U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS. ESTUDO APLICADO À REGIÃO SUL DO BRASIL

RODRIGO ALBERTO ZAMIN

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2021

MESTRADO EM PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ MPRINCE@FE.UP.PT

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ FEUP@FE.UP.PT

HTTP://WWW.FE.UP.PT

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A minha esposa Laura, que me acompanhou
todos os dias durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo auxílio e paciência durante a realização do mestrado, e a todos os colegas e professores da FEUP em especial a professora Helena pelas orientações no desenvolvimento da dissertação.

RESUMO

O Sul do Brasil possui um clima muito diferenciado e pouco explorado do restante do país. Analisando o contexto histórico da evolução com a preocupação térmica das edificações, notou-se que pouco avançamos com políticas de redução de consumo energético para aquecer e arrefecer as edificações residenciais em relação a outros países com características climáticas semelhantes. Dessa forma, fez-se um levantamento da construção corrente dessa região e verificou-se a economia ou a despesa com a troca de soluções construtivas, como paredes, coberturas ou janelas por outros com mais e menos resistência térmica. E analisou-se diversas simulações alterando esses conjuntos de soluções em dois tipos de edificação residencial: uma unifamiliar totalmente exposta a intempéries, e uma edificação multifamiliar inserida num bloco maior.

Para o estudo, foram coletadas informações climáticas anuais de quatro cidades, correspondentes a três zonas bioclimáticas do Sul do Brasil, nomeadamente nas cidades de Porto Alegre/RS, Santa Rosa/RS, Curitiba/PR e na cidade de São José dos Ausentes representando o extremo clima frio do País.

Como o Brasil não possui uma metodologia regulamentar de avaliação térmica bem desenvolvida, as simulações tiveram como base a metodologia Portuguesa de avaliação térmica: O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). Desenvolveu-se uma planilha de cálculo para realizar as simulações e para estimar o retorno financeiro em aplicar algum incremento térmico na edificação. Além disso, verificou-se o efeito do conforto térmico, com o auxílio do Software DesignBuilder, no interior da edificação com a alteração da solução corrente.

Assim definiu-se os melhores tipos de soluções construtivas para cada zona bioclimática com base no impacto econômico e na alteração do conforto térmico.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética, Conforto Térmico, Soluções Construtivas, Sul do Brasil.

ABSTRACT

The South of Brazil has a very different climate, and little explored from the rest of the country. Analyzing the historical context of the evolution with the thermal concern of buildings, it was noted that little progress was made with policies to reduce energy consumption to heat and cool residential buildings in relation to other countries with similar climatic characteristics. In this way, a survey of the current construction in this region was carried out and the savings or expenses with the exchange of construction systems, such as walls, roofs or windows for others with more and less thermal resistance, were verified. And several simulations were analyzed, changing these sets of solutions in two types of residential building: a single-family building fully exposed to bad weather, and a multi-family building inserted in a larger block.

For the study, annual climate information was collected from four cities, corresponding to three bioclimatic zones in Southern Brazil, namely in the cities of Porto Alegre/RS, Santa Rosa/RS, Curitiba/PR and in the city of São José dos Ausentes representing the extreme cold climate in the country.

As Brazil does not have a well-developed regulatory methodology for thermal assessment, the simulations were based on the Portuguese methodology for thermal assessment: The Regulation on Energy Performance of Housing Buildings (REH). A calculation spreadsheet was developed to carry out the simulations and to estimate the financial return in applying some thermal increment in the building. In addition, the effect of thermal comfort was verified, with the help of the DesignBuilder Software, inside the building with the alteration of the current solution.

Thus, the best types of construction solutions for each bioclimatic zone were defined based on the economic impact and the change in thermal comfort.

KEYWORDS: Energy Efficiency, Thermal Comfort, Constructive Solutions, Southern Brazil.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS ..... **II**
RESUMO ..... **III**
ABSTRACT ..... **IV**
ÍNDICE GERAL ..... **V**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **VI**
ÍNDICE DE TABELAS ..... **VII**
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS ..... **VIII**

1 INTRODUÇÃO 19

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL **19**
1.2 OBJETIVOS **20**
1.3 METODOLOGIA **20**
1.4 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO **20**

2 ESTADO DA ARTE 23

2.1. HISTÓRICO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS NO BRASIL **23**
2.2. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO **26**
2.2.1. Clima 26
2.2.2. Parque residencial 28
2.3. DOCUMENTOS REGULAMENTARES NO BRASIL **35**
2.3.1. ABNT NBR 15.220 - Desempenho térmico de edificações 35
2.3.2. ABNT NBR 15.575 – Edificações habitacionais - Desempenho 39
2.3.3. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R 40
2.4. DOCUMENTOS REGULAMENTARES EM PORTUGAL **41**

3 CENÁRIOS A ESTUDAR 47

3.1. DEFINIÇÃO DE MODELOS DE HABITAÇÃO **47**
3.2. ESCOLHA DE LOCALIZAÇÕES E RESPETIVA CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA **49**
3.3. DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO A AVALIAR **54**
3.3.1. Cobertura 54
3.3.2. Alvenaria 57
3.3.3. Piso no rés-do-chão 59
3.3.4. Pisos Entre Fogos 60
3.3.5. Esquadrias 60

4 FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS E CONFORTO TÉRMICO 63

4.1. PLANILHA DE CÁLCULO 63

4.1.1. Perdas pela envolvente 64

4.1.2. Perdas pela Ventilação 65

4.1.3. Ganhos de Calor 65

4.1.4. Verificação 67

4.2. *LCC: LIFE CYCLE COST* 67

4.3. SIMULAÇÕES DINÂMICAS DE CONFORTO TÉRMICO 68

5 REALIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES 71

5.1. CONVENÇÕES 71

5.2. NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO 72

5.3. SIMULAÇÕES COM SOFTWARE DESIGNBUILDER 82

6 ANÁLISE DE RESULTADOS 83

6.1. DO PONTO DE VISTA DAS NECESSIDADES DE ENERGIA 83

6.1.1 Zona Bioclimática 1 84

6.1.2 Zona Bioclimática 2 85

6.1.3 Zona Bioclimática 3 88

6.2. DO PONTO DE VISTA TÉCNICO-ECONÓMICO 90

6.2.1 Zona Bioclimática 1 90

6.2.2 Zona Bioclimática 2 91

6.2.3 Zona Bioclimática 3 93

6.3. DO PONTO DE VISTA DO CONFORTO TÉRMICO 94

6.3.1 Zona Bioclimática 1 95

6.3.2 Zona Bioclimática 2 96

6.3.3 Zona Bioclimática 3 97

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 101

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 103

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 105

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - GRÁFICO COMPARATIVO (BRASIL – PORTUGAL) DE TEMPERATURAS DURANTE UM ANO. 19
FIGURA 2 – LINHA DO TEMPO: POLÍTICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS NO BRASIL 23
FIGURA 3 – SELO PROCEL 24
FIGURA 4 – ETIQUETA DE EFICIENCIA EM EDIFICAÇÕES 25
FIGURA 5 - TEMPERATURA MÉDIA ANUAL NA REGIÃO SUL DO BRASIL 26
FIGURA 6 - MAPEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO 27
FIGURA 7 – HIPSOMETRIA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL 28
FIGURA 8 – CONSTRUÇÃO EM ENXAIMEL – NOVA PETRÓPOLIS/RS 29
FIGURA 9 – CASA TÍPICA ITALIANA – CAXIAS DO SUL/RS 30
FIGURA 10 – COLONIA DE ETNIA ITALIANA – FOTO AÉREA DA DÉCADA DE 80-90 – TRÊS DE MAIO/RS 31
FIGURA 11 – PLANTA BAIXA RESIDÊNCIA DA DÉCADA DE 50 31
FIGURA 12 – COBERTURA COM PLATIBANDA 33
FIGURA 13 – ESQUEMA DE PLATIBANDA 33
FIGURA 14 – COBERTURA COM TELHADO APARENTE 33
FIGURA 15 – ESQUEMA DE COBERTURA APARENTE 34
FIGURA 16 – ALVENARIA 34
FIGURA 17 - CORTE ESQUEMÁTICO PISO 35
FIGURA 18 - CARTA BIOCLIMÁTICA ZONA 2 38
FIGURA 19 - REQUISITOS MÍNIMOS PARA DESEMPENHO DE VEDAÇÕES EXTERNAS. 39
FIGURA 20 - REQUISITOS MÍNIMOS DE VENTILAÇÃO 40
FIGURA 21 - REQUISITOS MÍNIMOS PARA COBERTURAS 40
FIGURA 22 - CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA 42
FIGURA 23 – FORMULAS REGULAMENTARES PARA O INVERNO – REH PORTUGAL 43
FIGURA 24 - FORMULAS REGULAMENTARES PARA O VERÃO – REH PORTUGAL 44
FIGURA 25 - ZONAS CLIMÁTICAS PORTUGAL 44
FIGURA 26 - PORTUGAL: COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL DE REFERÊNCIA 45
FIGURA 27 - PORTUGAL: COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEARES DE REFERÊNCIA 45
FIGURA 28 - PORTUGAL: COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA MÁXIMOS 46
FIGURA 29 - PLANTA BAIXA: HABITAÇÃO CORRENTE UNIFAMILIAR 48
FIGURA 30 - PLANTA BAIXA: HABITAÇÃO CORRENTE MULTIFAMILIAR 49

FIGURA 31 - SOFTWARE RADIASOL 2 50
FIGURA 32 - ACUMULADO GRAUS-DIA CURITIBA/PR 51
FIGURA 33 - ACUMULADO GRAUS-DIA SÃO JOSÉ DOS AUSENTES/RS 52
FIGURA 34 - ACUMULADO GRAUS-DIA SANTA ROSA/RS 53
FIGURA 35 - ACUMULADO GRAUS-DIA PORTO ALEGRE/RS 54
FIGURA 36 – PLANILHA DE CÁLCULO: ENTRADA DE DADOS 63
FIGURA 37 - PLANILHA DE CÁLCULO: TRANSFERÊNCIAS PELA ENVOLVENTE - HEXT 64
FIGURA 38 - PLANILHA DE CÁLCULO: TRANSFERÊNCIA PELA VENTILAÇÃO 65
FIGURA 39 - PLANILHA DE CÁLCULO: GANHOS SOLARES 66
FIGURA 40 - PLANILHA DE CÁLCULO: CÁLCULO DE NIC E NVC, COMPARAÇÃO COM REFERÊNCIA 67
FIGURA 41 - MODELAGEM NO DESIGNBUILDER: RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR 69
FIGURA 42 - GRÁFICO DE NIC - UNIDADE UNIFAMILIAR - SÃO JOSÉ DOS AUSENTES 84
FIGURA 43 - GRÁFICO DE NIC - UNIDADE MULTIFAMILIAR - SÃO JOSÉ DOS AUSENTES 84
FIGURA 44 - GRÁFICO DE NIC - UNIDADE UNIFAMILIAR - SANTA ROSA 85
FIGURA 45 - GRÁFICO DE NIC - UNIDADE MULTIFAMILIAR - SANTA ROSA 86
FIGURA 46 - GRÁFICO DE NVC - UNIDADE UNIFAMILIAR - SANTA ROSA 87
FIGURA 47 - GRÁFICO DE NVC - UNIDADE MULTIFAMILIAR - SANTA ROSA 88
FIGURA 48 - GRÁFICO DE NIC - UNIDADE UNIFAMILIAR - PORTO ALEGRE 89
FIGURA 49 - GRÁFICO DE NIC - UNIDADE MULTIFAMILIAR - PORTO ALEGRE 89
FIGURA 50 - SOLUÇÕES COM MELHOR CUSTO-BENEFÍCIO – RESID. UNIFAMILIAR - SÃO J.DOS AUSENTES 91
FIGURA 51 - SOLUÇÕES COM MELHOR CUSTO-BENEFÍCIO – RESID. MULTIFAMILIAR - SÃO J.DOS AUSENTES 91
FIGURA 52 - SOLUÇÕES COM MELHOR CUSTO-BENEFÍCIO - RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR - SANTA ROSA 92
FIGURA 53 - SOLUÇÕES COM MELHOR CUSTO-BENEFÍCIO - RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR - SANTA ROSA 92
FIGURA 54 - SOLUÇÕES COM MELHOR CUSTO-BENEFÍCIO - RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR - PORTO ALEGRE 93
FIGURA 55 - SOLUÇÕES COM MELHOR CUSTO-BENEFÍCIO - RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR - PORTO ALEGRE 93
FIGURA 56 - REFERENCIA DE CONFORTO TÉRMICO DESIGNBUILDER 94
FIGURA 57 - SEMANA DE INVERNO EM SÃO JOSÉ DOS AUSENTES - SITUAÇÃO PADRÃO, SITUAÇÃO MAIS ISOLADA E O EFEITO DA CLIMATIZAÇÃO MECÂNICA 96
FIGURA 58 - SEMANA DE VERÃO EM SANTA ROSA - SOLUÇÃO PADRÃO E A MAIS ISOLADA – UNID. UNIFAMILIAR 96
FIGURA 59 - SEMANA DE VERÃO EM SANTA ROSA - SOLUÇÃO PADRÃO E A MAIS ISOLADA – UNID. MULTIFAMILIAR 97
FIGURA 60 - SEMANA DE INVERNO EM PORTO ALEGRE - EFEITO DO ISOLAMENTO NO DESCONFORTO: SITUAÇÃO MENOS ISOLADA, SITUAÇÃO PADRÃO E SITUAÇÃO MAIS ISOLADA. 98

FIGURA 61 - SEMANA DE VERÃO EM PORTO ALEGRE - EFEITO DO ISOLAMENTO NA TEMPERATURA: SITUAÇÃO MENOS ISOLADA, SITUAÇÃO PADRÃO E SITUAÇÃO MAIS ISOLADA – UNID. UNIFAMILIAR. 98

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO NBR 15220 37
TABELA 2 - RECOMENDAÇÕES PARA ZONA 2 - NBR 15220 37
TABELA 3 - CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO NBR 15.575 39
TABELA 4 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS: DEFINIÇÃO DA DURAÇÃO DA ESTAÇÃO 49
TABELA 5 - MÉDIA DE DADOS CLIMÁTICOS DE CURITIBA/PR NO PERÍODO DE 2005 A 2020 51
TABELA 6 - MÉDIA DE DADOS CLIMÁTICOS DE SÃO JOSÉ DOS AUSENTES/RS NO PERÍODO DE 2008 A 2020 .. 51
TABELA 7 - MÉDIA DE DADOS CLIMÁTICOS DE SANTA ROSA/RS NO PERÍODO DE 2007 A 2020 52
TABELA 8 - MÉDIA DE DADOS CLIMÁTICOS DE PORTO ALEGRE/RS NO PERÍODO DE 2001 A 2020 53
TABELA 9 - SOLUÇÕES DE COBERTURA - COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA 54
TABELA 10 - SOLUÇÕES DE VEDAÇÃO - COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA 57
TABELA 11 - SOLUÇÃO DE PISO NO RÉS-DO-CHÃO - COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA 60
TABELA 12 - SOLUÇÕES DE PISOS ENTRE FOGOS - COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA 60
TABELA 13 - VÃOS ENVIDRAÇADOS - COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA 61
TABELA 14 - CONVENÇÃO DE SOLUÇÕES DE ALVENARIA 71
TABELA 15 - CONVENÇÃO DE SOLUÇÕES EM COBERTURA 72
TABELA 16 - QUADRO RESUMO SIMULAÇÕES 74
TABELA 17 - VALORES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO (INVERNO) E PARA ARREFECIMENTO (VERÃO) PARA CADA COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR - CIDADE DE PORTO ALEGRE/RS 75
TABELA 18 - VALORES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO (INVERNO) E PARA ARREFECIMENTO (VERÃO) PARA CADA COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR - CIDADE DE SANTA ROSA/RS 76
TABELA 19 - VALORES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO (INVERNO) PARA CADA COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR - CIDADE DE CURITIBA/PR 77
TABELA 20 - VALORES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO (INVERNO) PARA CADA COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR - CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS AUSENTES/RS 78
TABELA 21 - VALORES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO (INVERNO) E PARA ARREFECIMENTO (VERÃO) PARA CADA COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR - CIDADE DE PORTO ALEGRE/RS 79
TABELA 22 - VALORES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO (INVERNO) E PARA ARREFECIMENTO (VERÃO) PARA CADA COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR - CIDADE DE SANTA ROSA/RS 80

TABELA 23 - VALORES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO (INVERNO) PARA CADA COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR - CIDADE DE CURITIBA/PR 81

TABELA 24 - VALORES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO (INVERNO) PARA CADA COMBINAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - RESIDÊNCIA MULTIFAMILIAR - CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS AUSENTES/RS..... 81

TABELA 25 - RESULTADOS OBTIDOS 102

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

Ap: Área interior útil de pavimento [m2];

Pd: Pé direito médio da fração [m];

btr: Coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente;

c: calor específico;

e: Espessura da camada;

E: Gastos com energia elétrica atualizados;

EqNumAA: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;

EqNumEnv: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória;

FSo: Fator solar de elementos opacos em porcentagem;

FSt: Fator solar de elementos transparentes;

G"norte": Energia solar média mensal recebida numa superfície a norte [kWh/m².mês];

Hadj: Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes [W/ºC];

Hecs: Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo [W/ºC];

Henu: Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis [W/ºC];

Hext: Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [W/ºC];

I: Custo Inicial;

Isol: Energia solar acumulada durante a estação [kWh/m²];

LCC: Life Cycle Cost;

Lv: Duração da estação de verão, em horas;

M: Duração do inverno, em meses;

Nic: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício;

Niv: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento do edifício;

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

Qg: Ganhos térmicos brutos na estação [kWh];

Qtr: Transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios [kWh];

Qve: Transferência de calor ventilação [kWh];

R: Resistencia térmica;

Rar: resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas;

Res: Custo de venda depreciado;

Rph: Taxa nominal horária de renovação do ar interior [h-1];

Rse: Resistência térmica superficial externa;

Rsi: Resistência térmica superficial interna;

RT: Resistencia térmica total;

Te,máx: Temperatura externa máxima;

Ti,máx: Temperatura interna máxima;

U: Coeficiente de Transmissão Térmica;

α: Absortância a radiação solar;

ε: emissividade;

Θext,i: Temperatura exterior média do mês mais frio, em ºC;

Θext,v: Temperatura exterior média verão [ºC];

λ: Condutividade térmica;

λ: condutividade térmica;

ρ: densidade;

Ψ - Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j [W/(m.°C)];

τ: Coeficiente de transmissão a radiação solar;

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

O Brasil ocupa o 5º lugar no ranking dos maiores países em território tendo mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados. Seu território é tão amplo que possui expressivas diferenças climáticas de norte ao sul do país, porém quando se pensa em Brasil normalmente associa-se o mesmo ao clima tropical, o que de facto é a maior parte do seu território, mas existe uma fração territorial ao sul com clima mais ameno e que possui até eventuais aparecimentos de neve.

Essa fração é pouco explorada térmica e energeticamente pela indústria brasileira, que tem seu foco, de forma lógica pode se dizer, ao clima quente e predominante do país.

O que causa um pouco de preocupação, pois países mais desenvolvidos que tem climas semelhantes ao sul do Brasil, como no sul da Europa, por exemplo, já estão exigindo soluções tecnológicas para melhorar o conforto térmico e energético de suas habitações, obrigando as edificações a melhorarem suas emissões de carbono sem perda de conforto. Essa cobrança traz um custo inicial maior na construção, com investimentos mais pesados em tecnologias, equipamentos e isolamento térmico, porém trazendo economia durante a utilização e vida útil das construções.

É claro que a realidade climática na Europa é bastante diferenciada da existente no sul do Brasil, porém podemos ver na Figura 1 que Lisboa, por exemplo, possui um clima de Agosto a Julho bem similar ao da capital do estado do Rio Grande do Sul, de Janeiro a Dezembro, e ainda que tenha cidades com médias climáticas menores que Lisboa, como na cidade de São José dos Ausentes, onde nenhuma medida de eficiência é obrigatória nas edificações.

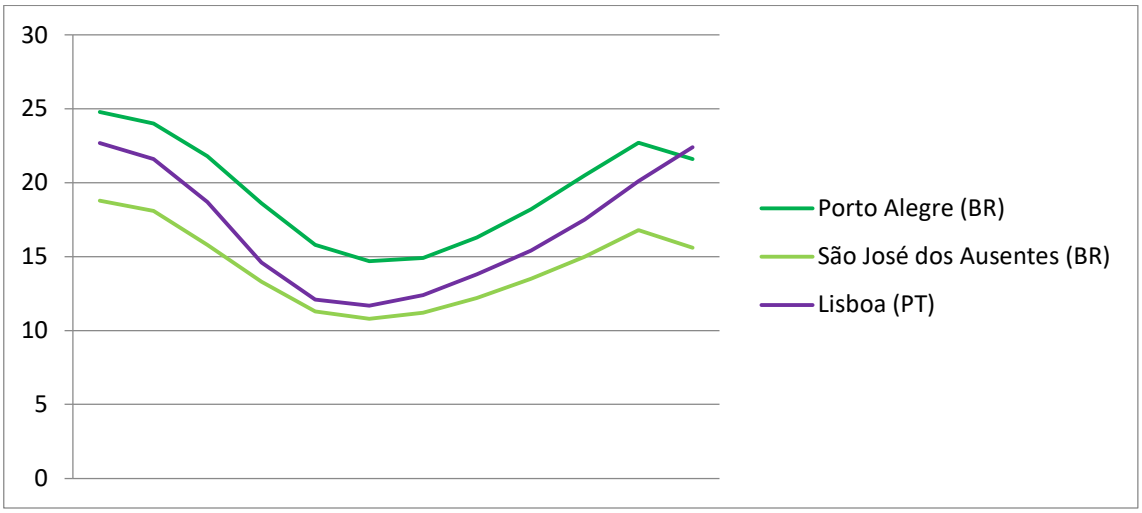


Figura 1 - Gráfico comparativo (Brasil – Portugal) de temperaturas durante um ano.
Fonte dos dados climáticos: https://en.climate-data.org/

A ideia aqui não é burocratizar a construção no sul do Brasil e sim verificar que medidas podem ser implantadas no método construtivo para que tenhamos melhores índices de conforto no interior das edificações e ao mesmo tempo contribuirmos com a eficiência das mesmas e ao mesmo tempo reduzir as emissões de carbono.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é testar a aplicação da metodologia de Portugal sobre a eficiência energética das edificações habitacionais com o clima da região sul do Brasil e verificar se haveria a necessidade de se exigir normativamente a melhoria de soluções construtivas para melhorar a eficiência energética e conforto térmico no interior das habitações.

Os resultados mostrarão se melhorando o método de construção das edificações não teríamos mais economia durante toda a vida útil da edificação com um pequeno impacto inicial relativamente ao montante que custa toda a obra.

1.3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos o trabalho terá a seguinte sistemática: Primeiramente será feito um levantamento climático da região, para obter os dados de entrada das simulações, sendo a temperatura, a humidade, e a radiação solar. A partir disso esses dados serão trabalhos para obter os graus dia de aquecimento, a duração das estações de aquecimento e arrefecimento e a radiação inclinada para aplicar na metodologia de cálculo.

Para utilização dessa metodologia de cálculo será realizada uma planilha para calcular as necessidades de energia útil da edificação e será realizado simulações dinâmicas para verificar o impacto das melhorias de solução construtiva no conforto térmico interno.

Obtido todos os resultados das simulações, os dados serão analisados graficamente para concluir se as melhorias em soluções construtivas terão impacto positivo ou negativo nas zonas bioclimática 1, 2 e 3 da região sul do Brasil.

1.4 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO

A dissertação foi estruturada em sete capítulos para contemplar todo o trabalho realizado desde a obtenção dos dados climáticos para a obtenção das simulações até a analise final das mesmas, da seguinte forma:

No Capítulo 1 tem se a introdução e os objetivos que se quer alcançar com esse trabalho, como também a sua estruturação.

No Capítulo 2 é realizado o levantamento do estado da arte, onde é feita uma abordagem sobre o que já existe no Brasil sobre a eficiência energética das habitações; a caracterização do sistema construtivo habitual e uma comparação com a normatização portuguesa.

No Capítulo 3 é criado o layout das habitações onde será realizada as simulações, define-se as cidades que serão estudadas, como suas caracterizações climáticas, além de definir as soluções construtivas que serão comparadas nas simulações.

No Capítulo 4 se define as ferramentas que serão usadas para realizar as simulações, como também é explicado como foi realizado as simulações usando a planilha de cálculo e as simulações dinâmicas.

No Capítulo 5 é realizado as simulações e apresentado os resultados de todos os conjuntos de soluções construtivas em forma de tabelas.

No Capítulo 6 é criado e analisado gráficos com os dados obtidos e então é apresentado os resultados que se obteve.

No Capítulo 7 é comentado as conclusões a que se chegou o trabalho além de recomendações futuras.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. HISTÓRICO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS NO BRASIL

No Brasil as políticas de eficiência e redução de carbono andam num ritmo lento. Em seguida, na Figura 2, adaptou-se do Atlas da Eficiência Energética – Brasil de 2019 (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2019), a linha de tempo das principais medidas já adotadas pelo país:

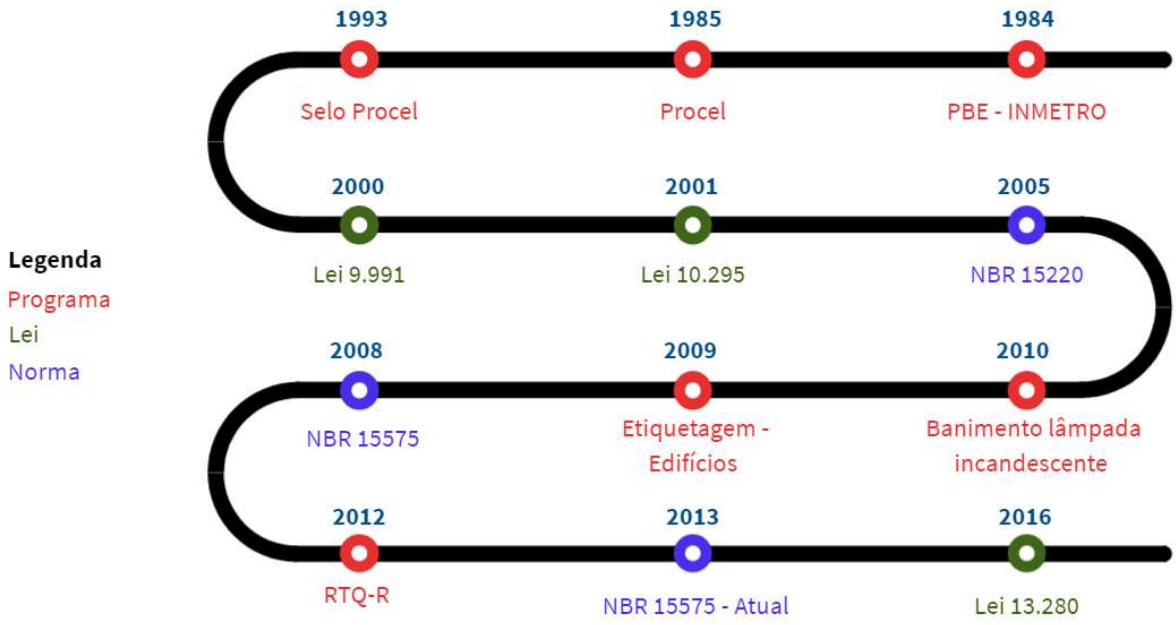


Figura 2 – Linha do tempo: Políticas de eficiência energética em edifícios no Brasil

- 1984 – O pioneiro no país é o Programa Brasileiro de Etiquetagem em que trazia mais informações de consumo de diversos equipamentos eletrônicos, orientando melhor os consumidores;
- 1985 – Foi criado o Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício;
- 1993 – A Procel criou um selo que tem como finalidade informar o consumidor sobre os equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes;



Figura 3 – Selo procel
Fonte: (Procel, 2016)

- 2000 – Entra em vigor a lei 9.991 em que obriga as empresas concessionárias de energia a aplicar 0,25% da receita liquida em programas de eficiência energética no seu uso final;
- 2001 – Com a Lei 10.295 é criado o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE) com o objetivo principal criar metas de eficiência energética para equipamentos;
- 2005 – É atualizada a Norma Brasileira de 15.220 – Desempenho Térmico em Edificações – que será abordada com mais detalhes nesse trabalho;
- 2008 – É criada a Norma brasileira de desempenho em edificações, que inicialmente tinha focos em edifícios de até 5 pavimentos;
- 2009 – A Procel cria um sistema de etiquetagem para edificações comerciais (de serviço e públicos) e para edifícios residenciais conforme a Figura 4, ela pode ser obtida na fase de projeto ou depois de construído. Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos, são avaliados três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Nos edifícios residenciais são avaliados: a envoltória e o sistema de aquecimento de água, além dos sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares, como iluminação, elevadores, bombas centrífugas etc.

  NOTA: A partir de 2014 as edificações públicas novas da esfera federal passaram a ser obrigadas a ter etiqueta de projeto com classe “A” (Procel, 2016);

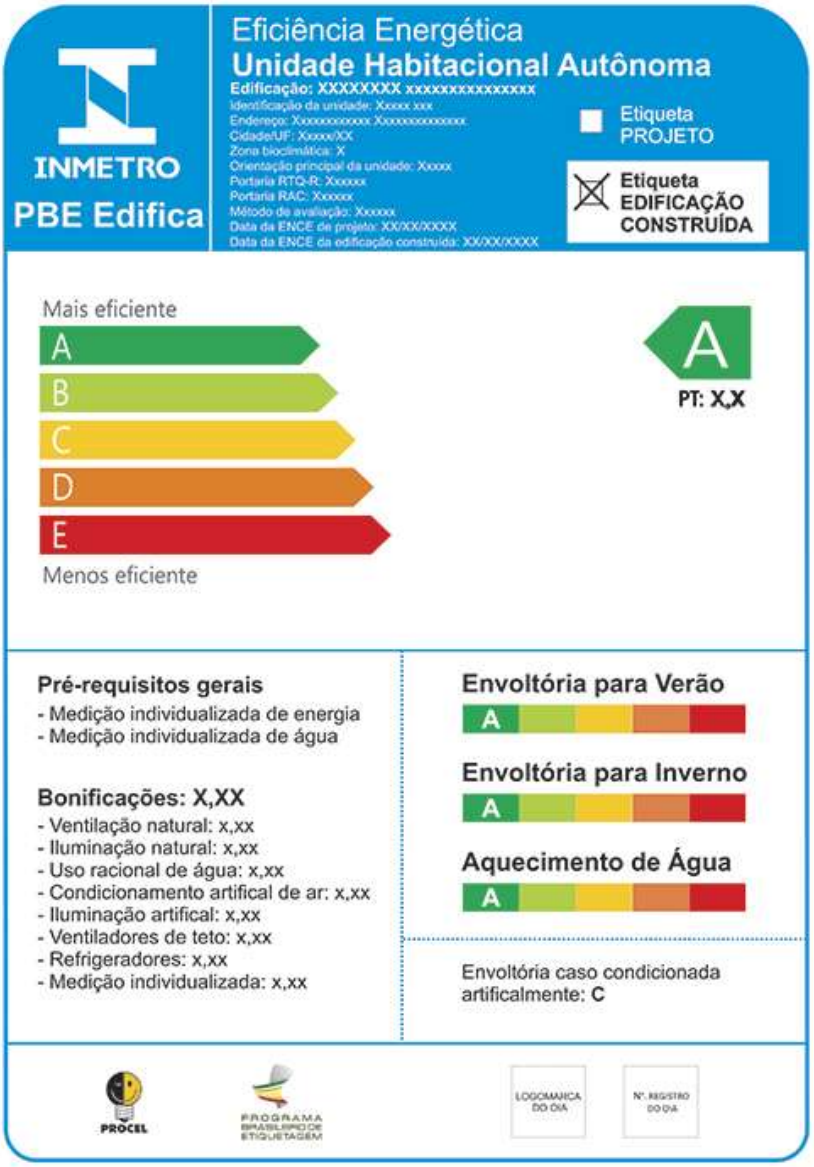


Figura 4 – Etiqueta de Eficiencia em Edificações
Fonte: (Procel, 2016)

- 2010 – O governo proíbe a comercialização de lâmpadas do tipo incandescentes;
- 2012 – O INMETRO, a Procel Edifica (Figura 4) e algumas concessionárias criam o RTQ – Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações – que regulamenta os edifícios para obtenção da etiqueta de eficiência. O RTQ será mais bem abordado no decorrer desse trabalho;
- 2013 – A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) atualiza a NBR 15.575, agora se chamando: Edificações habitacionais - Desempenho, onde utiliza a classificação bioclimática da NBR 15.220 para criar critérios de desempenho térmico;
- 2016 – Por fim é criada a Lei 13.280 onde as concessionárias passam a destinar 20% dos seus recursos para pesquisa para o Procel.

As ações do Procel resultaram em uma economia de 23 TWh, equivalente a 4,87% do consumo total de energia no Brasil (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2019).

2.2. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO

2.2.1. CLIMA

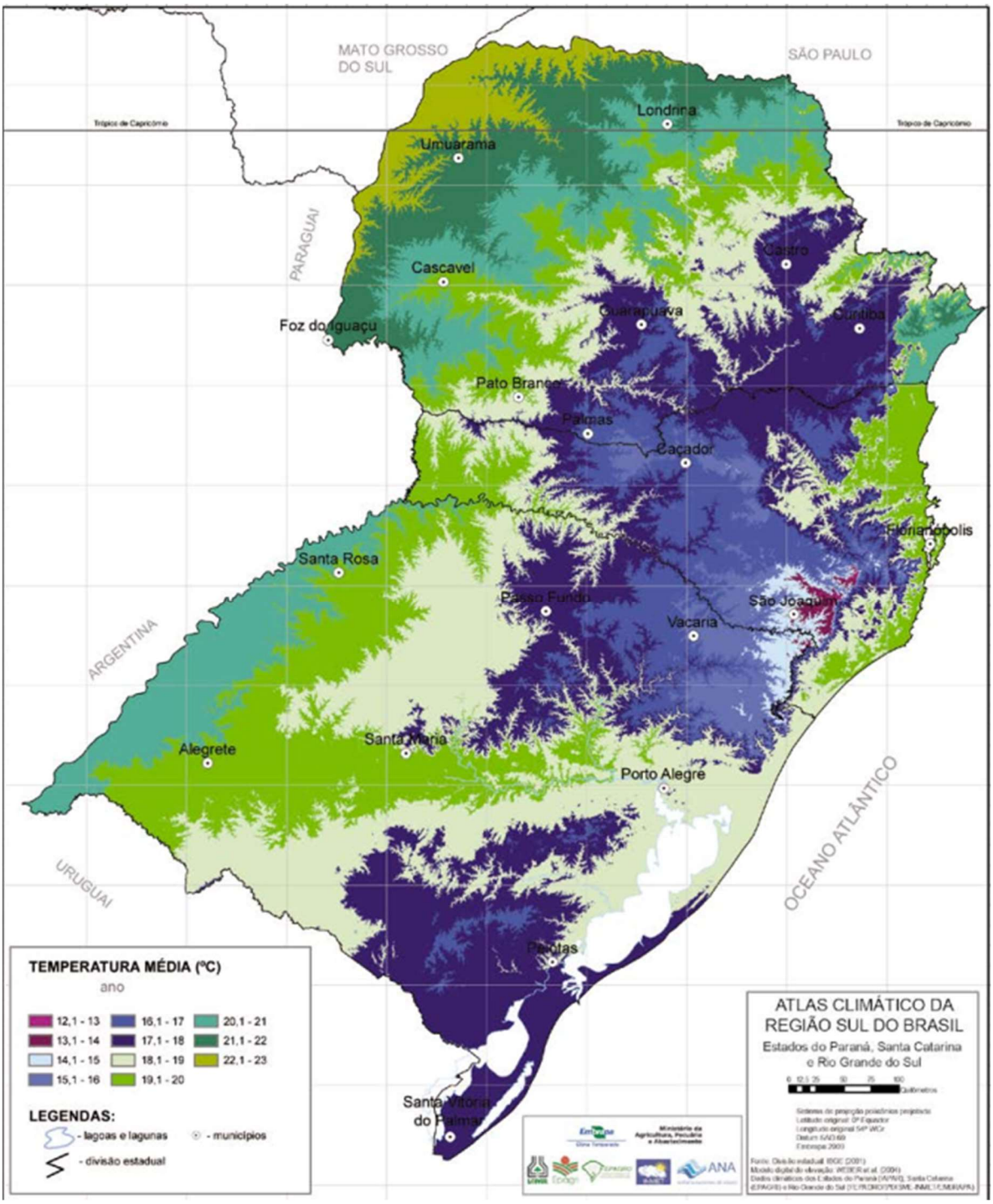


Figura 5 - Temperatura média anual na região sul do Brasil
Fonte: Atlas Climático da Região sul do Brasil (Embrapa, 2012)

De acordo com o Atlas Socioeconômico do Estado do Rio Grande do Sul (Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2020), o clima do estado Rio Grande do Sul é Temperado do tipo Subtropical, classificado como Mesotérmico Úmido (classificação de Köppen). Devido à sua posição geográfica, entre os paralelos 27°03"42"" e 33°45"09"" de latitude Sul, e 49º42"41"" e 57º40"57"" de longitude Oeste, apresenta grandes diferenças em relação ao restante do Brasil. A latitude reforça as influências das massas de ar oriundas da região polar sul e da área tropical continental e Atlântica. A movimentação e os encontros destas massas definem muitas das características climáticas.

As temperaturas médias no estado variam de 15ºC a 18ºC, tendo mínimas que podem alcançar -10ºC e máximas na casa dos 40ºC. Tendo estações bem definidas por verões quentes e invernos com eventuais neves.

Conforme a norma brasileira NBR 15220 (ABNT NBR 15.220, 2005) o território Brasileiro foi dividido em 8 bioclimas conforme a Figura 6, para chegar nessa classificação, o pais foi repartido em 6500 células e estudado os dados históricos de 330 cidades, que corresponderam a 330 células, sendo que as demais células foram interpoladas em decorrência dos dados dessas cidades, obtidas no período de 1931 à 1990.

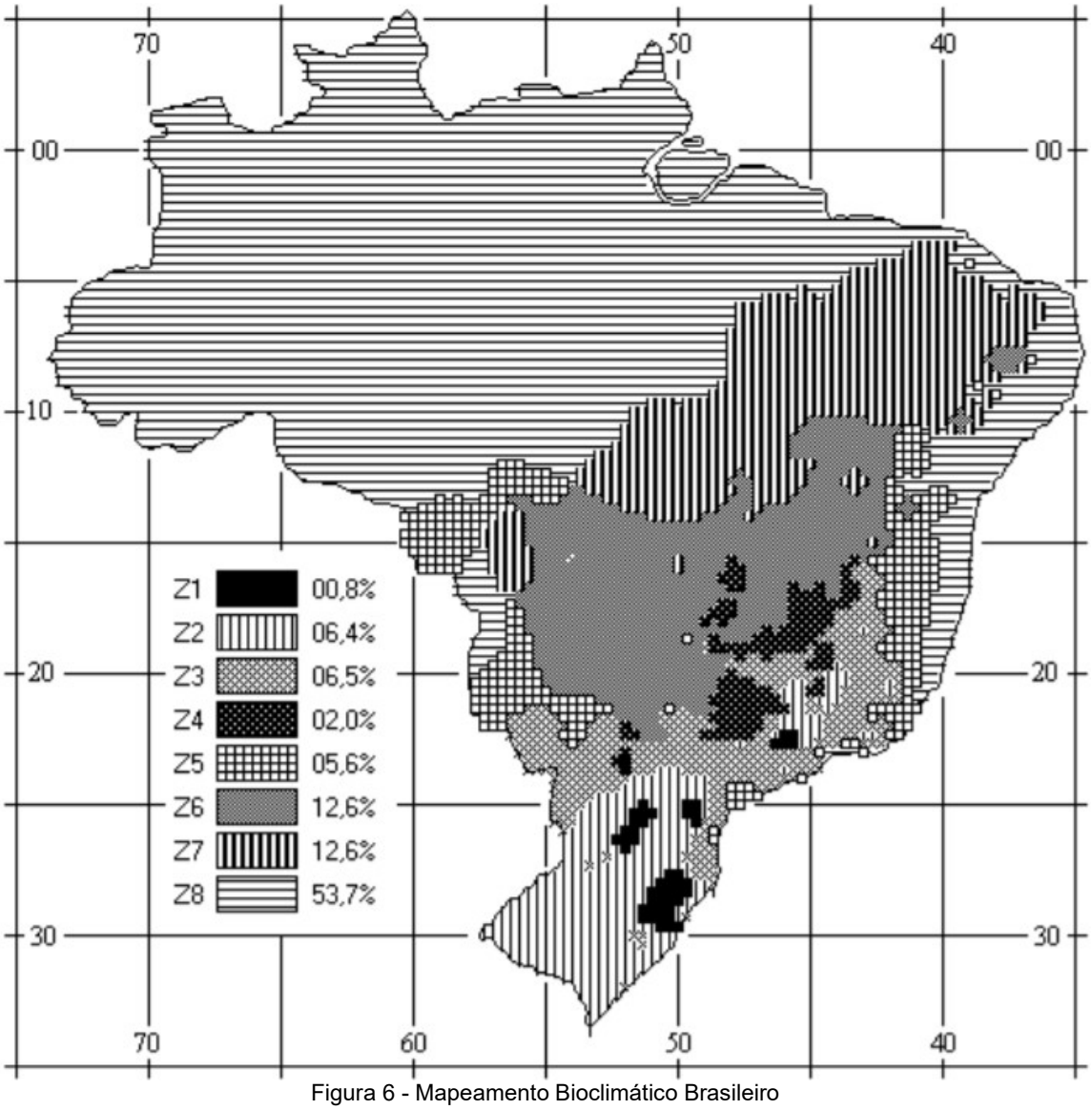


Figura 6 - Mapeamento Bioclimático Brasileiro
Fonte: NBR 15.220 (ABNT NBR 15.220, 2005).

Assim, dentro do contexto do sul do Brasil, foco desse trabalho, temos quatro zonas bioclimáticas, sendo três delas em maior predominância. A maior parte territorial é concentrada pela zona Z2, , além dele tem-se o a zona Z1 que é caracterizada geograficamente pelas maiores altitudes dentro da região, como a região da serra gaúcha, conforme pode ser observado pelo mapa de hipsometria, Figura 7, com altitudes acima dos 800 metros, e ainda se tem a zona Z3 em uma pequena fração do território e a zona Z5 em algumas poucas cidades mais ao norte que não será estudada nesse trabalho, por possuir um clima mais quente.

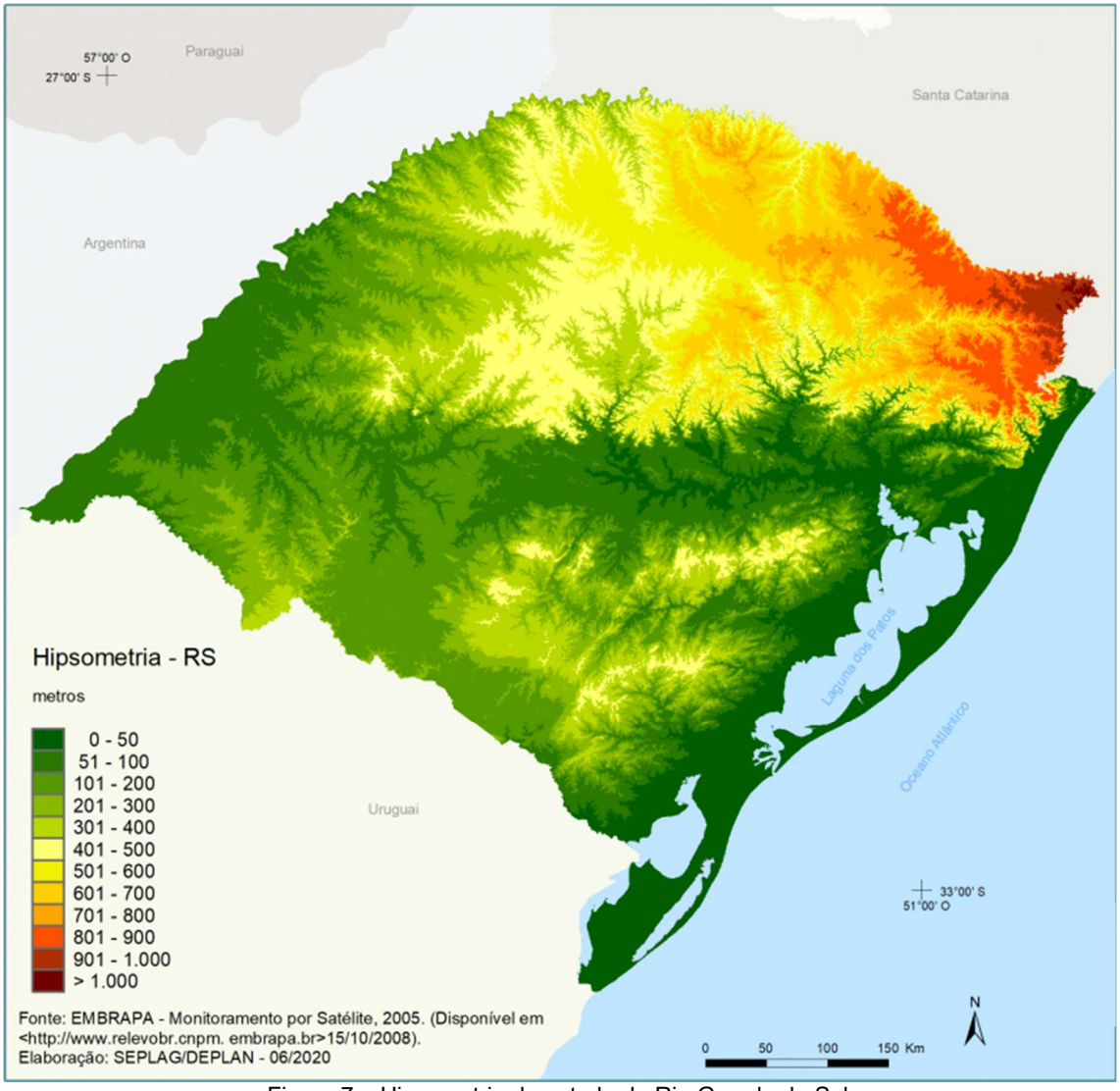


Figura 7 – Hipsometria do estado do Rio Grande do Sul
Fonte: (Embrapa, 2012)

2.2.2. PARQUE RESIDENCIAL

A população no sul do Brasil é fortemente marcada por uma imigração principalmente originária da Itália e Alemanha. Durante o século XIX e início do século XX, a Alemanha e Itália passavam por um sério problema de pobreza e desabastecimento de alimentos, por outro lado o Brasil necessitava de pessoas para garantir seus territórios ao sul e ao mesmo tempo cultivar essas terras. Assim muitos

imigrantes desses dois países migraram para o sul do Brasil onde ganhariam terras para que fossem cultivadas e que ali construíssem suas casas.

Dessa forma as habitações tiveram e ainda tem muitos traços marcantes dessas duas etnias europeias. Principalmente pelo sistema de enxaimel oriundo da Alemanha, Figura 8, e as casas típicas italianas, Figura 9, em madeira normalmente sobre porões em pedra ou tijolos maciços, corredores largos e muitos dormitórios. Ambas com telhados altos (mesmo não tendo as nevascas que se tem na Europa) em madeira e telhas de barro.



Figura 8 – Construção em Enxaimel – Nova Petrópolis/RS
Fonte: (Brasu, 2007)

Dessa forma o território sul foi-se expandindo, os territórios ganhos pelos imigrantes foram agregando mão-de-obra, a mata atlântica foi diminuindo e as lavouras aumentando, com os anos foram construindo casas, galpões, chiqueiros, galinheiros e formando suas colônias (

Figura 10).



Figura 9 – Casa Típica Italiana – Caxias do Sul/RS
Fonte: (Frantz, 2006)

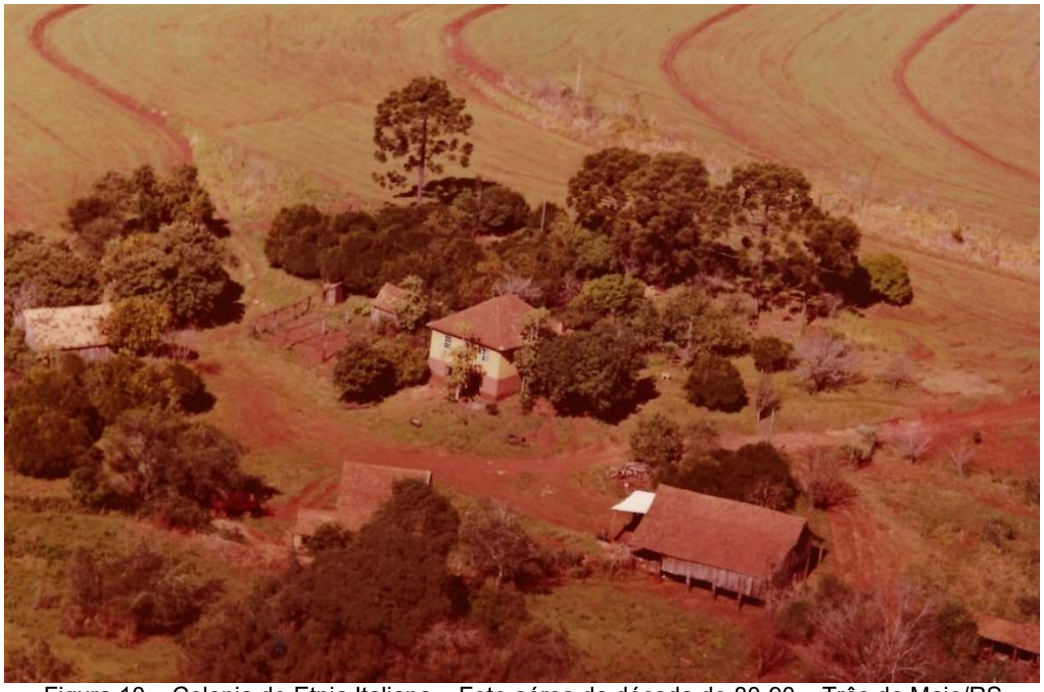


Figura 10 – Colonia de Etnia Italiana – Foto aérea da década de 80-90 – Três de Maio/RS

É preciso entender um pouco da origem para caracterizarmos o atual cenário da construção na região sul do Brasil. A casa da figura anterior tem vários aspectos de origem Italiana (Figura 11): Porão inferior para produção e armazenamento de vinho e demais alimentos; telhado de barro bem elevado; janelas uniformemente divididas e alinhadas; vários quartos para uma família grande; casa de banho do lado externo da casa; assoalho e forro em madeira; e corredores largos.



Figura 11 – Planta Baixa residência da década de 50

Com o tempo e a expansão das áreas de cultivo na região, a madeira começou a ficar mais escassa e cara e com a industrialização o tijolo começou a ficar mais popular nas residências ao sul. A casa de banho veio para dentro da residência, uma vez que as divisórias internas passaram a ser de alvenaria revestida com cerâmicas e o tamanho das famílias reduziu significantemente de 8 a 12 filhos para uma média de cerca de 2.

Desse aspecto histórico, pode-se dizer que com a redução do número de quartos nas residências priorizou-se os voltados para o norte devido as questões térmicas.

Em muitas residências, principalmente no interior, ainda se constrói e usa se muito os fogões a lenha. Também é possível destacar que tradicionalmente, devido ao alto consumo de churrasco na região, é bastante comum construir churrasqueiras dentro da cozinha ou áreas de festa.

O piso por não ser mais em madeira e não necessitar mais a ventilação que esse tipo de material necessitava, passou a ficar encostado do chão, agora em concreto.

Outro ponto importante a destacar é a cobertura, que atualmente se popularizou as casas com lajes aligeiradas simplesmente rebocadas pelo lado de baixo ou até mesmo com rebaixos em gesso. Acredita-se que o fator predominante nesse tipo de solução é a segurança que uma laje em concreto armado traz para uma região com histórico de fortes rajadas de vento. Atrelado a essa mudança, popularizou-se as coberturas com platibanda, onde o telhado não mais aparece na fachada e as telhas de barro são substituídas por zinco ou fibrocimento.

Atualmente, atrelado a essas questões históricas e culturais e ao surgimento de muitos materiais e soluções construtivas inovadores a construção passou por significantes mudanças, na maioria das vezes não ligadas a eficiência térmica, mas sim ao custo.

No Brasil as habitações unifamiliares são na sua maioria únicas, dificilmente encontra-se uma casa igual a outra, mas devido aos fatores históricos, legislação de construção e os materiais existentes é possível caracterizar um padrão de construção convencionalmente utilizado na maioria das casas de padrão médio. Nesse trabalho não será detalhado o solução construtiva de casas populares nem nas de padrão elevado, por fugirem muito do sistema convencional, o primeiro tipo por priorizar preço e usar produtos de qualidade muito inferior e muitas vezes sem condições de sustentar um maior investimento de eficiência térmica; e o segundo tipo por acabar priorizando o conforto e aparência sem se importar com a eficiência dos sistemas.

Assim, podemos caracterizar uma casa convencional como uma residência com 2 a 3 quartos voltados para o norte ou, na impossibilidade, para o leste, normalmente um deles sendo uma suíte e tendo outra casa de banho mais social. Uma sala com conceito aberto separada da cozinha apenas por um balcão e também uma garagem para um ou dois carros unida com a lavanderia. Garagem essa as vezes com um lavabo e uma churrasqueira para ser usada como área de lazer, quando a residência não possui os tradicionais quiosques separados da residência para uso em festividades.

No tocante aos soluções construtivas, tendo o foco a eficiência térmica, podemos esquematizar a envolvente das residências atuais e normalmente aplicáveis da seguinte forma:

a) Cobertura:

Aqui podemos destacar dois tipos de telhados que é mais convencionalmente utilizado: o telhado aparente, estruturado com madeira e telhas de barro sendo essas de inúmeros e diferentes formatos e

cores; e o telhado em platibanda, também estruturado em madeira e com telhas de zinco ou fibrocimento, com inclinações leves, próximos a 15%. Esses dois sistemas são construídos na maioria dos casos sobre laje aligeirada, que na sua parte inferior é revestida com gesso ou rebocada, quando rebocada é utilizada abobadilhas de cerâmica e quando rebaixadas em gesso é comum utilizar abobadilhas em EPS (vale destacar aqui que nesses casos esse seria o único sistema passivo de isolamento térmico na residência).



Figura 12 – Cobertura com platibanda
Fonte: (Redondo, 2021)

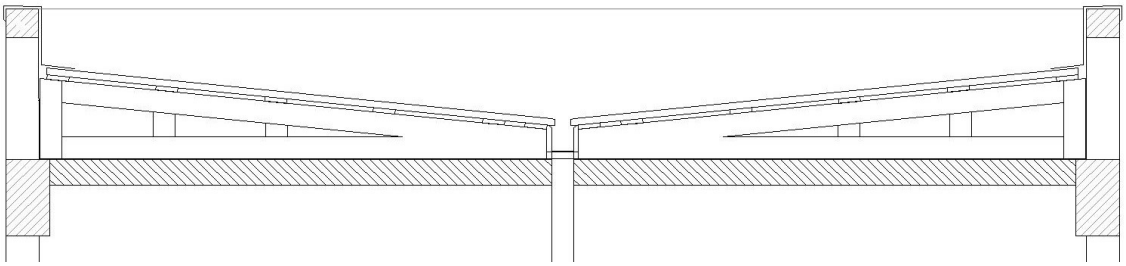


Figura 13 – Esquema de Platibanda



Figura 14 – Cobertura com telhado aparente

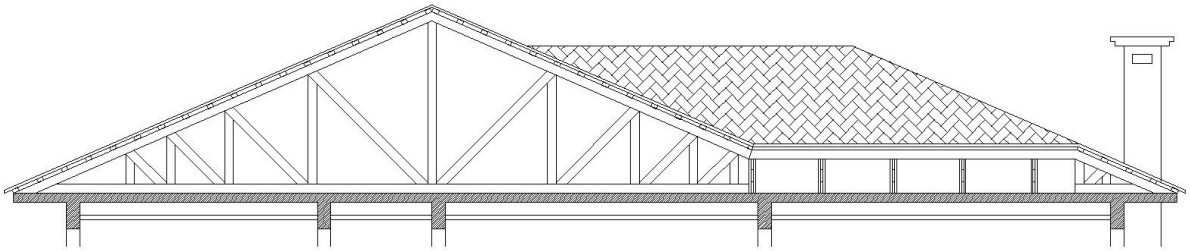


Figura 15 – Esquema de cobertura aparente

b) Fechamento da envolvente:

No quesito alvenaria o padrão normalmente usado é tijolos de barro furados com espessura de 11,5cm com acabamento em chapisco + emboço + reboco de 2,0 cm no exterior e 1,5cm no interior das paredes, totalizando 15cm de alvenaria de fechamento. Esse padrão se popularizou devido a exigências de instituições financeiras no país que determinaram espessura mínima de 15cm como requisito para aprovação do financiamento.

Porém é bastante comum a utilização de tijolos um pouco mais espessos ou até mesmo de blocos de concreto, criando alvenarias em torno de 20cm de espessura.

Internamento também é bastante comum a aplicação de massa acrílica como acabamento em substituição a camada de reboco.

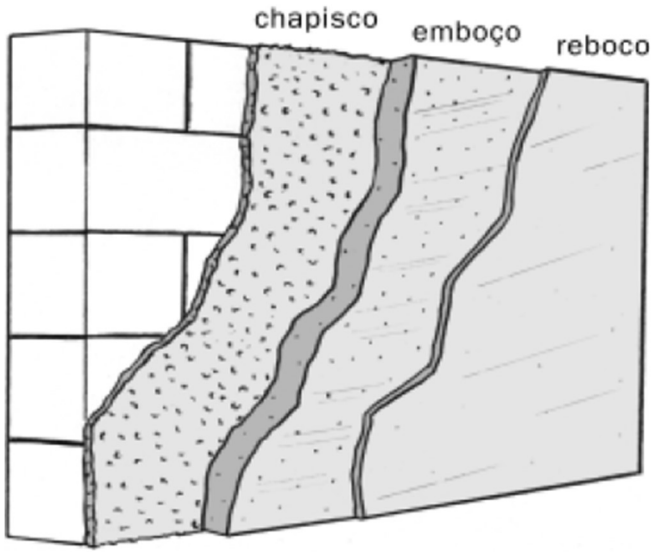


Figura 16 – Alvenaria
Fonte: (Victor, 2020)

c) Piso:

Após a execução das vigas em betão armado junto ao piso, o solo no interior dos cômodos da residência é compactado e regularizado, sem seguida recebe uma camada de brita e sobre ela é executada uma camada de cerca de 8cm de betão, em raros casos ou quando o projeto requisitar esse piso é armado.

Posterior a isso, se for necessário ainda é feito uma betonilha para regularização e então é assentado piso cerâmico ou laminado.

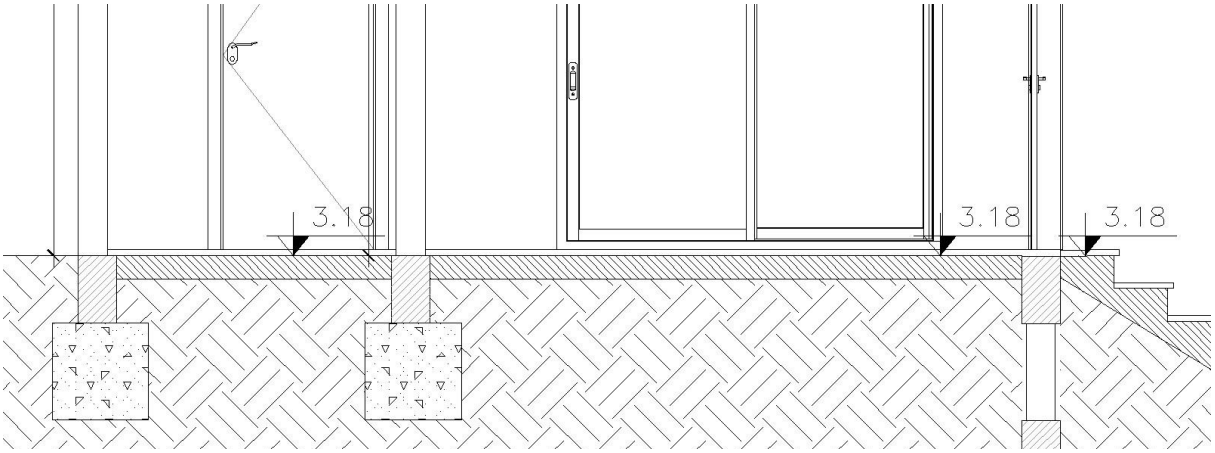


Figura 17 - Corte esquemático piso

d) Esquadrias:

As janelas das residências são geralmente de dois tipos: em alumínio, com duas folhas de correr e com ou sem estore pelo lado exterior; e as em madeira também com duas folhas de correr e persianas de abrir para fora. Ambas com vidros simples de 4 a 5mm de espessura.

As portas que ligam ao exterior são na sua maioria em madeira maciça e a pouco tempo vem se popularizando as portas em alumínio.

2.3. DOCUMENTOS REGULAMENTARES NO BRASIL

Podemos resumir todo o esforço brasileiro em avançar na eficiência térmica nos edifícios em três documentos, sendo dois deles de caráter normativo, sem força de lei, e um deles sendo um regulamento técnico que se for seguido a edificação recebera uma etiqueta indicando sua eficiência.

Como dito, as normas técnicas brasileiras não têm força de lei, mas podem eventualmente serem exigidas por alguma lei municipal, estadual ou federal, como acontece, por exemplo, com a norma ABNT NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão: a maioria dos municípios exigem que essa norma seja seguida para aprovação projetos, porém um edifício na área rural, que não necessita aprovação pela esfera municipal, fica desobrigado a seguir essa norma.

O mesmo acontece com as normas ABNT NBR 15.220 e 15.575, elas existem, mas até não serem exigidas por leis permanecem de caráter sugestivo. Assim foi criado em 2012, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais - RTQ-R, onde ele se baseia nas duas normas anteriores para criar um sistema de etiquetagem nas edificações.

2.3.1. ABNT NBR 15.220 - DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Essa norma define critérios para dimensionamento térmico dos edifícios, ela está estruturada e dividida em 5 partes, sendo as duas últimas métodos de obtenção da resistência térmica de materiais que não é objeto desse trabalho. As demais três primeiras partes serão comentadas a seguir:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades

Aqui ela apenas conceitua a maior parte dos termos, símbolos e unidades de medida para os cálculos.

- Parte 2: Métodos de cálculo da Coeficiente de Transmissão Térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações

Aqui a norma apresenta as principais fórmulas de cálculo para dimensionar eficiência térmica, como:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{e} \quad U = \frac{1}{R_T}$$

Onde:

R = Resistencia térmica;

U = Coeficiente de Transmissão Térmica;

R_T = Resistencia térmica total;

e = Espessura da camada;

λ = Condutividade térmica;

Também relaciona fórmulas para os ganhos solares de elementos opacos e translúcidos:

$$FS_o = 100.U.\alpha.R_{se}$$

$$FS_t = U.\alpha.R_{se} + \tau$$

Onde:

FS_o = Fator solar de elementos opacos em porcentagem;

U = Coeficiente de Transmissão Térmica;

α = Absortância a radiação solar;

Rse = Resistência superficial externa;

FS_t = Fator solar de elementos transparentes;

τ = Transmitância a radiação solar;

Apresenta tabelas com valores de Rse; Rsi; Rar (resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas); valores de α (absortância radiação solar), ε (emissividade), ρ (densidade), λ (condutividade térmica) e c (calor específico) para diversos materiais. Por fim mostra exemplos de cálculos.

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

Nessa etapa, a norma divide o país em 8 zonas bioclimáticas, conforme Figura 6, onde a zona 2, que é a zona predominante do estado, apresenta uma carta bioclimática e divide ela em setores para depois definir estratégias de condicionamento térmico. Na norma usou-se a estratégia de dividir o diagrama psicrométrico em fatias e então sugerir estratégias para cada uma dessas regiões do diagrama:

Tabela 1 - Estratégias de condicionamento térmico NBR 15220

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21oC e 30oC, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Fonte: (ABNT NBR 15.220, 2005)

Assim, de forma lógica para a zona 2, as recomendações são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Recomendações para Zona 2 - NBR 15220

Sombreamento	**Permitir sol durante o inverno**
Ventilação	Média (15 a 25% da área do piso)
	Paredes leves

Envolvente	U ≤ 3,00 W/m².K	φ ≤ 4,3 Horas	FSo ≤ 5,0 %
	Cobertura leve e isolada		
	U ≤ 2,00 W/m².K	φ ≤ 3,3 Horas	FSo ≤ 6,5 %
Estratégia Condicionamento	No verão: Permitir ventilação cruzada		
	No inverno: vedações com bastante inércia térmica		
Coloca uma observação sobre o condicionamento passivo ser insuficiente nos dias mais frio do inverno.			

Fonte: (ABNT NBR 15.220, 2005)

Sobre a carta bioclimática, Figura 18, segundo a (ABNT NBR 15.220, 2005) "foram registrados e classificados os climas de cada ponto do território brasileiro. Para cada mês do ano, os dados mensais de temperatura e umidade do ar foram representados por uma reta."

Dessa forma podemos concluir que conforme as recomendações dessa norma uma parede leve em tijolos furados de barro de 14cm de espessura emboçada em ambos os lados (U = 2,48 W/m².K) e uma cobertura em telhas de barro e forro de madeira (U = 2 W/m².K) seriam suficientes para garantir o conforto térmico da edificação. Vale ressaltar aqui que a parte 3 da NBR 15220 é direcionada para habitações unifamiliares de interesse social, ou seja, habitações de baixo custo e baixo padrão de acabamento.

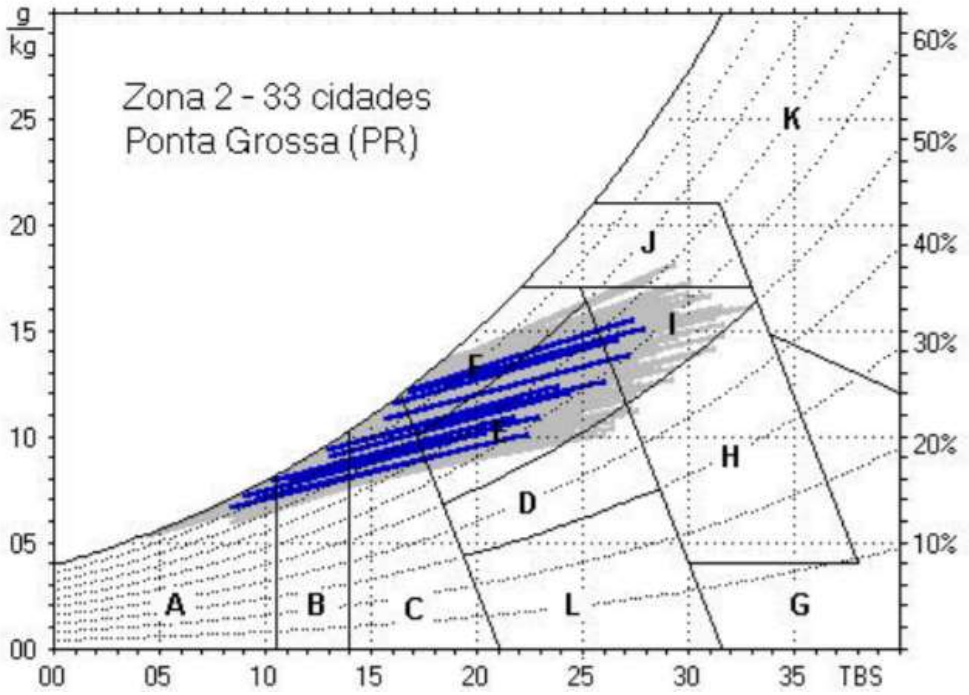


Figura 18 - Carta bioclimática zona 2
Fonte: (ABNT NBR 15.220, 2005)

2.3.2. ABNT NBR 15.575 – EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS - DESEMPENHO

Essa norma foi criada para garantir o desempenho mínimo dos sistemas que compõem as edificações para atender os requisitos dos usuários. Ela também foi dividida e se estrutura em 6 partes. Sendo as principais que definem regras para o desempenho térmico: a parte 1: onde coloca definições globais sobre o desempenho térmico das edificações; a parte 4: coloca critérios mínimos para as paredes; e a parte 5: onde define critérios mínimos para as coberturas.

Na primeira etapa, simplesmente coloca alguns critérios mínimos para aceitação de desempenho de uma edificação no verão, onde a temperatura interna apenas não poderia ser maior que a externa e para o inverno, onde a temperatura interna deveria estar com no mínimo 3 ºC mais quente que a externa.

Tabela 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico NBR 15.575

Desempenho no Verão	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx}$
Desempenho no Inverno	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3\ °C)$

Fonte: (ABNT NBR 15.575, 2013)

Onde:

$T_{i,máx}$ = Temperatura interna máxima

$T_{e,máx}$ = Temperatura externa máxima

Na quarta etapa a norma verifica os níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas. Vale destacar aqui que a norma não coloca importancia a absortância à radiação solar para as zonas bioclimáticas 1 e 2, conforme os requesitos apresentados na Figura 19.

Transmitância térmica U $W/m^2.K$		
Zonas 1 e 2	**Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8**	
$U \leq 2,5$	α [a] $\leq 0,6$	α [a] $> 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
[a] α é absortância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Figura 19 - Requisitos mínimos para desempenho de vedações externas.
Fonte: (ABNT NBR 15.575, 2013)

No tocante a capacidade térmica das paredes, também exige um valor mínimo de 130 kJ/m².K, para garantir um mínimo de inércia térmica da parede em todas as zonas, com exceção da zona 8, que não tem essa exigibilidade.

Sobre a ventilação dos espaços internos de longa permanência, como em salas e quartos temos a porcentagem mínima de abertura efetiva apresentados na Figura 20.

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	A ≥ 7 % da área de piso	A ≥ 12 % da área de piso – região norte do Brasil A ≥ 8 % da área de piso – região nordeste e sudeste do Brasil
NOTA Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Figura 20 - Requisitos mínimos de Ventilação
Fonte: (ABNT NBR 15.575, 2013)

E por fim, temos um requisito para a cobertura, Figura 21, onde da mesma forma que foi feito para as vedações externas, não foram colocados critérios para as duas primeiras zonas bioclimáticas sobre a absortância à radiação. Vale notar que o "U" adotado como critério de 2,30 W/m².K, nessa norma de desempenho, é maior que os 2,00 W/m².K que foi exigidos para as habitações de interesse social, quando poderia ser menor.

Transmitância térmica (U) W/m²K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FT	U ≤ 1,5 FT
α é absortância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA O fator de correção da transmitância (FT) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3.				

Figura 21 - Requisitos mínimos para coberturas
Fonte: (ABNT NBR 15.575, 2013)

Também, fica de conhecimento que as normas brasileiras não têm requisitos mínimos para o piso, mas o mesmo pode ser usado para simular todo o conjunto habitacional, para o caso das exigências de vedação e cobertura não alcançar o mínimo desejável.

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

É um regulamento, criado em 2012, que relaciona uma metodologia para classificar os edifícios de "A" a "E", sendo "A" os mais eficientes e "E" os menos eficientes.

Segundo (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia-INMETRO, 2012) adaptado, "*O presente documento especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética. Visando criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares.*"

Na prática, parte utilizando os requisitos já elencados nas duas normas anteriores e cria conceito de graus dias e outros para posteriormente etiquetar as edificações com base no respectivo regulamento, agregando valor ao imóvel.

Leva em consideração no cálculo a região, o desempenho térmico na envoltória, o sistema de aquecimento de água e bonificações:

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações$$

Onde:

PT_{UH}: pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma;

a: coeficiente adotado de acordo com a região geográfica;

EqNumEnv: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória;

EqNumAA: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;

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

2.4. DOCUMENTOS REGULAMENTARES EM PORTUGAL

Em 2013, em Portugal, foi aprovado o Decreto de Lei nº 118/2013 na qual aprovava o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) para assegurar e promover melhorias de desempenho energético nos edifícios. Assim quem adquire, alugar, arrenda um edifício passa a ser obrigatório ter a informação da qualidade térmica desse "produto" podendo escolher o melhor custo-benefício para si.

Logo, a edificação fica classificada em função da razão entre as necessidades nominais anuais de energia primária e o valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária, e esse resultado classifica a edificação entre "A" e "F".

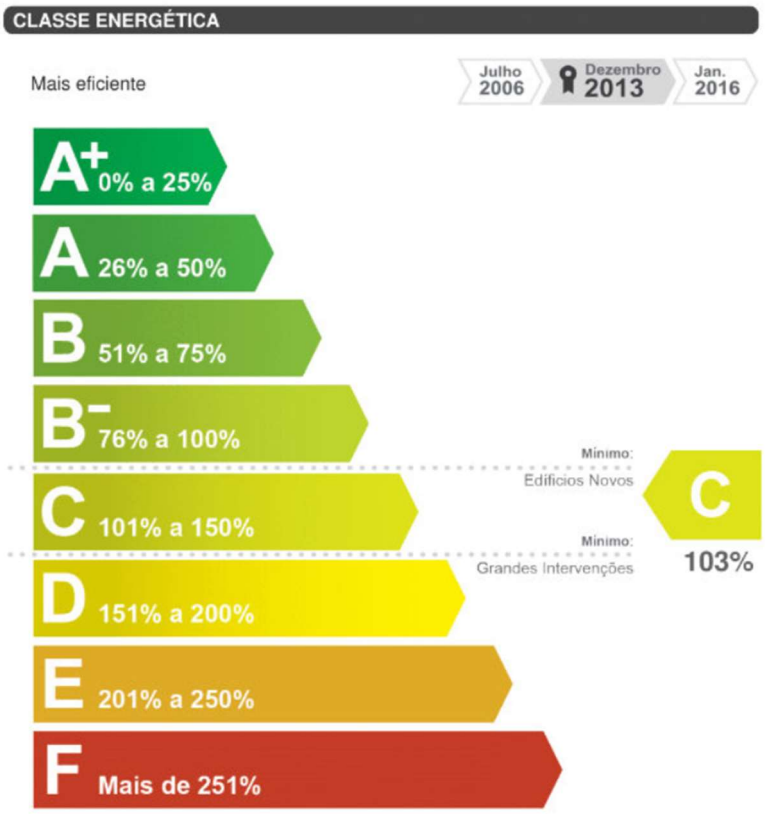


Figura 22 - Classificação Energética
Fonte: (SCE - Certificação Energétca dos Edifícios, 2021)

E para obtenção dessa classificação surgiram diversos decretos de leis e despachos para regulamentar o sistema de classificação, dentre elas podemos citar:

- Decreto de Lei 118/2013 – SCE/REH/RECS;
- Despacho 15793F;
- Despacho 15793I;
- Despacho 15793K;
- Portaria 349.

Essas normas criam um sistema de cálculo para verificar se a edificação cumpre os requisitos energéticos que podem ser organizados conforme a Figura 23 para a estação de inverno e conforme a Figura 24 para a estação de verão, onde as necessidades energéticas da edificação precisam ser menores do que as de referência. Dentre os principais dados climáticos do local necessários para obter a classificação, temos:

- NA ESTAÇÃO DE INVERNO

  Graus-dias – Vai mudar conforme a região climática, é basicamente o somatório das diferenças positivas entre uma temperatura base, atualmente em 18ºC, e a temperatura média diária do ar exterior. Expresso em ºC;

  M – Duração do inverno, em meses;

Gsul – Energia solar média mensal recebida numa superfície a sul, expressa em kWh/m².mês. (OBS: Devido a diferença equatoriana entre Portugal e Brasil, nesse trabalho o Gsul será considerado como "Gnorte");

Θext,i – Temperatura exterior média do mês mais frio, em ºC.

- NA ESTAÇÃO DE VERÃO

Lv – Duração da estação de verão, em horas;

Θext,v – Temperatura exterior média de toda a estação, em ºC;

Isol – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0º) e em superfícies verticais (inclinação 90º) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, em kWh/m².

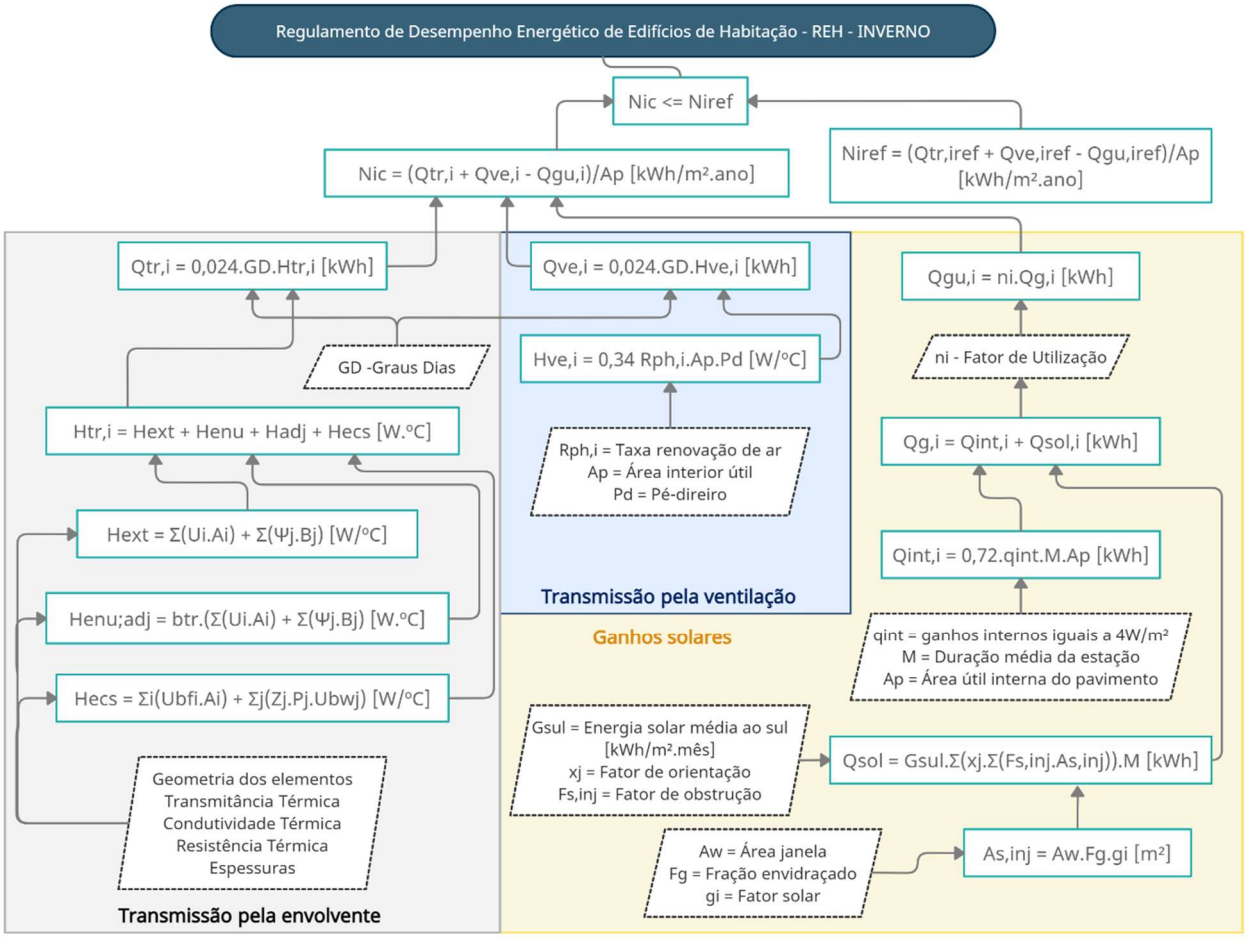


Figura 23 – Formulas Regulamentares para o inverno – REH Portugal

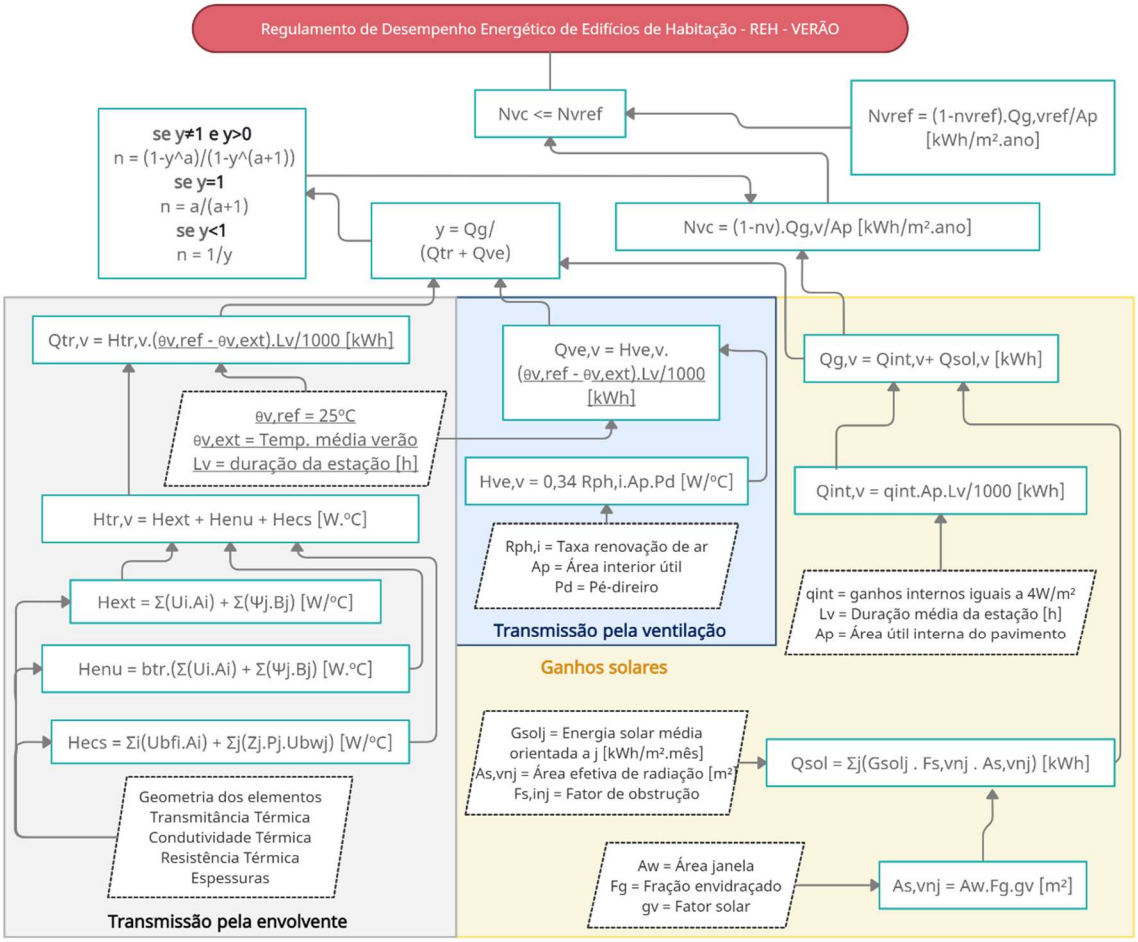


Figura 24 - Formulas Regulamentares para o verão – REH Portugal

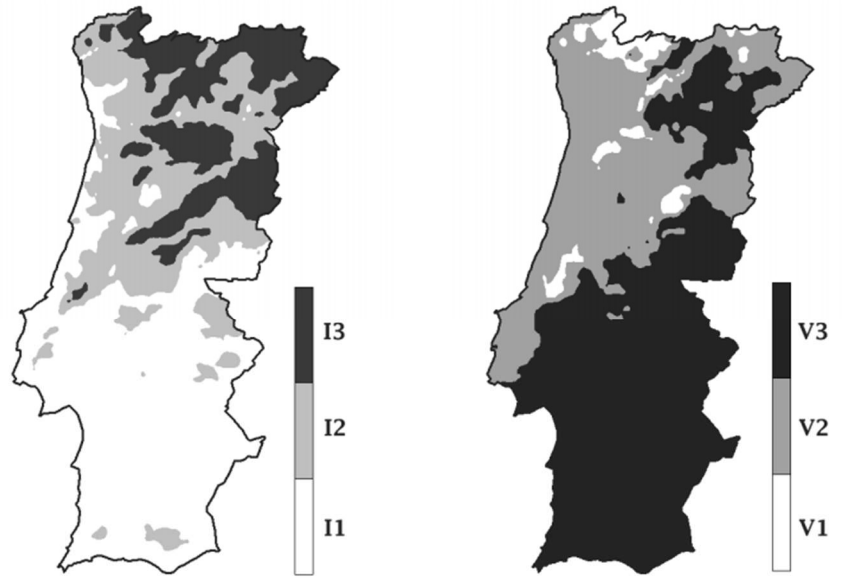


Fig. 01.01 - Zonas climáticas de inverno no continente

Fig. 01.02 - Zonas climáticas de verão no continente

Figura 25 - Zonas climáticas Portugal
Fonte: (Diário da República - Despacho n.º 15793-F, 2013)

Portugal divide seu território em três zonas climáticas para inverno e verão, Figura 25, e cria um sistema de dados climáticos para elas, assim coloca um limite para os coeficientes de transmissão térmica, tendo esses como referência.

Outro diferencial da legislação portuguesa, é que além dos coeficientes de transmissão térmica de referência para comparar com os coeficientes obtidos em projeto, tem-se os valores máximos que podem ser obtidos onde nenhum elemento da zona corrente da envolvente do edifício, onde se incluem elementos construtivos do tipo paredes, pavimentos ou coberturas, poderá ter um coeficiente de transmissão térmica superior aos valores máximos.

U_{ref} [W/(m^2.ºC)]		Zona Climática					
Portugal Continental							
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas b_{tr}>0.7	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,40	0,35	0,30
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,35	0,30	0,25
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas b_{tr}≤0.7	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,70	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Figura 26 - Portugal: Coeficientes de Transmissão Térmica superficial de Referência
Fonte: (Diário da República - Portaria n.º 349-B, 2013)

Tipo de ligação	ψ_{ref} [W/(m.ºC)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio(1) Fachada com varanda(1)	0,50
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,40
Fachada com caixilharia Zona da caixa de estore	0,20

Figura 27 - Portugal: Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência
Fonte: (Diário da República - Portaria n.º 349-B, 2013)

Esses valores máximos também auxiliam a evitar patologias na construção, pois a Portaria n.º 349-B, 2013 descreve que o Coeficiente de transmissão em regiões de ponte térmica (Uptp) não podem ser maiores que duas vezes o coeficiente corrente (Ucor), ou ainda que não seja maior que o coeficiente máximo (Umáx).

$$Uptp \leq 2 \times Ucor$$

$$Uptp \leq Umáx$$

$U_{máx}$ [W/(m².ºC)]		Zona climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 31 de dezembro 2015		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas b_{tr}>0.7	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20
Regiões Autónomas				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 31 de dezembro 2015		
		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas b_{tr}>0.7	Elementos opacos verticais	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,45	0,40	0,35
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20

Figura 28 - Portugal: Coeficientes de transmissão térmica máximos
Fonte: (Diário da República. Portaria n.º 379-A, 2015)

3

CENÁRIOS A ESTUDAR

3.1. DEFINIÇÃO DE MODELOS DE HABITAÇÃO

Para o estudo e realização das simulações foram elaborados dois projetos de unidades habitacionais, tentando chegar em uma planta baixa o mais próximo possível da construção convencional e corrente da região. Ambas de padrão normal de acabamentos e construção, ou seja, não tendo características de habitações sociais nem de habitações de alto padrão, a ideia aqui é caracterizar uma moradia tipo para estudo, para que os resultados do estudo possam se encaixar o melhor possível no maior número de construções.

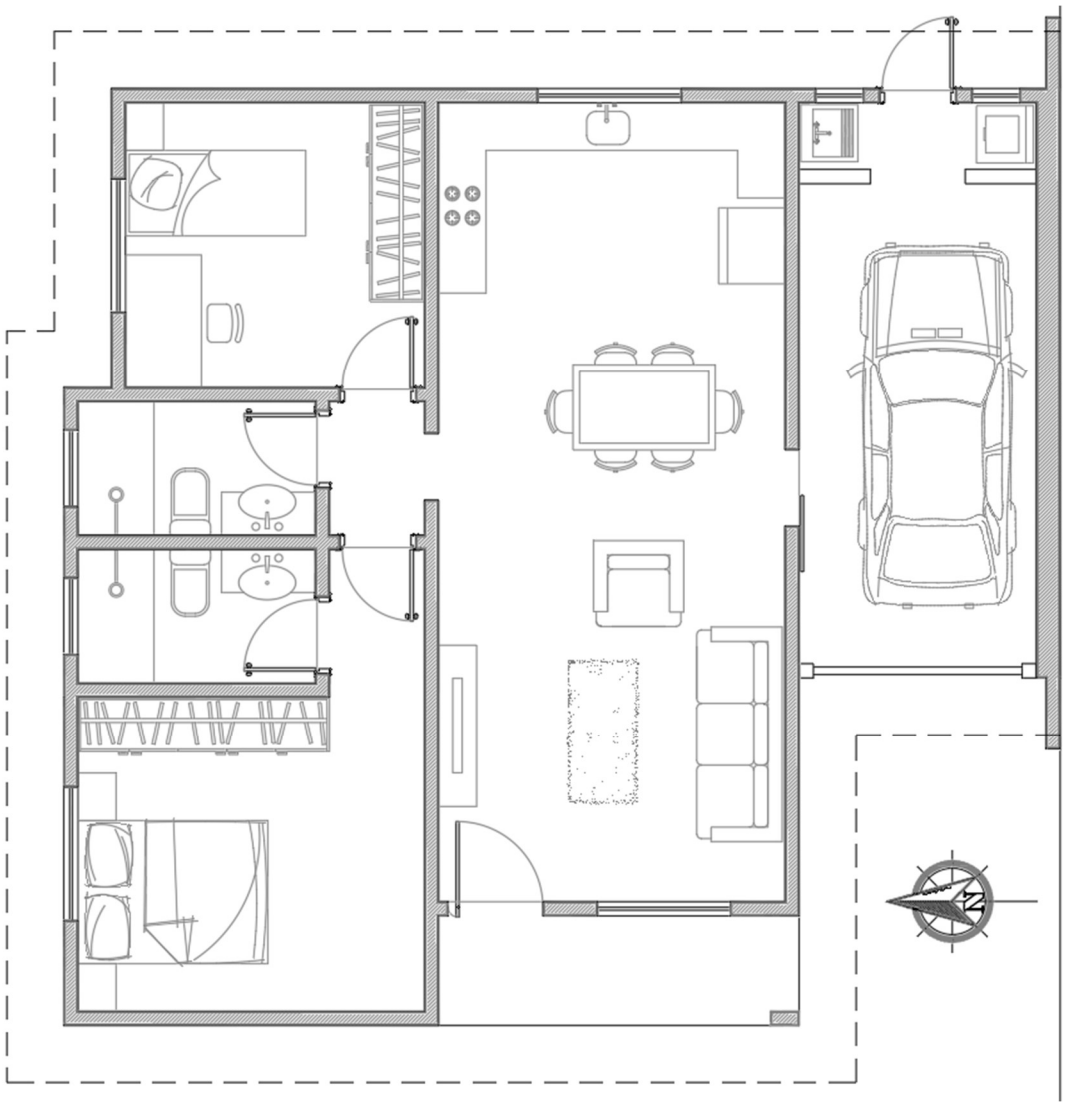


Figura 29 - Planta Baixa: Habitação corrente unifamiliar

A Figura 29 representa uma habitação unifamiliar bem típica, com 91,82m² de área construída, sendo 62,83m² de área útil de cálculo, distribuída em um espaço aberto com um conjunto de sala e cozinha, uma garagem para um veículo com um pequeno espaço de serviço, um casa de banho social e dois quartos, sendo um deles uma suíte, além de uma pequena área coberta junto a entrada principal.

Essa é uma típica casa de dois quartos da região sul do Brasil, com seus quartos normalmente direcionados para o Norte ou Leste, paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos de 4 a 6 furos, rebocadas em ambos os lados com espessura final de 15cm, esquadrias com vidro simples de 4 a 6mm em madeira ou alumínio, forro em laje aligeirada, rebocada ou com gesso e sobre a mesma uma cobertura que normalmente é feita em telhas de barro ou em aluzinco quando feita em sistema de platibanda.

Na Figura 30, tem-se uma residência multifamiliar para realizar as simulações, aqui é mais complicado definir um layout corrente, pois as habitações multifamiliares têm, de forma geral, muito mais possibilidades de layout que as habitações unifamiliares, nesse exemplo é um apartamento T2 em um edifício que possui quatro fogos por andar, sendo o lado sul em contato com apartamento do mesmo edifício, o lado oeste em contato com caixa de escada, e ainda estando entre de dois outros apartamentos na vertical.

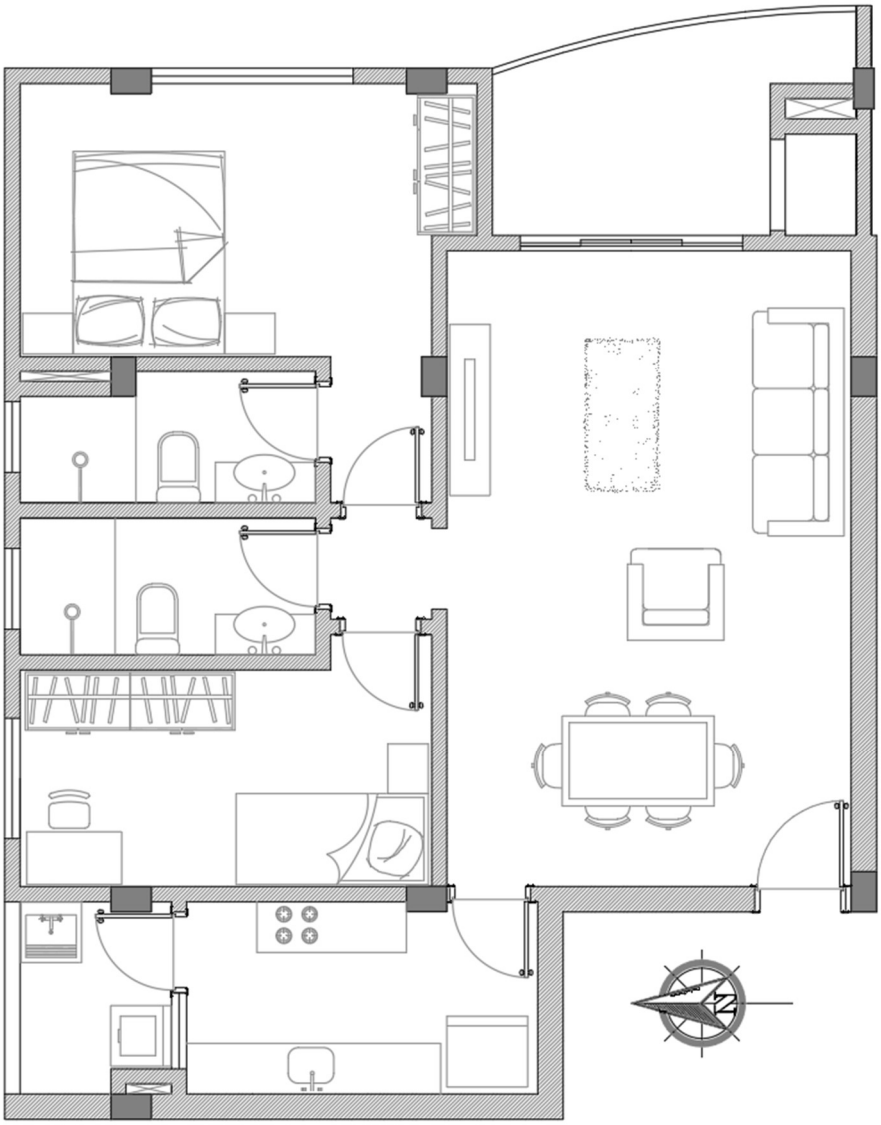


Figura 30 - Planta Baixa: Habitação corrente multifamiliar

Semelhante a edificação unifamiliar, tem área construída privativa de 82,57m², sendo 65,02m² de área útil de cálculo, possui dois quartos, sendo um deles uma suíte, um casa de banho social, cozinha com uma separação que é usada como área de serviço, conjunto de sala de estar e jantar e uma sacada com churrasqueira. Os quartos são voltados para o norte e possui divisa ao sul com outro fogo, e ao oeste com área de uso comum e caixa de escada.

3.2. Escolha de localizações e respetiva caracterização climática

Para o estudo foi selecionado as três zonas bioclimáticas predominantes no sul do país, e, portanto, as mais frias do país, sendo elas a zona 1, 2 e 3. Envolvidas nessas zonas, será definido quatro cidades para o estudo, cada uma com seus dados climáticos próprios, sendo uma cidade de cada zona climática e uma cidade da região da serra gaúcha onde acontecem as menores temperaturas do país.

As informações foram retiradas de fontes de dados no (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2021) dentro do período em que os dados foram encontrados de 2001 a 2020 e feito a média entre os valores anuais desse intervalo. Assim cada cidade tem suas temperaturas com base na média aritmética entre os meses definidos de inverno e de verão.

Num primeiro momento pensou-se em definir um valor padrão de 5 meses para a estação de inverno e também de 5 meses para o verão para todas as cidades, porém algumas cidades tem características bastante singulares a cidades de Portugal: Na zona bioclimática 1 (São José dos Ausentes e Curitiba), por exemplo, a temperatura média nos meses de verão não ultrapassam os 17ºC, o que no cálculo da energia útil de referência necessário para arrefecimento faz com que de um valor negativo, ou seja, não necessitaria de consumo de energia para arrefecer a edificação nessa cidade. O mesmo ocorre para a estação de aquecimento na cidade de Porto Alegre, os valores de referência ficam negativos.

Então convencionou-se um critério de temperatura com base na temperatura média mensal de cada cidade, conforme Tabela 4. Para a estação de verão, considerou-se os meses com temperatura acima dos 22,5ºC, ficando assim com 4 meses de arrefecimento para as zonas bioclimáticas 2 e 3, sendo eles de dezembro a março, e sem estação de arrefecimento para a zona bioclimática 1.

Tabela 4 - Temperaturas médias mensais: Definição da duração da estação

	SÃO JOSÉ DOS AUSENTES	CURITIBA	SANTA ROSA	PORTO ALEGRE
JANEIRO	16,09 ºC	17,92 ºC	24,19 ºC	24,35 ºC
FEVEREIRO	16,87 ºC	18,39 ºC	24,59 ºC	24,26 ºC
MARÇO	15,42 ºC	17,85 ºC	22,56 ºC	22,82 ºC
ABRIL	14,26 ºC	16,15 ºC	18,75 ºC	20,03 ºC
MAIO	11,49 ºC	13,76 ºC	14,26 ºC	15,64 ºC
JUNHO	9,78 ºC	13,17 ºC	11,39 ºC	14,16 ºC
JULHO	9,86 ºC	13,01 ºC	12,68 ºC	13,87 ºC
AGOSTO	11,13 ºC	13,47 ºC	14,32 ºC	15,63 ºC
SETEMBRO	12,07 ºC	14,61 ºC	15,33 ºC	16,77 ºC
OUTUBRO	12,58 ºC	16,89 ºC	18,31 ºC	19,24 ºC
NOVEMBRO	13,92 ºC	17,98 ºC	20,09 ºC	21,04 ºC
DEZEMBRO	15,88 ºC	19,08 ºC	23,16 ºC	22,84 ºC

Critério que se justifica devido ao facto de a média mensal de temperatura não ultrapassar a temperatura de conforto térmico de 25ºC definido para o verão. Mesmo olhando para a média anual da temperatura máxima na cidade de Curitiba ela fica em 25,05ºC, logo não há necessidade de arrefecer a edificação nessa zona bioclimática.

Da mesma forma foi definido o limite de 15,5ºC para definir o período da estação de aquecimento. Assim na zona bioclimática 3, fica 2 meses de inverno, nos meses de junho e julho, e de 5 meses para a zona bioclimática 2 e 3, definidos entre os meses de maio a setembro. Vale notar aqui, que para não padronizar a estação por cidades e sim pelas zonas bioclimáticas, mesmo na cidade de São José dos Ausentes, será considerado o mesmo período de 5 meses.

Já com os dados de Radiação solar, necessários para o cálculo do aquecimento interno das residências devido a radiação, os dados da Radiação Global foram obtidos também do banco de dados do INMET e a radiação inclinada foi calculada usando um Software livre acadêmico chamado de "Radiasol 2" desenvolvido (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021), onde ele calcula o valor da radiação inclinada para cada azimute e ângulo de inclinação necessário.

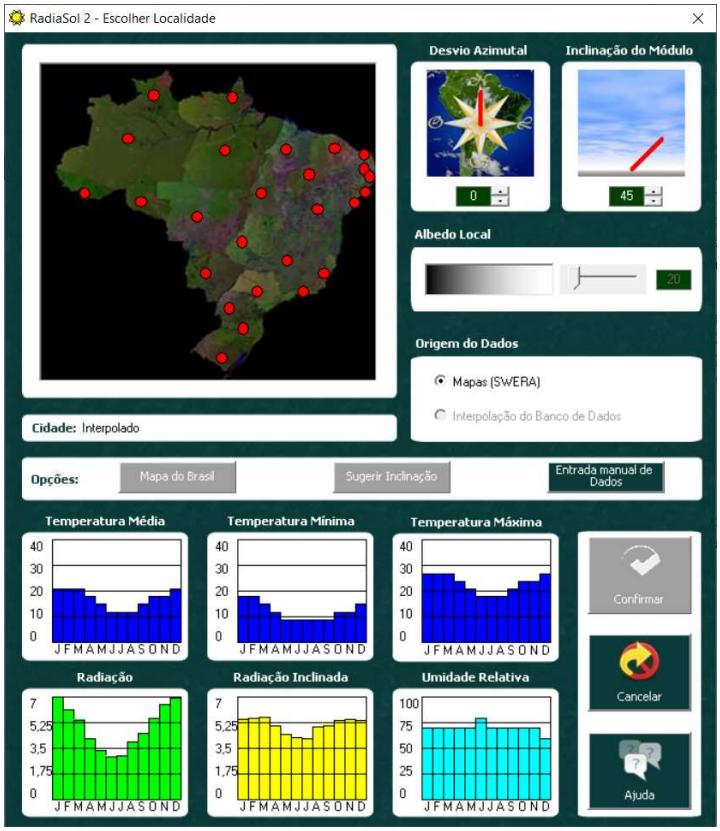


Figura 31 - Software RadiaSol 2
Fonte: (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021)

Assim foi atribuído os valores de 0º para Norte, 90º para o Leste, -90º para o Oeste e 180º para o Sul; e para a inclinação foi colocado sempre o valor de 90º considerando os ângulos das alvenarias da residência em estudo. Logo foi obtido o valor da radiação inclinada que consiste na soma dos valores da radiação direta e difusa, conforme segue para as seguintes cidades:

- **Curitiba/PR**, representando a zona bioclimática 1, sendo a cidade a capital do estado do Paraná;

Tabela 5 - Média de dados climáticos de Curitiba/PR no período de 2005 a 2020

CURITIBA/PR	**INVERNO**	**VERÃO**
Período 2005-2020	MAIO-SETEMBRO	-
TEMPERATURA MÉDIA [ºC]	13,60	-
TEMPERATURA MÁXIMA [ºC]	22,58	-
TEMPERATURA MÍNIMA [ºC]	6,06	-
GRAUS-DIA [<15ºC E >26ºC]	224,26	-
GRAUS-HORA [<15ºC E >26ºC]	401,00	-
RADIAÇÃO GLOBAL [KWH/M²]	517,00	-
FACE NORTE I=90º [KWH/M²]	489,60	-
FACE LESTE I=90º [KWH/M²]	293,40	-
FACE OESTE I=90º [KWH/M²]	294,30	-
FACE SUL I=90º [KWH/M²]	151,50	-

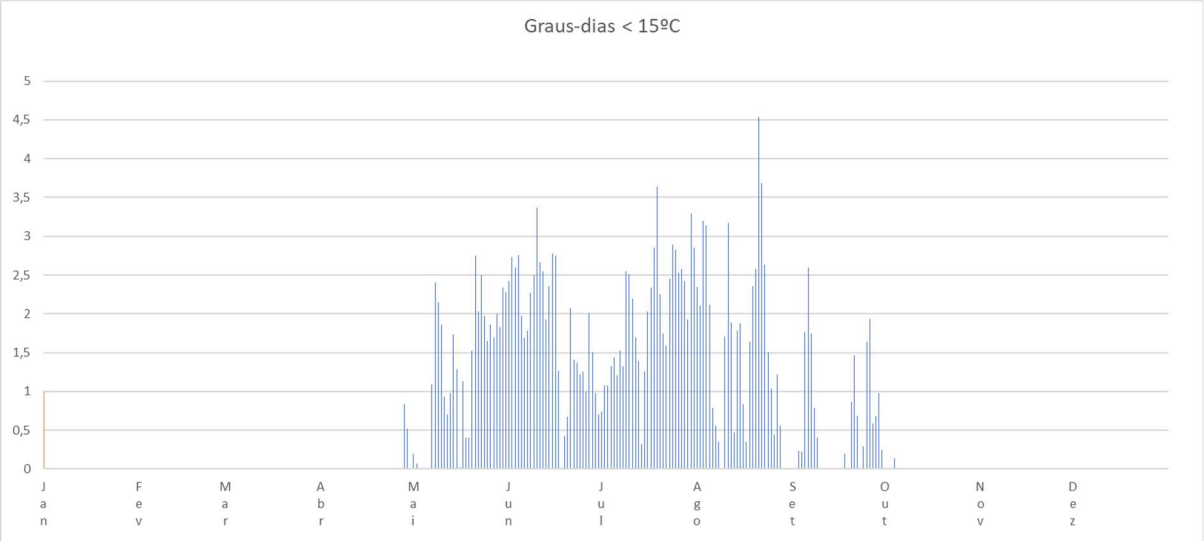


Figura 32 - Acumulado Graus-dia Curitiba/PR

- **São Jose dos Ausentes/RS**, representando a zona bioclimática 1, sendo uma das cidades mais fria do Brasil, devido a elevada altitude em relação ao nível do mar;

Tabela 6 - Média de dados climáticos de São José dos Ausentes/RS no período de 2008 a 2020

SÃO JOSÉ DOS AUSENTES/RS	**INVERNO**	**VERÃO**
Período 2008-2020	MAIO-SETEMBRO	-
TEMPERATURA MÉDIA [ºC]	10,87	-
TEMPERATURA MÁXIMA [ºC]	19,63	-
TEMPERATURA MÍNIMA [ºC]	4,65	-

GRAUS-DIA [<15ºC E >26ºC]	782,15	-
GRAUS-HORA [<15ºC E >26ºC]	892,03	-
RADIAÇÃO GLOBAL [KWH/M²]	530,13	-
FACE NORTE I=90º [KWH/M²]	496,50	-
FACE LESTE I=90º [KWH/M²]	274,50	-
FACE OESTE I=90º [KWH/M²]	288,00	-
FACE SUL I=90º [KWH/M²]	136,20	-

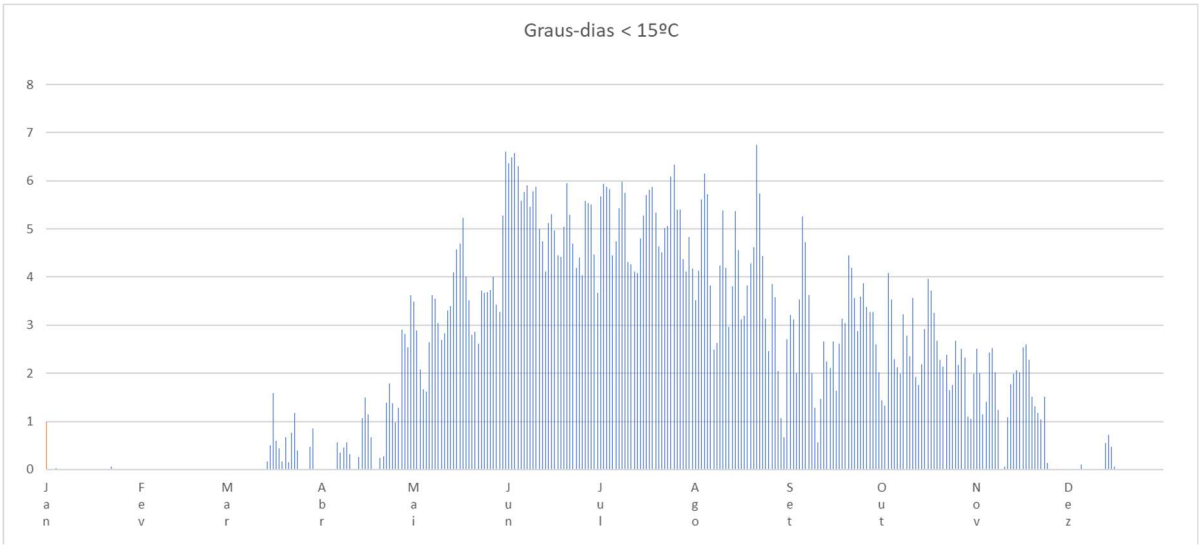


Figura 33 - Acumulado Graus-dia São José dos Ausentes/RS

• **Santa Rosa/RS**, representando a zona bioclimática 2, cidade da região noroeste do estado o Rio Grande do Sul, e;

Tabela 7 - Média de dados climáticos de Santa Rosa/RS no período de 2007 a 2020

SANTA ROSA/RS Período 2007-2020	**INVERNO** MAIO-SETEMBRO	**VERÃO** DEZEMBRO-MARÇO
TEMPERATURA MÉDIA [ºC]	13,60	23,60
TEMPERATURA MÁXIMA [ºC]	24,10	31,90
TEMPERATURA MÍNIMA [ºC]	5,96	13,90
GRAUS-DIA [<15ºC E >26ºC]	255,70	0,05
GRAUS-HORA [<15ºC E >26ºC]	392,26	106,13
RADIAÇÃO GLOBAL [KWH/M²]	506,42	722,28
FACE NORTE I=90º [KWH/M²]	505,50	277,50
FACE LESTE I=90º [KWH/M²]	292,20	396,90
FACE OESTE I=90º [KWH/M²]	288,00	400,50
FACE SUL I=90º [KWH/M²]	151,20	226,20

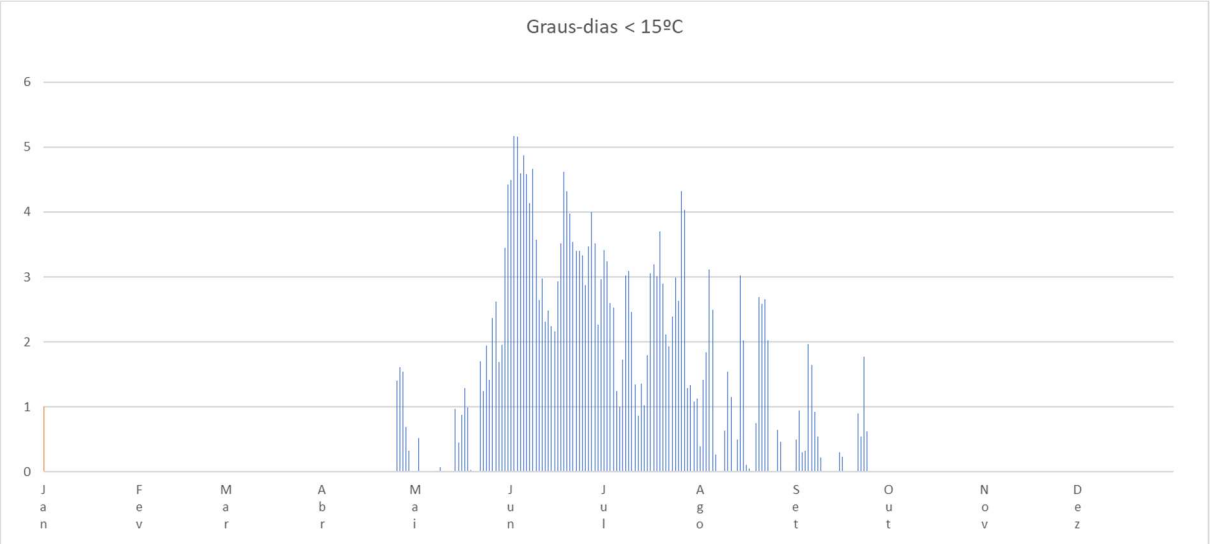


Figura 34 - Acumulado Graus-dia Santa Rosa/RS

• **Porto Alegre/RS**, representando a zona bioclimática 3, sendo a capital do estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 8 - Média de dados climáticos de Porto Alegre/RS no período de 2001 a 2020

PORTO ALEGRE/RS Período 2001-2020	**INVERNO** JUNHO-JUNHO	**VERÃO** DEZEMBRO-MARÇO
TEMPERATURA MÉDIA [ºC]	14,01	23,55
TEMPERATURA MÁXIMA [ºC]	20,15	31,07
TEMPERATURA MÍNIMA [ºC]	8,65	16,89
GRAUS-DIA [<15ºC E >26ºC]	72,37	0,00
GRAUS-HORA [<15ºC E >26ºC]	156,59	52,49
RADIAÇÃO GLOBAL [KWH/M²]	139,90	699,32
FACE NORTE I=90º [KWH/M²]	205,20	294,00
FACE LESTE I=90º [KWH/M²]	93,90	385,20
FACE OESTE I=90º [KWH/M²]	97,50	382,20
FACE SUL I=90º [KWH/M²]	48,30	219,90

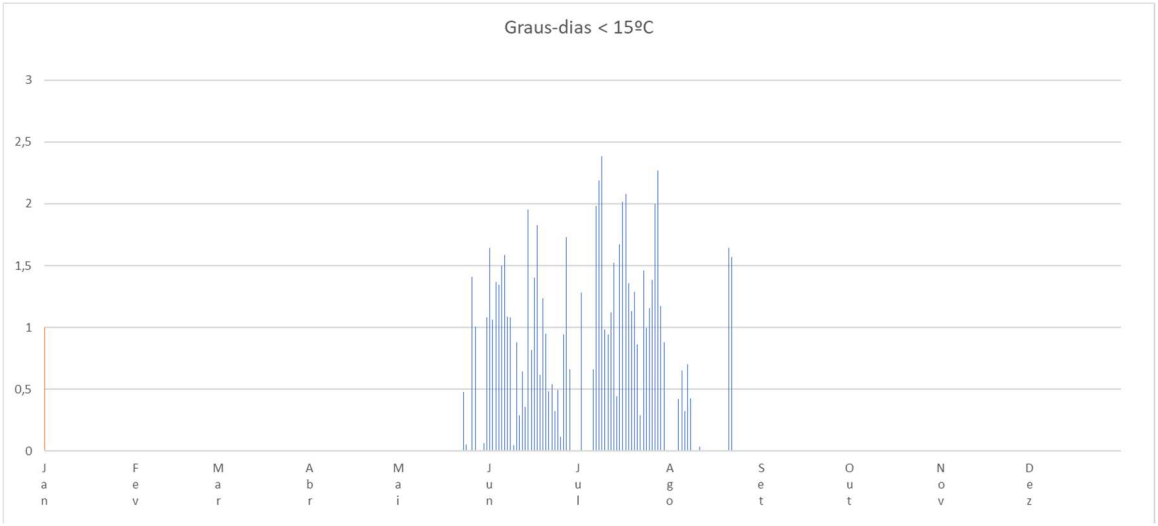


Figura 35 - Acumulado Graus-dia Porto Alegre/RS

3.3. DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO A AVALIAR

Para as simulações foram definidos alguns soluções construtivas correntes da região e algumas soluções com isolamento praticadas na Europa. Para cada sistema foi calculado o valor da Coeficiente de Transmissão Térmica, valor que será utilizado para comparar com as demais nas simulações. Além disso será definido um preço para cada sistema e seu respectivo impacto no conforto e eficiência térmica.

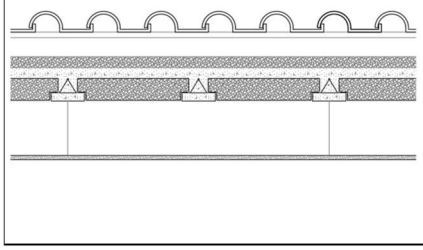
3.3.1. COBERTURA

Aqui foram selecionadas algumas soluções construtivas referentes a cobertura, sendo as sem isolamento adicional algumas as mais típicas da região, as com uso de abobadilha de EPS e gesso suspenso fixados na vigotas pré-fabricadas, e apenas substituindo o gesso por reboco sob a laje e alterando a abobadilha para cerâmica.

Algumas soluções foram apenas aumentando o grau de isolamento apenas acrescentando uma camada a mais de EPS junto a cobertura, como é praticado em países da Europa.

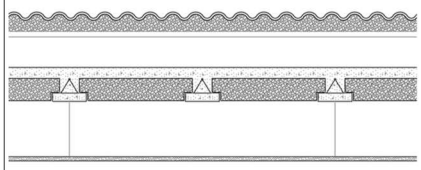
Tabela 9 - Soluções de Cobertura - Coeficiente de Transmissão Térmica

Cobertura01



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	0,341
2	Telha cerâmica	0,010	0,90	0,011	
3	Camada de ar	0,10-1,00	0,03	0,140	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,040	0,04	1,000	
5	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha de EPS	0,080	0,04	2,000	
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
6	Laje Aligeirada	0,080		1,442	
7	Camada de ar	0,300	0,03	0,140	
8	Gesso	0,010	0,30	0,033	
9	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,480**		**2,931**	

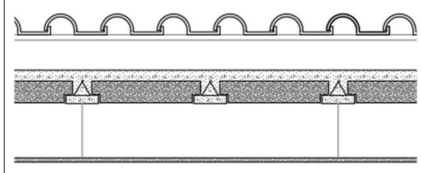
Cobertura02



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Telha fibrocimento	0,006	0,95	0,006	
3	Isolante Térmico (EPS)	0,040	0,04	1,000	
4	Camada de ar	0,10-1,00	0,03	0,140	
5	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha de EPS	0,080	0,04	2,000	0,342
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
6	Laje Aligeirada	0,080		1,442	
7	Camada de ar	0,300	0,03	0,140	
8	Gesso	0,010	0,30	0,033	
9	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,476**		**2,926**	

Fluxo de Calor - Q

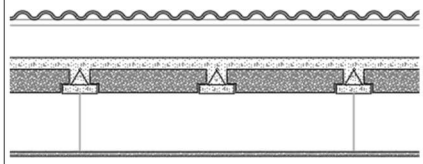
Cobertura03



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Telha cerâmica	0,010	0,90	0,011	
3	Camada de ar	0,10-1,00	0,03	0,140	
4	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha de EPS	0,080	0,04	2,000	
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	0,518
5	Laje Aligeirada	0,080		1,442	
6	Camada de ar	0,300	0,03	0,140	
7	Gesso	0,010	0,30	0,033	
8	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,440**		**1,931**	

Fluxo de Calor - Q

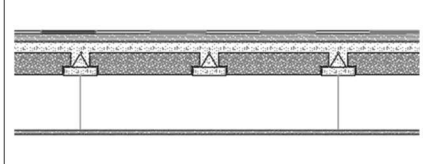
Cobertura04



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Telha fibrocimento	0,006	0,95	0,006	
3	Camada de ar	0,10-1,00	0,03	0,140	
4	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha de EPS	0,080	0,04	2,000	
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	0,519
5	Laje Aligeirada	0,080		1,442	
6	Camada de ar	0,300	0,03	0,140	
7	Gesso	0,010	0,30	0,033	
8	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,436**		**1,926**	

Fluxo de Calor - Q

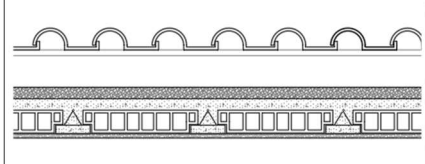
Cobertura05



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Impermeabilizante	0,006	0,23	0,026	
3	Argamassa regularização	0,040	1,15	0,035	
4	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha de EPS	0,080	0,04	2,000	
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	0,543
5	Laje Aligeirada	0,080		1,442	
6	Camada de ar	0,300	0,03	0,140	
7	Gesso	0,010	0,30	0,033	
8	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,476**		**1,841**	

Fluxo de Calor - Q

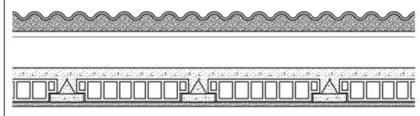
Cobertura06



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Telha cerâmica	0,010	0,90	0,011	
3	Camada de ar	0,10-1,00	0,03	0,140	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,040	0,04	1,000	
5	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha (cerâmica)	0,080	0,90	0,089	
	Abobadilha (cerâmica + ar)	0,080	0,90	0,178	0,685
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
6	Laje Aligeirada	0,080		0,126	
7	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
8	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,190**		**1,459**	

Fluxo de Calor - Q

Cobertura07



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Telha fibrocimento	0,006	0,95	0,006	
3	Isolante Térmico (EPS)	0,040	0,04	1,000	
4	Camada de ar	0,10-1,00	0,03	0,140	
5	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha (cerâmica)	0,080	0,90	0,089	0,688
	Abobadilha (cerâmica + ar)	0,080	0,90	0,178	
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
6	Laje Aligeirada	0,080		0,126	
7	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
8	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,186**		**1,454**	

Fluxo de Calor - Q

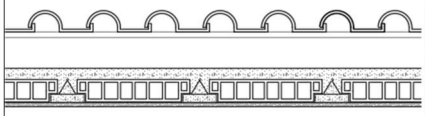
Cobertura08



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Impermeabilizante	0,006	0,23	0,026	
3	Argamassa regularização	0,040	1,15	0,035	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,040	0,04	1,000	
5	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha (cerâmica)	0,080	0,90	0,089	0,731
	Abobadilha (cerâmica + ar)	0,080	0,90	0,178	
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
6	Laje Aligeirada	0,080		0,126	
7	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
8	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,226**		**1,369**	

Fluxo de Calor - Q

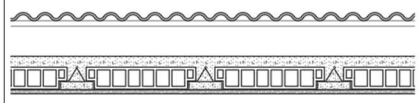
Cobertura09



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Telha cerâmica	0,010	0,90	0,011	
3	Camada de ar	0,10-1,00	0,03	0,140	
4	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha (cerâmica)	0,080	0,90	0,089	
	Abobadilha (cerâmica + ar)	0,080	0,90	0,178	2,179
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
5	Laje Aligeirada	0,080		0,126	
6	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
7	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,150**		**0,459**	

Fluxo de Calor - Q

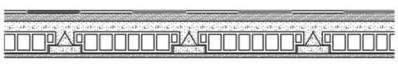
Cobertura10



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Telha fibrocimento	0,006	0,95	0,006	
3	Camada de ar	0,10-1,00	0,03	0,140	
4	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha (cerâmica)	0,080	0,90	0,089	
	Abobadilha (cerâmica + ar)	0,080	0,90	0,178	2,202
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
5	Laje Aligeirada	0,080		0,126	
6	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
7	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,146**		**0,454**	

Fluxo de Calor - Q

Cobertura11



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar externo			0,040	
2	Impermeabilizante	0,006	0,23	0,026	
3	Argamassa regularização	0,040	1,15	0,035	
4	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha (cerâmica)	0,080	0,90	0,089	
	Abobadilha (cerâmica + ar)	0,080	0,90	0,178	2,713
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
5	Laje Aligeirada	0,080		0,126	
6	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
7	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	**0,186**		**0,369**	

Fluxo de Calor - Q

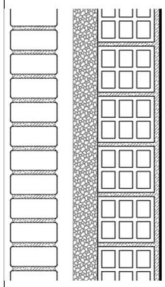
3.3.2. ALVENARIA

Para a vedação das residências em alvenaria foram definidos os fechamentos mais utilizados na região, nos quatro últimos soluções construtivas, sendo o Parede09, de facto, o mais utilizado e praticado. E em seguida foram criadas variações semelhantes ao praticado na Europa para verificar a possibilidade de implantação na região.

É possível que as soluções de ETICs sejam mais difíceis de executar, devido à falta de mão-de-obra qualificada para ele, porém as paredes duplas podem ter menos complexidade de construção na região, pois seria apenas fixado uma camada a mais de isolante entre as mesmas.

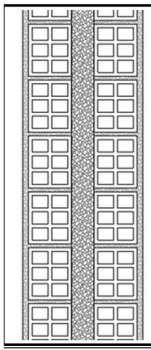
Tabela 10 - Soluções de vedação - Coeficiente de Transmissão Térmica

Parede01



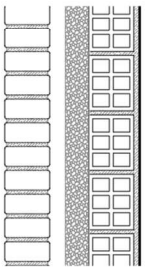
Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
3	Alvenaria (tijolos cerâmicos 6 furos)	0,140	0,04	0,404	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,060	0,04	1,500	
5	Camada de Ar	0,040		0,160	**0,427**
6	Alvenaria (tijolos cerâmicos maciço)	0,100		0,094	
7	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,355**		**2,341**	

Parede02



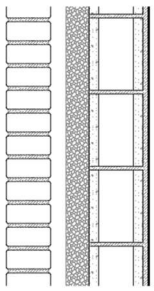
Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
3	Alvenaria (tijolos cerâmicos 6 furos)	0,115		0,276	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,060	0,04	1,500	
5	Alvenaria (tijolos cerâmicos 6 furos)	0,115		0,276	**0,444**
6	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
7	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,325**		**2,253**	

Parede03



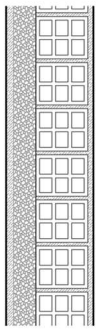
Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
3	Alvenaria (tijolos cerâmicos 6 furos)	0,115		0,276	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,060	0,04	1,500	
5	Camada de Ar	0,040		0,160	**0,452**
6	Alvenaria (tijolos cerâmicos maciço)	0,100		0,094	
7	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,330**		**2,213**	

Parede04



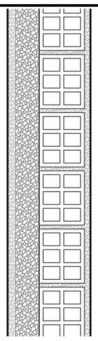
Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
3	Alvenaria (bloco de betão)	0,140		0,180	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,060	0,04	1,500	
5	Camada de Ar	0,040		0,160	**0,472**
6	Alvenaria (tijolos cerâmicos maciço)	0,100		0,094	
7	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,355**		**2,117**	

Parede05



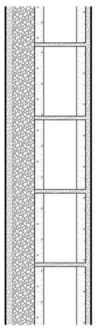
Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
3	Alvenaria (tijolos cerâmicos 6 furos)	0,115		0,404	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,060	0,04	1,500	
5	Argamassa	0,020	1,15	0,017	**0,475**
6	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,210**		**2,104**	

Parede06



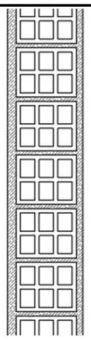
Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
3	Alvenaria (tijolos cerâmicos 6 furos)	0,115		0,276	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,060	0,04	1,500	
5	Argamassa	0,020	1,15	0,017	**0,506**
6	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,210**		**1,977**	

Parede07



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
3	Alvenaria (bloco de betão)	0,140		0,180	
4	Isolante Térmico (EPS)	0,060	0,04	1,500	
5	Argamassa	0,020	1,15	0,017	**0,532**
6	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,235**		**1,880**	

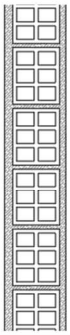
Parede08



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
	Alvenaria (cerâmica+ar)	0,040	0,90	0,524	
	Alvenaria (cerâmica)	0,140	0,90	0,156	
	Alvenaria (argamassa)	0,140	1,15	0,122	**1,655**
3	Alvenaria Total	0,140		0,404	
4	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
5	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,175**		**0,604**	

Fluxo de Calor - Q

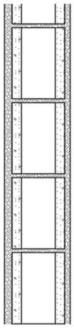
Parede09



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
	Alvenaria (cerâmica+ar)	0,030	0,90	0,353	
	Alvenaria (cerâmica)	0,115	0,90	0,128	
	Alvenaria (argamassa)	0,115	1,15	0,100	**2,098**
3	Alvenaria Total	0,115		0,276	
4	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
5	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,150**		**0,477**	

Fluxo de Calor - Q

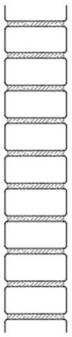
Parede10



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Argamassa	0,015	1,15	0,013	
	Alvenaria (betão+ar)	0,040	1,75	0,183	
	Alvenaria (argamassa)	0,140	1,15	0,122	
3	Alvenaria Total	0,140		0,180	**2,630**
4	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
5	Camada de ar externo			0,040	
	TOTAL	**0,175**		**0,380**	

Fluxo de Calor - Q

Parede11



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,130	
2	Alvenaria (cerâmica)	0,100	0,90	0,111	
	Alvenaria (argamassa)	0,100	1,15	0,087	
3	Alvenaria Total	0,100		0,094	
4	Camada de ar externo			0,040	**3,787**
	TOTAL	**0,100**		**0,264**	

Fluxo de Calor - Q

3.3.3. PISO NO RÉS-DO-CHÃO

Na utilização dos tipos de pisos, existe apenas um formato corrente na região, que seria o mais tradicional em residências, ele consiste basicamente em compactar o solo, concretar uma camada de 8 a 10 cm sobre o solo e instalar algum tipo de revestimento que na maioria dos casos é revestimento

cerâmico. Esse elemento em contato com o solo apenas irá ocorrer na simulação da residência e não será testado outros tipos de elemento em contacto com o solo.

Tabela 11 - Solução de piso no rés-do-chão - Coeficiente de Transmissão Térmica



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Cerâmica	0,010	1,30	0,008	
2	Argamassa regularização	0,040	1,15	0,035	
3	Betão armado	0,080	1,65	0,048	
					10,994
	TOTAL	0,130		0,091	

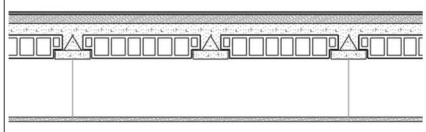
Fluxo de Calor - Q

3.3.4. Pisos Entre Fogos

Para a residência multifamiliar, não havendo trocas térmicas entre apartamentos adjacentes no mesmo edifício, apenas será feito uma pequena referência entre a solução com teto falso e a sem teto falso, que afetara minimamente as perdas lineares.

Tabela 12 - Soluções de pisos entre fogos - Coeficiente de Transmissão Térmica

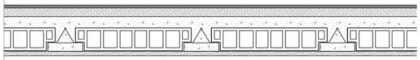
Coberturapiso02



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,100	
2	Cerâmica	0,010	1,30	0,008	
3	Argamassa regularização	0,040	1,15	0,035	
4	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha (cerâmica)	0,080	0,90	0,089	
	Abobadilha (cerâmica + ar)	0,080	0,90	0,178	2,047
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
5	Laje Aligeirada	0,080		0,126	
6	Camada de ar	0,300	0,03	0,140	
7	Gesso	0,010	0,30	0,033	
8	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	0,480		0,489	

Fluxo de Calor - Q

Coberturapiso03



Camada	Descrição	Espessura e [m]	Condutividade λ [W/(m.K)]	Resistência R [(m²K)/W]	Transmitância U [W/(m².K)]
1	Camada de ar interno			0,100	
2	Cerâmica	0,010	1,30	0,008	
3	Argamassa regularização	0,040	1,15	0,035	
4	Betão armado	0,040	1,65	0,024	
	Abobadilha (cerâmica)	0,080	0,90	0,089	
	Abobadilha (cerâmica + ar)	0,080	0,90	0,178	2,180
	Vigota de betao	0,080	1,65	0,048	
5	Laje Aligeirada	0,080		0,126	
6	Argamassa	0,020	1,15	0,017	
7	Camada de ar interno			0,100	
	TOTAL	0,270		0,459	

Fluxo de Calor - Q

3.3.5. Esquadrias

Para os envidraçados, será apenas comparado a questão da substituição do tradicional vidro simples, para vidro duplo e testar na simulação com os dois tipos de esquadrias mais usados: as de madeira e alumínio de correr.

Além disso, será verificado a instalação de proteção contra a radiação, como a utilização de estore móvel de PVC com permeabilidade ao ar.

Tabela 13 - Vãos Envidraçados - Coeficiente de Transmissão Térmica

TIPO DE JANELA	Nº DE VIDROS	U [W/(M².K)] SEM PROTEÇÃO	U [W/(M².K)] COM PROTEÇÃO
JANELA COM CAIXILHARIA DE MADEIRA DE CORRER	Vidro Simples	5,1	3,9
	Vidro Duplo (espaçados 16mm)	2,8	2,4
JANELA COM CAIXILHARIA METÁLICA	Vidro Simples	6,5	4,8
	Vidro Duplo (espaçados 16mm)	4,0	3,3

Fonte: (Matias & Santos, 2006)

4

FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS E CONFORTO TÉRMICO

A avaliação consiste basicamente em inserir todos os dados e informações climáticas adquiridas no capítulo anterior e calcular com base na legislação portuguesa quais as necessidades energéticas a residência tradicional, com os vários tipos de envolvente, terá no verão e no inverno.

Assim, criou-se uma planilha de cálculo onde, na primeira guia era inserido os dados climáticos e selecionado as soluções construtivas com seus respectivos coeficientes de transmissão térmica, conforme a Figura 36. As figuras a seguir apenas demonstram como se fez a organização da planilha.

Dados Climáticos		
Cidade	Porto Alegre	
Estação	**Inverno**	**Verão**
Temperatura média [ºC]	14,01	23,55
Temperatura máxima [ºC]	20,15	31,07
Temperatura mínima [ºC]	8,65	16,89
Graus-dia [<15ºC e >26ºC]	72,37	0
Graus-hora [<15ºC e >26ºC]	156,59	52,49
Radiação Global [KWh/m²]	139,9	699,32
Face Norte i=90º [kWh/m²]	205,2	294
Face Leste i=90º [kWh/m²]	93,9	385,2
Face Oeste i=90º [kWh/m²]	97,5	382,2
Face Sul i=90º [kWh/m²]	48,3	219,9
Duração Estação [meses]	2	4

Dados Edificação			
Materiais			
Janela	Janela04	**Material**	alumínio
		Quadricula?	n
Piso	Piso01	**Isol. Piso?**	Não
Parede	Parede11	**Tipo Isolam.**	e
Cobertura	CP03	**Teto Falso?**	n

Área Construída	82,57
Área útil	65,02
Pé direito	3,00
Ventilação Espaço não-útil	Fraca

Figura 36 – Planilha de cálculo: Entrada de dados

4.1. PLANILHA DE CÁLCULO

Conforme o fluxograma de cálculo mostrado na Figura 23 – Formulas Regulamentares para o inverno – REH Portugal e a Figura 24 - Formulas Regulamentares para o verão – REH Portugal, a legislação tem 3 ramos: as perdas de calor pela envolvente, as perdas pela ventilação interna da edificação e os ganhos devido a radiação solar. Assim, foi montado uma planilha de cálculo, usando o Software Microsoft Excel, onde fica prático inserir os dados de resistência térmica da envolvente do edifício e os dados climáticos da cidade em estudo e retirar o consumo de energia necessários na habitação para aquecê-la no inverno e arrefecê-la no verão.

4.1.1. PERDAS PELA ENVOLVENTE

Essa etapa se divide em quatro partes, as transferências de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior; as transferências de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis; as transferências de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes; e, as transferências de calor através de elementos em contacto com o solo. Todos esses quatro itens foram calculados semelhante ao que se fez com o "Hext" da Figura 37.

Hext			111,25	W/ºC	
(Ui.Ai)					69,45
Lado	Área Fachada	Área Janelas	Área Portas	W/ºC Janela	W/ºC Parede
Norte	25,23	4,32		22,03	11,20
Leste	19,86	1,68	0	8,57	8,81
Oeste	23,13	1,68	1,89	8,57	10,27
Sul				0,00	0,00

(Bj.ψ)						41,8
Ligação		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou caixa de ar	Comprimento [m]	W/ºC
Fachada com pavimento térreo		0,80	0,70	0,80	29	23,20
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75	0	0,00
	isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35	0	0,00
Fachada com pavimento de nível intermediário		0,60	0,19	0,75	0	0,00
Fachada com varanda		0,60	0,60	0,55	0	0,00
Fachada com cobertura	isolamento sob laje de cobertura	0,17	0,70	0,60	0	0,00
	isolamento sobre a laje de cobertura	1,00	0,80	1,00	0	0,00
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50	24	12,00
Fachada com caixilharia	isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10	0	0,00
	isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25	26,4	6,60
Zona da caixa de estores		0,30	0,30	0,30	0	0,00

Figura 37 - Planilha de Cálculo: Transferências pela envolvente - Hext

No coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior é lançada toda a área dos elementos, como a alvenaria e as janelas, como também suas transferências lineares.

No coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis será utilizado na simulação com a residência, no caso das coberturas com telhado inclinado. Na simulação do apartamento o espaço não útil se dará com a caixa de escada.

No coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, não irá ocorrer em nenhuma das situações, sendo a residência multifamiliar em contato apenas com caixa de escada e fogos dentro do mesmo edifício, e na residência unifamiliar, apenas com espaço exterior e não úteis (coberturas inclinadas e garagem/lavandaria).

E por último o coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo que irá ocorrer apenas na residência unifamiliar que está no rés-do-chão, esse coeficiente não irá mudar nas simulações pois não é nada comum na região aplicar isolamentos entre as alvenarias e o elemento do piso.

Em todos esses casos, para o cálculo basta multiplicar a área do elemento da envolvente pelo seu respetivo Coeficiente de Transmissão Térmica, corrigidos em cada caso, e assim obtemos os coeficientes de transferência de calor devido aos elementos da envolvente.

4.1.2. Perdas pela Ventilação

Essa é a etapa mais simples, o coeficiente de transferência de calor pela ventilação é calculado apenas sabendo a área útil interna do edifício, seu pé direito médio e a taxa de renovação de ar, que para realização desse trabalho foi considerado em 0,6 trocas de ar por hora no inverno e 2 trocas de calor por hora no verão.

Pd - Pé-direito	3,00	m
Ap - Área útil interior	65,02	m²
Rph,i - Taxa de renovação de ar	0,60	1/h
Rph,v - Taxa de renovação de ar	2,00	1/h

Hve,i	**39,79**	**W/ºC**
Hve,v	**132,64**	**W/ºC**

Figura 38 - Planilha de cálculo: Transferência pela ventilação

4.1.3. Ganhos de Calor

Os ganhos de calor na verdade se dividem em dois setores diversos, tanto na estação de aquecimento quanto na de arrefecimento, temos as transferências de calor devido à radiação solar (ganhos solares) e os ganhos de calor interno devido à utilização do espaço, como máquinas e equipamentos que produzem calor, a iluminação e o próprio calor liberado pela população interna, entre outros.

Esses ganhos térmicos associados às fontes internas de calor em ambos os casos são estimados em 4W/m² e multiplicado pelo período da estação e pela área útil interna.

As transferências de calor devido a radiação solar tiveram uma complexidade adicional para obter, pois depende da geometria, tipo de material e radiação em cada uma das faces orientadas, sendo isso para cada uma das janelas da edificação.

O fator de orientação foi obtido em conformidade com a legislação Portuguesa, com um pequeno detalhe a ser observado: devido à posição equatorial do país de referência e do país de aplicação de estudo a orientação Sul de Portugal foi adotada como orientação Norte no Brasil, e vice-versa. Logo a designação do coeficiente de radiação solar "*Gsul*" foi descrita nesse trabalho de "*Gnorte*".

E conforme descrito no item 2.2, os dados climáticos relacionados com a radiação solar global, foram obtidos com a média anual de dados de um período de anos e com o uso do Software "RadiaSol 2" foram coletados os dados da radiação inclinada (vertical – 90º) para os quatro pontos cardeais.

Σ área	4,43	m²
Qsol,i	909,33	kWh
Qint,i	374,52	kWh
Qg,i	1.283,85	kWh

G"norte"	102,6	kwh/m²
Qsol,v	2.042,582	kWh
Qint,v	761,51	kWh
Qg,v	2.804,10	kWh

INVERNO

Janela	Largura	Altura	Área	Orientação	Fator de Orientação	Caixilharia	Quadrícula	Fração envidraçado [Fg]	Vidro	Simples/ Duplo	gi	Área Efetiva [Asinj]	Fator de Obstrução [Fs]	G"norte" [kwh/m²]	Σ área Inverno
1	1,90	1,50	2,8	N	1	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,70	1,400	1	102,6	1,40
2	1,40	1,20	1,6	N	1	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,70	0,826	1		0,82
3	0,60	0,80	0,4	N	1	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,70	0,236	1		0,23
4	0,60	0,80	0,4	N	1	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,70	0,236	1		0,23
5	1,40	1,20	1,6	L	0,56	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,70	0,826	1		0,46
6	2,20	2,10	4,6	L	0,56	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,70	2,270	1		1,27

VERÃO

Janela	Largura	Altura	Área	Orientação	Caixilharia	Quadrícula	Fração envidraçado [Fg]	Vidro	Simples/ Duplo	gv	Área Efetiva [Asvnj]	Fator de Obstrução [Fs]	Isol [kwh/m²]	Qsol,v [kWh]
1	1,9	1,5	2,8	N	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,69	1,389	1	294	408,22
2	1,4	1,2	1,6	N	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,69	0,818	1	294	240,63
3	0,6	0,8	0,4	N	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,69	0,234	1	294	68,754
4	0,6	0,8	0,4	N	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,69	0,234	1	294	68,754
5	1,4	1,2	1,6	L	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,74	0,870	1	385,2	334,99
6	2,2	2,1	4,6	L	alumínio	n	0,7	Incolor 5mm	duplo	0,74	2,392	1	385,2	921,22

Figura 39 - Planilha de Cálculo: Ganhos Solares

Vale acrescentar também, que para esse trabalho comparado a utilização e a não utilização de dispositivos de obstrução solar nas janelas. E consequentemente com o somatório das áreas efetivas de janela multiplicadas pela radiação inclinada para cada uma das orientações, obtemos o coeficiente de transferência de calor devido à radiação solar para cada período (meses no caso do inverno e toda estação no caso do verão).

Agora basta somar as transferências de calor devido à radiação com os ganhos de calor devido as fontes internas e multiplicarmos pelo período de duração da estação para obtermos o total do coeficiente de transferência de calor devido a esses fatores.

4.1.4. VERIFICAÇÃO

Após o lançamento de todas as informações referentes à geometria da edificação, os materiais usados na envolvente e as condições climáticas do local de estudo é finalmente calculado o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício em kWh/m².ano que nada mais é do que a soma das transferências de calor pela envolvente e ventilação descontando as transferências de calor pela radiação e sistemas internos da residência e dividindo tudo pela área útil interior.

Achado o valor de energia útil para a estação de aquecimento e arrefecimento da residência tradicional, esses dados serão lançados em uma tabela e depois serão alterados os materiais que compõem a envolvente do edifício colocando mais ou menos isolamento e comparando com o valor padrão. Além disso, esses valores serão comparados com o valor de referência legislativo definido na Portaria n.º 349-B/2013 (Diário da República, 2013).

INVERNO			VERÃO		
Mi	2	meses inverno	**Mi**	4	meses verão
GD	72,37		**θExt**	23,55	ºC - Temp. média mensal
Ap	65,02	m²	**Lv**	2928	horas de verão
Htr,i	591,79	kWh	**Htr,v**	357,91	kWh
Hve,i	39,79	kWh	**Hve,v**	132,64	kWh
Qg,i	1.283,85	kWh	**Qg,v**	2.804,10	kWh
Ɣi	1,17		**Ɣv**	1,35	
ηi	0,74		**ηv**	0,67	
Qtr,i - Perdas pela envolvente	1.027,86	kWh	**Qtr,v** - Perdas pela envolvente	1.519,53	kWh
Qve,i - Perdas pela ventilação	69,11	kWh	**Qve,v** - Perdas pela ventilação	563,14	kWh
Qgu,i - Ganhos Solares	949,36	kWh	**Qg,v**	2.804,10	kWh
N_{ic}	2,27	kWh/(m².ano)	**N_{vc}**	14,10	kWh/(m².ano)
REFERÊNCIA INVERNO			**REFERÊNCIA VERÃO**		
Qtr,i_{ref} - Perdas pela envolvente	429,89	kWh	**Δθ**	1,45	ºC
Qve,i_{ref} - Perdas pela ventilação	69,11	kWh	**$ηv_{ref}$**	0,60	
Qgu,i_{ref} - Ganhos Solares	370,40	kWh	**$Isol_{ref}$**	382,2	kWh/(m².ano)
$N_i$ref	1,98	kWh/(m².ano)	**Qg,v_{ref} /Ap**	44,58	kWh/m²
Valor máximo de energia útil para aquecimento			**$N_v$ref**	17,75	kWh/(m².ano)
NÃO OK			Valor máximo de energia útil para arrefecimento		
			OK		

Figura 40 - Planilha de Cálculo: Cálculo de Nic e Nvc, comparação com Referência – Porto Alegre/RS

4.2. *LCC: LIFE CYCLE COST*

Para poder comparar soluções construtivas pelo seu custo-benefício e não apenas observando os valores nominais de energia útil de aquecimento e arrefecimento é necessário saber se o investimento inicial na utilização de um sistema mais termicamente isolado ao invés de um sistema convencional terá um retorno financeiro ao longo dos anos.

Para isso é preciso definir um solução construtiva como padrão e analisar qual o custo ou economia em trocá-lo por um sistema mais ou menos isolante. Além disso, esse adicional em tecnologia ainda terá um valor de venda no final de um período. Pode-se fazer a analogia com uma janela, ao optar por uma janela simples ou uma um pouco mais cara, no fim de uma década, por exemplo, nenhuma das duas janelas deixará de ter um valor de comercialização, vai depender muito do estado de utilização, nomeadamente sua depreciação, mas ainda terá seu valor.

Logo, um solução construtiva mais tecnológico, terá um maior valor inicial e ainda terá um valor de venda futura que deverá ser trazida para o tempo presente para poder fazer a comparação.

Da mesma forma, um solução construtiva mais isolante termicamente, consumirá passivamente menores valores com energia elétrica durante toda sua vida útil, e da mesma forma que é feito com o valor do bem trazido do futuro para o tempo atual, será trazido todo o gasto anual de energia economizado para o tempo presente.

Para fazer esse tipo de comparação, usa-se a metodologia de *Life Cycle Cost* que nada mais é do que uma fórmula de cálculo para atualizar valores futuros para o tempo presente.

Seguindo esses conceitos o *LCC* terá a seguinte formulação:

$$LCC = I - Res + E$$

LCC = Custo Inicial – Custo de venda depreciado + gastos com energia atualizado

Para o cálculo do *LCC* foram definidos alguns valores de indicadores e taxas conforme segue abaixo e determinado um período de tempo de retorno de 25 anos, justamente para simplificar o cálculo e não atribuir valores de manutenções e substituições. Esse mesmo princípio foi aplicado pelo facto de estar comparando sistemas muito parecidos, por exemplo, não será usado informações de manutenção devido a repinturas e coisas correlatas, pois todos os sistemas sofrerão os mesmos intempéries, independente de valor.

INDICADORES E TAXAS PARA O *LCC*

- Euro: R$ 6,50 (março/2021)
- Taxa de inflação IPCA/2020: 4,52%
- Taxa de juros SELIC/2020: 2,74%
- Taxa de escalonamento energia elétrica: 2%
- Período de retorno: 25 anos

4.3. SIMULAÇÕES DINÂMICAS DE CONFORTO TÉRMICO

Para ter uma perspectiva otimizada do conforto térmico no interior das edificações, foi utilizado o Software DesignBuilder da Energy Plus, onde é possível realizar simulações mais dinâmicas no interior das edificações.

O Software já traz consigo muitos dados climáticos de diversas cidades em todo o mundo, porém no Brasil só lista algumas capitais. Assim foi necessário encontrar dados climáticos das cidades que ele não listava, como Santa Rosa e São José dos Ausentes no formato ".epw". E Diferente da média climática

feita de vários anos consecutivos, esse formato traz as informações de apenas um ano de referência, sendo esse ano um ano considerado padrão, para a realização das simulações.

Outra situação que ocorre no Software é que, mesmo ele possuindo um extenso catálogo de soluções construtivas para a escolha, ele não possui algumas das soluções praticadas no Sul do Brasil, principalmente sobre o tipo de tijolos da composição das paredes. E não faz sentido nenhum fazer simulações nessa região e não utilizar os materiais locais. Então foi preciso cadastrar as soluções que não se encontraram no catálogo, o que para as paredes foram, basicamente, todas. Nas demais soluções foi possível utilizar as soluções cadastradas com algumas pequenas modificações.

Então, para realizar as simulações foi modelada a edificação dentro do Software, conforme a Figura 41, e atribuída a ela todas as soluções construtivas que serão comparadas nas simulações. Conforme a configuração da orientação e atribuindo ao Software a localização geográfica da edificação junto com a atribuição climática respectiva, é possível até visualizar por onde passará o sol e as sombras geradas em qualquer dia do ano.

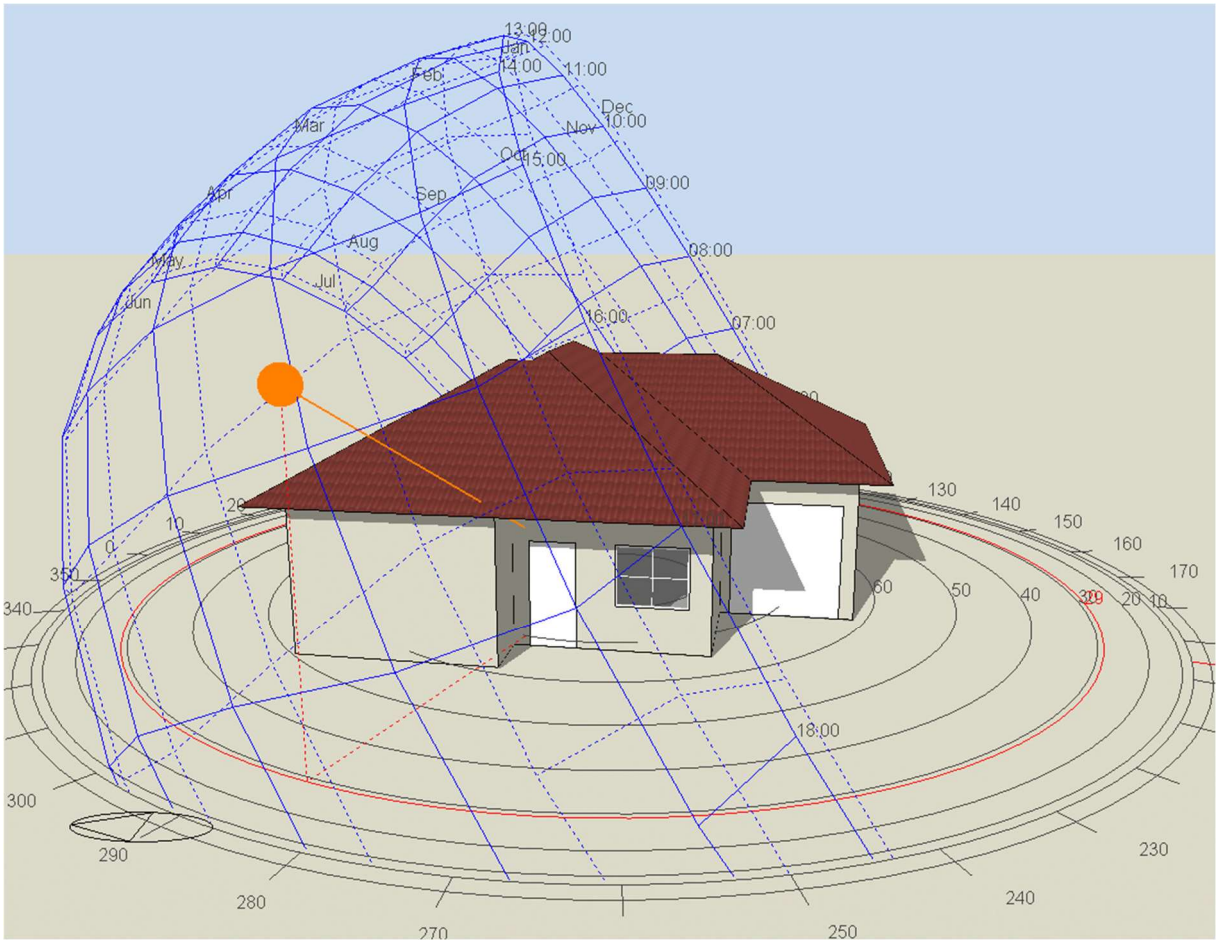


Figura 41 - Modelagem no DesignBuilder: Residência Unifamiliar

O Software é bastante completo em relação a simulações, e traz uma infinidade de recursos para poder verificar, porém devido à sua complexibilidade será apenas simulado as variações de diferentes soluções construtivas e o efeito no conforto térmico da edificação, demais pormenores ficarão iguais em qualquer resultado.

Estando com a edificação bem modelada no Software com suas características construtivas definidas e a localização climática atribuída, só é necessário rodar as simulações e analisar as condições de conforto térmico e as temperaturas obtidas no interior da residência com base nos gráficos gerados.

Os gráficos podem mostrar a diferença de temperatura durante todo o tempo que é escolhido, como anual, mensal, diário e até horários. Assim pode-se visualizar até mesmo em que horário do dia que se tem mais desconforto.

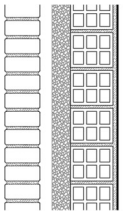
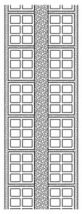
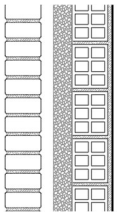
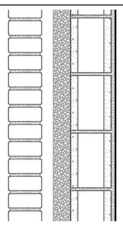
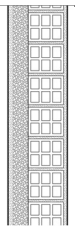
5

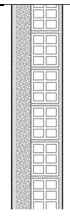
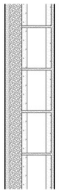
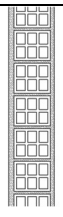
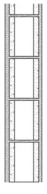
REALIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

5.1. CONVENÇÕES

Para a realização das simulações foram definidas diversas soluções construtivas diferentes, algumas sendo soluções correntes e tradicionais da região sul do Brasil e outras sendo soluções habitualmente usadas em Portugal, mas com um pouco de dificuldade para execução no Brasil, devido à falta de mão-de-obra qualificada em trabalhar com isolantes térmicos.

Tabela 14 - Convenção de soluções de alvenaria

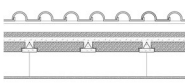
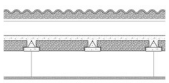
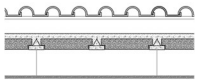
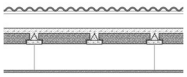
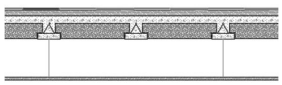
PAREDE02 **U 0,444**			**PAREDE05** **U 0,475**	
				
Parede01	Parede02	Parede03	Parede04	Parede05
U 0,427	U 0,444	U 0,452	U 0,472	U 0,475
45,04€/m²	**31,61€/m²**	**34,51 €/m²**	**45,99 €/m²**	**42,21 €/m²**

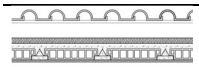
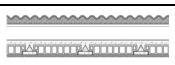
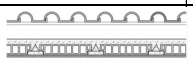
PAREDE06 **U 0,506**		**PAREDE08** **U 1,655**	**PAREDE09** **U 2,098**	**PAREDE10** **U 2,630**	**PAREDE11** **U 3,787**
					
Parede06	Parede07	Parede08	Parede09	Parede10	Parede11
U 0,506	U 0,532	U 1,655	U 2,098	U 2,630	U 3,787
31,69€/m²	**34,48€/m²**	**29,14 €/m²**	**18,61 €/m²**	**21,40 €/m²**	**16,40 €/m²**

Assim, algumas soluções tiveram resultados muito semelhantes na resistência térmica, e para simplificar os resultados e não precisar trabalhar com uma matriz tão grande de dados, tanto de alvenarias (Tabela 14) como para as coberturas (Tabela 15), algumas foram agrupadas com soluções semelhantes. Sendo que, por terem resistências térmicas muito parecidas, os resultados também seriam muito semelhantes. Da mesma forma foi definido um custo de execução, sendo ela os custos diretos relacionados com a mão-de-obra e dos materiais, custo esse por metro quadrado de solução. Assim posteriormente poderá ser comparado a eficiência com o custo-benefício.

Para melhor representar as tabelas de resultado, também foi usado a abreviação de Coberturas para C02…C11 e para as alvenarias P02…P11. E para a laje intermediaria da unidade multifamiliar em estudo, apenas foi simulado a solução com e sem teto falso. As quatro soluções de janelas com proteção solar, também foram abreviadas para J01 a J04, respectivamente conforme a Tabela 13 - Vãos Envidraçados - Coeficiente de Transmissão Térmica.

Tabela 15 - Convenção de soluções em cobertura

COBERTURA02 **U 0,342**		**COBERTURA04** **U 0,519**		
				
Cobertura01	Cobertura02	Cobertura03	Cobertura04	Cobertura05
U 0,341	U 0,342	U 0,518	U 0,519	U 0,543
53,60 €/m²	**71,14 €/m²**	**49,75 €/m²**	**48,72 €/m²**	**49,14 €/m²**

COBERTURA07 **U 0,688**			**COBER.09** **U 2,179**	**COBER.10** **U 2,202**	**COBER.11** **U 2,713**
					
Cobertura06	Cobertura07	Cobertura08	Cobertura09	Cobertura10	Cobertura11
U 0,685	U 0,688	U 0,731	U 2,179	U 2,202	U 2,713
48,43 €/m²	**65,96 €/m²**	**47,82 €/m²**	**44,58 €/m²**	**43,55 €/m²**	**43,97 €/m²**

5.2. NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO

Com a planilha de cálculo definida no Capítulo 4, foram calculadas as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento das duas edificações residências. Nas cidades da zona bioclimática 1, nomeadamente em São José dos Ausentes/RS e Curitiba/PR, foram definidas as necessidades de energia útil apenas para a estação de aquecimento, devido ao facto de possuir um clima bem ameno na estação de arrefecimento. Nas duas outras cidades, correspondentes às zonas bioclimáticas 2 e 3 foram determinados os valores das necessidades de energia útil para as duas estações.

Para ficar mais bem compreendido, nas tabelas das necessidades de energia útil, apresentadas adiante, as soluções construtivas foram colocadas na ordem crescente do coeficiente de transmissão térmica.

Sendo as soluções com maior isolamento térmico a solução P02 e C02, e as com pior isolamento térmico a solução P11 e C11, designadamente para as paredes exteriores e a cobertura. No tocante às janelas, não estão em ordem de coeficiente de transmissão térmica, mas sim conforme o solução construtiva: Primeiro as soluções em madeira com vidro simples e duplo, e depois as soluções metálicas da mesma forma com vidro simples e duplo.

Além da energia útil para cada solução, foi calculado o valor de referência normativo definido pela legislação Portuguesa. Para isso, foi feito o mesmo cálculo de energia útil utilizando os valores de referência (Diário da República - Portaria n.º 349-B, 2013) e sua última atualização (Diário da República. Portaria n.º 379-A, 2015) para o coeficiente de transmissão térmica. Os valores de referência utilizados foram os relativos a zona climática Portuguesa mais amena no inverno e, por isso, menos exigente do ponto de vista do isolamento térmico. Apesar de diferente, esta é a zona climática que apresenta condições que mais se aproximam do clima da região Sul do Brasil.

Tendo esse valor definido, a tabela foi montada destacando em verde os valores da combinação de soluções construtivas que se enquadraram ao valor da referência, ou seja, em que o valor das necessidades de energia útil da habitação (N_{ic} e N_{vc}) é menor que o valor de referência correspondente (N_i e N_v). Sendo estes quanto mais escuro o verde melhor e quanto mais próximo de branco, mais próximo da referência.

Os demais valores, que ficaram maiores do que o valor de referência, foram destacados com uma escala de cores de tom avermelhada, onde as cores mais claras correspondem aos valores mais próximos da referência, mesmo sendo ainda acima do valor de referência, e as células com uma cor mais vermelho escuro correspondem aos valores que mais se afastam da referência.

O procedimento para a obtenção dos Nic (valor de energia útil para aquecimento) e Nvc (valor de energia útil de arrefecimento) ambos em kWh/(m².ano) se tornou um procedimento metódico, mesmo com o auxílio de ferramentas como o software da planilha de cálculo, pois cada solução construtiva possui uma característica singular que precisava ser alterado para obter os resultados.

Por exemplo, no caso das soluções em cobertura, havia o procedimento de alterar se possuía teto falso ou não. E ainda no caso da cobertura11 foi necessário alterar muitas informações na guia de transmissão pela envolvente para obtenção do Htr, pois a solução consiste na alteração de uma cobertura inclinada para uma cobertura plana, o que faz com que tenha que alterar a transmissão em contato com espaço não útil (o volume de ar correspondente ao espaço entre a laje e a cobertura, seja ela metálica, fibrocimento ou cerâmica) por transmissão com o exterior, o que resulta em uma pequena alteração de valores referente às transmissão de energia. Aqui também aconteceu a alteração da perda linear, que mesmo o comprimento sendo o mesmo, ele era somado na fórmula do Hext e não no Henu.

Referente às paredes externas, tem duas soluções com isolamento exterior, a parede05 e a parede06, nomeadamente as soluções em ETICS, nessas soluções é necessário substituir os coeficientes referentes às perdas lineares, pois esses coeficientes diferem em relação ao local do isolamento, sendo ele isolamento externo, interno ou repartido/caixa de ar. No caso das soluções com isolamento interno ou sem isolamento o coeficiente usado era o mesmo do repartido/caixa de ar. E nas duas soluções em ETICS foi usado o coeficiente de isolamento exterior.

As janelas foram o que mais tiveram alterações para a realização das simulações, pois para cada solução de cobertura com suas respectivas paredes alterou-se o tipo de janela. Assim é necessário alterar além do coeficiente de transmissão térmica correspondente de cada janela, o tipo de janela e material e se é com vidro simples ou duplo. Essa alteração afeta bastante os ganhos solares. Na simulação usou-se o

fator solar do vidro simples incolor de 5mm com 0,87, e na solução de vidro duplo incolor sendo um vidro de 5mm e outro de 4mm, o fator solar de 0,78.

Sobre a solução de piso, como já foi mencionado anteriormente, não foi feita alteração, pois isolar termicamente o piso em contato com o solo não é nada usual no Brasil. Na unidade multifamiliar, a laje intermediaria tanto do piso como da cobertura não foi considerado trocas de calor.

Nas tabelas seguintes, foram realizadas inúmeras simulações de energia útil para cada solução construtiva, sendo elas feitas para a unidade unifamiliar e para a multifamiliar, ambas realizadas nas quatro cidades como referência climática, conforme quadro resumo:

Tabela 16 - Quadro Resumo Simulações

CIDADE	UNIDADE UNIFAMILIAR	UNIDADE MULTIFAMILIAR
PORTO ALEGRE/RS	Tabela 17	Tabela 21
SANTA ROSA/RS	Tabela 18	Tabela 22
CURITIBA/PR	Tabela 19	Tabela 23
SÃO JOSÉ DOS AUSENTES/RS	Tabela 20	Tabela 24

Tabela 17 - Valores das necessidades de energia útil para aquecimento (inverno) e para arrefecimento (verão) para cada combinação de soluções construtivas - Residência Unifamiliar - Cidade de Porto Alegre/RS

Parede/ Janela/ Cobertura		PORTO ALEGRE [kWh/(m².ano)]											
		Inverno				Ref.	0,58	Verão				Ref.	17,75
		C02	C04	C07	C09	C10	C11	C02	C04	C07	C09	C10	C11
P02	J01	0,08	0,09	0,11	0,31	0,31	0,76	3,45	3,27	3,10	1,98	1,96	0,56
	J02	0,06	0,08	0,09	0,26	0,27	0,68	3,74	3,54	3,36	2,14	2,12	0,60
	J03	0,08	0,09	0,10	0,29	0,29	0,71	3,65	3,46	3,29	2,12	2,11	0,62
	J04	0,06	0,07	0,08	0,25	0,25	0,63	3,94	3,74	3,56	2,29	2,28	0,66
P05	J01	0,08	0,09	0,11	0,31	0,31	0,76	3,47	3,28	3,12	1,99	1,97	0,56
	J02	0,06	0,07	0,09	0,26	0,26	0,68	3,76	3,56	3,38	2,15	2,13	0,60
	J03	0,08	0,09	0,10	0,29	0,29	0,71	3,67	3,48	3,31	2,13	2,12	0,62
	J04	0,06	0,07	0,08	0,25	0,25	0,63	3,96	3,76	3,57	2,30	2,29	0,66
P06	J01	0,08	0,10	0,11	0,32	0,32	0,78	3,41	3,23	3,07	1,95	1,94	0,55
	J02	0,07	0,08	0,09	0,27	0,27	0,69	3,69	3,50	3,32	2,11	2,10	0,59
	J03	0,08	0,09	0,11	0,30	0,30	0,72	3,60	3,42	3,25	2,10	2,09	0,61
	J04	0,06	0,08	0,09	0,25	0,26	0,64	3,90	3,70	3,52	2,27	2,25	0,65
P08	J01	0,39	0,43	0,47	0,93	0,94	1,57	1,77	1,68	1,60	1,05	1,04	0,33
	J02	0,33	0,37	0,40	0,84	0,85	1,44	1,91	1,81	1,72	1,13	1,12	0,35
	J03	0,36	0,40	0,44	0,87	0,88	1,46	1,90	1,81	1,73	1,15	1,14	0,37
	J04	0,31	0,35	0,38	0,78	0,79	1,34	2,05	1,95	1,86	1,23	1,22	0,40
P09	J01	0,59	0,64	0,69	1,28	1,29	1,95	1,40	1,33	1,27	0,85	0,84	0,28
	J02	0,52	0,57	0,61	1,16	1,17	1,80	1,51	1,43	1,36	0,91	0,90	0,30
	J03	0,55	0,60	0,65	1,19	1,20	1,82	1,52	1,44	1,38	0,93	0,92	0,31
	J04	0,48	0,53	0,57	1,08	1,09	1,68	1,63	1,55	1,48	0,99	0,99	0,33
P10	J01	0,91	0,98	1,05	1,77	1,78	2,46	1,07	1,01	0,97	0,66	0,65	0,23
	J02	0,82	0,88	0,95	1,63	1,64	2,29	1,14	1,09	1,04	0,70	0,70	0,24
	J03	0,85	0,92	0,98	1,65	1,66	2,30	1,16	1,11	1,06	0,73	0,72	0,26
	J04	0,76	0,82	0,88	1,52	1,53	2,14	1,25	1,19	1,14	0,77	0,77	0,27
P11	J01	1,93	2,04	2,14	3,15	3,16	3,76	0,61	0,59	0,56	0,40	0,39	0,15
	J02	1,78	1,88	1,98	2,96	2,97	3,56	0,65	0,63	0,60	0,42	0,42	0,16
	J03	1,80	1,90	2,00	2,95	2,97	3,54	0,68	0,65	0,62	0,44	0,44	0,17
	J04	1,66	1,76	1,85	2,77	2,78	3,34	0,72	0,69	0,66	0,47	0,47	0,18

Tabela 18 - Valores das necessidades de energia útil para aquecimento (inverno) e para arrefecimento (verão) para cada combinação de soluções construtivas - Residência Unifamiliar - Cidade de Santa Rosa/RS

Parede/ Janela/ Cobertura		SANTA ROSA [kWh/(m².ano)]											
		Inverno				Ref.	11,33	Verão				Ref.	18,74
		C02	C04	C07	C09	C10	C11	C02	C04	C07	C09	C10	C11
P02	J01	0,96	1,10	1,25	3,13	3,17	6,68	3,72	3,53	3,35	2,16	2,15	0,63
	J02	0,77	0,89	1,02	2,72	2,76	6,06	4,02	3,81	3,62	2,33	2,32	0,67
	J03	0,93	1,07	1,21	2,99	3,03	6,37	3,92	3,73	3,55	2,32	2,31	0,69
	J04	0,75	0,87	0,99	2,60	2,64	5,77	4,23	4,02	3,83	2,50	2,48	0,74
P05	J01	0,94	1,08	1,23	3,10	3,14	6,67	3,73	3,54	3,37	2,17	2,16	0,63
	J02	0,76	0,88	1,01	2,70	2,73	6,05	4,04	3,83	3,64	2,35	2,33	0,67
	J03	0,92	1,05	1,19	2,97	3,00	6,35	3,94	3,75	3,57	2,33	2,32	0,69
	J04	0,74	0,86	0,98	2,58	2,61	5,76	4,25	4,04	3,85	2,51	2,50	0,74
P06	J01	0,99	1,13	1,28	3,20	3,23	6,78	3,67	3,48	3,31	2,14	2,13	0,62
	J02	0,80	0,92	1,05	2,78	2,82	6,16	3,97	3,77	3,58	2,31	2,29	0,66
	J03	0,96	1,10	1,24	3,05	3,09	6,46	3,88	3,69	3,51	2,30	2,28	0,68
	J04	0,78	0,90	1,02	2,66	2,69	5,87	4,18	3,98	3,79	2,47	2,46	0,73
P08	J01	3,79	4,11	4,44	7,87	7,93	11,89	1,94	1,84	1,76	1,16	1,16	0,38
	J02	3,33	3,63	3,94	7,20	7,26	11,09	2,09	1,99	1,89	1,25	1,24	0,40
	J03	3,61	3,92	4,23	7,50	7,56	11,37	2,09	1,99	1,90	1,27	1,26	0,42
	J04	3,18	3,47	3,76	6,86	6,92	10,60	2,25	2,14	2,04	1,36	1,35	0,44
P09	J01	5,40	5,80	6,18	10,10	10,17	14,07	1,54	1,47	1,40	0,94	0,94	0,32
	J02	4,85	5,22	5,59	9,36	9,42	13,23	1,66	1,58	1,51	1,01	1,00	0,33
	J03	5,15	5,52	5,89	9,65	9,71	13,49	1,67	1,59	1,52	1,03	1,03	0,35
	J04	4,62	4,97	5,32	8,93	8,99	12,66	1,79	1,71	1,63	1,10	1,10	0,37
P10	J01	7,73	8,20	8,65	13,08	13,15	16,85	1,18	1,13	1,08	0,74	0,73	0,26
	J02	7,07	7,52	7,95	12,25	12,32	15,96	1,27	1,21	1,16	0,78	0,78	0,27
	J03	7,37	7,82	8,25	12,52	12,59	16,19	1,29	1,23	1,18	0,81	0,81	0,29
	J04	6,74	7,16	7,58	11,72	11,79	15,31	1,38	1,32	1,26	0,86	0,86	0,31
P11	J01	13,99	14,57	15,13	20,36	20,44	23,35	0,69	0,66	0,63	0,45	0,44	0,17
	J02	13,14	13,71	14,27	19,41	19,49	22,37	0,73	0,70	0,67	0,47	0,47	0,18
	J03	13,40	13,97	14,51	19,61	19,69	22,54	0,76	0,73	0,70	0,50	0,49	0,19
	J04	12,58	13,14	13,67	18,68	18,76	21,58	0,81	0,77	0,74	0,52	0,52	0,20

Tabela 19 - Valores das necessidades de energia útil para aquecimento (inverno) para cada combinação de soluções construtivas - Residência Unifamiliar - Cidade de Curitiba/PR

Parede/ Janela/ Cobertura		CURITIBA [kWh/(m².ano)]					
		Inverno			Ref.		8,67
		C02	C04	C07	C09	C10	C11
P02	J01	0,58	0,68	0,77	2,02	2,05	4,54
	J02	0,47	0,54	0,63	1,75	1,77	4,09
	J03	0,57	0,65	0,74	1,92	1,95	4,30
	J04	0,46	0,53	0,61	1,66	1,69	3,87
P05	J01	0,58	0,67	0,76	2,00	2,03	4,53
	J02	0,46	0,54	0,62	1,73	1,75	4,08
	J03	0,56	0,65	0,73	1,91	1,93	4,29
	J04	0,45	0,52	0,60	1,65	1,67	3,86
P06	J01	0,60	0,70	0,79	2,07	2,09	4,61
	J02	0,48	0,56	0,65	1,79	1,81	4,16
	J03	0,59	0,67	0,77	1,97	1,99	4,37
	J04	0,47	0,55	0,63	1,70	1,72	3,94
P08	J01	2,47	2,70	2,93	5,41	5,46	8,46
	J02	2,16	2,37	2,58	4,92	4,96	7,84
	J03	2,35	2,56	2,78	5,13	5,17	8,04
	J04	2,05	2,25	2,45	4,66	4,70	7,45
P09	J01	3,61	3,90	4,18	7,09	7,14	10,16
	J02	3,22	3,48	3,75	6,52	6,57	9,50
	J03	3,42	3,69	3,96	6,73	6,77	9,67
	J04	3,05	3,30	3,55	6,19	6,23	9,03
P10	J01	5,31	5,66	5,99	9,38	9,44	12,36
	J02	4,82	5,15	5,47	8,74	8,79	11,65
	J03	5,03	5,36	5,68	8,92	8,97	11,79
	J04	4,57	4,88	5,19	8,30	8,36	11,10
P11	J01	10,09	10,55	10,99	15,19	15,26	17,64
	J02	9,43	9,88	10,31	14,42	14,49	16,83
	J03	9,60	10,05	10,47	14,53	14,60	16,91
	J04	8,97	9,40	9,81	13,78	13,85	16,13

Tabela 20 - Valores das necessidades de energia útil para aquecimento (inverno) para cada combinação de soluções construtivas - Residência Unifamiliar - Cidade de São José dos Ausentes/RS

SÃO JOSÉ DOS AUSENTES [kWh/(m².ano)]							
Parede/Janela		Inverno			Ref.		57,02
		C02	C04	C07	C09	C10	C11
P02	J01	31,20	33,37	35,44	54,30	54,59	76,92
	J02	28,05	30,18	32,22	50,94	51,24	73,51
	J03	31,57	33,72	35,79	54,57	54,87	77,15
	J04	28,43	30,55	32,59	51,23	51,52	73,75
P05	J01	31,00	33,16	35,23	54,08	54,38	76,84
	J02	27,85	29,97	32,02	50,73	51,02	73,43
	J03	31,37	33,52	35,58	54,36	54,65	77,08
	J04	28,23	30,35	32,38	51,01	51,30	73,67
P06	J01	31,68	33,85	35,93	54,80	55,10	77,46
	J02	28,52	30,65	32,70	51,44	51,74	74,05
	J03	32,04	34,20	36,27	55,08	55,37	77,70
	J04	28,90	31,02	33,06	51,73	52,02	74,29
P08	J01	59,21	61,50	63,68	83,08	83,38	101,47
	J02	55,83	58,12	60,29	79,66	79,96	98,04
	J03	59,47	61,76	63,93	83,31	83,61	101,69
	J04	56,10	58,38	60,55	79,89	80,19	98,26
P09	J01	69,70	72,00	74,20	93,66	93,96	110,46
	J02	66,30	68,60	70,79	90,24	90,54	107,03
	J03	69,94	72,24	74,43	93,88	94,18	110,67
	J04	66,55	68,85	71,03	90,46	90,76	107,24
P10	J01	82,39	84,71	86,91	106,43	106,73	121,29
	J02	78,98	81,29	83,49	103,00	103,30	117,85
	J03	82,62	84,93	87,13	106,64	106,94	121,49
	J04	79,21	81,52	83,72	103,21	103,51	118,06
P11	J01	110,12	112,45	114,66	134,22	134,52	144,84
	J02	106,69	109,02	111,22	130,79	131,09	141,41
	J03	110,33	112,66	114,87	134,42	134,73	145,04
	J04	106,90	109,22	111,43	130,99	131,29	141,61

Tabela 21 - Valores das necessidades de energia útil para aquecimento (inverno) e para arrefecimento (verão) para cada combinação de soluções construtivas - Residência Multifamiliar - Cidade de Porto Alegre/RS

PORTO ALEGRE [kWh/(m².ano)]			
		INVERNO	VERÃO
Parede/Janela		Ref.: -1,62	Ref.: 17,75
P02	J01	0,01	7,41
	J02	0,01	8,18
	J03	0,01	7,67
	J04	0,01	8,43
P05	J01	0,00	8,51
	J02	0,00	9,36
	J03	0,01	8,77
	J04	0,00	9,62
P06	J01	0,01	8,40
	J02	0,00	9,25
	J03	0,01	8,66
	J04	0,00	9,50
P08	J01	0,07	4,35
	J02	0,05	4,84
	J03	0,07	4,60
	J04	0,05	5,09
P09	J01	0,13	3,58
	J02	0,10	3,97
	J03	0,12	3,80
	J04	0,10	4,21
P10	J01	0,22	2,83
	J02	0,18	3,13
	J03	0,22	3,03
	J04	0,17	3,35
P11	J01	0,59	1,72
	J02	0,50	1,90
	J03	0,56	1,87
	J04	0,47	2,06

Tabela 22 - Valores das necessidades de energia útil para aquecimento (inverno) e para arrefecimento (verão) para cada combinação de soluções construtivas - Residência Multifamiliar - Cidade de Santa Rosa/RS

SANTA ROSA [kWh/(m².ano)]			
		INVERNO	**VERÃO**
Parede/Janela		**Ref.: 3,56**	**Ref.:18,74**
P02	**J01**	0,14	7,77
	J02	0,08	8,54
	J03	0,15	8,05
	J04	0,09	8,81
P05	**J01**	0,07	8,88
	J02	0,04	9,72
	J03	0,07	9,15
	J04	0,04	9,99
P06	**J01**	0,07	8,77
	J02	0,04	9,61
	J03	0,08	9,04
	J04	0,05	9,88
P08	**J01**	0,90	4,66
	J02	0,67	5,16
	J03	0,90	4,92
	J04	0,68	5,42
P09	**J01**	1,47	3,85
	J02	1,15	4,27
	J03	1,45	4,09
	J04	1,13	4,51
P10	**J01**	2,43	3,07
	J02	1,97	3,39
	J03	2,36	3,28
	J04	1,92	3,62
P11	**J01**	5,58	1,89
	J02	4,82	2,08
	J03	5,36	2,06
	J04	4,63	2,26

Tabela 23 - Valores das necessidades de energia útil para aquecimento (inverno) para cada combinação de soluções construtivas - Residência Multifamiliar - Cidade de Curitiba/PR

CURITIBA INVERNO [kWh/(m².ano)]		
Parede/Janela		**Ref.: 1,86**
P02	**J01**	0,080
	J02	0,048
	J03	0,087
	J04	0,054
P05	**J01**	0,038
	J02	0,021
	J03	0,044
	J04	0,025
P06	**J01**	0,041
	J02	0,022
	J03	0,047
	J04	0,027
P08	**J01**	0,550
	J02	0,405
	J03	0,549
	J04	0,409
P09	**J01**	0,915
	J02	0,705
	J03	0,899
	J04	0,698
P10	**J01**	1,541
	J02	1,238
	J03	1,494
	J04	1,206
P11	**J01**	3,718
	J02	3,181
	J03	3,551
	J04	3,043

Tabela 24 - Valores das necessidades de energia útil para aquecimento (inverno) para cada combinação de soluções construtivas - Residência Multifamiliar - Cidade de São José dos Ausentes/RS

SÃO JOSÉ DOS AUSENTES INVERNO [kWh/(m².ano)]		
Parede/Janela		**Ref.: 33,26**
P02	**J01**	11,63
	J02	8,42
	J03	12,53
	J04	9,27
P05	**J01**	7,24
	J02	4,73
	J03	8,05
	J04	5,45
P06	**J01**	7,60
	J02	5,02
	J03	8,43
	J04	5,76
P08	**J01**	33,05
	J02	28,47
	J03	33,90
	J04	29,35
P09	**J01**	41,94
	J02	37,17
	J03	42,76
	J04	38,01
P10	**J01**	52,96
	J02	48,06
	J03	53,74
	J04	48,85
P11	**J01**	77,52
	J02	72,49
	J03	78,24
	J04	73,22

5.3. SIMULAÇÕES COM SOFTWARE DESIGNBUILDER

Realizaram-se diversas simulações com o Software DesignBuilder principalmente para entender o comportamento das soluções construtivas em uma visão mais fiel ao que realmente acontece no interior das edificações com uma variedade enorme de parâmetros diferentes e devido à essa complexidade do Software, e a quantidade de parâmetros que ele gerencia, será pormenorizado aqui todos os parâmetros usados no Software para as diversas simulações e não mostradas todas as simulações que foram realizadas, pois isso geraria uma infinidade de conteúdo que geraram conhecimento para chegar em uma análise mais sintetizada ao que se busca. Apenas os resultados das simulações que tem impacto relevante a este trabalho serão pormenorizados e analisados no capítulo 5 desse trabalho.

No Software realizaram-se as simulações com as duas edificações em suas 4 localizações climáticas e criou-se um conjunto de soluções (*templates*) da seguinte maneira:

a) Situação mais isolada: A situação envolvendo a alvenaria P02, a Janela J02, e a cobertura C02 no caso da edificação unifamiliar;

b) Situação padrão: Onde envolve a construção corrente da região, com a alvenaria P09, a Janela J01, e a cobertura C09 no caso da edificação unifamiliar;

c) E a Situação menos isolada: A situação envolvendo a alvenaria P11, a Janela J01, e a cobertura C11 no caso da edificação unifamiliar (essa situação apenas foi usada para a cidade de Porto Alegre).

Além dessas variações de soluções construtivas, definiu-se as janelas como: Janela de madeira com vidro incolor 5mm e com proteção com estores pelo lado externo e uma taxa de abertura da janela de 40% e com o fechamento da proteção conforme modelo de atividades de uso residencial definido pela própria biblioteca do programa, para todas as simulações.

Esse modelo de atividades define como as pessoas afetam a temperatura no interior do edifício, pois elas geram ganhos internos de calor devido a movimentação e uso de equipamentos como lâmpadas, computadores etc. Esses parâmetros foram deixados igual para todas as simulações. Nesse modelo de atividade define um calendário de abertura das janelas onde determina que serão mais abertas durante a noite no verão (onde se tem menores temperaturas), e que estarão fechadas durante o inverno, da mesma forma que a proteção ficará aberta no inverno e fechadas durante alguns horários do dia no verão.

Outros parâmetros padrão que se definiu nas simulações foram as paredes internas e as de repartição com espaços não úteis como a separação entre a cozinha/garagem e entre fogo/caixa de escada, que ficaram como P09 (Inércia forte). Parâmetros como esse não afetam os resultados por ficar igual em todas as simulações, mas nos traz uma ideia melhor de como se realizou a simulação.

Então realizou-se as simulações verificando o desconforto térmico de uma semana específica de inverno e de verão, para analisar os resultados horários, e do ano todo para verificar em qual estação estava melhor ou pior, além de verificar se a radiação estava adentrando no interior da edificação conforme se definiu.

6

ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1. DO PONTO DE VISTA DAS NECESSIDADES DE ENERGIA

Com base nas tabelas de energia útil para as estações de aquecimento e arrefecimento foi criado uma série de gráficos, apresentados adiante (Figura 42 à Figura 49) para melhor analisar as combinações entre as soluções construtivas. Nos gráficos, além dos valores das necessidades de energia das diversas combinações de soluções foi traçada uma linha que representa os valores nominais de referência, que tem como base o clima de inverno mais ameno de Portugal continental, nomeadamente a zona climática I1.

Os pontos que estão abaixo dessa linha, ficam abaixo do ponto de referência, estando dentro da legislação portuguesa, e consequentemente os que estão acima, são os que não passariam como solução construtiva lá.

Mesmo mantendo essa linha de referência como base de estudo, os climas dos dois países têm suas diferenças. O Sul do Brasil tem cidades localizadas em locais de bastante altitude geográfica, e ficando com uma média de temperatura no verão bem baixas. E por outro lado, possui cidades com verãos bem quentes. Da mesma forma no inverno, os dois países se diferenciam, Portugal possui um inverno mais extenso com menor amplitude térmica, criando médias diárias mais baixas.

Analisando primeiramente apenas o efeito do isolamento térmico nas soluções construtivas estudados, é grande a diferença de valores nominais de energia para aquecimento entre residências sem nenhum isolamento para uma com isolamento térmico. Nos gráficos fica fácil perceber três grandes volumes separando os sistemas de cobertura das residências unifamiliares, o primeiro, de cima para baixo, em verde, a cobertura plana sem nenhum isolamento, na segunda linha, em amarelo, se destacam as coberturas inclinadas sem nenhum isolamento e no restante aparecem as demais, tendo um mínimo de 4cm de isolamento térmico (mesmo nos sistemas que apenas usaram abobadilhas de EPS, conseguiram ficar nesse último patamar).

Quando se criou os quatro tipos de janelas pensou-se em usar as janelas de vidro duplo para analisar o impacto que elas teriam em relação a mesma edificação com vidros simples. Primeiramente foi analisado os vidros sem nenhum tipo de proteção solar, e após constatar que os ganhos solares ficavam muito elevados no verão, alterou-se as simulações usando apenas os vidros com proteção.

Os vidros duplos na maioria dos casos, geraram menos necessidades de energia com aquecimento e arrefecimento do que o vidro simples. A solução mais eficiente, embora por muito pouca diferença foi a janela em madeira com vidro duplo. A utilização de vidro duplo modificou o resultado muito pouco em comparação com as outras soluções construtivas. Este facto pode ser explicado pelos dois tipos de trocas de calor através dos vidros: por um lado, o atravessamento direto da radiação solar devido à sua transparência e função do seu fator solar e por outro lado, a transmissão de calor (perdas ou ganhos) em função da sua menor ou maior resistência térmica.

O vidro simples de 5mm incolor, utilizado possui um fator solar de 0,87, ou seja, transmite para o interior 87% da radiação incidente, e o vidro duplo utilizado, também incolor, sendo um vidro de 5mm e outro

de 4mm, tem um fator solar de 0,78. Ou seja, bloqueia 9% a mais de radiação solar que os 87% do vidro simples. O vidro duplo tem uma resistência térmica superior à do vidro simples.

E num clima como o do Brasil, mesmo no Sul, a radiação solar é bastante significativa. Logo um tipo de vidro, mesmo isolando mais, se bloquear muito o sol, vai prejudicar os ganhos solares na estação de aquecimento, mas, pelo facto de ter um U mais baixo, vai impedir a saída do calor, no caso da estação de arrefecimento.

6.1.1 Zona Bioclimática 1

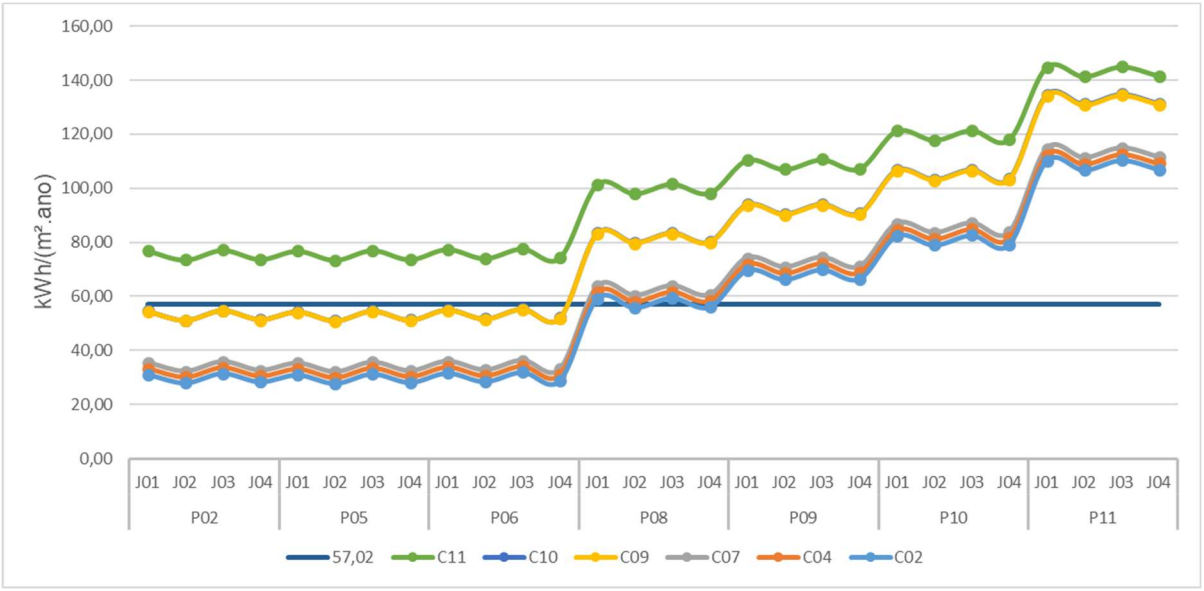


Figura 42 - Gráfico de Nic - Unidade Unifamiliar - São José dos Ausentes

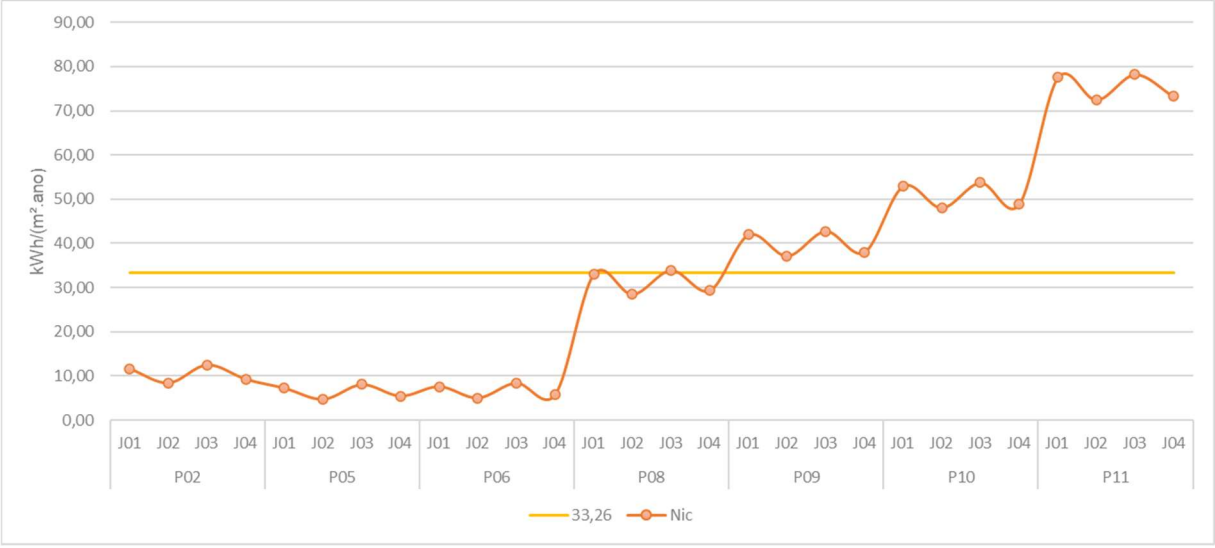


Figura 43 - Gráfico de Nic - Unidade Multifamiliar - São José dos Ausentes

De modo geral, a legislação portuguesa faz com que os climas mais frios tenham que ter soluções construtivas mais eficientes do ponto de vista térmico, e isso é o que se nota claramente aqui, na cidade de São José dos Ausentes, mesmo na unidade unifamiliar quanto na multifamiliar necessitam de soluções com bastante resistência térmica. Nessa cidade os únicos tipos de alvenarias que ficaram abaixo da linha de referência foram os sistemas isolados, sendo elas sistemas ETICS ou parede dupla com isolamento no interior. Qualquer outro sistema sem o isolamento não cumpriria a legislação, ou ficariam muito próximo do limite como o que aconteceu com a solução de parede P08.

A Figura 42 mostra os Nic das diversas soluções regulamentares da unidade unifamiliar, e a Figura 43, mostra os Nic das diversas soluções regulamentares da unidade multifamiliar.

Para a cidade de Curitiba/PR, também da zona bioclimática 1, na estação de aquecimento, teve muita semelhança com a mesma estação para a cidade de Santa Rosa/RS, logo será pormenorizada junto com ela. A diferença está entre o clima de verão em que a cidade de Curitiba foi definida que não teria estação de arrefecimento devido aos seus baixos valores médios de temperatura no verão.

Em resumo da zona bioclimática 1 do ponto de vista apenas de necessidade de energia para aquecimento e arrefecimento, podemos dizer que quanto mais isolamento melhor, pois é relativamente baixa a necessidade de arrefecer. Única exceção à regra, pode se dizer, é as soluções em alvenaria como sistema ETICs na unidade multifamiliar, que favoreceu minimamente mais do que a solução de parede dupla com isolamento, que teria mais resistência térmica, esse facto se dá ao favorecimento pelas perdas lineares, tendo o isolamento pelo exterior.

6.1.2 Zona Bioclimática 2

As cidades de Santa Rosa/RS e Curitiba/PR tiveram uma significante baixa no consumo de energia útil para aquecimento em comparação a São José dos Ausentes. Santa Rosa teve a referência cerca de 5x menor em comparação com a cidade da Serra Gaúcha e consequentemente as necessidades de isolamento para o inverno ficaram muito menores.

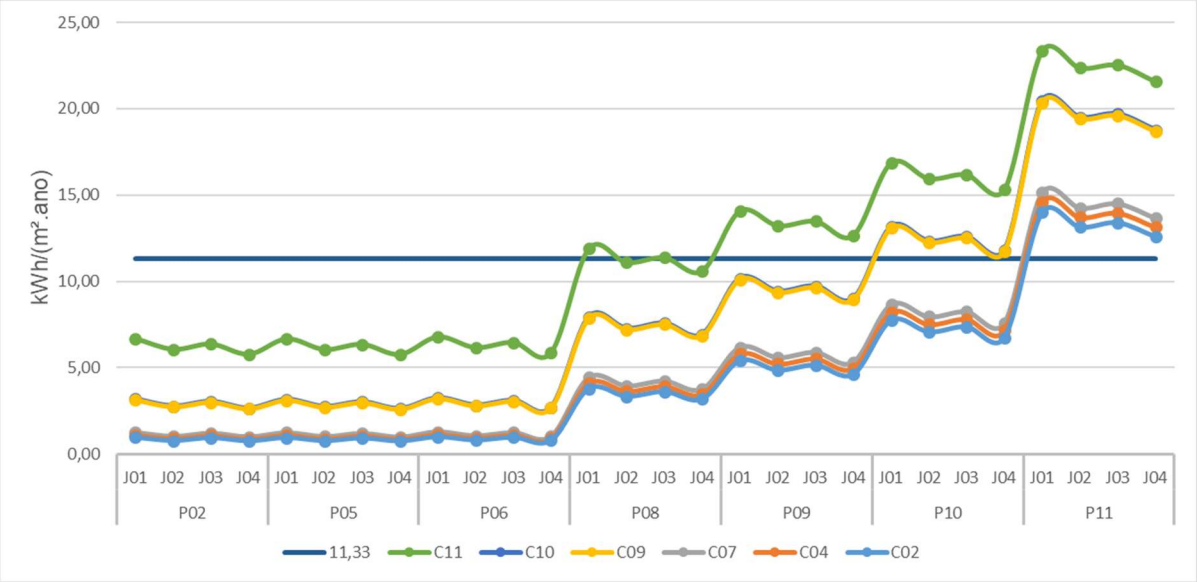


Figura 44 - Gráfico de Nic - Unidade Unifamiliar - Santa Rosa

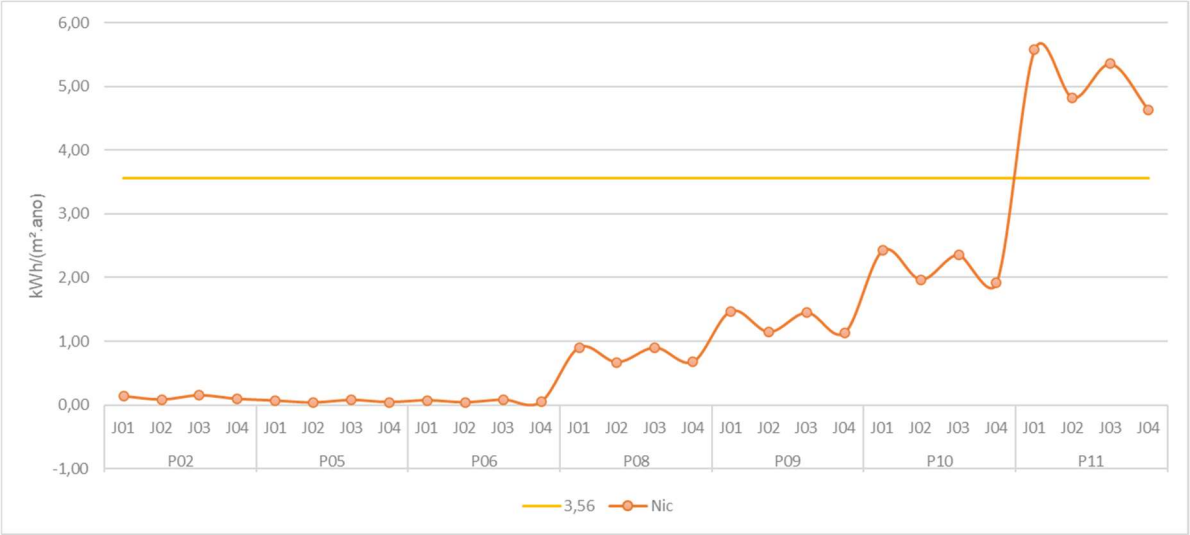


Figura 45 - Gráfico de Nic - Unidade Multifamiliar - Santa Rosa

No inverno a Zona bioclimática 2 aceitou a maioria das soluções estudadas, com exceção da P11 para ambas as edificações e na unidade unifamiliar algumas coberturas sem isolamento combinadas de paredes também sem isolamento. Todas as demais soluções em alvenaria, até mesmo a combinação mais corrente da região ficou pouco abaixo da referência: a combinação de P09 com C09. Com cerca de 10,10kWh, bem próximos dos 11,33kWh da referência. Até mesmo as coberturas sem isolamento nenhum, ficaram aceitáveis com a metade mais isolante das alvenarias. Em um máximo de 6,78kWh para a solução de C11.

Logo, mesmo o clima de inverno ainda sendo um pouco mais influente nas necessidades de energia útil, as necessidades de soluções construtivas favorecem os menores U`s mas com pouca intensidade.

Com as janelas, não se vê significante alterações para as soluções mais isoladas na unidade multifamiliar, entre tanto no restante das soluções, nota-se em destaque a diferença que o vidro duplo proporciona, indiferente de ser uma janela de madeira ou alumínio. Tendo ainda mais efeito na unidade multifamiliar com soluções poucos isoladas.

A problemática com o isolamento começa a atrapalhar no verão, pois edificações com soluções muito isoladas têm mais dificuldade em arrefecer o ambiente, gerando mais gastos de energia. Na unidade unifamiliar os valores de Nic ficaram ligeiramente maiores que o Nvc, assim para a maioria as soluções, gasta mais energia para aquecer do que para arrefecer.

Aqui também se nota que a legislação Portuguesa é bem mais branda para arrefecer do que para aquecer, pois o valor de referência fica bem acima de todas as soluções. O mesmo não ocorreu na unidade multifamiliar, mesmo com o mesmo valor de referência, que a unidade unifamiliar, as soluções não obtiveram muito êxito em ficar abaixo da linha de referência, apenas as soluções com as paredes sem isolamento nenhum de P10 e P11 é que conseguem não manter a casa quente o suficiente.

Então notou-se que para a estação de arrefecimento os ganhos solares eram altíssimos, logo simulou-se a aplicação de proteções móveis nas janelas para estudar o efeito disso nas edificações, e o resultado foi bastante relevante. Os gastos de energia útil na estação caíram para cerca de um terço do valor, ficando agora muito abaixo da referência mesmo na unidade multifamiliar. A Figura 46 e a Figura 47 demonstram isso, a proteção usada na simulação foi a persiana de régua plástica pelo exterior, tendo como base o princípio que ela ficará fechada nos horários de maior incidência solar.

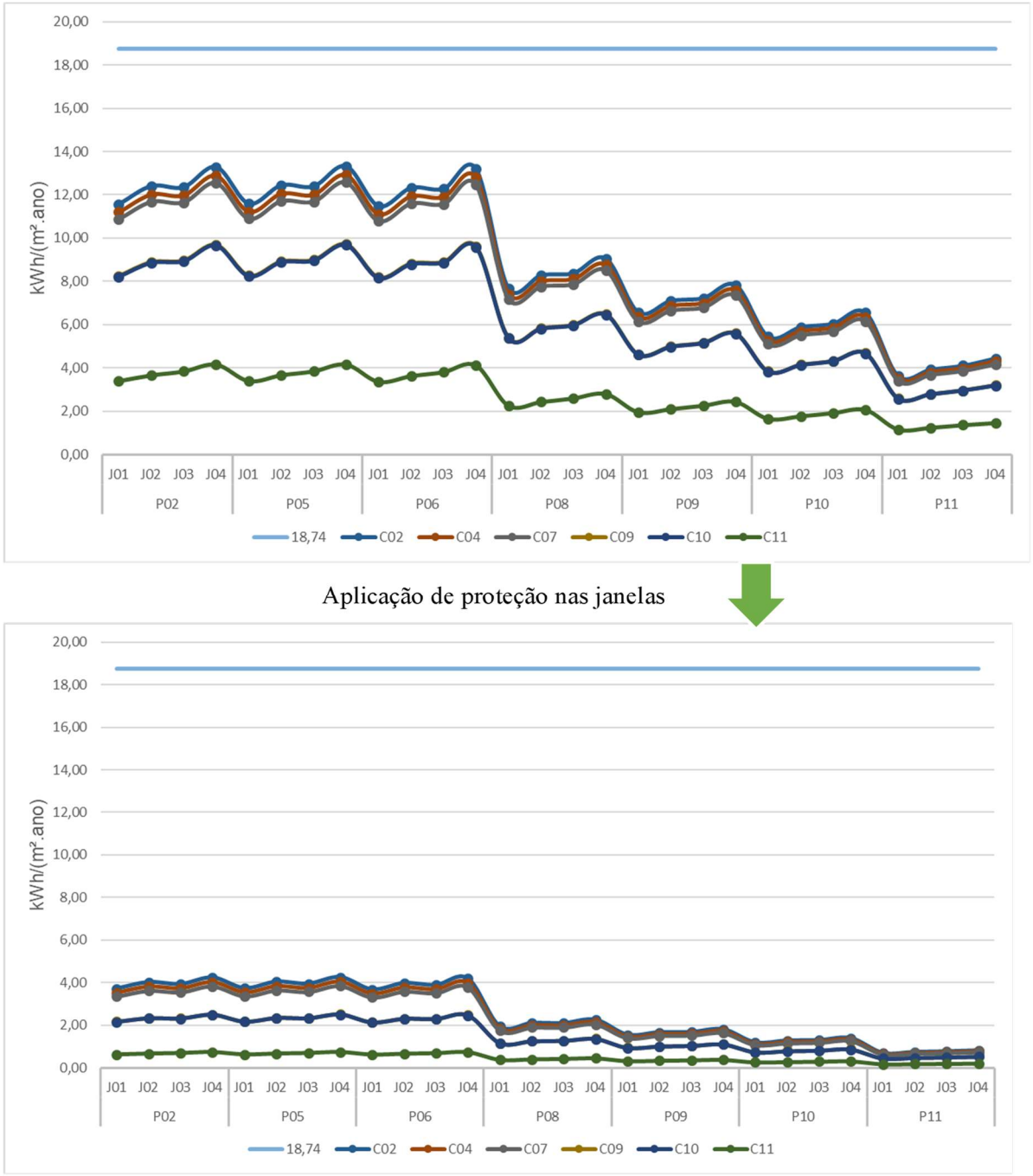


Figura 46 - Gráfico de Nvc - Unidade Unifamiliar - Santa Rosa



Figura 47 - Gráfico de Nvc - Unidade Multifamiliar - Santa Rosa

6.1.3 Zona Bioclimática 3

Para a estação de aquecimento a cidade de Porto Alegre apresentou gráficos bastante semelhante a cidade de Santa Rosa, porém com os valores proporcionalmente mais baixos, sendo a referência de 18,74 kWh/(m².ano) para Santa Rosa e 17,75 kWh/(m².ano) para Porto Alegre, genericamente são os mesmos valores.

No inverno é que difere bastante de Santa Rosa, a referência para o inverno ficou com valor negativo (-1,62 kWh/(m².ano)) para a unidade multifamiliar e de 0,58 kWh/(m².ano) para a residência unifamiliar.

Essa referência negativa se deve unicamente por a unidade multifamiliar ter apenas 2 fachadas com troca de calor com o exterior, fazendo com que as perdas de calor pela envolvente somadas as perdas pela ventilação sejam menores do que os ganhos de calor devido a radiação mais os ganhos internos. Além do facto de que possui apenas 72 Graus dias na estação de aquecimento, ainda que tenha sido reduzido o período da estação de aquecimento para apenas 2 meses para tentar evitar a referência negativa, mas para a unidade multifamiliar não se conseguiu evitar isso.

Assim pode-se disser que a metodologia portuguesa não é formulada para climas quentes, não tendo muito êxito com climas como a da zona bioclimática 3. Mesmo a unidade unifamiliar não dando um valor de referência negativa, o valor é muito baixo. Esse tipo de resultado nunca aconteceria em Portugal, pois por menor que seja o valor da referência, na situação climática mais quente ainda teria cerca de 600 graus dias de aquecimento, o que eleva bastante as perdas pela envolvente e ventilação em relação aos ganhos de calor.

Como visto com os dados climáticos dessa cidade, só se tem 2 meses com médias relativamente baixas, não sendo necessário se preocupar tanto com o aquecimento, mas sim com o arrefecimento.

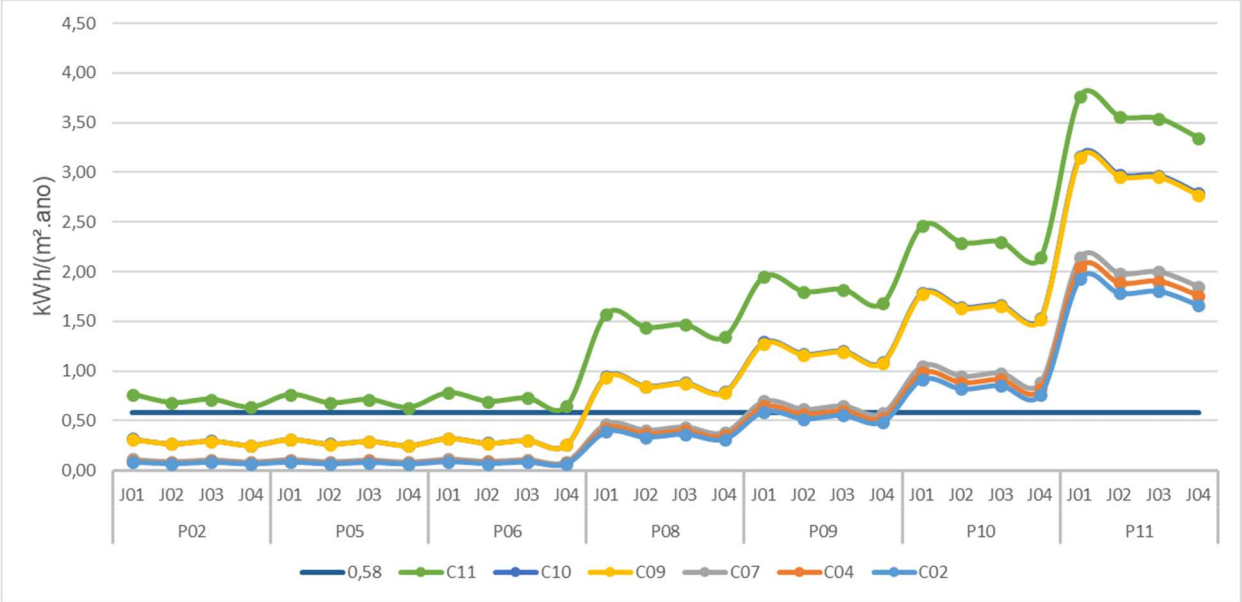


Figura 48 - Gráfico de Nic - Unidade Unifamiliar - Porto Alegre

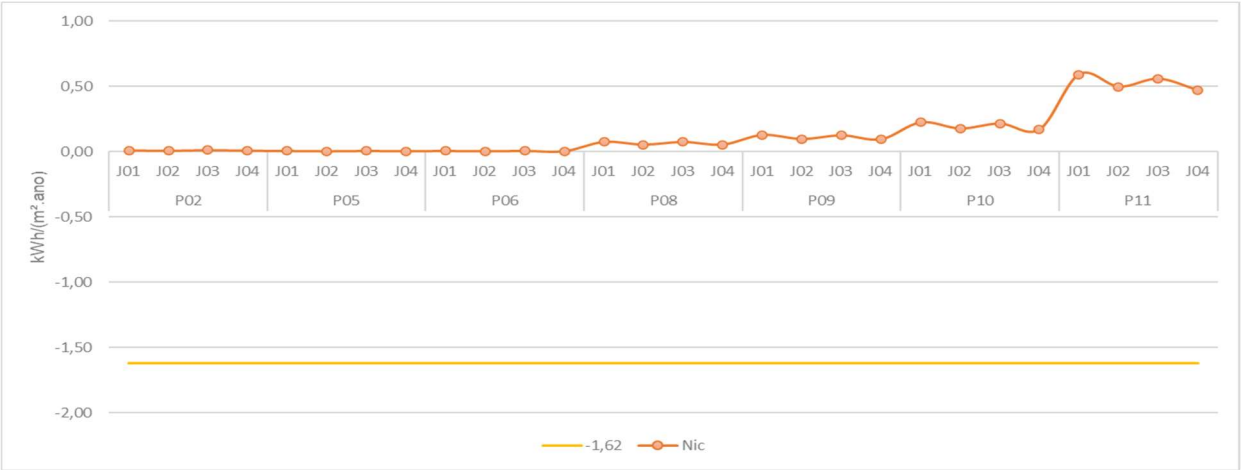


Figura 49 - Gráfico de Nic - Unidade Multifamiliar - Porto Alegre

Os gráficos de arrefecimento se assemelham bastante com a cidade de Santa Rosa, mesmo nos valores e na referência, chegando muito próximo dos valores da Figura 46 e Figura 47, e da mesma forma obtiveram uma grande vantagem com a utilização de persianas nas janelas.

6.2. DO PONTO DE VISTA TÉCNICO-ECONÓMICO

Para poder avaliar se uma solução vai ter um retorno econômico devido ao gasto inicial que tem com a execução de soluções de maior isolamento térmico, foi preciso definir uma edificação padrão, nomeadamente as soluções mais correntes da região. Assim se definiu para a residência unifamiliar as soluções de P09, C09 e J01 e para a residência multifamiliar as soluções de P09, CP02 e J01.

A comparação é basicamente verificar quanto uma solução custa a mais ou a menos que o conjunto de soluções padrão e somar a isso quanto essa solução gasta ou economiza de energia também a mais que a solução padrão.

Por exemplo se apenas for trocar a Janela01 pela janela02 será considerado o valor da Janela02 subtraindo a Janela01 e esse será o quanto a solução da Janela02 gasta a mais. E da mesma forma será considerado o quanto a Janela02 economizou de energia em um período de tempo e subtraindo isso do custo adicional da instalação dessa janela teremos o quanto essa Janela gastou ou economizou da solução padrão.

Para isso, simulou-se um horizonte de 25 anos para o cálculo e usou-se a metodologia *LCC* para trazer os valores futuros para o tempo de agora e poder comparar os números. Sendo assim o investimento inicial com o *upgrade* da solução sempre valerá algum valor no final depreciado do período e terá um valor de venda que será atualizado. A depreciação utilizada para as soluções no final da vida útil foi atribuída em 40%.

Assim como foi feito com a depreciação corrigida, pegou-se os valores de energia útil gastos na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento no mesmo período de 25 anos e atualizou-se esses valores para o tempo atual.

6.2.1 ZONA BIOCLIMÁTICA 1

Nessa zona bioclimática, por não haver estação de arrefecimento, as soluções mais isoladas termicamente tiveram maior êxito. Todas as soluções com isolamento térmico ficaram com os mesmos padrões de economia. Podendo economizar cerca de 23mil euros no período de 25 anos com essas soluções. Tanto para a cidade de Curitiba como São José dos Ausentes tiveram o mesmo padrão de gráficos, porém com uma escala de preços diferente, enquanto se pode economizar quase o valor do próprio imóvel em 25 anos na cidade de São José dos Ausentes, apenas tendo um gasto inicial maior na construção, em Curitiba se tem uma economia na casa dos 2,3mil euros.

A Figura 50 e a Figura 51 demonstram bem isso, as economias que se podem ter em 25anos apenas aplicando soluções mais isolantes em edificações do bioclima 1 no Sul do Brasil.

Na Figura 51 se nota uma leve vantagem por soluções da envolvente com o isolamento pelo exterior, nomeadamente pelos sistemas ETICs, isso se dá por terem menos perdas lineares entre as ligações.

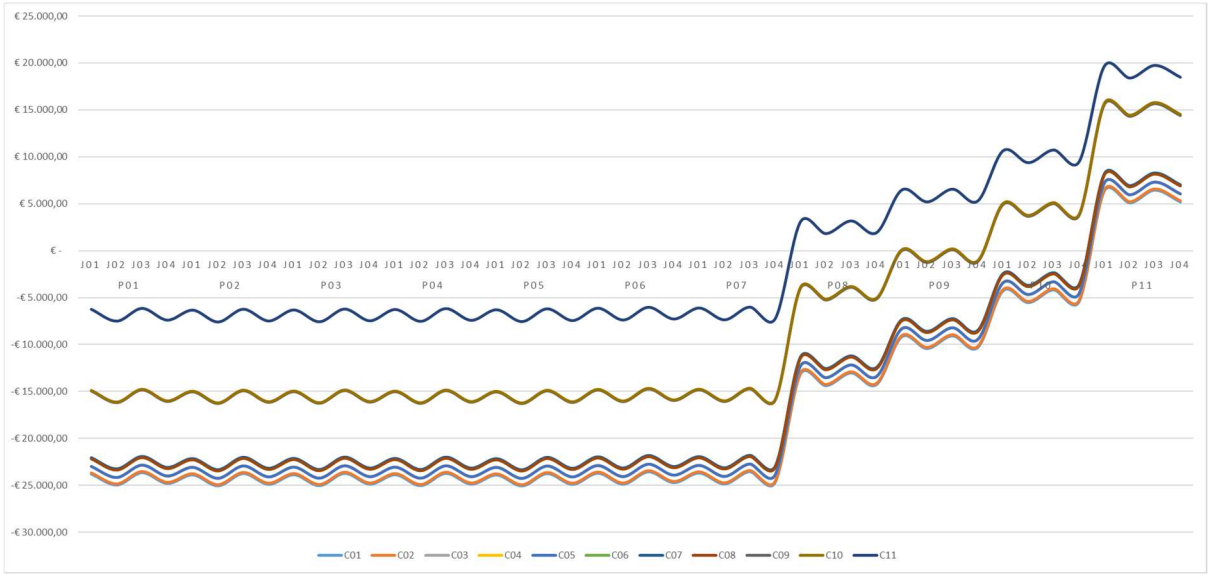


Figura 50 - Soluções com melhor custo-benefício – Resid. Unifamiliar - São J.dos Ausentes

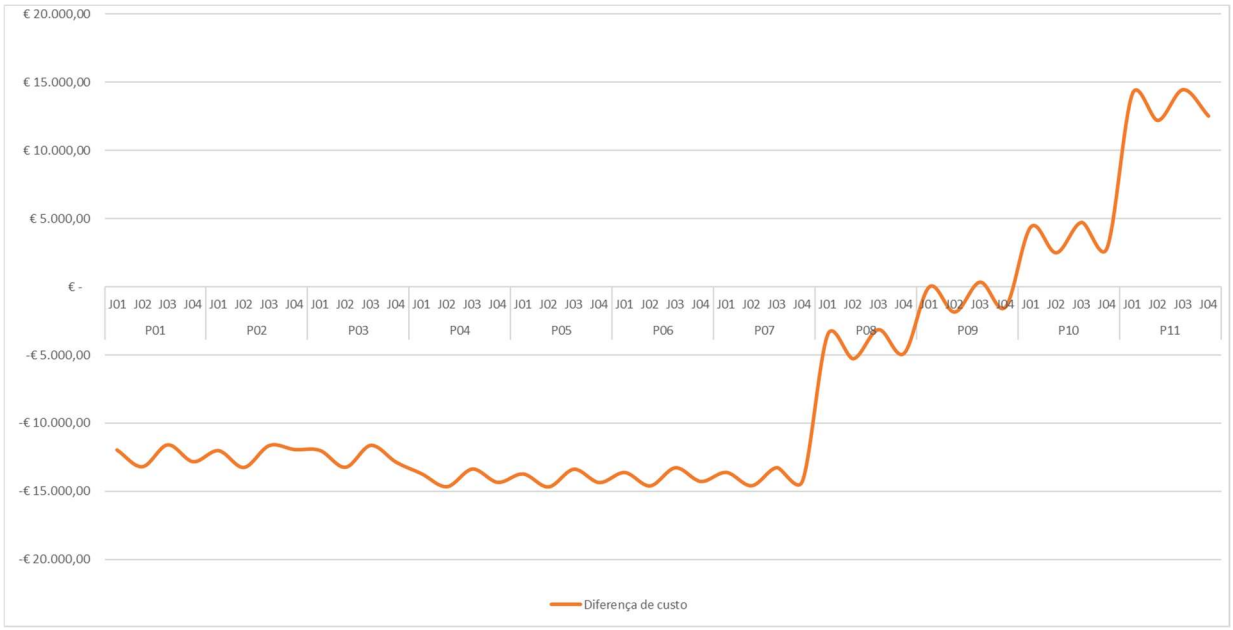


Figura 51 - Soluções com melhor custo-benefício – Resid. Multifamiliar - São J.dos Ausentes

6.2.2 Zona Bioclimática 2

Na cidade de Santa Rosa/RS, mesmo tendo uma estação de arrefecimento semelhante a Porto Alegre, os gastos de energia útil para aquecimento são maiores que os gastos de arrefecimento, o que favorece as soluções com menores U, logo, o gráfico fica bastante semelhante ao de Curitiba. Na unidade unifamiliar a economia se dá com sistema mais isolados na casa dos 2,3mil euros. Esse facto se dá por estar utilizando persianas de proteção nas janelas, para a estação de arrefecimento, sem esse sistema o gráfico estaria pendendo para arrefecer a edificação.

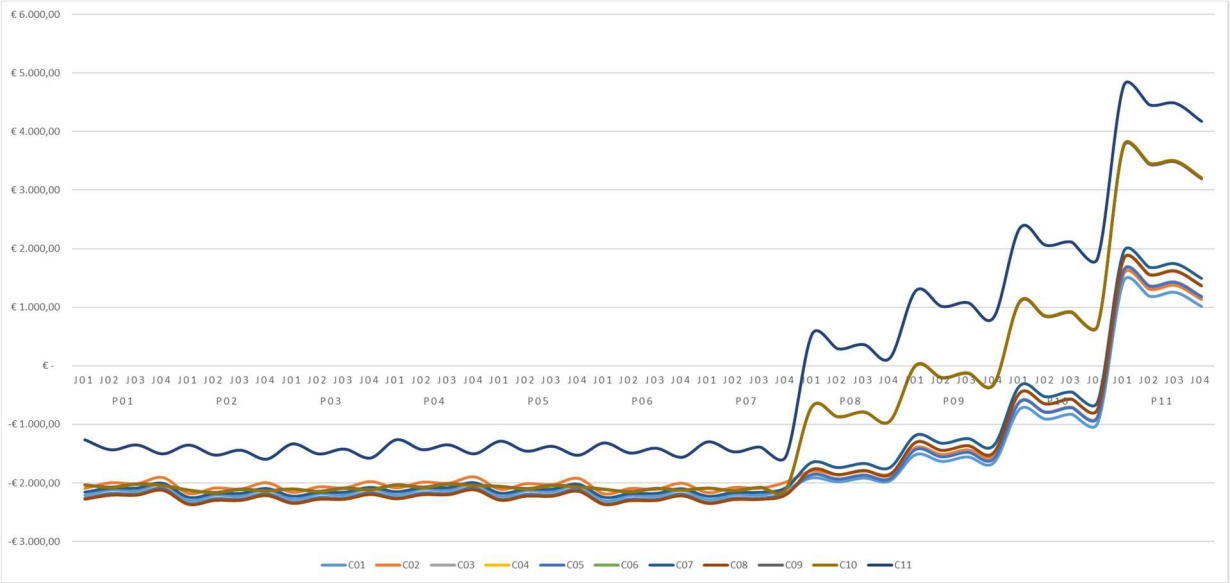


Figura 52 - Soluções com melhor Custo-benefício - Residência Unifamiliar - Santa Rosa

Na edificação multifamiliar, Figura 53, aparentemente a solução corrente é a mais eficaz em termos de custos, pois as demais soluções tendem a terem maiores custos de energia para manter arrefecido o ambiente. Outro porém é que devido aos valores de energia útil anuais ainda serem bastante baixos, devido ao clima favorável, o custo do investimento inicial afetou bastante o gráfico, diferente da zona bioclimática 1, em que o custo inicial é praticamente nada em relação ao efeito de economia em 25 anos que as demais soluções proporcionam.

Assim, as soluções de envolventes de P08, P09 e P10, é quem teve melhores resultados, sendo que são soluções mais econômicas e não geram altos valores de energia útil em nenhuma das estações.

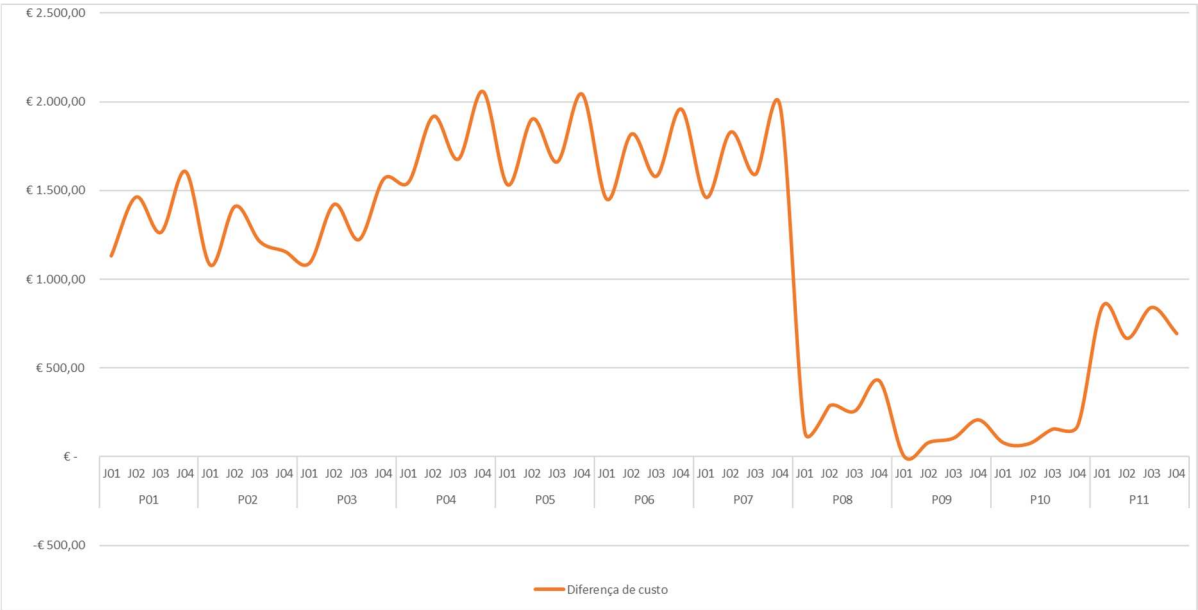


Figura 53 - Soluções com melhor Custo-benefício - Residência Multifamiliar - Santa Rosa

6.2.3 Zona Bioclimática 3

Na cidade de Porto Alegre, mais uma vez se intensifica a tendencia de economia por soluções sem isolamento nenhum. Isso ocorreu em ambas as edificações, tendência essa que se dá por ter um verão mais intenso que o inverno.

De modo geral, também é possível notar o quanto mais confortável é essa cidade em relação às outras, mesmo os piores resultados geram uma despesa de cerca de 1,5mil a 2,5mil euros na unidade multifamiliar no período de 25 anos, e na unidade unifamiliar isso ainda é mais baixo.

Na residência unifamiliar a Cobertura11, que é uma cobertura plana em laje aligeirada sem isolamento nenhum, se destacou entre as outras devido a sua economia no verão.

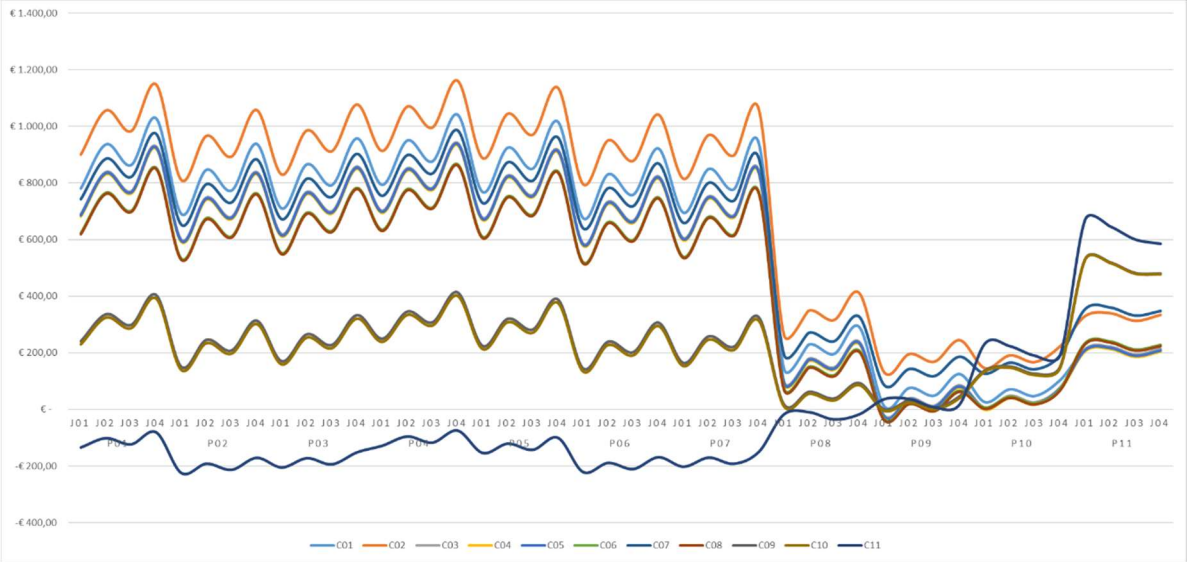


Figura 54 - Soluções com melhor Custo-benefício - Residência Unifamiliar - Porto Alegre

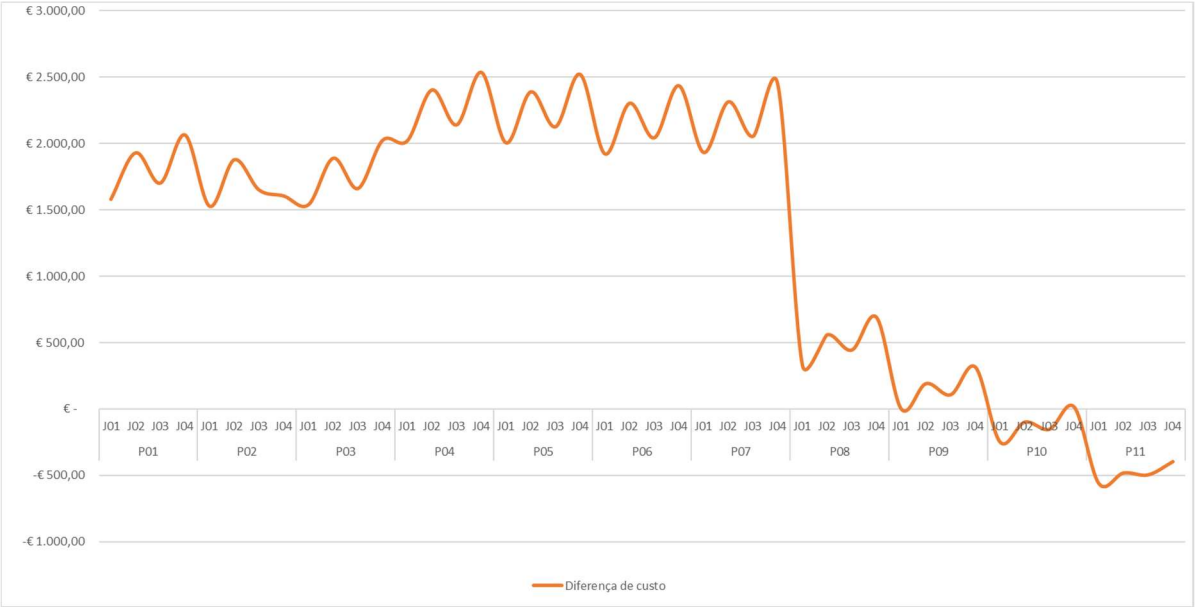


Figura 55 - Soluções com melhor Custo-benefício - Residência Multifamiliar - Porto Alegre

Interessante notar aqui também, que as soluções com vidro simples tiveram melhores resultados.

E numa comparação para a solução P11 da unidade multifamiliar, em comparação com a cidade de Santa Rosa, em Porto Alegre o verão pesou mais para essa solução do que em Santa Rosa, onde a estação de aquecimento não deixou a solução P11 ter mais economia.

6.3. DO PONTO DE VISTA DO CONFORTO TÉRMICO

Realizaram-se diversas simulações dinâmicas com o auxílio do software DesignBuilder para verificar com mais exatidão as variações de temperatura horárias no interior da edificação e o impacto das alterações de isolamento no conforto térmico direto aos ocupantes da residência.

Obtidos os resultados das simulações, verificaram-se quatro parâmetros principais: a temperatura exterior, nomeadamente a temperatura do bulbo seco; a temperatura do ar interior da edificação; a humidade relativa do ar no interior da edificação; e as horas de desconforto térmico no interior do espaço ocupado da edificação. A primeira informação nada mais é do que a temperatura exterior que o programa retirou dos dados climáticos cadastrados no mesmo. Já a temperatura do ar e a humidade relativa interior é o resultado do efeito das soluções construtivas aplicadas na residência. No tocante às horas de desconforto é preciso primeiramente entender como o programa as avalia:

O Software utiliza um padrão internacional para definir se na hora "x" o conjunto de parâmetros climáticos no interior da edificação se enquadra com esse padrão, nomeadamente a taxa de humidade interior (que é a razão entre a massa de vapor d'água por unidade de massa de ar seco), conforme a Figura 56, para o inverno a temperatura deve ficar entre 19,6ºC e 26,3ºC e no verão entre 23,6ºC e 28,3ºC, onde o intervalo de temperaturas vai-se deslocando em direção a temperaturas mais baixas à medida que a humidade sobe.

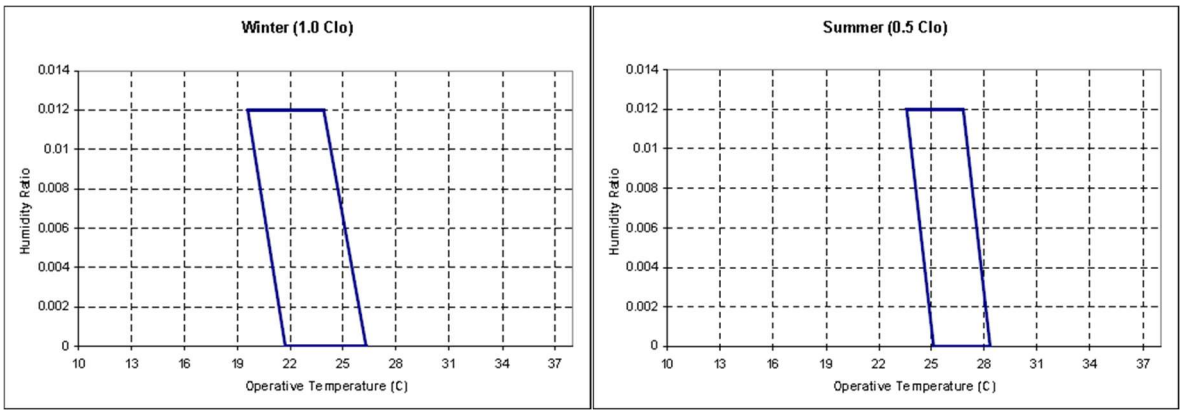


Figura 56 - Referencia de Conforto Térmico DesignBuilder
Fonte: (DesignBuilder, 2021)

Essa referência de conforto térmico aparenta ter as temperaturas um pouco elevadas para o interior das edificações, pois conforme a metodologia portuguesa tem-se conforto térmico com temperaturas internas entre 18 ºC e 25ºC, o que parece uma referência bastante prática até para o clima do Sul do Brasil. Por causa disso, as cidades da zona bioclimática 1 tiveram resultados um tanto distorcidos em referência ao verão, com exageradas horas de desconforto por frio, mesmo tento médias de temperatura interna na casa dos 20ºC a 23ºC (já que a referência para essa estação é acima dos 23,6ºC), temperatura bastante confortável para esse clima.

Para as simulações foram definidos alguns conjuntos de soluções, como a situação mais isolada, a situação padrão e a situação menos isolada e devido ao conforto interno estar bastante associado aos ganhos de calor interno, foi definido um modelo de ocupação da residência que ficou padrão a todas as simulações, as únicas alternâncias realizadas era entre os modelos de soluções construtivas, o zoneamento climático e foi verificado também a utilização de sistema de aquecimento e arrefecimento mais utilizado no Sul do Brasil: o sistema *split* sem troca de ar, com tecnologia para aquecimento e arrefecimento nas zonas dos dormitórios e na sala e cozinha, devido ao conforto também estar relacionado ao poder de regularizar o clima interno com o auxílio mecânico, quando o isolamento passivo não é suficiente.

Foi verificado o total de horas de desconforto para as soluções e verificado uma semana típica de inverno definida entre os dias 20 a 26 de Julho e uma semana típica de verão correspondente aos dias 15 e 21 de Dezembro.

Outro ponto importante em relação ao conforto térmico é que independente de qualquer cidade simulada o conjunto de soluções mais isolantes é o que garantiu menores oscilação climáticas. Tanto para a estação de aquecimento, como a estação de arrefecimento tiveram os mesmos fins, o isolamento reduz os picos de frio e calor e suaviza o clima, na Figura 58 mostra a oscilação climática de uma semana de verão na cidade de Santa Rosa, na primeira a temperatura interna oscila junto com a temperatura externa e no gráfico de baixo a temperatura interna se padroniza próxima as 22ºC enquanto a temperatura exterior faz seus picos no final da tarde e no início da manhã.

Essa regularização da temperatura interna tem suas vantagens e desvantagens: quando o clima está frio ou quente lá fora a edificação tem mais dificuldade em perder o calor para o exterior, mantendo a casa quente por mais tempo ou com menor gasto de energia para mantê-la aquecida por mais tempo. E esse efeito é bom no inverno, mas não no verão. A edificação vai precisar de arrefecimento mecânico para mantê-la arrefecida.

Também se pode observar na Figura 58 é que no início da semana teve uma madrugada fria e da mesma forma que os picos de calor não impactaram muito no calor interno, esse pico de frio não arrefeceu muito a edificação.

6.3.1 Zona Bioclimática 1

A Figura 57 claramente mostra como o isolamento consegue elevar a média interna de temperatura da edificação na zona bioclimática 1, onde no primeiro gráfico apare uma média na faixa dos 15ºC subindo a temperatura junto com os picos externos, e no gráfico seguinte a temperatura média consegue subir em pelo menos 2º. É preciso notar também que em algumas horas de pico de calor a solução mais isolada foi menos eficiente pois não acompanhou essa elevação, mas foi por apenas poucas horas e em no máximo 1ºC menos eficiente.

No terceiro gráfico da imagem, com o conjunto de soluções mais isolantes, o efeito do aparelho *split* ligado durantes os horários mais frios do dia para auxiliar com o aquecimento, deixa o ambiente alguns graus mais quentes, agora um pouco acima dos 20ºC. Para chegar a mesma temperatura com a solução menos isolada ele teria que consumir uma quantidade maior de energia.

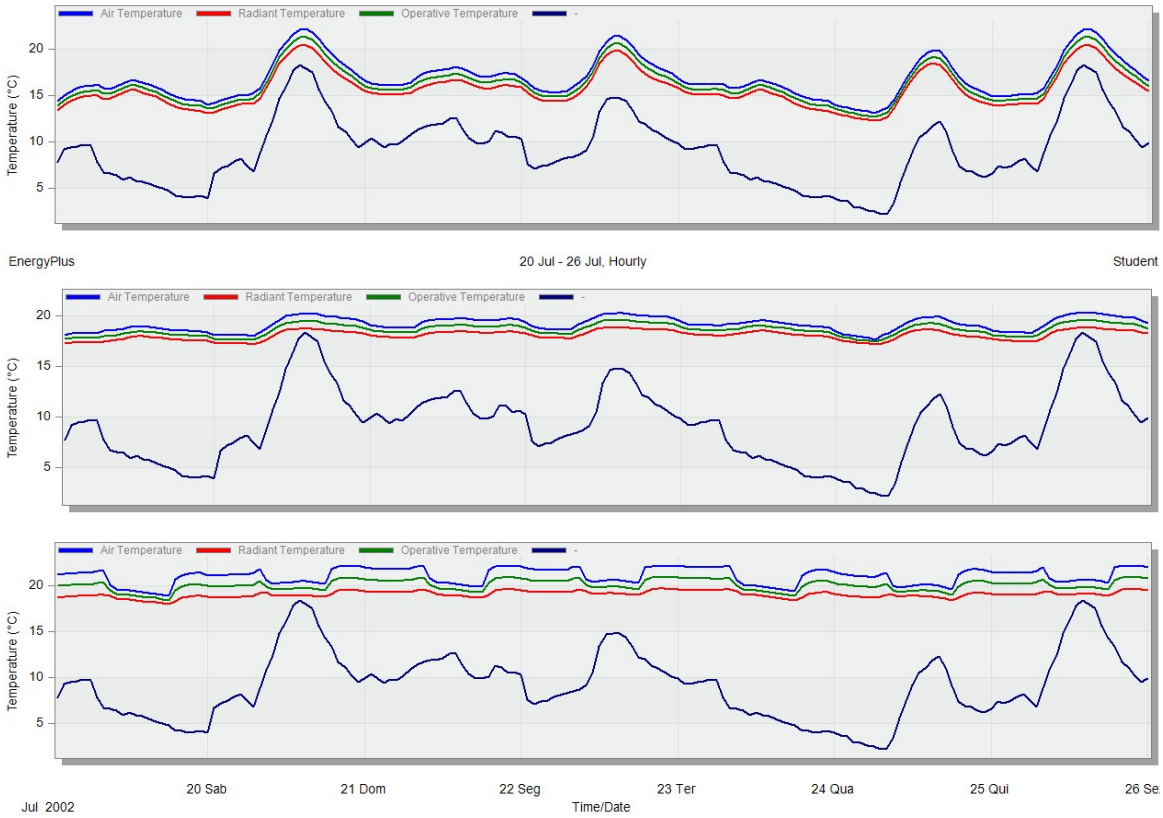


Figura 57 - Semana de inverno em São José dos Ausentes - Situação padrão, situação mais isolada e o efeito da climatização mecânica

6.3.2 ZONA BIOCLIMÁTICA 2

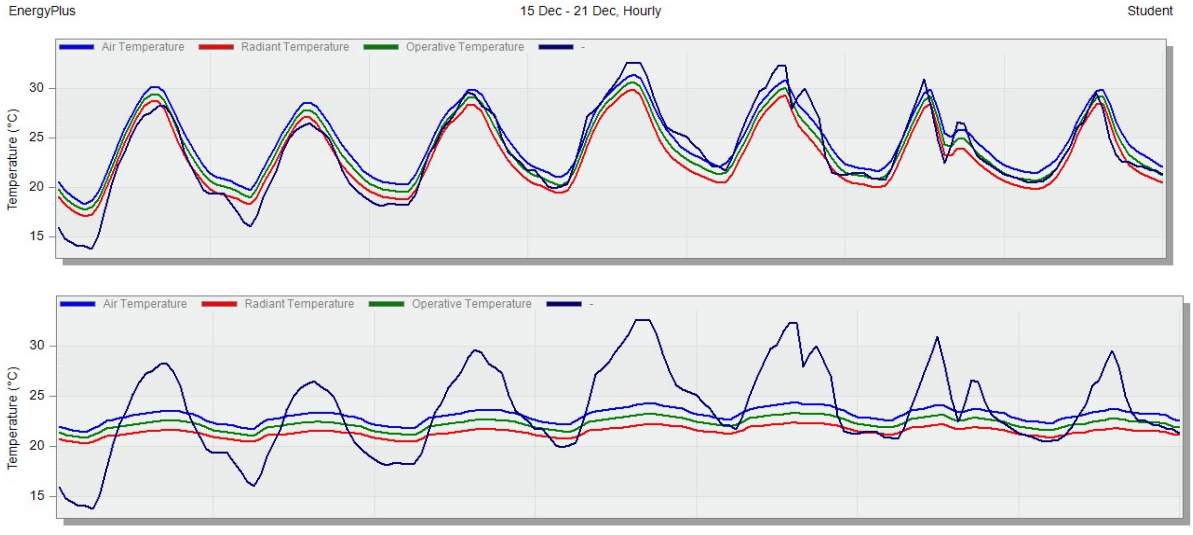


Figura 58 - Semana de verão em Santa Rosa - Solução padrão e a mais isolada – Unid. Unifamiliar

A temperatura no inverno se assemelha muito aos gráficos da zona bioclimática 1, porém com um clima mais favorável, a temperatura média fica mais facilmente em uma temperatura de conforto, precisando de muito menos aquecimento mecânico para a manter agradável.

Quanto à estação de arrefecimento, as soluções seguem as mesmas diretrizes da zona bioclimática 3, e os gráficos da semana de verão podem ser observados na Figura 58, para a residência unifamiliar.

O maior problema gerado com o maior nível de isolamento surgiu apenas nas Cidades de Santa Rosa e Porto Alegre, na unidade multifamiliar, com clima de verão mais desenvolvido. Nesses casos, diferentemente do que ocorreu com habitação unifamiliar, a temperatura interior se elevou bastante.

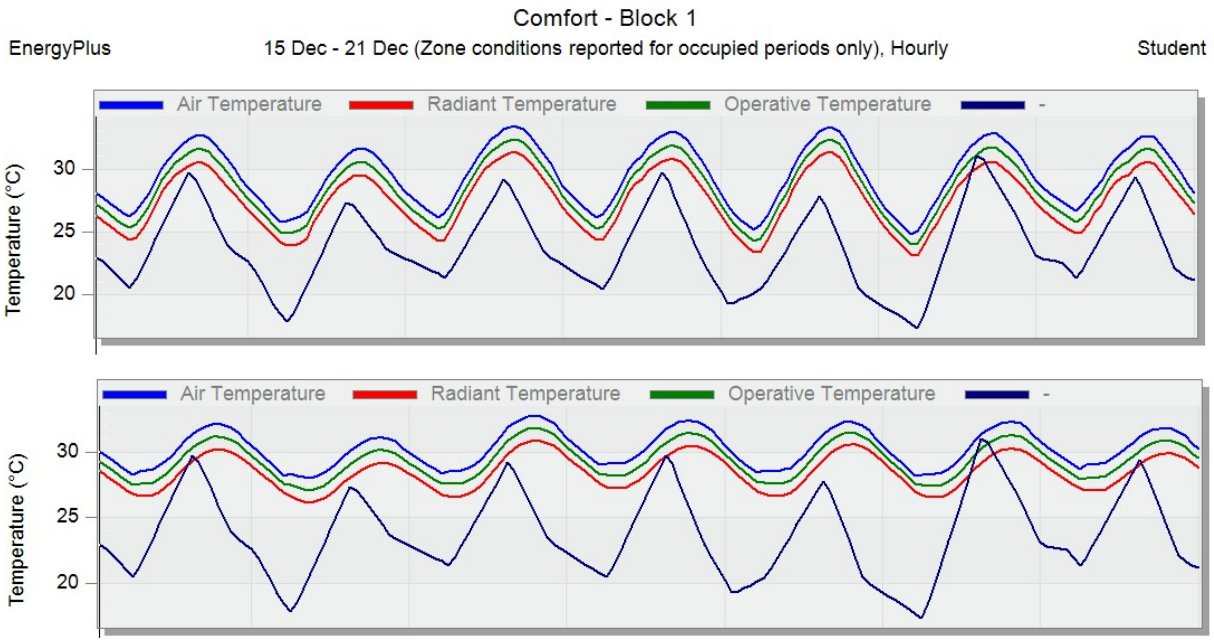


Figura 59 - Semana de verão em Santa Rosa - Solução padrão e a mais isolada – Unid. Multifamiliar

6.3.3 Zona Bioclimática 3

Além de ter um efeito no inverno semelhante ao já citado no bioclima 1, sobre o desconforto térmico na cidade de Porto Alegre, é possível observar a evolução do isolamento e o sistema mecânico de aquecimento auxiliando o conforto térmico. Conforme a Figura 60, no primeiro gráfico temos a solução construtiva padrão, sem aquecimento mecânico, no segundo e terceiro gráficos temos o sistema de aquecimento ligado sendo no segundo ainda a solução sem isolamento e na terceira o sistema de isolamento. Esses períodos de desconforto que ainda restaram estão mais relacionados a baixa humidade relativa que ficou nesses períodos.

No que diz respeito ao verão, na unidade unifamiliar, o isolamento parece auxiliar no conforto, pois garante uma temperatura interna mais padronizada, evitando esquentar nos picos de calor do fim da tarde. Até mesmo o sistema menos isolado e o padrão, no primeiro e segundo gráfico, tem maiores picos de temperatura, ficando até mesmo superiores a temperatura externa. O único detalhe é quanto ao gasto de energia para manter esse espaço numa temperatura agradável, pois se e o clima tiver muito dias com altos picos de temperatura é possível a temperatura internar subir e se manter assim, precisando de muito arrefecimento mecânico para estabilizar em uma temperatura agradável.

Na simulação econômica das soluções o verão tende a ter menos gastos com arrefecimento com soluções menos isolantes, porém o isolamento ainda assim contribui com o conforto térmico, na residência unifamiliar, pois consegue estabilizar melhor a temperatura interna, tendo menores oscilações.

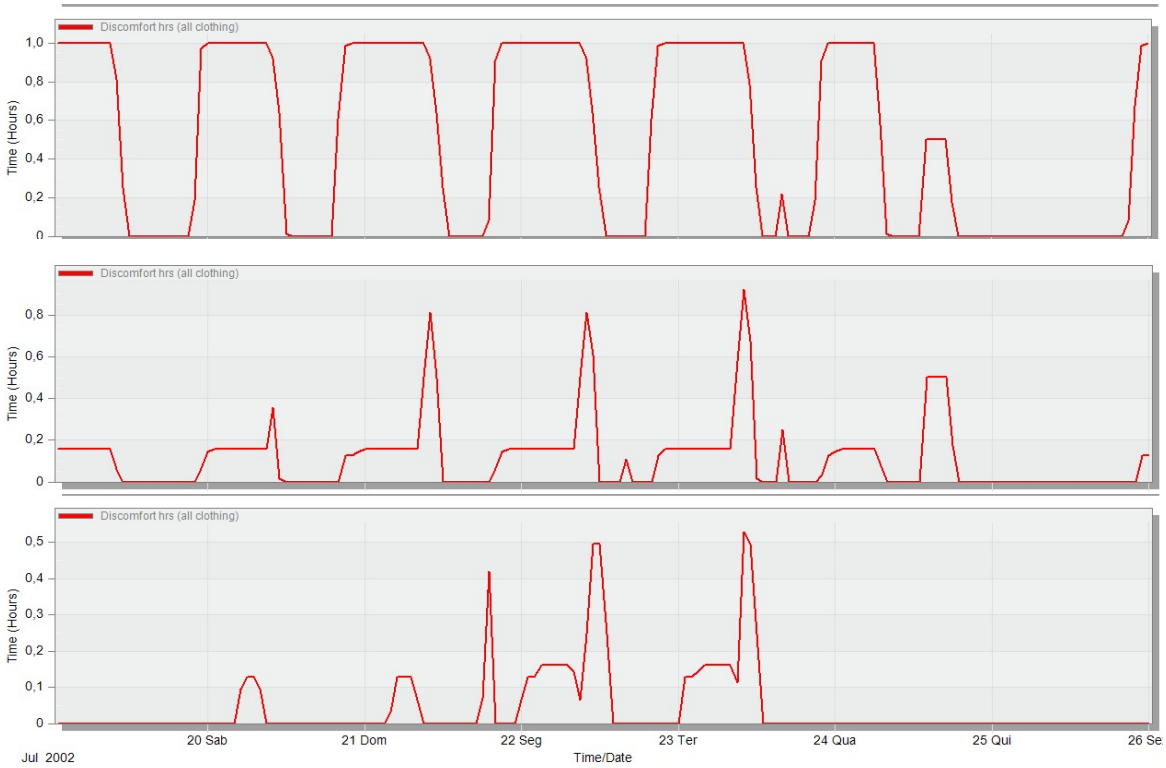


Figura 60 - Semana de inverno em Porto Alegre - Efeito do isolamento no desconforto: situação menos isolada, situação padrão e situação mais isolada.

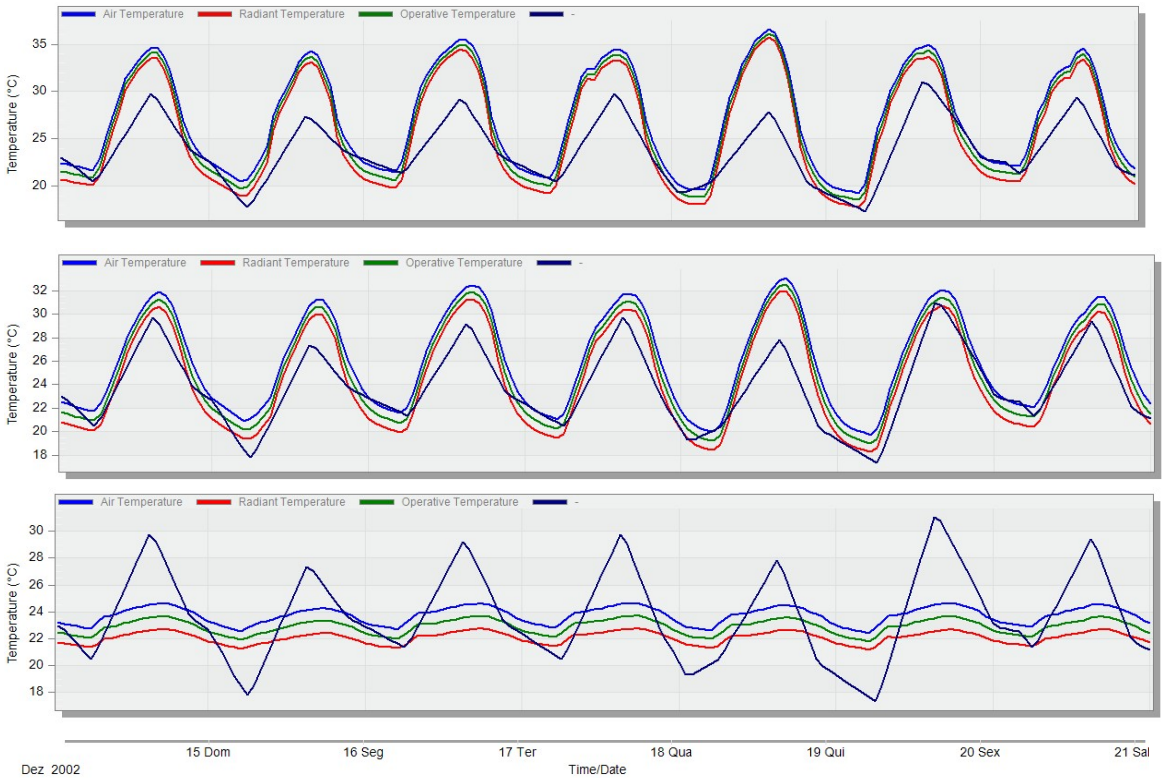


Figura 61 - Semana de verão em Porto Alegre - Efeito do isolamento na temperatura: Situação menos isolada, situação padrão e situação mais isolada – Unid. Unifamiliar.

Pode-se destacar que o efeito do isolamento no verão da unidade multifamiliar seguiu o mesmo padrão gráfico da Figura 59, onde elevou a média interna de temperatura, causando sobreaquecimento no apartamento.

É preciso deixar evidente que para essas simulações foi usado sistemas de proteção solar nas janelas, o que auxilia muito na redução do aquecimento interno no verão, além da utilização de ventilação em horários noturnos, o que colabora em manter a temperatura interna mais amena durante todo o dia.

7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Brasil é normalmente conhecido pelo seu clima tropical e quente, o que de facto é o clima predominante, mas no espaço geográfico denominado como região Sul, compreendida pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além de compartilhar o clima quente no período do verão, se distingue do restante do país no inverno, tendo temperaturas bastante frias e pouco se estuda em relação a novas tecnologias voltadas à eficiência energética e térmica nas edificações nessa extremidade.

E conhecendo as políticas públicas de países Europeus, com características climáticas semelhantes ao extremo Sul do Brasil, em promover uma regulamentação voltada a melhorar o consumo de energia nas edificações habitacionais, verificou-se nesse trabalho o que aconteceria com as edificações se implementada a mesma metodologia regulamentar nas zonas climáticas do Sul do Brasil. Pois da mesma forma que a melhoria em soluções construtivas tem efeitos benéficos nesses países, por que não funcionaria no Brasil? Uma vez que compartilhamos de climas semelhantes.

Primeiramente, não se pode deixar de lado a diferença econômica e social envolvendo o Brasil de países mais desenvolvidos, uma vez que o poder aquisitivo da população em geral no Brasil ser muito inferior. Sendo que já é um grande problema o déficit habitacional em que o país se encontra, onde as famílias têm muita dificuldade em adquirir a casa própria sem ter nenhuma regulamentação sobre a resistência térmica mínima que a habitação deve alcançar. E impor uma regulamentação sobre isso, mesmo sendo benéfico aos ocupantes traz um maior investimento inicial na construção, podendo muitas vezes inviabilizar qualquer obra.

Com base nisso e sendo o Real uma moeda mais desvalorizada que o Euro e consequentemente com um poder de compra menor, também se pode afirmar que o consumo de energia para aquecer e arrefecer uma edificação é menor, mesmo não tendo ela uma grande resistência térmica. Pois a população em geral simplesmente opta por ter desconforto térmico ao invés de ter o gasto extras com energia. Às vezes simplesmente por economia, às vezes por necessidade.

Mas agora colocando os resultados obtidos em análise, as necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento obtidos com base na regulamentação Portuguesa parece funcionar bem na região Sul do Brasil, com exceção da referência que tem como base o clima mais ameno de Portugal continental, a aplicação da metodologia trouxe resultados dentro do esperado, com as necessidades de energia um pouco superiores às praticadas, pois consequentemente quer reduzir os gastos de energia sem perda de conforto. Como exemplo pessoal disso, na região bioclimática 2 onde vivo é esperado um gasto de energia de no máximo 50kWh a mais em meses de inverno e verão, tendo um padrão de consumo econômico, devido a utilização de equipamento *split,* e pelos cálculos térmicos de necessidades energéticas obtidos teríamos um consumo de cerca de 68kWh tanto para o inverno como para o verão por mês.

Sobre o conforto térmico, de modo geral, todas as cidades usadas nas simulações obtiveram bons resultados com soluções construtivas com mais isolamento térmico, devido ao facto de conseguirem

manter estável a temperatura no interior das edificações, tanto no inverno como no verão (com exceção da residência multifamiliar no verão). Isso favorece bastante o conforto pois essa região climática possui uma variação de temperatura em um curto período de tempo muito grande. Oscilação que pode variar cerca de 20ºC para mais ou para menos em menos de 24h. E sentir essa variação de temperatura traz grande desconforto térmico na prática.

Sobre o verão na unidade multifamiliar, por ela possuir apenas duas fachadas em contato com o exterior, possui muito pouco perdas de calor na envolvente, o que faz com que o excesso de isolamento nessas envolvente exterior mantenha quente o interior do edifício. E na estação de arrefecimento faz com que tenha uma média de temperatura elevada, pois diferente da solução padrão a edificação não consegue perder esse calor durante a noite. Na residência unifamiliar, por ter mais contato com o exterior e até mesmo com o solo não isolado, é mais fácil de perder esse calor mesmo tendo bastante isolamento.

Assim podemos concluir que por Santa Rosa possuir um inverno mais rigoroso que o verão, mesmo com uma pequena diferença, as soluções com mais isolamento ainda possuem um balanço favorável no ano, diferente de Porto Alegre, que possui um clima de verão um pouco mais quente e apenas 2 meses de inverno. Nessa cidade pode-se dizer que o balanço anual de desconforto traz melhores resultados com a solução corrente, pois mesmo desfavorecendo o inverno, será por um período de tempo menor.

E é possível visualizar nos gráficos das simulações que com a solução tradicional da região a temperatura interior simplesmente apenas acompanha a temperatura exterior, trazendo muito pouco benefícios de conforto aos ocupantes. E na situação com maior nível de isolamento térmico, a temperatura interna quase vira uma constante. Podendo ainda usar auxílios mecânicos de aquecimento e arrefecimento para subir ou baixar essa constante, e obter um ambiente bastante confortável termicamente.

Tabela 25 - Resultados obtidos

Zona Bioclimática (Cidade)	Unidade	Economia		Conforto Térmico
		Sistema	Impacto	
1 (Curitiba e São J. dos Ausentes)	Unifamiliar	+ Isolamento	Alto	+ Isolamento
	Multifamiliar	+ Isolamento	Alto	+ Isolamento
2 (Santa Rosa)	Unifamiliar	+ Isolamento	Médio	+ Isolamento
	Multifamiliar	convencional	Médio	+ Isolamento
3 (Porto Alegre)	Unifamiliar	convencional	Baixo	+ Isolamento
	Multifamiliar	- Isolamento	Médio	- Isolamento

Quanto a economia ao aplicar soluções construtivas com maior nível de resistência térmica, é possível obter muita economia em edificações da zona bioclimática 1 principalmente por ter um inverno bem predominante, sendo verão bem ameno nessas regiões de elevada altitude geográfica. O Impacto é tão grande em cidades como São José dos Ausentes que o investimento pode se pagar em poucos anos, e economizar o valor da própria edificação em menos de 25 anos.

E saber disso pode ser bastante atrativo atualmente, pois devido às recentes mudanças políticas, onde se está incentivando fortemente o investimento no Brasil, tendo no ano de 2020 uma taxa de inflação com praticamente o dobro da taxa de juros, o incremento tecnológico nas edificações acaba sendo um investimento favorável, pois traz retorno financeiro.

Na zona bioclimática 2, a estação de aquecimento ainda se sobressai levemente à de arrefecimento e traz economia ao aplicar sistemas mais isolantes, mesmo essa economia sendo menor, ainda traz o benefício do conforto térmico. Nessa zona, as soluções construtivas de alvenaria P08, P09 e P10 sem isolante térmico tiveram uma leve vantagem as demais soluções na unidade multifamiliar. Assim se recomenda priorizar a utilização desses sistemas.

Quanto à terceira e última zona bioclimática, a estação de arrefecimento se destacou fazendo com que os gasto de energia útil nessa estação superasse a energia útil necessária para aquecimento, que foram muito pouco, sendo isso basicamente definido por ter apenas 72 graus dias de aquecimento no inverno. Com isso, se tem mais economia com sistemas com menos isolamento, mas por outro lado temos mais desconforto térmico, na unidade unifamiliar, pois o efeito da redução dos picos de temperatura é muito bom para os ocupantes dentro das habitações. E o impacto da economia em 25 anos é muito baixo, o que faz com que as soluções mais neutras, ou seja, próximas a solução tradicional sejam a melhor opção.

Outro ponto importante, é que para as zonas 2 e 3, a utilização de sistemas de proteção nas janelas, como estores, são fundamentais. A não utilização faz com que os ganhos solares sejam excessivamente maiores no verão, obtendo valores muito maiores de Nvc, e aumentando significativamente o desconforto térmico no interior do edifício.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na realização desse trabalho foi possível verificar a necessidade de aprofundar-se mais em alguns temas, como:

- Devido a grande oscilação de temperatura diária na região de estudo, verificar a diferença em utilizar os graus hora de aquecimento ao invés dos graus dia;
- Necessidade de definir um ano padrão climático para utilização nas simulações para cada zona bioclimática;
- Um estudo mais aprofundado sobre a radiação inclinada para obtenção dos ganhos solares nas aberturas;
- Definir um valor de referência mínimo para os coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente para cada zona bioclimática mais apropriado. Nas duas normas técnicas brasileiras apresentadas nesse trabalho, se tem um valor muito genérico;
- Verificar a economia anual de energia na região sul do Brasil, caso fossem adotadas políticas públicas de eficiência energética nas edificações, tanto habitacionais como nos comércios e indústrias. Verificar esse impacto a longo prazo para sugerir uma obrigatoriedade nas construções futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 15.220. (2005). *NBR 15.220.* ABNT.

ABNT NBR 15.575. (2013). *NBR 15.575.* ABNT.

Brasu. (24 de Dezembro de 2007). Acesso em 31 de Janeiro de 2021, disponível em Wikipédia: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Novapetr%C3%B3polis.jpg

Carlos, J., & Corvacho, H. (2013). *Assessment of different correlation models for estimating solar irradiation on a non-horizontal surface.* United States: Journal for Housing Science.

climate-data. (2021). *Dados Climáticos*. Acesso em 12 de Janeiro de 2021, disponível em climate-data: https://en.climate-data.org/

Cruz, A. S., Carvalho, R. S., & Cunha, E. G. (2020). Passive house alternative proposal for the Brazilian Bioclimatic Zone 8. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 7.

DesignBuilder. (2021). *DesignBuilder*. Acesso em 08 de Junho de 2021, disponível em DesignBuilder.co.uk: https://designbuilder.co.uk/helpv2/Content/Comfort_Analysis.htm

Diário da República - Despacho n.º 15793-F. (2013). *Despacho n.º 15793-F.*

Diário da República - Portaria n.º 349-B. (2013). *Portaria n.º 349-B.*

Diário da República. (2013). *Portaria n.º 349-B/2013.* Portugal: Diário da República.

Diário da República. Portaria n.º 379-A. (2015). *Portaria n.º 379-A.* Portugal.

Diário Oficial da União. (24 de Julho de 2000). Lei nº 9.991. Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Diário Oficial da União. (17 de Outubro de 2001). Lei nº 10.295 . Brasília, Distrito Federal , Brasil.

Diário Oficial da União. (03 de Maio de 2016). Lei nº 13.280. Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Embrapa. (Julho de 2012). *Atlas Climático da Região Sul do Brasil.* Brasilia: RGB Arte. Acesso em 12 de Janeiro de 2021, disponível em Atlas Sócio Economico Rio Grande do Sul: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/clima-temperatura-e-precipitacao

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. (2019). *Atlas da Eficiência Energética Brasil.*

Frantz, R. A. (2006). Acesso em 31 de Janeiro de 2021, disponível em Wikipédia: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Casa-de-imigrantes.jpg

Freitas, J., Leitzke, R., & Cunha, E. (2020). MODELAGEM DE PONTES TÉRMICAS NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2: CINCO DIFERENTES ABORDAGENS. *ArquiteturaRevista*, 29.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. (05 de Maio de 2021). *Instituto Nacional de Meteorologia*. Acesso em 05 de Fevereiro de 2021, disponível em https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia-INMETRO. (2012). *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R.* Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012 - INMETRO.

Matias, L., & Santos, C. A. (2006). *Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos da encolvente dos edifícios.* Lisboa: LNEC.

Procel. (2016). Acesso em 25 de Janeiro de 2021, disponível em Procel Info: http://www.procelinfo.com.br/

Redondo, L. (2021). *https://construindocasas.com.br/*. Acesso em 20 de 05 de 2021, disponível em construindocasas: https://construindocasas.com.br/blog/projetos/planta-de-casa-terrea-com-3-quartos-cod-c009/

SCE - Certificação Energétca dos Edifícios. (2021). *https://www.sce.pt/*. Acesso em 29 de Maio de 2021, disponível em SCE: https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2018/06/ADENE_certificado_energ%C3%A9tico_habita%C3%A7%C3%A3o-a.jpg

Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. (2020). Acesso em 20 de Maio de 2021, disponível em Atlas Socioeconômico: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (2021). *LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR - LABSOL*. Acesso em 20 de 04 de 2021, disponível em LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR - LABSOL: http://www.solar.ufrgs.br/

VETTORAZZI, E. (2019). CONTRIBUIÇÕES DAS ESTRATÉGIAS DO CONCEITO PASSIVE HOUSE PARA EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE MAIS EFICIENTES NA REGIÃO SUL-BRASILEIRA. Porto Alegre, RS: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

Victor, J. (28 de Agosto de 2020). Acesso em 05 de Junho de 2021, disponível em Guia da Engenharia: https://www.guiadaengenharia.com/chapisco-emboco-reboco/