamente com a resistência térmica das vestimentas e as atividades exercidas, podem modificar, consideravelmente, o nível de conforto térmico das pessoas que ocupam a edificação.

Por não existir atualmente um padrão de ocupação do prédio, não é possível aferir a situação real de ocupação, iluminação e equipamentos. Para tanto, visando o estudo de conforto e eficiência energética, tomou-se como base dados da norma NBR 16401.(ABNT-2001), que dita sobre padrão de qualidade para instalações de sistemas de ar condicionado e define os parâmetros para que o ambiente climatizado possua uma sensação térmica de satisfação de, pelo menos, 80% dos usuários do sistema.

Através de pesquisa realizada junto a outros Museus da região, definiu-se que o funcionamento do salão Holler seria das 10:00 as 18:00 h durante todos os dias da semana.

Esse horário diário de funcionamento foi considerado como o período de ocupação do prédio e todas as cargas internas consideradas neste estudo seguem este período de ocupação.

Para a carga de equipamentos, como a edificação encontra-se desocupada, foi necessário estipular que tipo de aparelho e em quais ambientes eles seriam utilizados em uma situação de museu. Dessa forma, criou-se a tabela 4 que define os aparelhos e suas quantidades em cada zona e também sua potência dissipada em forma de calor.

Tabela 4 – Tabela de equipamentos por zona

ZONA	Equipamento	Potência Dissipada (W)	Quantidade	Potência Dissipada Total (W)
Z01-POR	Computador (tela pequena)	20	2	200
	Monitor (32 poleg)	80	2	
Z03-RST; Z04-SLB; Z05-QRT2; Z06-QRT1; Z09-COP; Z10-SOT	Computador (tela pequena)	20	1	100
	Monitor (32 poleg)	80	1	
Z07-DESP	Cafeteira	51,88*	1	294,38
	Forno de microondas	12,5**	1	
	Refrigerador pequeno	230	1	

* Valor representativo da potência dissipada da cafeteira distribuída ao longo do período de funcionamento do prédio (considerou-se funcionamento de 15 min / dia)
 ** Valor representativo da potência dissipada da cafeteira distribuída ao longo do período de funcionamento do prédio (considerou-se funcionamento de 10 min / dia)

(fonte: elaborada pelo autor)

No que tange a iluminação dos ambientes, seguindo a tabela C.2 da NBR 16401-1, foi considerado, como potência dissipada em todos os ambientes, um valor de 11 W/m².

O número de pessoas que ocupa a edificação foi definido através da tabela 1 da NBR 16401-3 que define a densidade de pessoas para prédios característicos. Conforme a tabela, para um museu, deve ser considerada uma densidade de 40 pessoas para 100 m², ou seja, 0,4 pessoas por m².

O resumo das considerações de cargas internas aplicadas na simulação se encontra na tabela 5.

Tabela 5 – Cargas Internas de cada zona

ZONA	Horário de funcionamento	Equipamentos (W)	Iluminação (W/m ²)	Pessoas (unid/m ²)
Z01-POR	10:00 às 18:00 h	200	11	0,4
Z03-RST; Z04-SLB; Z05-QRT2; Z06-QRT1; Z09-COP; Z10-SOT		100	11	0,4
Z07-DESP		294,38	11	0,4

(fonte: elaborada pelo autor)

7.4.3.1 Atividade e Vestimenta

A atividade realizada e a vestimenta utilizada são os fatores humanos que influenciam a determinação da zona de conforto térmico.

A vestimenta utilizada pode ser mensurada através do seu índice de resistência térmica, Icl. Para definir o Icl foi analisado o clima da região e a forma com que as pessoas costumam se vestir em distintos períodos do ano. Dessa forma, foi criado um perfil de vestimenta para cada estação do ano. Utilizou-se um Icl de 0,57 no verão, 0,91 na primavera e outono e 1,39 no inverno. Estes valores são oriundos da tabela B.1 e B.2 da ASHRAE 55 e seu conjunto de roupas representativas encontra-se na tabela 6.

A tabela 6 também mostra a taxa metabólica (Met) relativa à atividade desempenhada pelos ocupantes da edificação. Não existe na norma ASHRAE 55 uma atividade específica para ocupantes de museus, por isso, foi definida como taxa metabólica o valor de 85 W/m². Este valor refere-se a uma média das atividades “parado-relaxado” (70 W/m²) e “caminhando” de um escritório (100 W/m²), retiradas do apêndice A da ASHRAE 55.

Tabela 6 – Índices de vestimenta para cada estação e taxa metabólica

Conjunto de vestimenta*	Icl (clo**)	Estação do ano	Met (W/m ²)
Calça e camiseta curta	0,57	Verão	85
calça e camiseta curta + flanela	0,91	Primavera e Outono	
Calça e camiseta curta + flanela + paletó grosso	1,39	Inverno	

*Os perfis de vestimenta incluem roupas de baixo, meias e sapatos

**1 clo = 0,155 (m²K)/W

(fonte: elaborada pelo autor)

7.4.4 Sistema de Ventilação Natural

Para a simulação da ventilação natural da edificação, utilizou-se o módulo *AirflowNetwork* presente na família de modelos do programa EnergyPlus.

Os parâmetros de entrada utilizados para a simulação da ventilação natural são: coeficiente de descarga (CD) de 0,60 e o coeficiente de fluxo de ar por frestas (CQ) de 0,001 kg/s.m, com expoente do fluxo de ar (n) de 0,65.

O controle da ventilação natural é do tipo automatizado por temperatura, eliminando assim possível subjetividade da abertura de janelas e portas por parte dos usuários da edificação.

No controle automatizado da ventilação natural, as janelas e portas são controladas pela combinação do cronograma (*schedule*) de acionamento das mesmas (liberado das 10:00 as 18:00 h, conforme o funcionamento do prédio), e das temperaturas de *setpoint* de temperatura do ar interna (Tsp), da temperatura do ar interna (Ti) e da temperatura do ar externa (Te).

Dessa forma, as janelas e portas estarão abertas quando: $T_i > T_{sp}$ e $T_i > T_e$ e o cronograma (*schedule*) permitir abertura (permite sempre das 10:00 as 18:00 h).

O *setpoint* da temperatura interna foi definido em 25 °C. Segundo Baptista et, al 2009, este valor do *setpoint* foi definido a partir dos valores de PMV de Fanger. Para os resultados obtidos frente aos valores inseridos e calculados verificou-se que quando a temperatura interna estava em torno de 25 °C o PMV calculado pelo *EnergyPlus* tendia a zero. (Baptista, 2009).

Seguindo o mesmo trabalho e utilizando a mesma didática de Baptista et, al 2009, a velocidade do ar no ambiente interno (V_a) a ser considerada é a de 0,2 m/s, valor de parâmetro utilizado neste trabalho.

7.4.5 Infiltração de Ar

A infiltração é o fluxo do ar exterior para dentro da edificação por meio de rachaduras e outras aberturas não intencionais. Acontece em função da diferença entre pressões internas e externas.

Segundo Carotenuto, 2009, para as construções consideradas bem vedadas em relação à infiltração de ar, a taxa média de infiltração de ar é 0,2 trocas por hora. Já, para as construções que não são bem vedadas, a taxa média de infiltração de ar é 2,0 trocas por hora. Dessa forma, foi considerada uma infiltração de 1,0 troca por hora para a edificação em estudo.

7.4.6 Sistema de Condicionamento do Ar

O dimensionamento do sistema de ar condicionado ocorreu realizando-se as simulações dos diferentes modelos criados em modo *autosize*. O objetivo dessa simulação é obter o consumo de energia para refrigeração e aquecimento do modelo. As temperaturas de *setpoint* do termostato são de 20 e 24 °C para o inverno e verão, respectivamente.

Para este dimensionamento, utilizaram-se os dias de projeto de dimensionamento para aquecimento e refrigeração (Inverno e Verão). Os dados presentes nos dias de projeto são oriundos do arquivo climático. Para o dia de projeto de verão, considera-se que não há nebulosidade no céu e para o dia de projeto de inverno, considera-se o céu totalmente nublado.

As informações do arquivo climático consideram que o dia de projeto de inverno é o dia 21 de junho, e o dia de projeto de verão é o dia 21 de dezembro.

A tabela 7 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de inverno para a temperatura de bulbo seco (T_{bs}) em 2 °C, que é o valor máximo da temperatura de bulbo seco na frequência cumulativa anual de 99,6% das 8760 horas da distribuição normal de temperatura

de bulbo seco para a cidade de Rio Pardo. Isso significa dizer que, acima da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Tabela 7 – Dia de projeto de inverno

Dia de Projeto	Tbs (°C)	Tbu (°C)	ΔT_{bs} (°C)	Umédia (m/s)	D
Inverno	2	2	0	6,71	0°

(fonte: elaborada pelo autor)

Sendo:

Tbu = Temperatura de bulbo úmido;

ΔT_{bs} = é a amplitude da variação da temperatura de bulbo seco;

Umédia = velocidade média do vento;

D = direção do vento (N = 0° ; L = 90° ; S = 180° ; O = 270°).

A tabela 8 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de verão para a temperatura de bulbo seco (Tbs) em 35 °C, que é o valor máximo da temperatura de bulbo seco na frequência de ocorrência cumulativa anual de 0,4 % das 8760 horas da distribuição normal da temperatura de bulbo seco para a cidade de Rio Pardo. Isso significa dizer que, abaixo da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Para o caso do dia típico de verão, no lugar da Tbu, temos a (MTbu): que é a média coincidente dos valores de temperatura de bulbo úmido na temperatura de bulbo seco máxima de 35,3 °C, cuja média é obtida na frequência de ocorrência cumulativa anual de 0,4 % das 8760 horas da distribuição normal anual da temperatura de bulbo seco.

Tabela 8 – Dia de projeto de verão

Dia de Projeto	Tbs (°C)	MTbu (°C)	ΔT_{bs} (°C)	Umédia (m/s)	D
Verão	35,3	22,5	22	3,35	0°

(fonte: elaborada pelo autor)

7.5 SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO

Os materiais utilizados para isolamento térmico são os disponíveis no mercado brasileiro e cujas características são apresentadas na NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Para cada solução de isolamento foi criado um modelo computacional para que se procedesse a análise e comparação dos resultados de conforto térmico e eficiência energética. O tipo de material e o respectivo modelo estão descritos nos itens abaixo. Ao final de cada solução, entre parênteses, temos o nome de cada modelo.

7.5.1 Isolamento Térmico de pisos e cobertura (MOD-IS01)

A solução de isolamento térmico do MOD-IS01 é a aplicação de material isolante na cobertura e entre o tabuamento dos pisos do pavimento térreo e sótão.

O material utilizado para este isolamento é a lã de vidro com 50 mm de espessura.

A tabela 9 mostra a as propriedades termofísicas da construção com a devida solução proposta para o modelo.

Tabela 9 – Propriedades termofísicas da solução do MOD-IS01

Construção	Material	k, W/m.K	ρ , kg/m ³	C _p , J/kg.K	e,m	R, m ² .K/W
Piso térreo e pio sótão - isolado	Madeira	0,29	800	1340	0,03	
	Lã de vidro	0,045	100	700	0,05	
	Madeira	0,29	800	1340	0,03	
Cobertura isolada	Telha de Barro	0,7	1000	1340	0,03	
	Ar					0,14
	Lã de vidro	0,045	100	700	0,05	
	Forro	0,29	800	1340	0,01	

(fonte: elaborada pelo autor)

7.5.2 Isolamento Térmico de paredes externas (MOD-IS02)

A solução de isolamento térmico do MOD-IS02 é a aplicação de material isolante na face interna das paredes externas.

O material utilizado para este isolamento é o mesmo utilizado no MOD-IS01: lã de vidro com 50 mm de espessura. Porém, como se trata de um material que será colocado de maneira exposta na face interna das paredes, também será adicionado uma camada de gesso acartonado de 15 mm com o propósito de acabamento interno. As propriedades térmicas do gesso acartonado são: $k = 0,35$ W/m.K; $\rho = 875$ kg/m³ e $C_p = 840$ J/kg.K.

Como já foi mostrado no presente trabalho, existem inúmeras construções para a parede externa da edificação. A construção parede externa isolada do MOD-IS02 corresponde a todo tipo de construção parede externa do MOD-REF com a adição de lã de vidro na face e do gesso acartonado na face interior.

7.5.3 Isolamento Térmico de pisos e cobertura e de paredes externas (MOD-IS01eIS02)

A solução de isolamento térmico do MOD-IS01eIS02 é a união das soluções de isolamento dos MOD-IS01 e MOD-IS02: isolamento dos pisos e cobertura e isolamento das paredes externas.

7.6 PARÂMETROS UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

A fim de mensurar a eficiência das diferentes soluções de isolamento térmico propostas, foram estipulados três parâmetros, usados para a comparação dos resultados de cada modelo.

Conforme o item 3.2 do presente relatório, existem variáveis que influenciam o conforto térmico. Destas, são entradas no modelo e, portanto, estão fixadas: a vestimenta (representada pelo seu índice de resistência térmica, I_{cl}) a atividade das pessoas (representada pela taxa metabólica, Met) e a velocidade do ar (V_a). Dessa forma, a umidade relativa (UR) e as temperaturas média radiante (T_{mr}) e do ar (T_a), podem ser usadas como parâmetros para avaliar e comparar o conforto térmico das diferentes soluções de isolamento.

Os parâmetros que serão apresentados nos próximos itens utilizarão a temperatura operativa (T_o) como referência. Escolheu-se esta temperatura justamente por representar, ao mesmo tempo, a T_a e a T_{mr} .

7.6.1 Temperaturas médias de verão e inverno

A primeira análise efetuada, com o objetivo de comparar as diferentes soluções de isolamento, é a de Temperaturas Operativas Médias (T_{om}) de verão e inverno climático⁵.

Para determina-las, coletaram-se os valores horários de T_{om} de cada zona térmica no período de funcionamento do prédio e procedeu-se a média aritmética das temperaturas observadas.

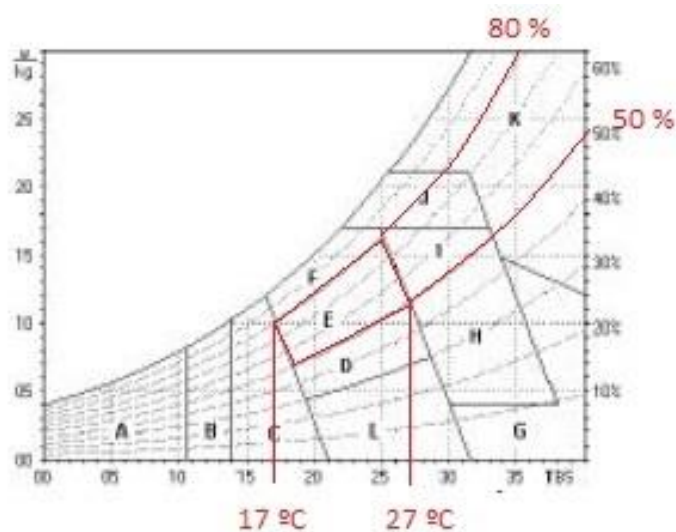
⁵ O verão climático corresponde aos períodos anuais de 1º de janeiro a 4 de maio e de 3 de novembro a 31 de dezembro. O inverno climático corresponde ao período anula de 5 de maio a 2 de novembro.

7.6.2 Banda de conforto pela carta de Givoni

A carta sugerida por Givoni é usada como referência na norma 15220. A zona de conforto pleno é representada na carta através da área representativa pela letra E.

Como pode ser observado, os limites inferiores de temperatura e umidade relativa nos ambientes são, respectivamente, 17 °C e 50%. Os limites superiores para os mesmos parâmetros são, respectivamente, 27 °C e 80%. Na figura 20 são apresentados esses limites para a zona de conforto pleno. Esta banda de conforto térmico foi utilizada como parâmetro para comparar as diferentes soluções de isolamento da edificação.

Figura 25 – Carta de Givoni adaptada para banda de conforto



(fonte: adaptado de NBR15220, 2003)

As horas que, no período de funcionamento da edificação, estavam com T_o e UR fora da banda de conforto apresentada na figura 25, foram consideradas horas de desconforto térmico. Dessa forma, o parâmetro utilizado é o percentual de horas de desconforto pela banda de conforto da carta de Givoni.

7.6.3 Banda de conforto pelo Índice PMV

Fanger (1970) relacionou o PMV com PPD e a norma ISO 7730 (2005) definiu 3 classes para o conforto térmico geral, conforme figura 26.

Figura 26 – Classes de conforto ISO 7730, 2005

Comfort Class	PPD	PMV Range
A	< 6	-0.2 < PMV < + 0.2
B	< 10	-0.5 < PMV < + 0.5
C	< 15	0.7 < PMV < + 0.7

(fonte: adaptado de ISO 7730, 2005)

Como podemos observar na figura anterior, as classes são definidas com base na porcentagem de pessoas termicamente insatisfeitas. A classe A (menos de 6% das pessoas do grupo se declaram termicamente insatisfeitas) é usada quando queremos adquirir os mais altos padrões de conforto térmico no ambiente. Por sua vez, a classe C (menos de 15% das pessoas do grupo se declaram termicamente insatisfeitas) é usada quando se deseja relaxar os padrões de conforto térmico.

Para o presente trabalho considerou-se como zona de conforto aquela em que menos de 10% das pessoas do grupo de pessoas estão descontentes termicamente (classe B da figura 26), o que corresponde à faixa de conforto em que o valor PMV esta entre +0,5 e -0,5.

As horas que, no período de funcionamento da edificação, estavam com um valor de PMV fora do estipulado para a classe B da figura 26, foram consideradas horas de desconforto térmico. Dessa forma, o parâmetro utilizado é o percentual de horas de desconforto pelo índice PMV.

8 RESULTADOS E ANÁLISES

Este capítulo apresenta os resultados das simulações realizadas para as diferentes soluções de isolamento térmico na edificação e as análises referentes ao conforto térmico e eficiência energética conforme comentado no capítulo 7 deste trabalho. Os itens 8.1 a 8.4 apresentam a simples comparação dos resultados e o item 8.5 fará a análise destes.

É válido lembrar que todas as análises foram realizadas somente para dados coletados durante o período de funcionamento proposto para o uso da edificação. Para este caso, um museu com horário de abertura as 10:00 h e fechamento as 18:00 h. A tabela 10 mostra um resumo das horas avaliadas para cada estação.

Tabela 10 – Horas avaliadas para cada estação

Estação	Horário de funcionamento	Dias da semana	Horas de funcionamento ao ano
Verão	10:00 às 18:00 h	todos os dias	1465 horas
Inverno			1456 horas

(fonte: elaborada pelo autor)

Também é importante lembrar as soluções de isolamento para cada modelo criado. O MOD-IS01 possui isolamento térmico na cobertura e nos pisos, o MOD-IS02 nas paredes externas e o MOD-IS01eIS02 é o modelo de solução mista: isolamento na cobertura, nos pisos e nas paredes externas

8.1 COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS INTERNAS DE CADA MODELO

Os quadros 1 e 2 apresentam, respectivamente, as temperaturas operativas médias de verão e inverno para cada ambiente da edificação. As temperaturas que representam melhores

condições para conforto térmico (decréscimo de temperaturas no verão e acréscimo de temperaturas no inverno) possuem células com tons verdes e, as piores, tons vermelhos.

Quadro 1 – Temperaturas Operativas Médias (°C) de verão para cada ambiente

ZONA \ MODELO	Z01-POR	Z03-RST	Z04-SLB	Z05-QRT2	Z06-QRT1	Z07-DESP	Z09-COP	Z10-SOT
MOD-REF	27,21	28,07	28,15	27,9	28,08	28,57	28,28	38,07
MOD-IS01	27,08	28,02	28,07	27,94	28,17	28,69	28,28	31,47
MOD-IS02	27,46	28,57	28,65	28,4	28,39	28,88	28,72	38,98
MOD-IS01eIS02	27,34	28,69	28,7	28,61	28,67	29,18	28,89	32,16

(fonte: elaborada pelo autor)

Quadro 2 – Temperaturas Operativas Médias (°C) de inverno para cada ambiente

ZONA \ MODELO	Z01-POR	Z03-RST	Z04-SLB	Z05-QRT2	Z06-QRT1	Z07-DESP	Z09-COP	Z10-SOT
MOD-REF	22,01	22,35	22,38	21,78	22,17	22,82	22,46	26,14
MOD-IS01	22,1	22,99	23,11	22,4	22,93	23,62	23,06	25,14
MOD-IS02	22,66	23,27	23,24	23,04	23,19	23,72	23,41	26,76
MOD-IS01eIS02	22,73	24,17	24,23	23,97	24,29	24,76	24,27	25,93

(fonte: elaborada pelo autor)

Ao comparar os modelos de soluções de isolamento térmico propostas com o MOD-REF, é possível observar através destas tabelas que, para as temperaturas de verão:

- O MOD-IS01 não apresentou diferenças significativas, quase que não alterando as médias de temperatura, com exceção da Z10-SOT, onde houve um decréscimo significativo;
- O MOD-IS02 aumentou as médias de temperatura para todas as zonas;

- c) O MOD-IS01eIS02 aumentou as médias de temperatura para todas as zonas, com a exceção da Z10-SOT.

E para as temperaturas de inverno:

- a) O MOD-IS01 aumentou as médias de temperatura das zonas (com exceção da Z10-SOT, onde houve um decréscimo), mas, de maneira pouco significativa: o acréscimo de temperatura não ultrapassa um grau centígrado para todas as zonas;
- b) O MOD-IS02 aumentou as médias de temperatura para todas as zonas de maneira mais significativa se comparada com os acréscimos do MOD-IS01: em duas zonas o acréscimo ultrapassou um grau centígrado;
- c) O MOD-IS01eIS02 aumentou as médias de temperatura para todas as zonas (com exceção da Z10-SOT, onde houve um pequeno decréscimo). Essa solução apresentou aumentos mais significativos: acréscimo médio de 2 graus centígrados para as zonas.

8.2 COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE HORAS DE DESCONFORTO PELA CARTA DE GIVONI

Os quadros 3 e 4 apresentam, respectivamente, o percentual de horas de desconforto térmico, segundo a banda de conforto da carta de Givoni, para as condições de verão e inverno. As células de tonalidades verdes possuem os menores valores de percentual de horas de desconforto.

Quadro 3 – Percentual de Horas de Desconforto Térmico (%) no verão segundo carta de Givoni

ZONA \ MODELO	Z01-POR	Z03-RST	Z04-SLB	Z05-QRT2	Z06-QRT1	Z07-DESP	Z09-COP	Z10-SOT
MOD-REF	64	68	70	66	69	77	71	95
MOD-IS01	63	69	71	68	71	81	72	89
MOD-IS02	65	73	74	72	72	81	76	96
MOD-IS01eIS02	64	78	80	76	77	87	80	91

(fonte: elaborada pelo autor)

Quadro 4 – Percentual de Horas de Desconforto Térmico (%) no inverno segundo carta de Givoni

MODELO \ ZONA	ZONA							
	Z01-POR	Z03-RST	Z04-SLB	Z05-QRT2	Z06-QRT1	Z07-DESP	Z09-COP	Z10-SOT
MOD-REF	52	37	38	34	40	49	37	68
MOD-IS01	52	37	36	32	42	49	36	52
MOD-IS02	39	35	36	34	37	43	36	71
MOD-IS01eIS02	36	42	42	36	37	49	44	59

(fonte: elaborada pelo autor)

Ao comparar os modelos de soluções de isolamento térmico propostas com o MOD-REF, é possível observar através destas tabelas que, para os percentuais de horas de desconforto térmico de verão:

- a) O MOD-IS01 trouxe uma diminuição no percentual de horas de desconforto térmico somente para as zonas: Z01-POR e Z10-SOT;
- b) O MOD-IS02 aumentou o percentual de horas de desconforto térmico em todos os ambientes;
- c) O MOD-IS01eIS02 trouxe uma diminuição no percentual de horas de desconforto térmico somente para a Z10-SOT e seus aumentos de horas de desconforto térmico para o restante dos ambientes foram os mais significativos.

E para os percentuais de desconforto térmico de inverno:

- a) O MOD-IS01 trouxe uma diminuição no percentual de horas de desconforto em metade das zonas, e, na outra metade, manteve o percentual de horas de desconforto do MOD-REF;
- b) O MOD-IS02 diminuiu o percentual de horas de desconforto das zonas, com exceção da Z05-QRT2, onde manteve o percentual de horas de desconforto do MOD-REF, e da Z10-SOT onde houve aumento deste percentual;
- c) O MOD-IS01eIS02 trouxe uma diminuição no percentual de horas de desconforto térmico somente para as zonas: Z01-POR, Z06-QRT1 e Z10-SOT.

8.3 COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE HORAS DE DESCONFORTO PELO ÍNDICE PMV

Os quadros 5 e 6 apresentam, respectivamente, o percentual de horas de desconforto térmico, segundo o índice PMV, para as condições de verão e inverno. As células de tonalidades verdes possuem os menores valores de percentual de horas de desconforto.

Quadro 5 – Percentual de Horas de Desconforto Térmico (%) no verão segundo índice PMV

MODELO \ ZONA	ZONA							
	Z01-POR	Z03-RST	Z04-SLB	Z05-QRT2	Z06-QRT1	Z07-DESP	Z09-COP	Z10-SOT
MOD-REF	60	64	65	67	64	63	64	95
MOD-IS01	59	64	62	66	64	61	63	89
MOD-IS02	58	63	65	64	62	63	63	95
MOD-IS01eIS02	56	60	61	62	60	60	61	90

(fonte: elaborada pelo autor)

Quadro 6 – Percentual de Horas de Desconforto Térmico (%) no inverno segundo índice PMV

MODELO \ ZONA	ZONA							
	Z01-POR	Z03-RST	Z04-SLB	Z05-QRT2	Z06-QRT1	Z07-DESP	Z09-COP	Z10-SOT
MOD-REF	68	64	61	75	69	57	66	71
MOD-IS01	66	61	56	70	61	48	61	58
MOD-IS02	63	55	52	61	56	45	54	71
MOD-IS01eIS02	63	44	43	49	43	37	45	61

(fonte: elaborada pelo autor)

Ao comparar os modelos de soluções de isolamento térmico propostas com o MOD-REF, é possível observar através dessas tabelas que, para os percentuais de horas de desconforto térmico de verão:

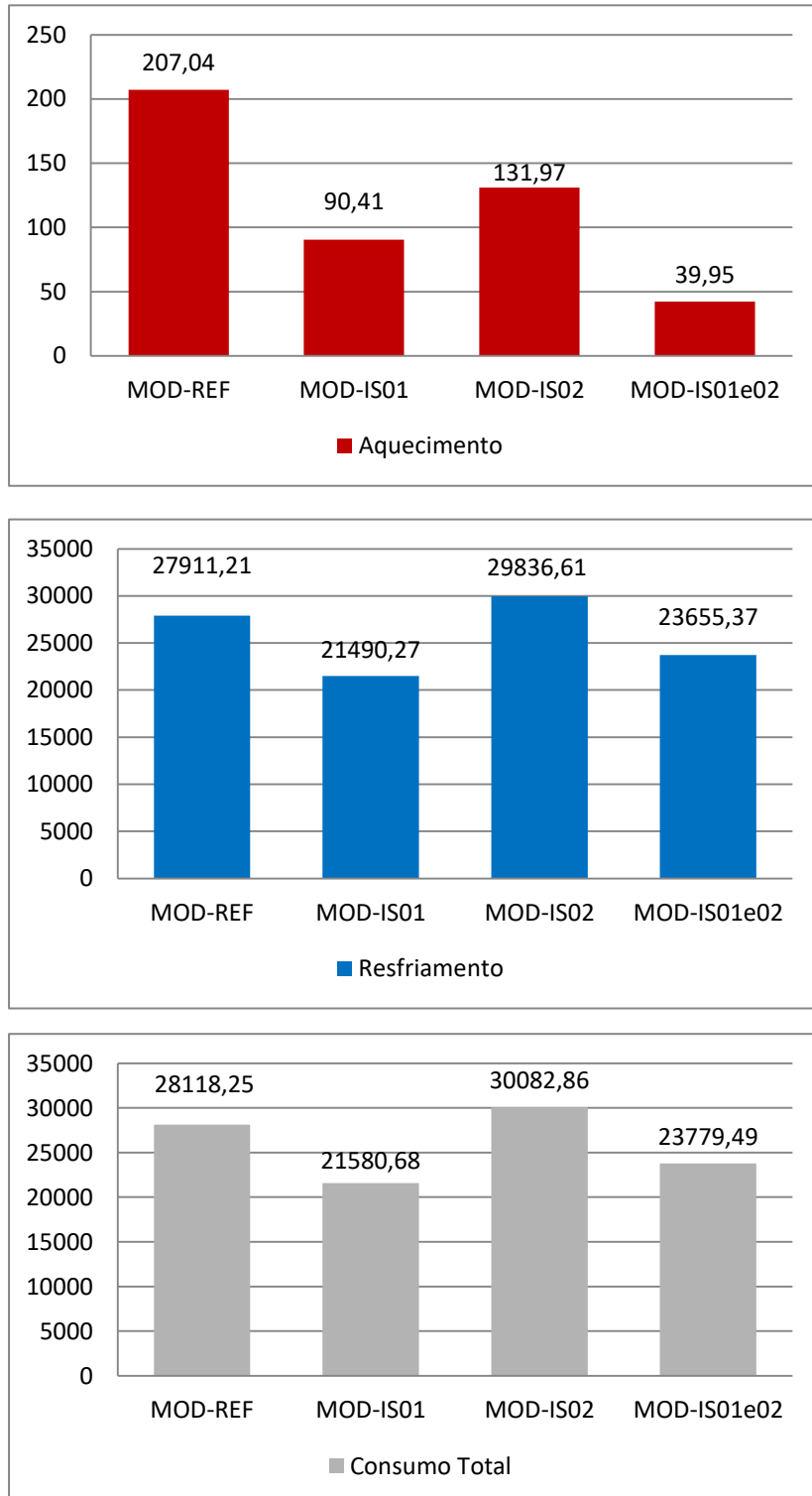
- a) O MOD-IS01 diminui o percentual de horas de desconforto térmico da maioria das zonas com a exceção das zonas Z03-RST e Z06-QRT01 onde esses percentuais não se alteraram;
- b) O MOD-IS02 obteve resultado parecido com a simulação do MOD-IS01: diminui o percentual de horas de desconforto na maioria das zonas e não altera o percentual em três delas: Z04-SLB, Z07-DESP e Z10-SOT;
- c) O MOD-IS01eIS02 trouxe uma diminuição significativa no percentual de horas de desconforto térmico para todas as zonas.

E para os percentuais de desconforto térmico de inverno: todos os modelos propostos trouxeram diminuição nas horas de desconforto térmico (com exceção da Z10-SOT no MOD-IS02 que manteve o percentual de horas de desconforto). O MOD-IS01eIS02 foi o que apresentou diminuição mais significativa das horas de desconforto, chegando a diminuições de mais de 20% das horas para algumas zonas quando comparado ao MOD-REF.

8.4 COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O consumo de energia elétrica anual para o condicionamento de ar dos modelos propostos é apresentado na figura 27. A figura apresenta três gráficos de consumo de energia: o primeiro apresenta o consumo energético para o aquecimento dos ambientes, o segundo para o resfriamento e o terceiro o consumo total para condicionamento de ar da edificação.

Figura 27 – Consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado



Fonte (elaborada pelo autor)

8.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da comparação de resultados realizada nos itens anteriores, é possível fazer uma análise da influência das soluções de isolamento térmico propostos para o conforto térmico e a eficiência energética da edificação.

No que tange a diminuição da temperatura operativa média no verão, as soluções propostas não deram resposta positiva. Nenhuma das soluções reduziu de forma significativa as temperaturas médias, pelo contrário, no caso do isolamento de paredes e da combinação deste com o isolamento da cobertura e dos pisos, houve aumento de temperaturas (mesmo que um aumento quase irrisório). Este aumento das temperaturas possivelmente foi ocasionado pelo fato de que o isolamento aumenta a resistência térmica das construções e dificulta a transferência de calor no sentido interior-externo da construção. O ambiente que foge a esta regra é o sótão: quando aplicado o isolamento na sua cobertura, sua temperatura média diminui de forma significativa. Fato esse que pode ser explicado porque quando aplicamos o isolamento aumentamos a resistência de sua construção de maneira extremamente significativa, o que é positivo nesse caso devido a sua constante exposição ao clima, o que colabora para a diminuição da temperatura no verão.

Por outro lado, para as temperaturas operativas médias de inverno, as soluções propostas apresentaram resultado positivo: aumentaram a temperatura média para todos os ambientes da edificação. A melhor solução, analisando esse parâmetro, foi a combinação de isolamentos, que aumentou de maneira significativa as temperaturas, chegando a aumentos de mais de dois 2 °C em comparação ao modelo referência. A melhoria nas condições no inverno se deu pelas mesmas circunstâncias que ocasionaram a piora no verão (com exceção do sótão): aumento da resistência das construções. Para esse caso, o aumento é positivo, pois cria uma barreira às baixas temperaturas exteriores ao mesmo tempo que auxilia mantendo a temperatura interior mais elevada.

Ao analisar a influência dos isolamentos térmicos propostos, no conforto térmico da edificação, utilizando como parâmetro a banda de conforto da carta de Givoni, foi possível verificar que, no verão, houve uma piora nas condições térmicas. Todas as soluções propostas aumentaram o percentual de horas de desconforto. No entanto, para o inverno, a solução de isolamento térmico nas paredes externas trouxe uma melhora nas condições de conforto,

diminuindo o percentual de horas de desconforto na edificação. Estes resultados trazem semelhança aos resultados obtidos na avaliação pelas To's de verão e inverno. Isto porque a banda de conforto de Givoni também considera as To's como parâmetro de avaliação. Apesar disso, podemos ver que não há um padrão visível de resultado no inverno. Isto acontece porque nesta análise avaliamos, ao mesmo tempo, a temperatura e a umidade relativa do ambiente e essas variáveis são independentes entre si, podendo uma delas estar dentro da banda de conforto enquanto outra não.

Quando o índice PMV foi utilizado para a análise de conforto térmico, as soluções propostas trouxeram melhora nas condições no verão e no inverno. A combinação de isolamentos térmicos foi a solução que apresentou melhor resposta, reduzindo significativamente o percentual de horas de desconforto nas duas estações. A melhora da condição de conforto no inverno foi a mais expressiva, diminuindo em cerca de 20 % as horas de desconforto térmico.

O índice PMV apresentou maior padronização nos seus resultados. Isto porque, somado à influência das medidas de isolamento nas variáveis ambientais de conforto térmico, o índice considera os fatores pessoais no seu cálculo: a vestimenta e a atividade dos usuários da edificação. A vestimenta proposta neste trabalho variava de acordo com a estação climática, de forma que no verão o usuário apresentava um padrão de roupa com Icl menor que no inverno, esta adaptação das roupas para os usuários atuou positivamente no que tange ao conforto térmico, adaptando o mesmo às condições de cada estação. Esta consideração de vestimenta, por exemplo, teve sua influência nos resultados de conforto pelo índice PMV.

Quando foi implantado um sistema de ar condicionado para o controle da condição de conforto térmico da edificação, as soluções propostas obtiveram respostas distintas no que tange a sua eficiência energética. O isolamento térmico presente somente nas paredes externas aumentou o consumo de energia se comparado ao modelo referência. Por sua vez, o isolamento de coberturas e pisos e a combinação entre estes e o de paredes trouxe uma significativa redução do consumo de energia elétrica anual do prédio. A redução do consumo para estas duas soluções é de, aproximadamente, 23 % e 15 % respectivamente. Os distintos resultados para consumo de energia para climatização acompanham os resultados de avaliação de conforto pelas temperaturas médias. Por exemplo, maiores temperaturas nos ambientes geram maior consumo para o resfriamento dos mesmos.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhoria das condições de conforto térmico e de eficiência energética são critérios importantes para incentivar a preservação das edificações históricas. Edificações desse tipo possuem estimado valor cultural por preservar técnicas construtivas que possivelmente não são mais utilizadas e por usar materiais de grande capital energético.

Esse trabalho teve por objetivo a investigação de soluções de isolamento térmico para o aumento da eficiência energética e do conforto térmico. Para tanto, usou-se como estudo de caso uma edificação existente: o Salão Holler, importante exemplar da arquitetura popular de imigração alemã no Brasil e que está situado na cidade de Ivoti, no estado do Rio Grande do Sul.

Os resultados obtidos demonstraram que é possível melhorar o conforto térmico e a eficiência energética da edificação através de intervenções de isolamento térmico. Porém, em função da ampla análise de conforto térmico realizada, onde foram utilizados variados parâmetros, foi constatada uma variação nas respostas em função do tipo de análise.

Verificou-se que para o conforto térmico no verão, analisando a temperatura média e a banda de conforto de Givoni, as soluções de isolamento térmico para a edificação apresentaram resultado negativo, aumentando a sensação de desconforto térmico. No entanto, para o inverno, analisando os mesmo parâmetros, as soluções de desempenho trouxeram melhoria das condições de conforto. Ao avaliarmos o índice PMV, constatou-se que existiu melhoria das condições de conforto térmico devido à aplicação das soluções de isolamento durante todo o ano.

Durante o trabalho foi possível vislumbrar que existem diversos parâmetros que podem ser utilizados para a avaliação do conforto térmico, sejam eles índices presentes em normas internacionais, ou, a carta de Givoni presente na norma nacional ABNT NBR 15220. Somente através da utilização de mais de um parâmetro para a avaliação do conforto térmico que foi possível constatar diferentes resultados: a melhora das condições de conforto térmico durante todo o ano para o índice PMV e a melhora somente para o inverno pela carta de Givoni e

pelas temperaturas médias. Ou seja, caso fosse utilizado somente um desses parâmetros para a avaliação realizada neste trabalho, e/ou, caso fosse proposta somente uma solução de isolamento térmico, existiria a possibilidade de diferente conclusão para este estudo.

O aumento da eficiência energética foi provado através das soluções de isolamento propostas. O melhor resultado do ponto de vista de economia de energia vem do isolamento de coberturas e pisos, seguido pela combinação de isolamentos de coberturas e pisos mais paredes externas. O isolamento térmico colocado somente nas paredes traz um aumento do consumo de energia elétrica para condicionamento de ar se comparado com o modelo referência, apresentando resultado negativo em termos de eficiência energética.

Também foi possível visualizar o baixo consumo de energia elétrica para o aquecimento da edificação nos períodos de inverno. Isso pode ser explicado pela média de temperaturas operativas internas que se encontra perto das temperaturas de conforto e se aproximam ainda mais quando aplicadas as soluções de isolamento propostas.

Através deste trabalho, verificou-se o forte desempenho do programa *EnergyPlus* no que se refere a capacidade de simulações e variações de aplicação para análise de conforto térmico e eficiência energética. Através de sua ampla gama de configurações, grupos e famílias de parâmetros e rotinas de cálculo, é possível simular e prever o comportamento de edificações durante longos períodos de funcionamento.

Analisando as soluções de isolamento propostas e considerando os resultados que elas obtiveram tanto para conforto térmico como para eficiência energética, concluiu-se que a solução que combina isolamento de paredes com isolamento de pisos e cobertura é que obteve melhor resposta. No presente trabalho esta configuração se refere ao MOD-IS01eIS02. Apesar de ela ter sido a segunda melhor do ponto de vista de eficiência energética, priorizou-se as condições de conforto pelo índice PMV para esta escolha, pois é o índice de avaliação de conforto térmico mais completo e onde não é feito o uso da climatização na sua análise. Afinal, na atual concepção de sistemas do Salão Holler, ainda não existe o sistema de ar condicionado. Parte-se do princípio que ele poderá ser utilizado sem o uso deste sistema em um primeiro momento.

Conclui-se assim que é possível melhorar o conforto térmico e a eficiência energética do Salão Holler através de intervenções de isolamento térmico. Tais melhoras servem de

incentivo para a aplicação dessas intervenções na busca por melhores condições de habitabilidade nas construções históricas.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações – parte 1: definição, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003a.
- _____. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações – parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003b.
- _____. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003c.
- _____. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais – desempenho – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.
- _____. **NBR 16401-1**: Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008a.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.
- BABPTISTA, et al. **Ensaio Sobre a Utilização Da Automação de Aberturas na Simulação do Desempenho Térmico de Edificações**. X ENCAC. Natal, 2009.
- CAROTENUTO, Adriano Roberto da Silva. **Análise do desempenho termoenergético de um prédio histórico de elevada inércia**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica. UFRGS, Porto Alegre.
- EnergyPlus, 2015a. “**EnergyPlus Documentation – Engineering Reference**”, Version 2.2., Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.
- _____. **Auxiliary Programs**: the encyclopedic reference to EnergyPlus, 2015b.
- _____. **Input and Output Reference**: the encyclopedic reference to EnergyPlu, 2015c.
- FANGER, O. **Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering**. Copenhagen, 1970. 244p
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. Disponível em:
<<http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/143537/eaf0b434559808767fe436cdf6e6d708.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 jun. 2015.
- GALLO, Eduardo Augsto; RIBEIRO, Fernando Nascimento. **Índice de Conforto Térmico ISO7730 em Automação Predial**. 2007. Relatório (Trabalho de graduação para obtenção de título de Engenheiro de Controle e Automação) – Universidade de Brasília, Brasília.

GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and building**: Lausanne, v. 18, p. 11-23, July 1992.

INMETRO. **Portaria n.º 410**. 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002015.pdf>>. Acesso em: 11 dez. 2016.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Laboratório de eficiência energética em edificações**. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

LAMBERTS, et al. **Análise de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**. 2005. Laboratório de Eficiência Energética – UFSC. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/publicacoes/relatorios-de-pesquisa/>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

LAMBERTS, et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3 ed. Laboratório de Eficiência Energética – UFSC. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/publicacoes/livros/>>. Acesso em 11 dez. 2016.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. D. **Conforto e stress térmico**. Florianópolis: LABEEE/UFSC, 2011.

LAMBERTS, R.; BOGO, A.; PIETROBON, C.; BARBOSA, M.; GOULART, S.; PITTA, T. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. Florianópolis: LABEEE/UFSC, 1994.

MENDONÇA. **Propriedades dos Materiais e Sistemas de Fachadas**. Tese de Doutorado, 2005. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4250/14/TeseDoutMendonca14.pdf>>

OLGYAY, V. **Design with climate**. New Jersey: Princeton University, 1963.

PENA, Sergio Meirelles. **Manual Prático Procel – ar condicionado**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20Pratico%20PROCEL-Man%20Ar-Cond-Procet-Eletr-11.pdf>>. Acesso em 11 dez. 2016.

PEREIRA, Fábbyo Luiz. **Determinação computacional da influência de parâmetros físicos no comportamento termoenergético de uma edificação**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica. UFRGS, Porto Alegre.

RORIZ BIOCLIMÁTICA. **Zoneamento e clima**. Disponível em: <http://roriz.dominiotemporario.com/zoneamento_10.html>. Acesso em: 09 nov. 2016.

RORIZ. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído São Carlos, 2012.

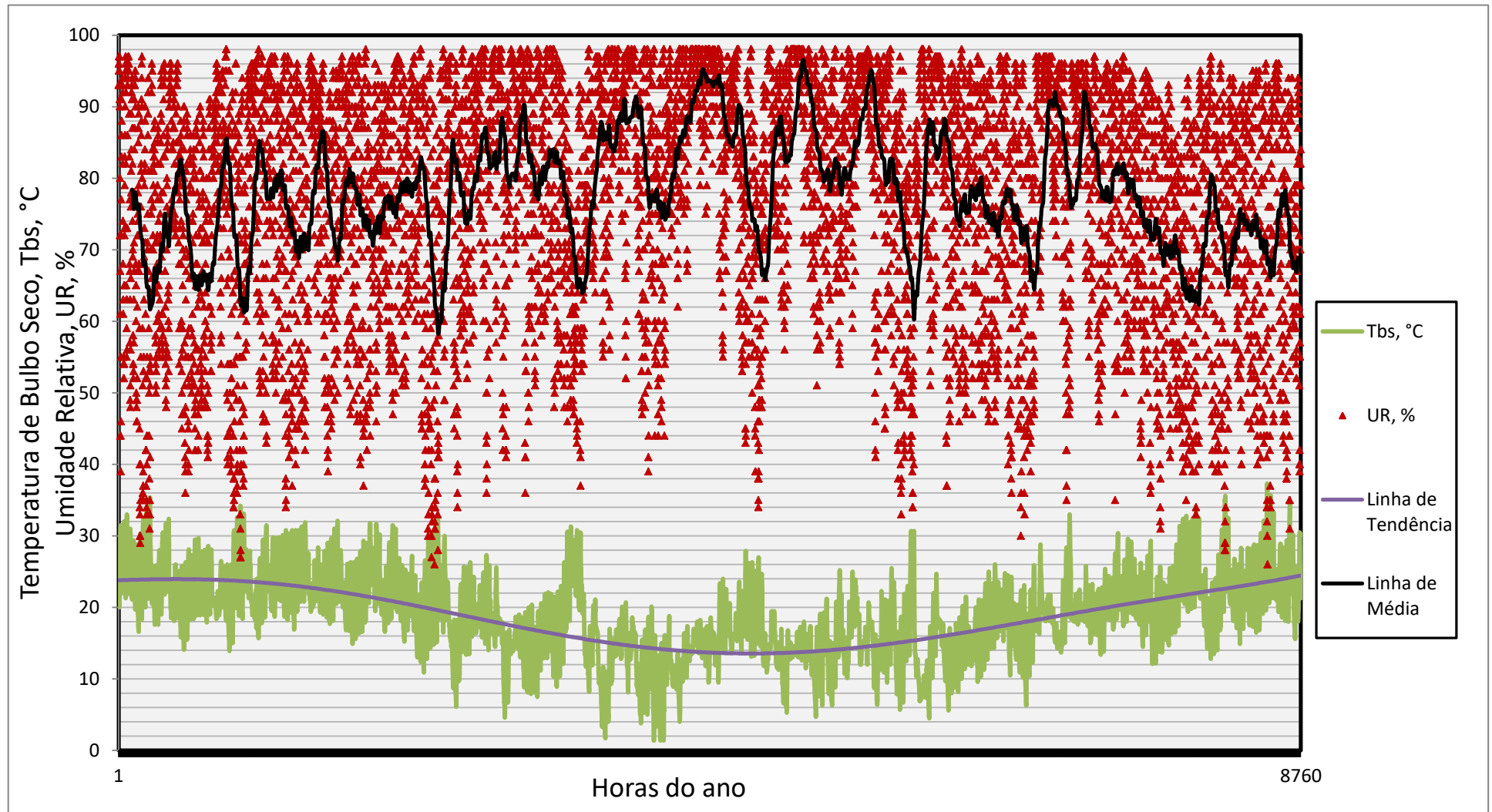
RUAS, A. R. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 1999. 97p.

RUAS, A. R. Avaliação de Conforto Térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

WALLAUER, Maurício Ditter. Utilização do programa EnergyPlus para a simulação do conforto térmico em edificações populares em quatro capitais brasileiras. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica. UFRGS, Porto Alegre.

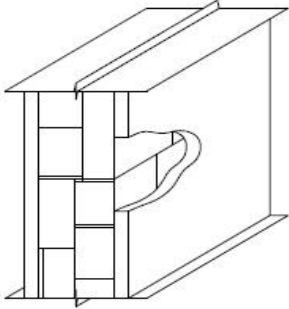
WEIMER, Günter. Arquitetura popular da imigração alemã. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 296 p.

**APÊNDICE A – Gráfico da Temperatura de bulbo seco e Umidade Relativa
do ar do arquivo climático de Rio Pardo - RS**



APÊNDICE B – Representação das construções e cálculos de Resistência e Transmitância Térmica

A.1 CONSTRUÇÕES “A” e “G”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p style="text-align: center;">Reboco 3 cm + + Pedra Grês ("A"=16 cm e "G"=65 cm) + Reboco 3 cm</p>

Cálculo para construção “A” (para construção G, mudar a espessura da construção Pedra Grês para 65 cm):

1. Cálculo da Resistência Térmica

$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,03}{0,7} + \frac{0,16}{1,9} + \frac{0,03}{0,7} + 0,13 = 0,34 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,34} = 2,94 \frac{W}{m^2} \cdot K$$

A.2 CONSTRUÇÃO “B”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p style="text-align: center;">Madeira 15 cm</p>

1. Cálculo da Resistência Térmica

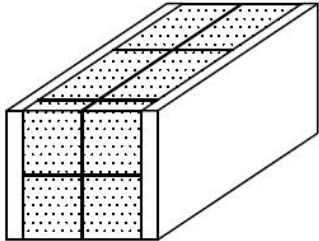
$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,15}{0,29} + 0,13 = 0,69 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,69} = 1,45 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

A.3 CONSTRUÇÃO “C”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p style="text-align: center;"> Reboco 3 cm + Bloco cerâmico 11 cm + Argamassa 1,5 cm + Bloco cerâmico 11 cm + Reboco 3 cm </p>

1. Cálculo da Resistência Térmica

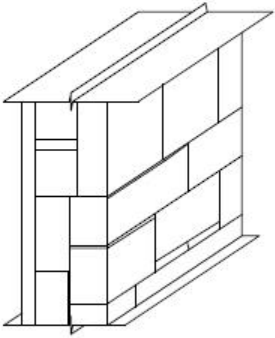
$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,03}{0,7} + \frac{0,11}{0,9} + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,11}{0,9} + \frac{0,03}{0,7} + 0,13 = 0,52 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,52} = 1,92 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

A.4 CONSTRUÇÃO “D”, “E” e “F”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p style="text-align: center;">Reboco 3 cm + Pedra Grês (“D” e “E”=70 cm e “F”=65 cm)</p>

Cálculo para construção “D” e “E” (para construção “F”, mudar a espessura da construção Pedra Grês para 65 cm):

1. Cálculo da Resistência Térmica

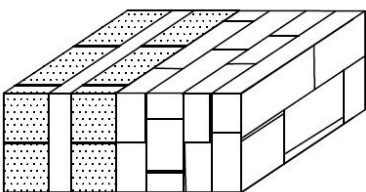
$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,03}{0,7} + \frac{0,7}{1,9} + 0,13 = 0,58 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,58} = 1,72 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

A.5 CONSTRUÇÃO “H”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p style="text-align: center;">Bloco Cerâmico 11 cm + Câmara de Ar (R=017) + Bloco Cerâmico 11 cm + Pedra Grês 70 cm</p>

1. Cálculo da Resistência Térmica

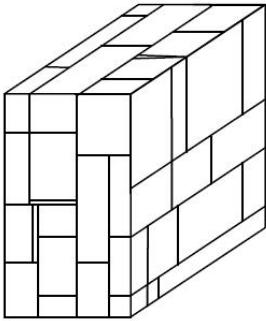
$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,11}{0,9} + 0,17 + \frac{0,11}{0,9} + \frac{0,7}{1,9} + 0,13 = 0,95 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,95} = 1,05 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

A.6 CONSTRUÇÃO “I” e “J”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p>Pedra Grês (“I”=70 cm e “J”=65 cm)</p>

Cálculo para construção “I” (para construção “J”, mudar a espessura da construção Pedra Grês para 65 cm):

1. Cálculo da Resistência Térmica

$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,7}{1,9} + 0,13 = 0,54 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,54} = 1,86 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

A.7 CONSTRUÇÃO “K”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p style="text-align: center;">Terra Argilosa 40cm + Pedra Grês 8 cm</p>

1. Cálculo da Resistência Térmica

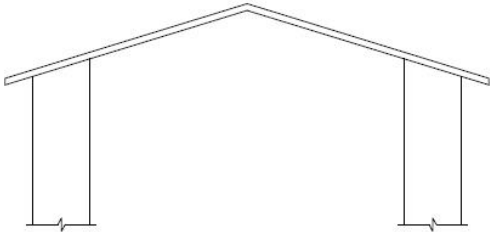
$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,4}{0,6} + \frac{0,08}{1,9} + 0,13 = 0,88 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,88} = 1,14 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

A.8 CONSTRUÇÃO “L”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p style="text-align: center;">Telha de barro 3cm</p>

1. Cálculo da Resistência Térmica

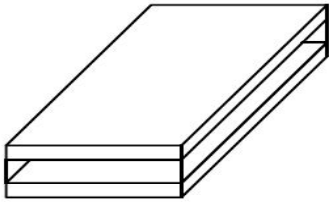
$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,03}{0,7} + 0,13 = 0,21 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,21} = 4,70 \frac{W}{\text{m}^2} \cdot K$$

A.9 CONSTRUÇÃO “M”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p style="text-align: center;"> Madeira 3 cm + Câmara de Ar (R=014) + Madeira 3 cm </p>

1. Cálculo da Resistência Térmica

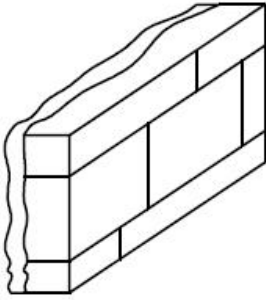
$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,03}{0,29} + 0,14 + \frac{0,03}{0,29} + 0,13 = 0,52 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,52} = 1,93 \frac{W}{\text{m}^2} \cdot K$$

A.10 CONSTRUÇÃO “N”

DETALHE CONSTRUTIVO	CAMADAS DE MATERIAIS
	<p style="text-align: center;">Terra Argilosa 40cm + Pedra Grês 70 cm</p>

1. Cálculo da Resistência Térmica

$$R = R_{se} + \frac{e}{k} + R_{si}$$

$$R = 0,04 + \frac{0,4}{0,6} + \frac{0,7}{1,9} + 0,13 = 1,20 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

2. Cálculo da Transmitância Térmica

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,52} = 0,83 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

ANEXO A – Definição das Propriedades Térmicas segundo NBR 15220

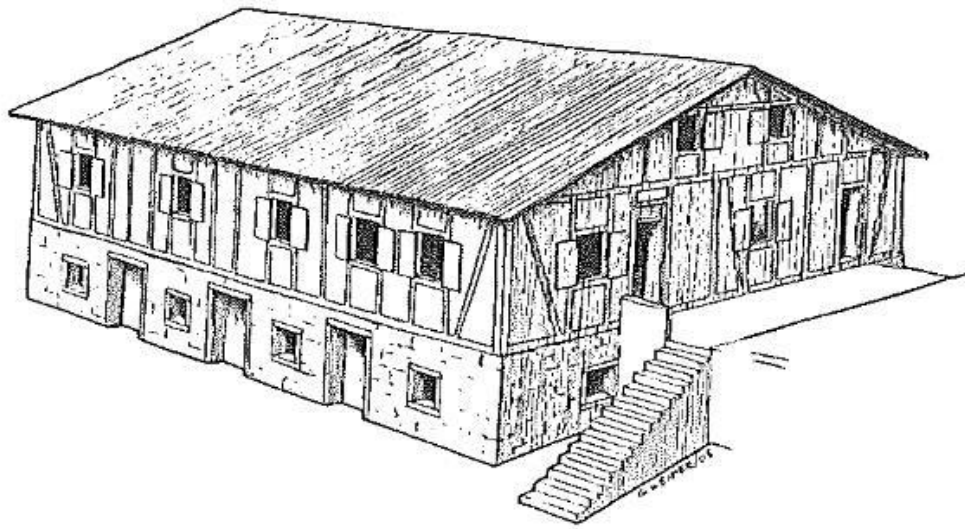
Tabela 1 - Características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos.

N ^o	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
1	Fluxo de calor ou Taxa de fluxo de calor	Quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo.	Q	W
2	Densidade de fluxo de calor ou Densidade de taxa de fluxo de calor	Quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície (1).	q	W/m ²
3	Condutividade térmica	Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m ² , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (2).	λ	W/(m.K)
4	Resistência térmica de elementos e componentes	Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.	R	(m ² .K)/W
5	Resistência superficial interna	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.	R _{si}	(m ² .K)/W
6	Resistência superficial externa	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.	R _{se}	(m ² .K)/W
7	Resistência térmica total	Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.	R _T	(m ² .K)/W
8	Transmitância térmica ou Coeficiente global de transferência de calor	Inverso da resistência térmica total.	U	W/(m ² .K)
9	Capacidade térmica	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (3).	C	J/K
10	Calor específico ou Capacidade térmica específica	Quociente da capacidade térmica pela massa.	c	J/(kg.K)
11	Capacidade térmica de componentes	Quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área.	C _T	J/(m ² .K)
12	Densidade de massa aparente	Quociente da massa pelo volume aparente de um corpo.	ρ	kg/m ³
13	Difusividade térmica	Quociente da condutividade térmica de um material (λ) pela sua capacidade de armazenar energia térmica (ρc).	α	m ² /s
14	Atraso térmico	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 (4).	φ	h

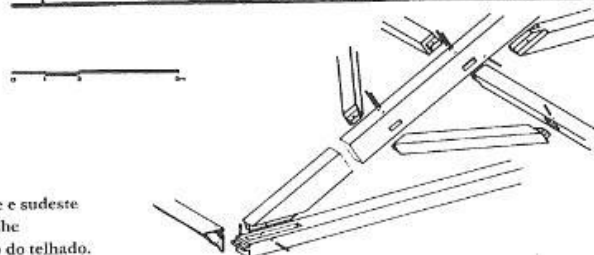
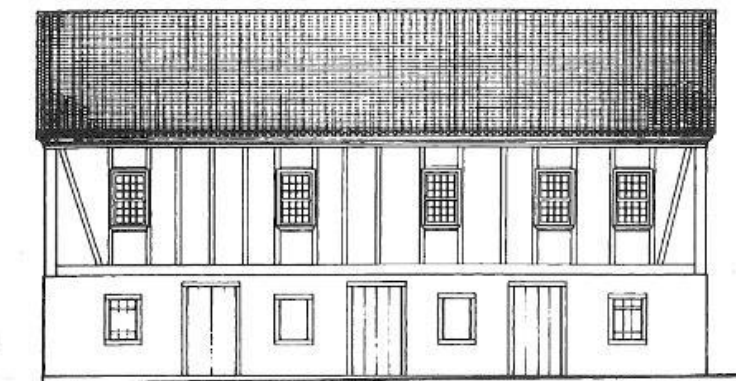
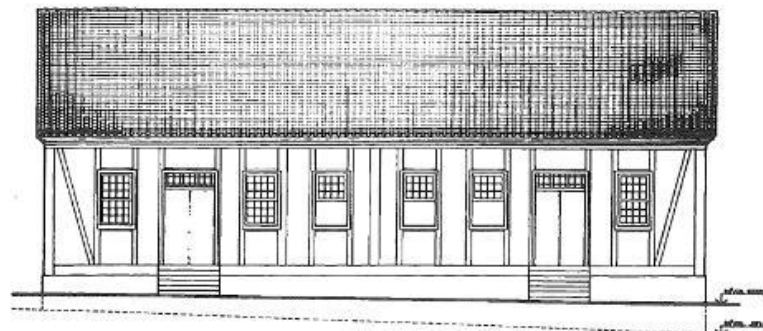
Tabela 1 (conclusão) - Características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos.

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
15	Fator de ganho de calor solar de elementos opacos ou Fator solar de elementos opacos	Quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.	FS_o	-
16	Fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos ou Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos	Quociente da taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido, sob determinado ângulo de incidência, mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.	FS_t	-
17	Coefficiente de sombreamento	Quociente entre o fator solar do componente transparente ou translúcido estudado e o fator solar de um vidro plano incolor de 3 mm de espessura ($FS_v = 0,67$)	CS	-
18	Emitância	Taxa de emissão de radiação por unidade de área (5).	E	W/m ²
19	Irradiância	Taxa de radiação incidente sobre um corpo, por unidade de área da superfície (5).	G	W/m ²
20	Radiosidade	Taxa de emissão de radiação de uma superfície por unidade de área, incluindo a parcela refletida da radiação incidente (5).	J	W/m ²
21	Emissividade	Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura (5).	ϵ	-
22	Absortância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (5).	α	-
23	Absortância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é absorvida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície (7).	α_{ol}	-
24	Refletância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.	ρ	-
25	Refletância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é refletida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície.	ρ_{ol}	-
26	Transmitância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento.	τ	-
<p>(1) Esta grandeza também pode ser expressa por unidade de comprimento. Neste caso, seu símbolo é q' e sua unidade W/m. (2) Quando existe transferência de calor por condução, convecção e radiação em materiais porosos recomenda-se usar o termo "condutividade térmica aparente". (3) Para que esta grandeza seja completamente definida, é necessário que o tipo de transformação seja especificado. (4) O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas. (5) Todas as grandezas relativas às propriedades radiantes dos componentes devem fazer referência ao comprimento de onda da radiação e à sua direção de incidência ou de reflexão ou de emissão. Quando estas informações forem omitidas, tratam-se de propriedades totais hemisféricas. (6) A radiação solar está concentrada na região do espectro eletromagnético compreendida entre comprimento de onda de 0,2 μm e 3,0 μm. (7) Fontes de baixa temperatura emitem radiação térmica de onda longa com comprimento de onda compreendido entre 3,0 μm e 100,0 μm.</p>				

**ANEXO B – Desenhos em perspectiva e Fachada do Salão Holler por
WEIMER**

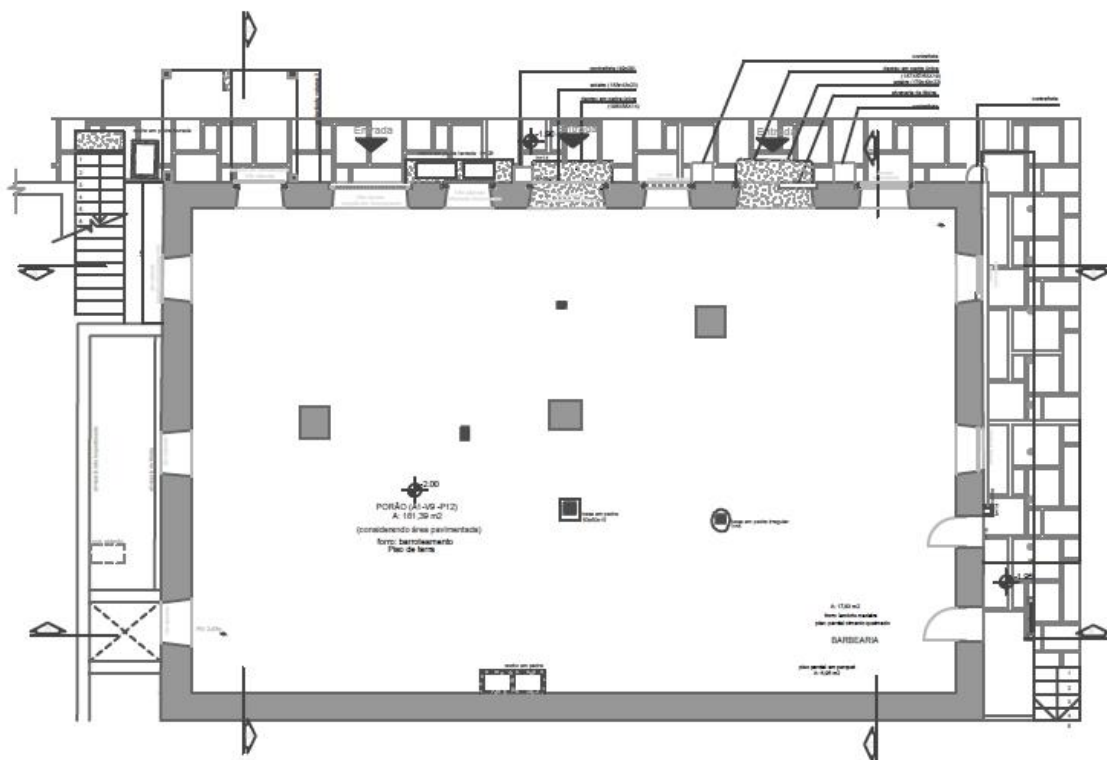


Perspectiva do Salão Holler (desenho do autor).

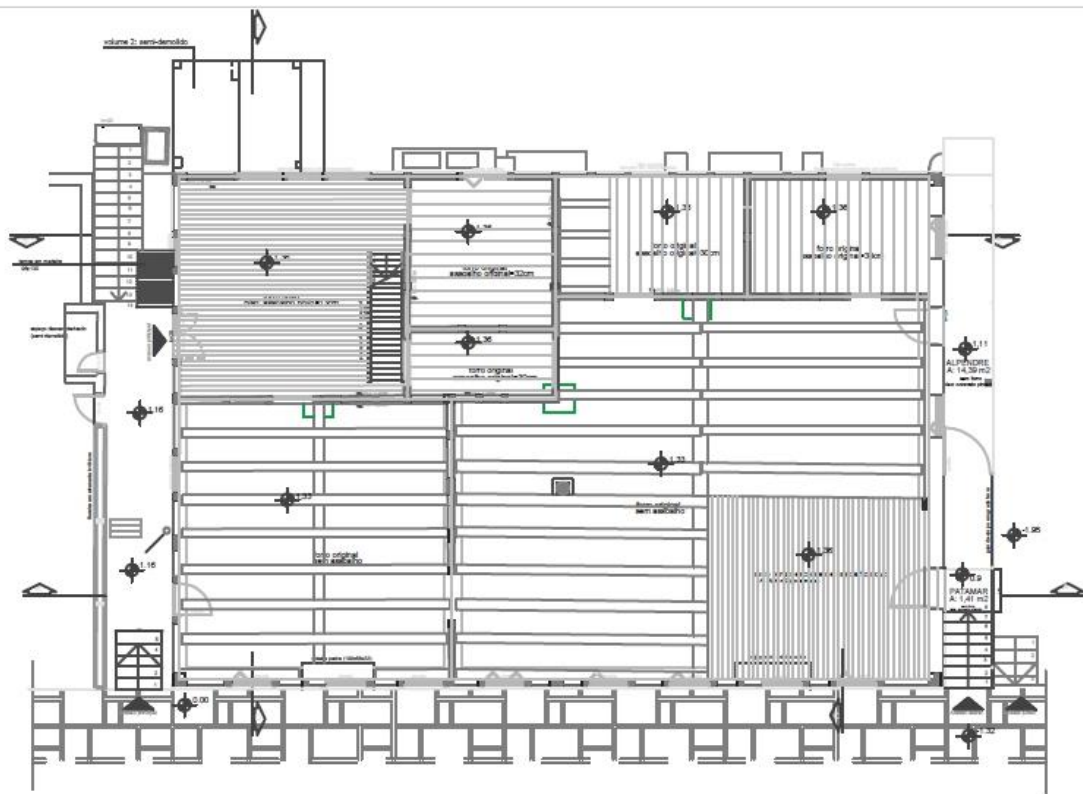


Salão Holler, elevação noroeste e sudeste
(reconstrução provável) e detalhe
dos encaixes do madeiramento do telhado.

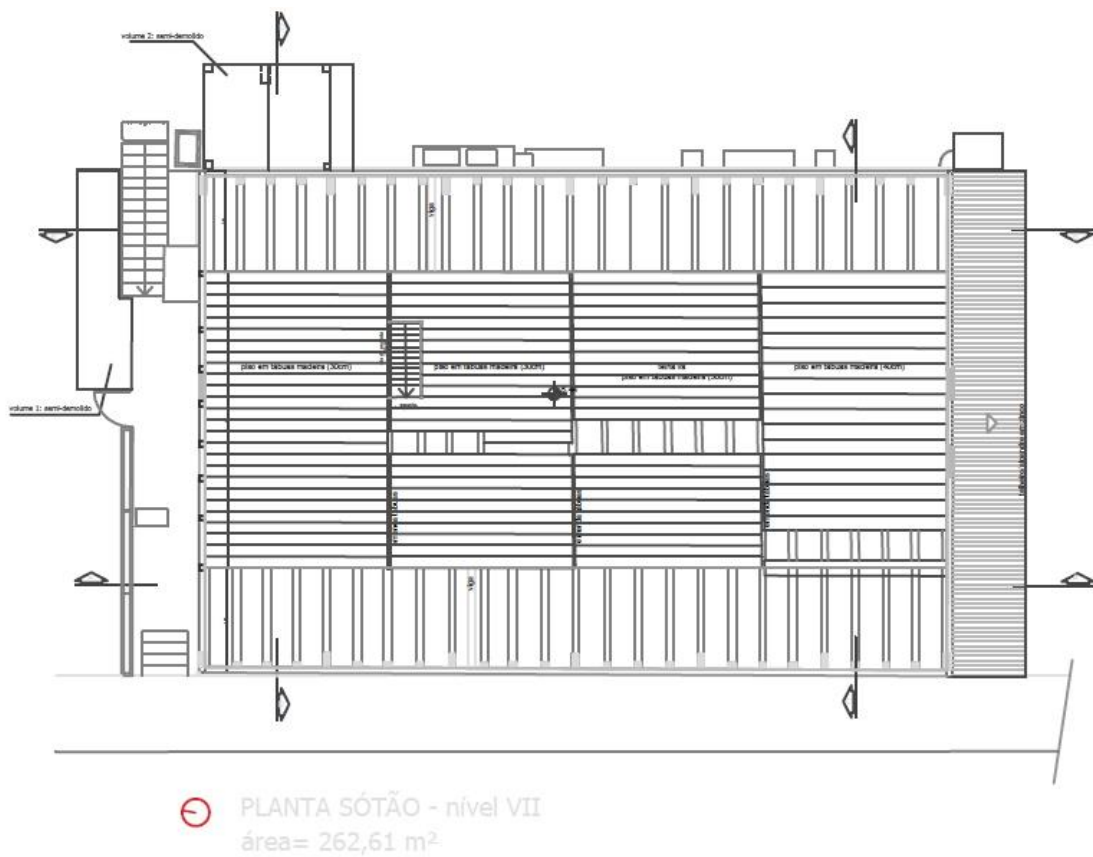
ANEXO C – Plantas Baixas Salão Holler



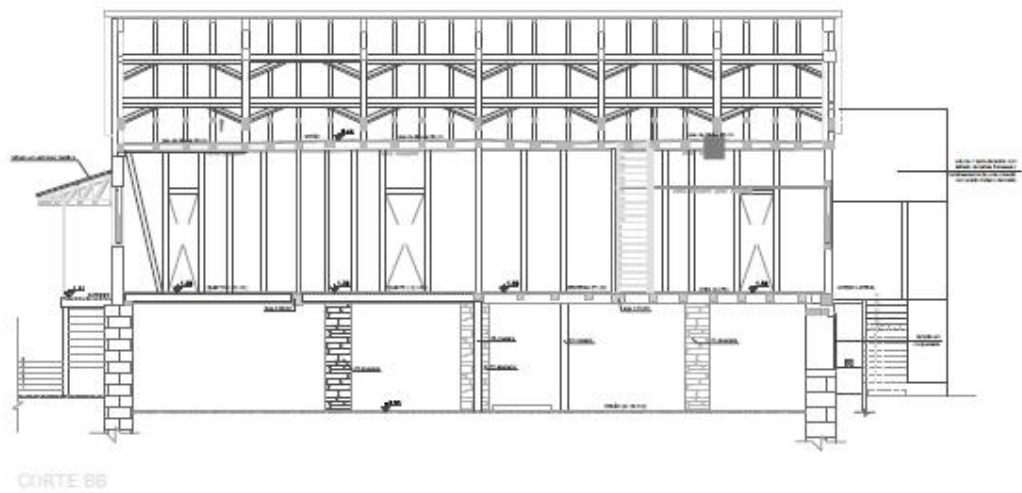
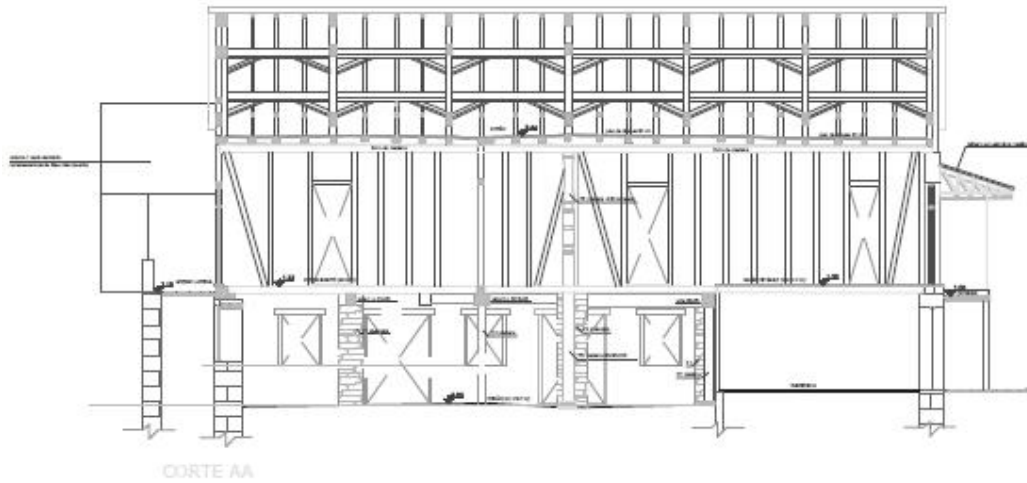
⊖ PLANTA BAIXA DO PORÃO - nível I
área= 272,50 m²



⊖ PLANTA PAVIMENTO TÉRREO - nível IV
área= 262,61 m²

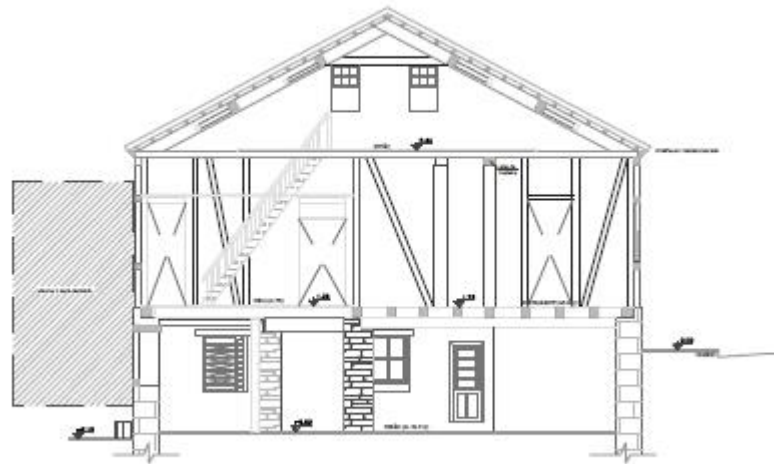


ANEXO D – Cortes Salão Holler



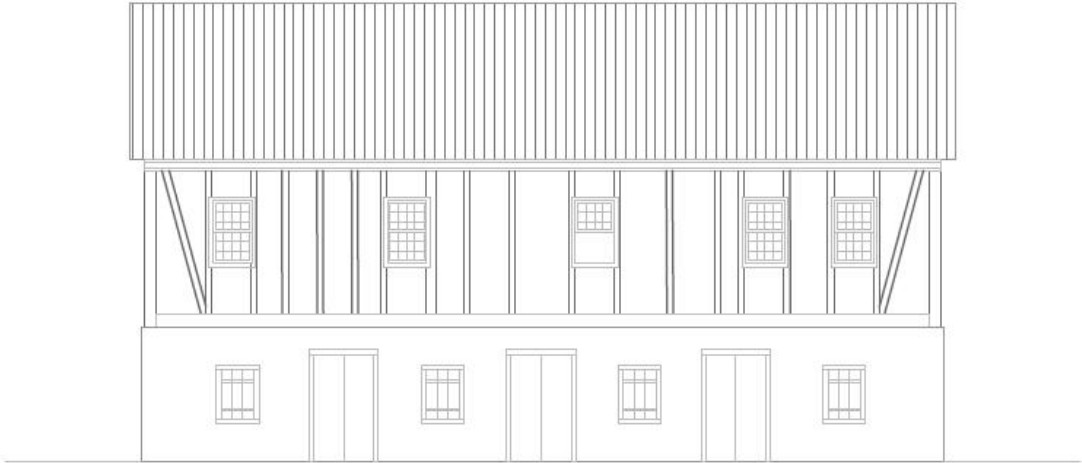


CORTE CC

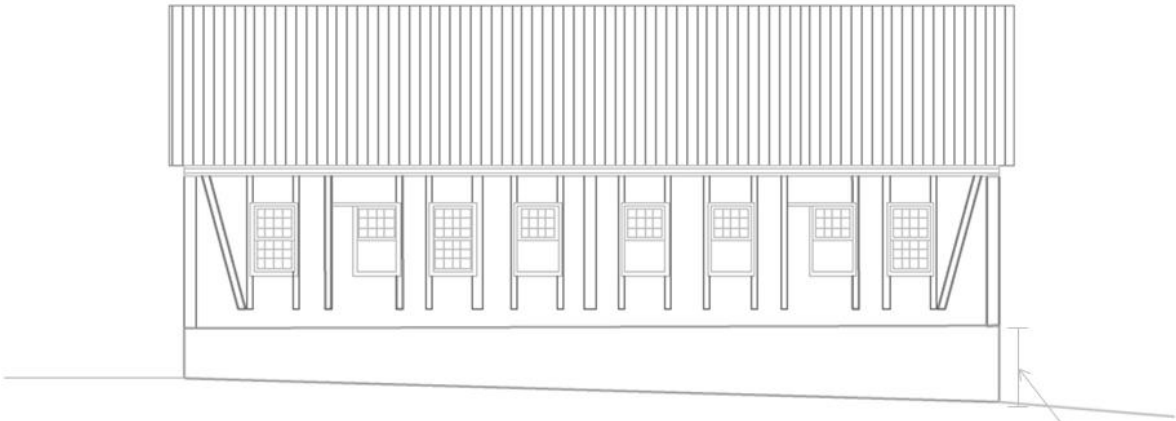


CORTE DD

ANEXO E – Fachadas Salão Holler



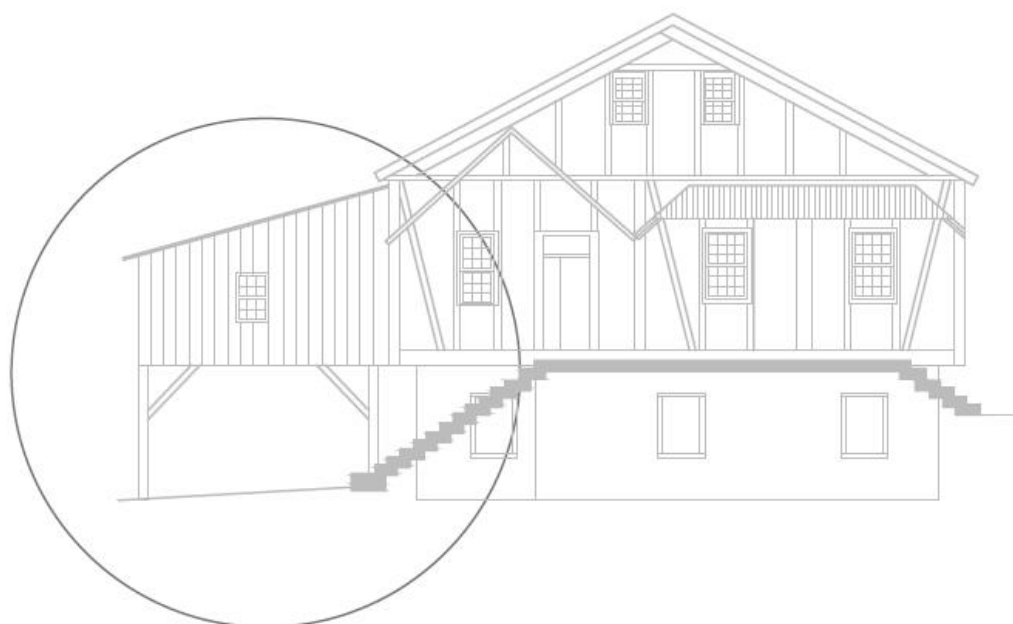
Elevação sudeste



Elevação noroeste

Rebaixamento do nível da rua

ACRÉSCIMO POSTERIOR



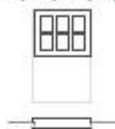
ANEXO F – Levantamento de Esquadrias

janela A5 (VIII) A6 (VII)



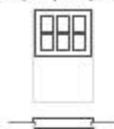
AS POLHAS SÃO DO TIPO GULHOTINA ESTÃO ENCRUSTADAS CORRETAMENTE NA ESTRUTURA DO ENQUADRE, SENDO UMA DAS POLHAS FIXAS E A OUTRA MÓVEL.

janela V5 (VIII) V6 (VII)



AS POLHAS SÃO DO TIPO GULHOTINA SENDO AS DUAS POLHAS MÓVEIS.

janela V7 (VIII) V8 (VII)



AS POLHAS SÃO DO TIPO GULHOTINA SENDO AS DUAS POLHAS MÓVEIS.

janela T (VI) U (V)



100 x 152/110 - JANELA DO TIPO GULHOTINA EM DUAS POLHAS ENCRUSTADAS COM DUAS POLHAS DE TAMPAO DE ESCURO DE ABRIR (INTERNO).

janela R (VI) T (V)



96 x 155/110 - JANELA DO TIPO GULHOTINA EM DUAS POLHAS ENCRUSTADAS COM DUAS POLHAS DE TAMPAO DE ESCURO DE ABRIR (INTERNO).

janela O (VI) P (V)



100 x 152/110 - JANELA DO TIPO GULHOTINA EM DUAS POLHAS ENCRUSTADAS COM DUAS POLHAS DE TAMPAO DE ESCURO DE ABRIR (INTERNO).

janela M (VI) N (V)



100 x 152/110 - JANELA DO TIPO GULHOTINA EM DUAS POLHAS ENCRUSTADAS COM DUAS POLHAS DE TAMPAO DE ESCURO DE ABRIR (INTERNO).

janela G (VI) I (V)



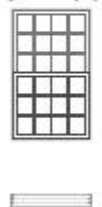
100 x 159/110 - JANELA DO TIPO GULHOTINA EM DUAS POLHAS ENCRUSTADAS COM DUAS POLHAS DE TAMPAO DE ESCURO DE ABRIR (INTERNO).

janela F (VI) G (V)



100 x 151/110 - JANELA DO TIPO GULHOTINA EM DUAS POLHAS ENCRUSTADAS COM RESILICO DE TAMPAO DE ESCURO DE ABRIR (INTERNO).

janela D (VI) E (V)



99 x 155/100 - JANELA DO TIPO GULHOTINA EM DUAS POLHAS ENCRUSTADAS COM RESILICO DE TAMPAO DE ESCURO DE ABRIR (INTERNO).

janela B (VI) C (V)



100 x 161/110 - JANELA DO TIPO GULHOTINA EM DUAS POLHAS ENCRUSTADAS COM APENAS UMA DAS POLHAS DE TAMPAO DE ESCURO DE ABRIR (INTERNO).

