UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

APLICAÇÃO DO REGULAMENTO PARA ETIQUETAGEM DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR PADRÃO NORMAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Roberta Mulazzani Doleys Soares

Santa Maria, RS, Brasil

2014

APLICAÇÃO DO REGULAMENTO PARA ETIQUETAGEM DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR PADRÃO NORMAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA

Roberta Mulazzani Doleys Soares

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática
da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Soares, Roberta Mulazzani Doleys
Aplicação do regulamento para etiquetagem do nível de eficiência energética em edificação unifamiliar padrão normal na zona bioclimática 2 brasileira. / Roberta Mulazzani Doleys Soares.-2014.
143 p.; 30cm

Orientador: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2014

1. Eficiência Energética 2. Edificações Unifamiliares Padrão Normal 3. RTQ-R I. Santos, Joaquim Cesar Pizzutti dos II. Título.

© 2014
Todos os direitos autorais reservados a Roberta Mulazzani Doleys Soares. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: roberta.doleys@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

APLICAÇÃO DO REGULAMENTO PARA ETIQUETAGEM DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR PADRÃO NORMAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA

elaborada por
Roberta Mulazzani Doleys Soares

Com requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr.
(Presidente/Orientador)

Prof. Eduardo Grala da Cunha, Dr. (UFPel)

Prof. Marcos Alberto Oss Vaghetti, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 27 de Fevereiro de 2014.

Dedicatória

Aos meus amores: minha mãe Rosana,
irmã Vanessa e meus avós Peri e Magli.

Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia. Pois o triunfo pertence a quem se atreve [...]

(*Charles Chaplin*)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, por esta oportunidade de crescimento profissional e intelectual.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, pelo amparo, estímulo e confiança depositados desde o princípio deste trabalho.

Ao meu tio, Prof. Dr. José Mário Doleys Soares, pelo apoio nesta caminhada, contribuindo para a realização deste sonho.

A fonte de minha força e porto seguro, minha mãe Rosana, irmã Vanessa e pai Luiz Gustavo, esta conquista também é de vocês!

Aos meus avós, Peri e Magli, que sempre me receberam de braços abertos, com muito carinho e torcida, amo muito vocês.

Ao Sr. Irassu Falcão de Borba e Antonio Cloresmar Bizaco, do Arquivo da Prefeitura Municipal de Santiago, pela ajuda essencial a este trabalho, além da paciência e amizade nas intermináveis horas de pesquisa.

Aos arquitetos urbanistas, engenheiros civis e moradores de Santiago, pela colaboração durante a coleta de dados, comprovando o quanto a minha cidade é acolhedora.

Ao Liader Oliveira e ao pessoal do LABCEE/UFPel, em especial ao David Martins, por todo apoio a este estudo e, principalmente, pelas palavras amigas, de conforto e tranquilidade, uma amizade conquistada!

Às amigas, Madalena Russi, Giana da Rocha Zófoli e Liége Garlet, pelo carinho e parceria desde a minha chegada em Santa Maria.

A minha amiga do coração, Márcia Velasques por transformar meus dias de muito estudo e pesquisa, em risos, alegria e companheirismo.

Ao Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha, por todo auxílio e recepção amigável em Pelotas, tanto nos cursos, mas principalmente nos momentos mais críticos.

À Prof. Dr.ª Giane de Campos Grigoletti, pelas valiosas contribuições a este trabalho.

Por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A todos vocês, meu muito obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Universidade de Federal de Santa Maria

APLICAÇÃO DO REGULAMENTO PARA ETIQUETAGEM DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR PADRÃO NORMAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA

AUTORA: Roberta Mulazzani Doleys Soares
ORIENTADOR: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos
Data e local da Defesa: Santa Maria, 27 de Fevereiro de 2014.

Este trabalho avalia o nível de eficiência energética de edificações unifamiliares padrão normal, localizadas na zona bioclimática 2 brasileira, através da aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), possuindo como base de estudo a cidade de Santiago-RS. Para a definição do padrão das residências adotaram-se as concepções da NBR 12721 (ABNT, 2006), que trata da avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária, juntamente com pesquisas e análises de projeto na cidade de Santiago-RS. Dessa forma, avaliou-se o nível de eficiência energética das edificações analisadas com base nos métodos prescritivo e de simulação do RTQ-R, sendo utilizado para as simulações o programa computacional *DesignBuilder*. Definiram-se quatro edificações objetos de estudo, sendo duas de formato retangular alongado com áreas de 99,88m² e 142,05m², e duas de formato retangular compacto de 100,00m², e 168,65m². A denominação usada para este trabalho baseou-se no formato da planta baixa das residências. As residências de formato retangular alongado apresentaram Nível B e as de formato retangular compacto Nível C na eficiência energética da envoltória. Foram encontradas similaridades nos resultados obtidos pelos dois métodos, principalmente, no consumo de energia para aquecimento, apresentando Níveis A e B, já a variável graus-hora de resfriamento alternou entre Níveis B e C. Foi observado que as edificações possuem desconforto no período de verão. Também foi verificada a influência das propriedades térmicas consideradas como pré-requisitos dos fechamentos opacos verticais, para isto escolheu-se uma das residências para realizar as alterações dos valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absortância solar. Partindo dos dados reais das paredes externas da edificação, estipularam-se os valores a serem simulados, totalizando 18 simulações para a determinação do número de graus-hora de resfriamento e consumo de energia para aquecimento e refrigeração. Diante disso, verificou-se a coerência dos limites dos pré-requisitos do RTQ-R, porém, foi observado que com a baixa absortância solar, o aumento da transmitância térmica pouco afetou os resultados, indicando maior conformidade na adoção de pré-requisitos que associem as características térmicas dos fechamentos.

Palavras - chave: Eficiência Energética. Edificações Unifamiliares Padrão Normal. RTQ-R.

ABSTRACT

Master's Thesis
Civil and Environmental Engineering Post graduation Program
Universidade Federal de Santa Maria

APPLICATION OF REGULATIONS FOR MARKING THE LEVEL OF EFFICIENCY IN BUILDING UNIFAMILIAR STANDARD NORMAL ZONE 2 BRAZILIAN BIOCLIMATIC

AUTHOR: Roberta Mulazzani Doleys Soares
ADVISOR: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr.
Date and Place of Defense: Santa Maria, February 27, 2014.

This work evaluates the level of energy efficiency standard pattern, located in the brazilian bioclimatic zone 2, through the application of Quality Technical Regulation for Energy Level of Residential Buildings (RTQ -R) Efficiency detached buildings, having as a basis for the study city of Santiago-RS. To define the pattern of residences were adopted conceptions of NBR 12721 (ABNT, 2006), which deals with the evaluation of construction costs for real estate development , together with research and analysis project in the city of Santiago-RS. Thus, we assessed the level of energy efficiency of buildings analyzed using prescriptive methods and simulation RTQ-R being used for simulations and computational program DesignBuilder. We defined four buildings objects of study, two elongated rectangular shape with areas of 99,88m² and 142,05m², and two compact rectangular shape of 100,00m² and 168,65m². The name used for this study was based on the shape of the floor plan of the residences. The residences of elongated rectangular presented Level B and compact rectangular Level C in the envelope energy efficiency. Similarities were found in the results obtained by the two methods, especially in energy consumption for heating, presenting Levels A and B, since the degree-hour cooling was variable between levels B and C. It was observed that the buildings have discomfort during the summer. We also evaluated the influence of the thermal properties considered as prerequisites of opaque vertical locks, for it was chosen one of the residences to make alterations to the values of thermal transmittance, absorptance and solar thermal capacity. Starting from the actual data of the external walls of the building, stipulated the values to be simulated, totaling 18 simulations for determining the number of cooling degree-hours and energy consumption for heating and cooling. Thus, there was consistency in the limits of the prerequisites of the RTQ-R, however, it was observed that with low solar absorptance, increased thermal transmittance slightly affected the results, indicating greater consistency in the adoption of prerequisites that involving the thermal characteristics of the closures.

Keywords: Energy Efficiency. Normal Standard Single-family Buildings. RTQ-R.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Zoneamento bioclimático para o Brasil 25
Figura 2.2 – Carta bioclimática adaptada 25
Figura 2.3 – Carta bioclimática com as normais climatológicas da cidade de Ponta Grossa, PR, exemplo para ZB2. 26
Figura 2.4 - Trocas de calor através de fechamentos opacos 28
Figura 2.5 - Decomposição da radiação solar ao incidir num elemento envidraçado 32
Figura 2.6 – Croqui da edificação residencial multifamiliar, modelo base 40
Figura 2.7 - Layout dos apartamentos do modelo base 40
Figura 2.8 - Planta baixa residência unifamiliar padrão normal 43
Figura 4.1 – Crescimento no número de projetos com as características do trabalho 67
Figura 4.2 – Tipologias encontradas no período analisado de cinco anos 68
Figura 4.3 – Planta baixa da residência objeto de estudo 1 70
Figura 4.4 – Fachada principal da residência objeto de estudo 1 70
Figura 4.5 – Planta baixa da residência objeto de estudo 2 71
Figura 4.6 – Fachada principal da residência objeto de estudo 2 72
Figura 4.7 – Planta baixa da residência objeto de estudo 3 73
Figura 4.8 – Fachada principal da residência objeto de estudo 3 74
Figura 4.9 – Planta baixa da residência objeto de estudo 4 74
Figura 4.10 – Fachada principal da residência objeto de estudo 4 75
Figura 4.11 – Zoneamento e geometria das residências Padrão normal NBR 12721 e as edificações objetos de estudo 76
Figura 4.12 – Planilha com variáveis para cálculo do GH_R e C_A – Residência 1 79
Figura 4.13 – Planilha com variáveis para cálculo do GH_R e C_A – Residência 2 84
Figura 4.14 – Planilha com variáveis para cálculo do GH_R e C_A – Residência 3 89
Figura 4.15 – Planilha com variáveis para cálculo do GH_R e C_A – Residência 4 95
Figura 4.16 – Vista isométrica da Residência 1 100
Figura 4.17 – Vista isométrica da Residência 2 102
Figura 4.18 – Vista isométrica da Residência 3 104
Figura 4.19 – Vista isométrica da Residência 4 106
Figura 5.1 – Gráfico do graus-hora de resfriamento com a presença de venezianas nas janelas 114
Figura 5.2 – Gráfico do graus-hora para resfriamento 117
Figura 5.3 – Gráfico do consumo de energia para aquecimento 118
Figura 5.4 – Gráfico do consumo de energia para refrigeração 119
Figura 5.5 – Gráfico do consumo de energia anual com a relação do CA e CR 120
Figura 5.6 – Gráfico do consumo de energia total anual 121

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Valores de α para algumas cores de superfície 29
Tabela 2.2 – Lista dos materiais e suas propriedades térmicas 30
Tabela 2.3 – Transmitância de alguns fechamentos opacos 31
Tabela 2.4 – Emissividade de alguns fechamentos opacos 31
Tabela 2.5 – Fator solar para alguns tipos de superfícies transparentes 33
Tabela 2.6 – Composição setorial do consumo de eletricidade 34
Tabela 2.7 – Caracterização dos projetos-padrão residenciais 41
Tabela 2.8 – Detalhes construtivos dos projetos-padrão residenciais 42
Tabela 2.9 – Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível de eficiência 44
Tabela 2.10 – Pré-requisitos de absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica 45
Tabela 2.11 – Percentual de áreas mínimas para ventilação 45
Tabela 2.12 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento 47
Tabela 2.13 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento 47
Tabela 2.14 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração 47
Tabela 2.15 – Espessura mínima de isolamento de tubulações para aquecimento de água 48
Tabela 2.16 – Fração solar anual 49
Tabela 2.17 – Nível de eficiência das bombas de calor 50
Tabela 2.18 – Bonificações e pontuação 51
Tabela 2.19 – Classificação do nível de eficiência energética de acordo com a pontuação obtida 54
Tabela 3.1 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana 62
Tabela 3.2 – Taxas metabólicas para cada atividade 62
Tabela 3.3 – Padrão de uso da iluminação 63
Tabela 3.4 – Cargas internas de equipamentos 63
Tabela 3.5 – Temperatura do solo das residências 64
Tabela 3.6 – Dados de localização geográfica para Santiago-RS 64
Tabela 3.7 – Valores adotados para os fechamentos opacos verticais 65
Tabela 4.1 – Tipologia de projetos considerados na amostra 68
Tabela 4.2 – Materiais componentes da residência 1 e suas características térmicas 71
Tabela 4.3 – Materiais componentes da residência 2 e suas características térmicas 72
Tabela 4.4 – Materiais componentes da residência 3 e suas características térmicas 73
Tabela 4.5 – Materiais componentes da residência 4 e suas características térmicas 75
Tabela 4.6 – Pré-requisitos transmitância, capacidade térmica e absortância – Residência 1 77
Tabela 4.7 – Pré-requisito ventilação natural – Residência 1 78
Tabela 4.8 – Pré-requisito iluminação natural – Residência 1 78
Tabela 4.9 – Pré-requisito ventilação cruzada – Residência 1 78
Tabela 4.10 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 1 79
Tabela 4.11 – Determinação do $EqNumEnv_{A}$ – Residência 1 80
Tabela 4.12 – Verificação da porosidade – Residência 1 81
Tabela 4.13 – Verificação da profundidade máxima de ambientes – Residência 1 81

Tabela 4.14 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 1 81
Tabela 4.15 – Bonificações – Residência 1 82
Tabela 4.16 – Pré-requisitos transmitância, capacidade térmica e absortância – Residência 2 83
Tabela 4.17 – Pré-requisito ventilação natural – Residência 2 83
Tabela 4.18 – Pré-requisito iluminação natural – Residência 2 83
Tabela 4.19 – Pré-requisito ventilação cruzada – Residência 2 83
Tabela 4.20 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 2 85
Tabela 4.21 – Determinação do $EqNumEnv_{A}$ – Residência 2 85
Tabela 4.22 – Verificação da porosidade – Residência 2 86
Tabela 4.23 – Verificação da profundidade máxima de ambientes – Residência 2 86
Tabela 4.24 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 2 86
Tabela 4.25 – Bonificações – Residência 2 87
Tabela 4.26 – Pré-requisitos transmitância, capacidade térmica e absortância – Residência 3 88
Tabela 4.27 – Pré-requisito ventilação natural – Residência 3 88
Tabela 4.28 – Pré-requisito iluminação natural – Residência 3 88
Tabela 4.29 – Pré-requisito ventilação cruzada – Residência 3 88
Tabela 4.30 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 3 90
Tabela 4.31 – Determinação do $EqNumEnv_{A}$ – Residência 3 90
Tabela 4.32 – Verificação da porosidade – Residência 3 91
Tabela 4.33 – Verificação da profundidade dos ambientes – Residência 3 91
Tabela 4.34 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 3 92
Tabela 4.35 – Bonificações – Residência 3 92
Tabela 4.36 – Pré-requisitos transmitância, capacidade térmica e absortância – Residência 4 93
Tabela 4.37 – Pré-requisito ventilação natural – Residência 4 93
Tabela 4.38 – Pré-requisito iluminação natural – Residência 4 94
Tabela 4.39 – Pré-requisito ventilação cruzada – Residência 4 94
Tabela 4.40 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 4 95
Tabela 4.41 – Determinação do $EqNumEnv_{A}$ – Residência 4 95
Tabela 4.42 - Verificação da porosidade – Residência 4 96
Tabela 4.43 – Verificação da profundidade dos ambientes – Residência 4 97
Tabela 4.44 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 4 97
Tabela 4.45 – Bonificações – Residência 4 98
Tabela 4.46 – Síntese dos resultados do método prescritivo 98
Tabela 4.47 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 1 101
Tabela 4.48 – Determinação do $EqNumEnv_{A}$ – Residência 1 101
Tabela 4.49 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 1 102
Tabela 4.50 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 2 103
Tabela 4.51 – Determinação do $EqNumEnv_{A}$ – Residência 2 103
Tabela 4.52 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 2 104
Tabela 4.53 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 3 105
Tabela 4.54 – Determinação do $EqNumEnv_{A}$ – Residência 3 105

Tabela 4.55 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 3 106
Tabela 4.56 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 4 107
Tabela 4.57 – Determinação do $EqNumEnv_{A}$ – Residência 4 107
Tabela 4.58 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 4 108
Tabela 4.59 – Síntese dos resultados do método de simulação 108
Tabela 5.1 – Método prescritivo e método de simulação das edificações objetos de estudo 112
Tabela 5.2 – Graus-hora de resfriamento das Residências 2, 3 e 4 com veneziana 115
Tabela 5.3 – Resultados do método prescritivo e do método de simulação 116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

α – Absortância
a – Coeficiente adotado de acordo com a região geográfica (mapa político do Brasil) na qual a edificação está localizada
A – Percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (%)
A1 – Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m²)
A2 – Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m²)
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
Av – Área de abertura para ventilação (m²)
AU_{amb} – Área útil do ambiente (m²)
BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*
BEN – Balanço Energético Nacional
ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*
CT – Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
°C – Celsius
C_A – Consumo relativo para aquecimento (kWh/m²)
CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
COP – *Coeficiente de Performance* (W/W)
C_P – Coeficiente de pressão superficial
C_R – Consumo relativo de refrigeração (kWh/m²)
CS – Coeficiente de sombreamento
e – Espessura (m)
ε – Emissividade térmica
Eletrobrás – Central Elétrica Brasileira S.A.
ENCE – Etiqueta Nacional de Eficiência Energética em Edificações
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
EqNum – Equivalente numérico
$EqNum_{AA}$ – Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água
EqNumEnv – Equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória
$EqNumEnv_A$ – Equivalente numérico da envoltória para aquecimento
$EqNumEnv_{Resfr}$ – Equivalente numérico da envoltória para resfriamento
$EqNumEnv_{Refrig}$ – Equivalente numérico da envoltória para refrigeração
$EqNumEnvAmb_A$ – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento
$EqNumEnvAmb_{Refrig}$ – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração
$EqNumEnvAmb_{Resfr}$ – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento
FS_t – Fator Solar
GH_R – Indicador de graus-hora para resfriamento

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
λ – Condutividade térmica [W/(m.K)]
LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética de Edificações
LABSOLAR – Laboratório Energia Solar UFSC
LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*
PNAD – Pesquisa Nacional por Análise de Domicílios
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia
PROCEL EDIFICA - Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
PNEF – Programa Nacional de Eficiência Energética
PT_{UH} - Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional Autônoma
NBR – Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
ρ – Densidade (kg/m³)
R – Resistência térmica (m²K/W)
RT – Resistência térmica total
RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
R_{SI} – Resistência superficial interna
U – Transmitância térmica (W/m²K)
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
SAA – Sistema de Aquecimento de Água
SINPHA – Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo
Somb – Variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas
SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment*
T_{int} – Temperatura do ar do ambiente (°C)
T_{ext} – Temperatura externa (°C)
$T_{termostato}$ – Temperatura do termostato (°C)
To – Temperatura operativa horária (°C)
TMY – *Typical Meteorological Year*
TRY – *Test Reference Year*
Tv – Transmitância da Luz Visível
UH – Unidade Habitacional Autônoma

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A –Tipologias dos anos de 2007 a 2011 131
APÊNDICE B – Tipos de janelas das residências 136
APÊNDICE C – GHR, CA e CR dos ambientes avaliados – Residência 1 137

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Carta solar de Caxias do Sul 139
ANEXO B – Planta baixa das residências 140

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
1.1 Objetivos 21
1.1.1 Objetivo Geral 21
1.1.2 Objetivo Específicos 21
1.2 Estrutura da dissertação 22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 23
2.1 A bioclimatologia aplicada à Arquitetura 23
2.2 Desempenho térmico de edificações 26
2.2.1 Envoltória da edificação 27
2.2.1.1 Fechamentos opacos 28
2.2.1.1.1 Condutividade térmica (λ) 29
2.2.1.1.2 Resistência térmica (R) e Transmitância térmica (U) 30
2.2.1.1.3 Emissividade (ε) 31
2.2.1.1.4 Inércia térmica, difusividade térmica e efusividade térmica 31
2.2.1.2 Fechamentos transparentes e translúcidos 32
2.3 Eficiência energética na Arquitetura 34
2.3.1 Eficiência energética em edificações residenciais 35
2.3.2 O uso do sistema de aquecimento de água 35
2.3.3 Métodos e sistemas de classificação e avaliação de eficiência energética de edifícios 36
2.4 Procedimentos para a definição de edificação objeto de estudo 39
2.5 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R 44
2.5.1 Pré-requisitos da envoltória 44
2.5.2 Procedimento para determinação da eficiência da envoltória: Método Prescritivo 46
2.5.3 Sistema de aquecimento de água 48
2.5.3.1 Sistema de aquecimento solar 49
2.5.3.2 Sistema de aquecimento a gás 49
2.5.3.3 Bombas de calor 50
2.5.3.4 Sistema de aquecimento elétrico 50
2.5.3.5 Caldeiras a óleo 51
2.5.4 Bonificações 51
2.5.5 Procedimento para determinação da eficiência da envoltória: Método de Simulação 54
2.5.5.1 Programa computacional *DesignBuilder* 55
3 METODOLOGIA 57
3.1 Definição da edificação objeto de estudo 57

3.2 Procedimento de etiquetagem: Método prescritivo 58
3.3 Procedimento de etiquetagem: Método de simulação 59
3.3.1 Simulação da edificação naturalmente ventilada 60
3.3.1.1 Padrão de uso da ventilação natural 60
3.3.1.2 Operação das venezianas 61
3.3.1.3 Padrão de ocupação 61
3.3.1.4 Atividade 62
3.3.1.5 Padrão de uso da iluminação 63
3.3.1.6 Cargas internas de equipamentos 63
3.3.1.7 Temperatura do solo 64
3.3.1.8 Arquivo climático 64
3.3.2 Simulação da edificação condicionada artificialmente 64
3.4 Avaliação da influência da transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absortância solar (α) dos fechamentos opacos verticais 65
4 RESULTADOS 67
4.1 Definição das edificações objetos de estudo 67
4.1.1 Residência objeto de estudo 1 69
4.1.2 Residência objeto de estudo 2 71
4.1.3 Residência objeto de estudo 3 72
4.1.4 Residência objeto de estudo 4 74
4.1.6 Zoneamento e geometria: Padrão normal NBR 12721 e as edificações objetos de estudo 76
4.2 Procedimento de etiquetagem: Método Prescritivo 77
4.2.1 Método Prescritivo – Residência 1 77
4.2.1.1 Pré-requisitos da envoltória 77
4.2.1.2 Determinação do graus-hora de resfriamento (GH_R) e do consumo para aquecimento (C_A) 78
4.2.1.3 Sistema de aquecimento de água (SAA) 80
4.2.1.4 Bonificações 80
4.2.1.5 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional – PT_{UH1} 82
4.2.2 Método Prescritivo – Residência 2 83
4.2.2.1 Pré-requisitos da envoltória 83
4.2.2.2 Determinação do graus-hora de resfriamento (GH_R) e do consumo para aquecimento (C_A) 84
4.2.2.3 Sistema de aquecimento de água (SAA) 85
4.2.2.4 Bonificações 85
4.2.2.5 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional – PT_{UH2} 87
4.2.3 Método Prescritivo – Residência 3 87
4.2.3.1 Pré-requisitos da envoltória 87

4.2.3.2 Determinação do graus-hora de resfriamento (GH_R) e do consumo para aquecimento (C_A) 89
4.2.3.3 Sistema de aquecimento de água (SAA) 91
4.2.3.4 Bonificações 91
4.2.3.5 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional – PT_{UH3} 93
4.2.4 Método Prescritivo – Residência 4 93
4.2.4.1 Pré-requisitos da envoltória 93
4.2.4.2 Determinação do graus-hora de resfriamento (GH_R) e do consumo para aquecimento (C_A) 94
4.2.4.3 Sistema de aquecimento de água (SAA) 96
4.2.4.4 Bonificações 96
4.2.4.5 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional – PT_{UH4} 98
4.2.5 Síntese dos resultados obtidos através do método prescritivo 98
4.3 Procedimento de etiquetagem: Método de Simulação 100
4.3.1 Método de Simulação - Residência 1 100
4.3.1.1 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH1} 102
4.3.2 Método de Simulação - Residência 2 102
4.3.2.1 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH2} 104
4.3.3 Método de Simulação - Residência 3 104
4.3.3.1 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH3} 106
4.3.4 Método de Simulação - Residência 4 106
4.3.4.1 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH4} 108
4.3.5 Síntese dos resultados obtidos através do método de simulação 108
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS 111
5.1 Comparação entre o método prescritivo e o método de simulação 111
5.2 Influência da transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absortância solar (α) dos fechamentos opacos verticais 117
6 CONCLUSÃO 123
6.1 Sugestões para trabalhos futuros 124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 125
APÊNDICES 131
ANEXOS 139

1 INTRODUÇÃO

No desenvolvimento das moradias humanas houve uma busca por proteção às adversidades climáticas, diante disso, o conforto térmico sempre foi fator importante para comprovar a qualidade das edificações. Nota-se que a constante procura por bem estar nas unidades habitacionais está aumentando, utilizando-se de artifícios tais como: ar condicionado, estufas, ventiladores e afins, promovendo o aumento exagerado do consumo da energia elétrica.

Torna-se indispensável analisar o cenário atual de consumo de energia, pois o setor residencial é um dos que mais consome energia no país. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2013), com base em 2012, ele apresentou um crescimento de consumo de 2,1% comparado com o ano anterior, sendo resultante das políticas de inclusão social e do aumento da renda *per capita*.

Diante desse contexto de uso exacerbado de energia nas residências, pode-se atribuir este consumo aos refrigeradores, chuveiros, lâmpadas e ao ar condicionado. Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), em 2010 foram vendidos aproximadamente 4 milhões de unidades do tipo *split*, e há uma tendência considerável de aumento na aquisição de climatizadores artificiais para os anos seguintes, ocasionando preocupação e gerando a necessidade da elaboração de projetos sustentáveis.

Lamberts e Triana (2007, p. 7) dizem que "um projeto sustentável deve ser ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável, envolvendo com isto muitas variáveis, entre as quais o uso racional da energia se destaca como uma das principais premissas." Portanto, elaborar o projeto arquitetônico aproveitando os recursos renováveis e a aplicação consciente de materiais na edificação são os meios mais práticos de melhoria do desempenho térmico e consequentemente redução no uso de climatização artificial.

Partindo da concepção de que as pessoas se relacionam com o meio ambiente e há uma troca de ações e reações, é relevante associar as bruscas alterações climáticas e catástrofes com a ação do homem sobre a natureza. Portanto, faz-se necessário planejar e promover estratégias projetuais que priorizem a preservação ambiental. Para validar e apoiar esse planejamento surge no Brasil o processo de etiquetagem de edificações residenciais, cuja metodologia para a classificação do nível de eficiência energética foi publicada primeiramente em 2010 e revisada em 2012.

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012) estabelece, no que se refere às edificações unifamiliares, a análise da envoltória, eficiência dos sistemas de aquecimento de água e eventuais bonificações.

O método prescritivo do regulamento considera uma série de pré-requisitos e efetua cálculos que chegam a valores os quais definem a classificação de consumo de energia, através de etiquetas que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Além do método prescritivo, há também o método de simulação, sendo que este alia um programa computacional de modelagem e simulação que determina o desempenho da envoltória.

A presente pesquisa contemplará a análise da eficiência energética de unidades habitacionais unifamiliares padrão normal localizadas na Zona Bioclimática 2 Brasileira através da aplicação dos dois métodos do RTQ-R. Para este estudo considerou-se a cidade de Santiago-RS, sendo utilizada como uma amostra para a ZB2.

Por ser um procedimento recente no Brasil, o regulamento necessita de estudos e ajustes, para que ao longo do tempo adquira maior credibilidade perante o meio técnico, passando a servir como um referencial para projetos e construções, não por sua obrigatoriedade, mas pelas verdadeiras melhorias proporcionadas às edificações e seus habitantes, pois uma edificação vai além da forma e da função, ela é um abrigo e como tal deve oferecer as condições básicas de bem estar aos seus habitantes com o menor consumo de energia possível.

A definição do padrão da residência considerado neste trabalho baseou-se na NBR 12721 (ABNT, 2006), que trata da avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária, que contém os chamados projetos-padrão, divididos em padrão baixo, normal e alto. Sumariamente, o padrão normal se caracteriza como uma edificação de um pavimento, três dormitórios, sendo um suíte, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel) e uma área de 106,44m².

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o nível de eficiência energética de edificações unifamiliares padrão normal construída na Zona Bioclimática 2 Brasileira através da aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir as residências unifamiliares padrão normal para ser utilizada como objeto de estudo.
- Avaliar a eficiência energética de edificação unifamiliar padrão normal definida na Zona Bioclimática 2 Brasileira, através da aplicação dos dois diferentes métodos do RTQ-R, analisando-os comparativamente.
- Avaliar o impacto da variação das propriedades termofísicas U, CT e α dos fechamentos opacos verticais sobre os resultados de graus-hora de resfriamento e consumo de energia para aquecimento e refrigeração de uma das residências objetos de estudo, aplicando o método de simulação.

1.2 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, que são descritos a seguir:

O primeiro capítulo destinou-se a introdução do trabalho, ressaltando a sua importância e os temas relacionados com o assunto, seguidamente são abordados os objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, abordando conceituações e noções sobre bioclimatologia, desempenho térmico de edificações, eficiência energética na Arquitetura, estudo de trabalhos progressos vinculados ao tema e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

No terceiro capítulo determina-se a metodologia empregada na realização do trabalho, contendo as etapas para a definição da edificação objeto de estudo e todo o processo para a prática do método prescritivo e o método de simulação do RTQ-R.

No quarto capítulo são expostos os resultados da definição das edificações objeto de estudo, e ainda os resultados da aplicação do método prescritivo, como também do método de simulação através do programa computacional *DesignBuilder*.

No quinto capítulo encontram-se as análises dos resultados, possibilitando uma avaliação comparativa entre os dois métodos presentes no regulamento e a análise da influência das propriedades térmicas dos fechamentos opacos verticais nos valores de graus-hora de resfriamento e consumo de energia para aquecimento e refrigeração, vinculando aos limites estabelecidos pelo RTQ-R.

No último capítulo é encerrado o trabalho com as conclusões, explanando sobre as observações finais que compõem o estudo e na sequência são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contempla a revisão bibliográfica, apresentando os assuntos relevantes ao presente trabalho, visando ampliar os conhecimentos acerca do assunto tornando o embasamento teórico necessário para o seu desenvolvimento. São abordados temas sobre a bioclimatologia aplicada à Arquitetura, desempenho térmico de edificações, eficiência energética na Arquitetura, procedimentos para a definição de edificação objeto de estudo e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R.

2.1 A bioclimatologia aplicada à Arquitetura

Gourlart et al (1994, p. 5) dizem que "a climatologia, quando aplicada às relações com os seres vivos denomina-se Bioclimatologia". Na arquitetura ela pode ser vinculada as edificações através da consideração das condições climáticas locais com o objetivo de proporcionar ambientes confortáveis termicamente.

As condições de conforto térmico são função de uma série de variáveis. Para avaliar tais condições, o indivíduo deve estar apropriadamente vestido e sem problemas de saúde ou de aclimatação (FROTA e SCHIFFER, 1995, p. 23). Pode-se dizer que essas variáveis são ligadas a própria pessoa, ou seja, o seu "grau de sensibilidade" em relação às mudanças de sensações térmicas, ao ambiente em que se encontra e também à arquitetura.

Lamberts e Triana (2007, p. 17) definem a arquitetura bioclimática como aquela que "relaciona o estudo do clima aplicado à arquitetura, buscando-se com isso melhorar as condições de conforto dos seres humanos nas edificações através do uso de estratégias de projeto apropriadas de acordo às diferenças climáticas consideradas para cada local". Analisando quais estratégias bioclimáticas são mais adequadas e a partir disso, aliar ao projeto recursos que utilizem racionalmente a energia elétrica e não causem grandes impactos ao meio ambiente.

Uma maneira de interligar o projeto ao local é o uso de ferramentas como as cartas bioclimáticas, entre as quais se encontram as desenvolvidas por Olgyay, Givoni, Szokolay e Watson e Labs. As mais conhecidas são as de Olgyay e Givoni, que, de acordo com Barbosa

(1997, p. 34), “apresentam alternativas para dilatar a zona de conforto, através da adoção de estratégias arquitetônicas, que alteram a sensação do clima interno em estudo”.

Segundo Andrade (1996), na década de 1960, os irmãos Olgyay aplicaram a Bioclimatologia na arquitetura e, no ano de 1969, Givoni aprimora o diagrama de Olgyay, a partir da concepção de uma carta bioclimática desenhada sobre uma carta psicométrica convencional e tendo a umidade relativa como referência. Além disso, uma das maiores evoluções desta carta deve-se ao fato de que estendem a zona de conforto por meio das zonas das estratégias bioclimáticas. Relacionando as alterações das condições climáticas externas através de princípios básicos de projeto da edificação, juntamente com propriedades de sua envoltória.

Em 1969 o arquiteto Carl Mahoney desenvolve as Planilhas de Mahoney, cujo objetivo de acordo com Barbirato et al (2010, p. 3) “era saber como a arquitetura deveria mudar em resposta às variações climáticas daquele local. Além disso, Mahoney propunha saber em qual região geográfica se aplicam as recomendações desenvolvidas através da análise do clima”. Baseado na inserção das informações climáticas locais, são obtidos indicativos sobre formato e orientação solar, fatores válidos para a etapa inicial do projeto.

Tanto as Planilhas de Mahoney quanto a Carta Bioclimática de Givoni foram utilizadas para o zoneamento bioclimático brasileiro.

> Os limites geográficos de cada zona foram estabelecidos a partir de critérios baseados tanto na Carta Bioclimática de Givoni quanto nas Planilhas de Mahoney. Por meio da aplicação destes critérios foram definidas as estratégias bioclimáticas recomendáveis para cada ponto do mapa e, posteriormente, foram agrupados em uma mesma zona os pontos correspondentes a estratégias semelhantes. Este procedimento resultou em zonas com baixa homogeneidade climática e em um número total de zonas insuficiente para refletir a diversidade climática do Brasil. (RORIZ, 2012 p. 1).

Segundo a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), o Brasil é dividido em oito zonas bioclimáticas. Elas podem ser observadas na Figura 2.1, sendo que a cidade de Santiago, RS, base do estudo, situa-se na Zona Bioclimática 2.

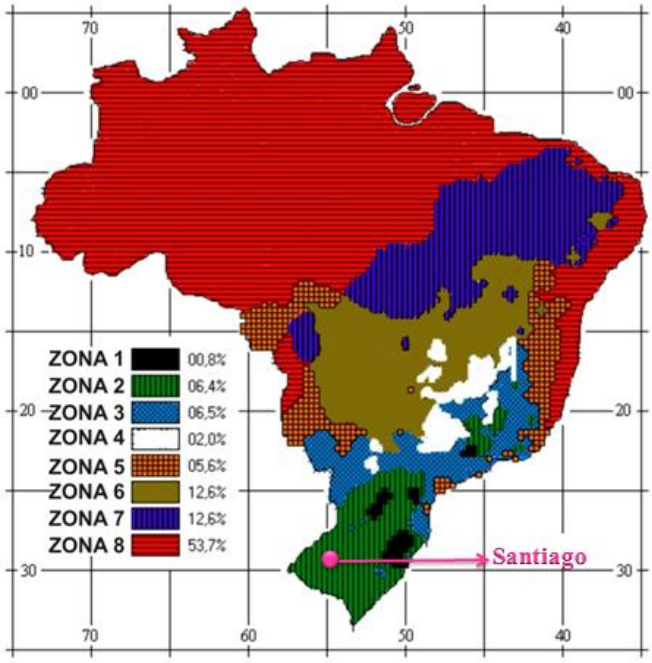


Figura 2.1 - Zoneamento bioclimático para o Brasil
Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005c, p. 25).

A Figura 2.2 apresenta as zonas da carta bioclimática e suas respectivas estratégias, observando que onde há conforto térmico não se aplica nenhuma estratégia. A Figura 2.3 apresenta um exemplo de cidade com as normais climatológicas de cidades desta zona.

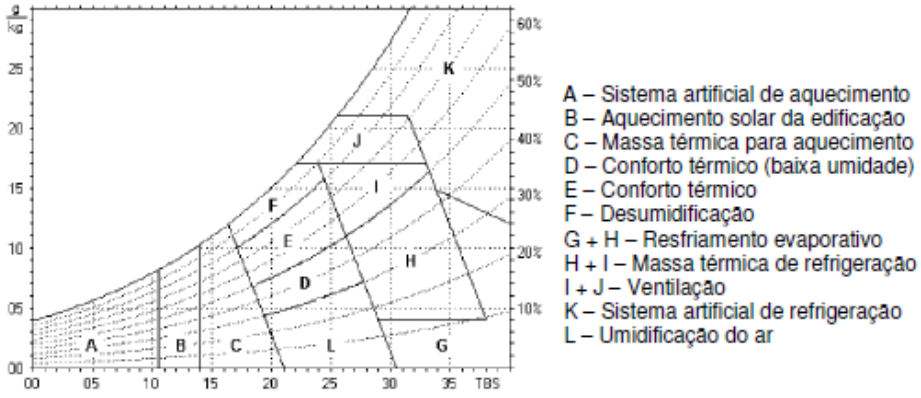


Figura 2.2 – Carta bioclimática adaptada
Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005c, p. 4).

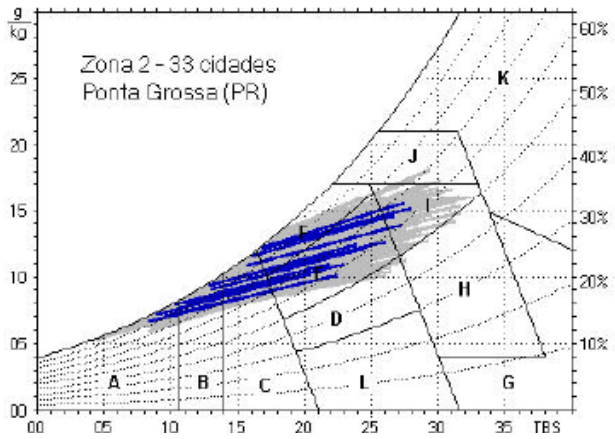


Figura 2.3 – Carta bioclimática com as normais climatológicas da cidade de Ponta Grossa, PR, exemplo para ZB2.
Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005c, p. 4).

As diretrizes de projeto propostos na norma para essa zona são aberturas médias para ventilação de 15% a 25% da área de piso, permitir sol durante o inverno, paredes externas leves com U≤3,00 W/m².K e cobertura leve e isolada com U≤2,00 W/m².K. No verão prever ventilação cruzada, no inverno prever aquecimento solar da edificação, vedações internas pesadas, ou seja, com alto atraso térmico, salientando que no período mais frio do ano o condicionamento artificial será necessário.

2.2 Desempenho térmico de edificações

De acordo com Gonçalves et al (2004) o desempenho térmico de edificações pode ser entendido como à resposta da habitação, a partir de parâmetros climáticos interiores ao clima em que está localizada. Também se considera a envoltória e as propriedades termofísicas dos componentes construtivos, pois estes influenciam diretamente nos fluxos energéticos.

Sorgato (2009, p. 26) afirma que “o padrão de ocupação, o sistema de ventilação e o clima no qual a edificação está inserida, são fatores que, quando analisados e empregados corretamente, podem contribuir para um melhor desempenho térmico da edificação”. Denotando que, principalmente, durante a elaboração do projeto deve-se atentar para o clima e a partir disso agregar estratégias de aproveitamento dos recursos em benefício do desempenho térmico da edificação.

2.2.1 Envoltória da edificação

Uma das funções dos fechamentos exteriores de uma edificação é controlar de forma adequada as interferências do meio externo, visando proporcionar um melhor condicionamento ambiental (CASTRO, 2006, p. 21). O desempenho térmico da envoltória é influenciado por diversos fatores. Marin e Amorim (2012) apontam esses aspectos:

> O partido arquitetônico, a orientação da edificação, a escolha correta da envoltória, o tamanho das janelas e a ventilação natural afetam o comportamento energético do edifício, uma vez que esses fatores são responsáveis pelas trocas térmicas entre ambiente externo e interno, assim como pela captação da iluminação natural. Essas trocas físicas determinarão o conforto ambiental dos usuários da edificação, que quando em desconforto recorrerão a sistemas artificiais de climatização e iluminação. (MARIN e AMORIM, 2012, p. 2).

De acordo com Dornelles e Roriz (2007) o Brasil possui grande diversidade climática e cada região possui soluções construtivas específicas, sendo necessário o estudo e conhecimento dessas peculiaridades para diminuir a construção de edifícios com baixo desempenho térmico e recorrentes ao uso exagerado da energia elétrica.

O consumo de energia está diretamente relacionado com a envoltória da edificação que juntamente com outros elementos presentes no edifício geram o consumo exagerado. Carlo (2008) aborda estes pontos.

> O consumo de energia em edificações está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pelo envoltório da edificação que, associados à carga interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, resultam no consumo dos sistemas de condicionamento de ar, além dos próprios sistemas de iluminação e equipamentos. (CARLO, 2008. p. 3).

Os fechamentos presentes na envoltória tem relação direta com a radiação solar incidente, uma parte dessa radiação é refletida, parte é absorvida e outra ainda é transmitida, no caso dos fechamentos transparentes. Dessa forma, eles dividem-se em opacos e transparentes, sendo que cada um deles possui um comportamento diferente quando submetido à radiação solar.

2.2.1.1 Fechamentos opacos

Nos fechamentos opacos a transmissão do calor ocorre pela diferença de temperatura entre o exterior e o interior da edificação. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2004), a transmissão de calor pode ser dividida em três fases, a primeira consiste na troca de calor com o meio exterior, que ocorre por convecção e radiação. Na segunda fase, ocorre à condução através do fechamento pela diferença de temperatura da superfície externa e interna, promovendo a troca de calor entre elas. Já a terceira fase é a troca de calor com o meio e as trocas térmicas voltam a ser por convecção e radiação.

Quando ocorre incidência da radiação solar, parte da mesma é absorvida e parte é refletida. Da parcela absorvida um percentual é emitido para o interior e o outro para o exterior. A Figura 2.4 ilustra a relação da radiação solar e o fechamento com material opaco.

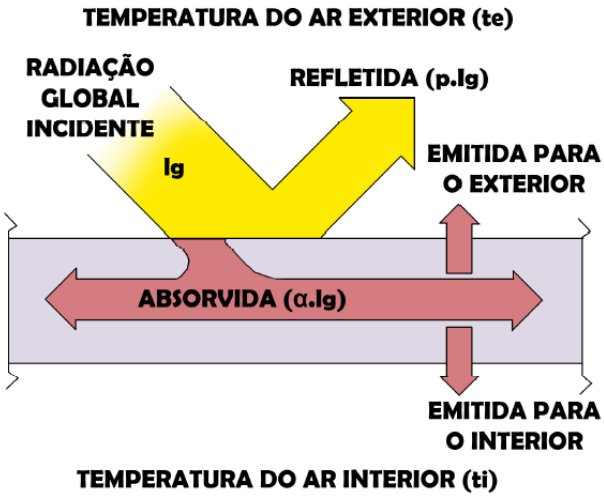


Figura 2.4 - Trocas de calor através de fechamentos opacos
Fonte: Zófoli (2011, p. 32).

Os coeficientes de absortância solar (α) e a refletância solar (ρ) influenciam no comportamento do fechamento opaco, quando exposto à radiação solar. De acordo com a NBR 15220-1 (2005a, p. 3) a absortância solar é o "quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície", e a refletância solar é o "quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície".

A radiação solar absorvida pelas superfícies depende, entre outros fatores, da cor que expressa à reflexão na região do espectro visível, sendo que o acabamento fosco (mais ou menos brilho) também possui influência. Na Tabela 2.1 são apresentadas algumas cores e os valores de absortância.

Tabela 2.1 – Valores de α para algumas cores de superfícies

Pintura	**Coeficiente de absorção para radiação solar (onda curta) (α)**
Branco	0,20
Amarelo	0,30
Verde clara	0,40
“Alumínio”	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: Adaptado NBR 15220-2 (ABNT, 2005b, p. 8).

Torna-se necessário abordar outras características térmicas dos materiais, pois elas são fundamentais para entender o comportamento dos mesmos diante do calor. A seguir elas serão definidas de acordo com a NBR 15220-1 (ABNT, 2005a).

2.2.1.1.1 Condutividade térmica (λ)

Condutividade térmica é a propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m², quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (NBR 15220-1, 2005a, p. 2), expressa em W/(m.K). É a condução de quantidade de calor por unidade de tempo. Quanto maior o λ maior será a quantidade de calor conduzida, sendo que esta condução é ocasionada pela diferença de temperatura entre as superfícies promovendo a troca de calor entre elas.

A intensidade do fluxo térmico depende da espessura (e) e está diretamente relacionada com a densidade do material (ρ), sendo que este último é definido como “quociente da massa pelo volume” (NBR 15220-1, 2005a, p. 2), a concentração de massa em determinado volume, expressa em kg/m³. Na Tabela 2.2 é apresentada a condutividade e a densidade de alguns materiais.

Tabela 2.2 - Lista dos materiais e suas propriedades térmicas

	Material	**Condutividade (λ)** W/(m.K)	**Densidade (ρ)** kg/m³	**Calor específico (c)** kJ/(kg.K)
1	Argamassa comum	1,15	1800-2100	1,00
2	Tijolos e telhas de barro	0,70	1000-1300	0,92
3	Placas de fibro-cimento	0,95	1800-2200	0,84
4	Concreto normal	1,75	2200-2400	1,00
5	Placa de gesso; gesso cartonado	0,35	750-1000	0,84
6	Lã de vidro	0,045	10-100	0,70
7	Madeiras com densidade de massa aparente elevada	0,29	800-1000	1,34
8	Polimetacrilicos de metila (acrílicos) policloretos de vinila (PVC)	0,20	1200-1400	-
9	Vidro comum	1,00	2500	0,84
10	Alumínio	230	2700	0,88

Fonte: Adaptado NBR 15220-2 (ABNT, 2005b, p. 9).

2.2.1.1.2 Resistência térmica (R) e Transmitância térmica (U)

A NBR 15220-1 (2005a, p. 2) define resistência térmica de elementos e componentes como o "quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário." Portanto, ela é a propriedade do material resistir à passagem de calor.

Segundo a NBR 15220-2 (2005b) a resistência térmica total corresponde ao somatório das resistências térmicas de todas as camadas do componente, mais as resistências superficiais externa e interna. Quando o componente plano é constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, a resistência térmica de superfície a superfície considera em sua expressão, as áreas de cada seção do componente e as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção. Já a resistência térmica de ambiente a ambiente é composta da resistência térmica de superfície a superfície mais as resistências superficiais externa e interna

A transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total (RT) e é definida como o fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente. Na Tabela 2.3, têm-se os valores de transmitância térmica para alguns fechamentos opacos.

Tabela 2.3 – Transmitância de alguns fechamentos opacos

Parede	**(W/m².K)**
Tijolo 6 furos – espessura = 12,5cm	2,39
Tijolo 6 furos – espessura = 17cm (deitado)	2,08
Tijolo 8 furos rebocado – espessura = 12,5cm	2,49
Tijolo 4 furos rebocado – espessura = 12,5cm	2,59
Tijolo aparente – espessura = 9cm	4,04
Tijolo maciço rebocado – espessura = 12cm	3,57
Tijolo maciço rebocado – espessura = 26cm	2,45

Fonte: Adaptado NBR 15220-3 (ABNT, 2005c, p. 18).

2.2.1.1.3 Emissividade térmica (ε)

A emissividade é definida na NBR 15220-1 (2005, p. 3) como o "quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura" e é uma propriedade que influencia nas trocas térmicas por radiação. Na Tabela 2.4 são ilustrados alguns materiais e o valor de emissividade.

Tabela 2.4 – Emissividade de alguns fechamentos opacos

Material	ε
Concreto aparente	0,85-0,95
Telha de barro	0,85-0,95
Tijolo aparente	0,85-0,95
Reboco claro	0,85-0,95
Vidro incolor	0,84

Fonte: Adaptado NBR 15220-2 (ABNT, 2005b, p. 8).

2.2.1.1.4 Inércia térmica, difusividade térmica e efusividade térmica

A inércia térmica é uma característica importante dos fechamentos, tendo grande influência no comportamento térmico da edificação. Dornelles (2004, p. 18) descreve a inércia térmica como a capacidade de uma edificação de armazenar calor e liberá-lo algum tempo depois, em função da qual pode ocorrer a diminuição de amplitude das temperaturas internas no ambiente construído.

A difusividade térmica é definida pela NBR 15220-1 (ABNT, 2005, p. 3) como o "quociente da condutividade térmica de um material (λ) pela sua capacidade de armazenar energia térmica (ρc)", expressa em m^2/s. Ela está vinculada a inércia térmica, pois esta última depende da velocidade de difusão do calor pelo material.

Segundo Cruz (1999) a efusividade térmica pode ser defina como a capacidade de um material absorver ou devolver calor, sendo expressa em $J/m^2Ks^{1/2}$.

2.2.1.2 Fechamentos transparentes e translúcidos

Os materiais transparentes e translúcidos são aqueles que permitem a transmissão direta ou difusa de parte da radiação solar, enquanto os materiais opacos irão apenas absorver e refletir essa radiação (DORNELLES, 2008, p. 30). A Figura 2.5 demonstra a relação da radiação solar e os fechamentos transparentes, sendo que parte da radiação é transmitida, refletida e absorvida.

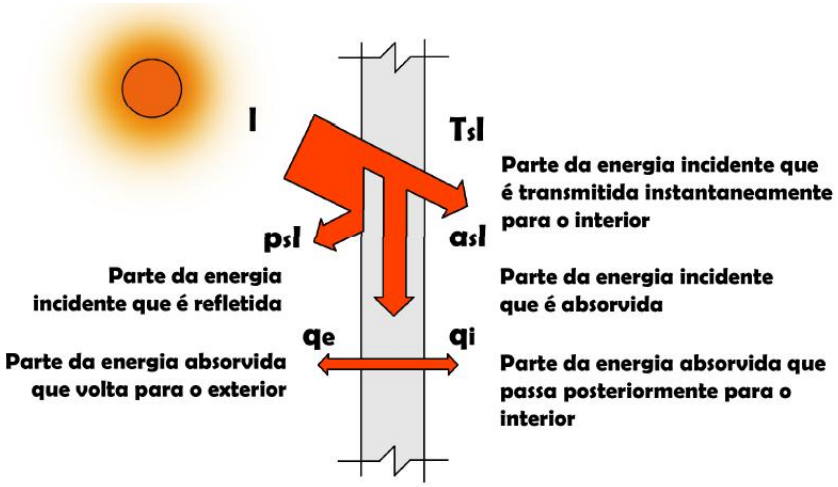


Figura 2.5 - Decomposição da radiação solar ao incidir num elemento envidraçado
Fonte: Zófoli (2011, p. 43).

Esses materiais podem representar uma opção em termos de controle da radiação solar, porém esse controle é de atuação limitada. Se uma área transparente for mal dimensionada ou posicionada de forma errada pode provocar um calor excessivo no ambiente (CASTRO, 2006, p. 21). Muitas vezes, priorizando pela estética, às edificações utilizam grandes áreas com vidro, que, pela orientação solar não adequada ou por não ser ideal para

aquele clima e localização, geram ambientes desconfortáveis termicamente, recorrendo ao uso excessivo da climatização artificial.

As principais características ligadas aos fechamentos transparentes são transmitância a luz visível, fator solar e coeficiente de sombreamento.

A Transmitância da Luz Visível (Tv) é a relação entre a quantidade de radiação na região do espectro visível que é transmitida através do elemento transparente com o fluxo total de luz visível incidente (SANTOS, 2002).

O Fator Solar (FS_t), segundo a NBR 15220-1 (2005a), pode ser compreendida como o quociente da taxa de radiação solar transmitida, mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo. O valor do Fator Solar depende do tipo de material e do ângulo de incidência da radiação solar. A Tabela 2.5 apresenta o Fator Solar para algumas superfícies transparentes, considerando a incidência normal da radiação solar.

Tabela 2.5 – Fator solar para alguns tipos de superfícies transparentes

Superfícies transparentes	**Fator Solar Fs**
Transparente (simples) 3mm	0,87
Transparente (duplo) 3mm	0,75
Cinza (fumê) 3mm	0,72
Verde 3mm	0,72
Películas	
Reflexiva	0,25 - 0,50
Absorvente	0,40 - 0,50
Policarbonato	
Claro (incolor)	0,85
Cinza ou bronze	0,65
Tijolo de vidro	0,56

Fonte: Adaptado Lamberts, Dutra e Pereira (2004, p. 72).

O coeficiente de sombreamento (CS), de acordo com a NBR 15220-1 (2005a, p. 1) é o "quociente entre o fator solar do componente transparente ou translúcido estudado e o fator solar de um vidro plano incolor de 3 mm de espessura ($FS_t = 0,87$)".

2.3 Eficiência energética na Arquitetura

A arquitetura no período clássico foi idealizada por Vitrúvio como sendo firmada em três elementos, o estrutural, funcional e formal (*firmitas, utilitas y venustas*), formando um triângulo, porém o cenário da arquitetura atual é representado por um quadrado, pois é acrescido o vértice da eficiência energética.

A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2004, p. 14). Pode-se atender essa concepção através da elaboração de ideias de aproveitamento dos recursos renováveis ainda na fase de projeto, utilizar a ventilação natural, iluminação natural, água da chuva, entre outras ações sustentáveis para contribuir com a eficiência energética e otimizar o conforto térmico das edificações.

O mercado para os serviços de eficiência energética começou a surgir no Brasil no final da década de 1970 e no início da década de 1980, após a segunda crise do petróleo e das medidas governamentais subseqüentes (GELLER e POOLE, 1997, p. 17), ocasionando a necessidade de medidas que equilibrem o consumo, economia e os recursos do meio ambiente.

O cenário atual de consumo de energia (Tabela 2.6), de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2013 com base no ano de 2012, aponta que o setor residencial apresentou um crescimento de 2,1%, o setor industrial registrou um crescimento de 0,3% e os demais setores (público, agropecuário, comercial e transportes) apresentaram variação positiva de 6,9% em relação ao ano anterior.

Tabela 2.6 – Composição setorial do consumo de eletricidade

Setores	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Residencial	22,3	21,8	22,2	22,0	22,1	22,3	23,6	23,1	23,3	23,6
Comercial	14,1	13,9	14,3	14,2	14,2	14,6	15,5	15,0	15,4	16,0
Público	8,7	8,4	8,7	8,5	8,2	8,1	8,3	8,0	7,9	8,0
Agropecuário	4,2	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,2	4,1	4,5	4,7
Transportes	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Industrial	47,0	47,8	46,7	47,0	46,7	43,1	43,8	43,8	43,5	42,1
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Adaptado BEN (2013, p. 32).

Goulart (2008, p. 8) afirma que “através de um uso racional da energia no edifício, busca-se então uma diminuição no consumo dos usos finais de iluminação, equipamentos, e aquecimento de água, junto à incorporação de fontes renováveis de energia.” A fase projetual permite, com mais facilidade, a inserção de estratégias que aproveitem os recursos do meio ambiente. Podendo, dessa forma, dispor os ambientes em boa orientação solar, estudos da ventilação natural e iluminação natural, dispositivos de proteção solar, a eficiência de equipamentos e sistemas, entre outros fatores garantem uma edificação mais eficiente.

2.3.1 Eficiência energética em edificações residenciais

Tratando-se especificadamente das edificações residenciais, as “variáveis como o número de domicílios e o perfil de posse de equipamentos têm importante impacto na determinação do consumo de energia” (MME, 2010, p. 15). Considerando a grande influência dos eletrodomésticos no consumo de energia das residências, optar por equipamentos mais eficientes e o uso consciente da energia elétrica, contribuem para diminuir o desperdício no setor residencial.

Goulart (2008, p. 9) afirma que “a edificação residencial tem certamente o maior potencial de utilização de recursos naturais de condicionamento de ar e iluminação.” Pela flexibilidade na elaboração do projeto, maiores possibilidades quanto à forma e aplicação de estratégias e dispositivos de iluminação e ventilação natural. Porém, nem sempre é possível a satisfação do conforto térmico somente com o aproveitamento dos recursos naturais, por isso, é necessário o uso de sistemas ativos de aquecimento ou resfriamento, tais como: aparelhos de ar condicionado, ventiladores e aquecedores.

2.3.2 O uso do sistema de aquecimento de água

Em residências, o consumo de energia se destina em grande parte ao aquecimento de água, sobretudo para banho. O aquecimento da água através da energia elétrica ainda é dominante em boa parte dos domicílios. Goulart (2008, p. 13) afirma que “uma parcela significativa de energia elétrica é consumida para aquecimento de água no setor residencial,

25% aproximadamente.” Morishita (2011) menciona o potencial do país em instalar o aquecimento solar, sendo esta uma maneira de diminuir o uso do sistema de aquecimento elétrico.

> O Brasil tem grande potencial para aumentar a capacidade instalada de aquecimento solar, que atualmente é de 1,6 GWt4 e produção de 0,37 milhões de m² de aquecedores/ano, conforme foi observado durante a crise de 2001, quando foi atendida a demanda de 0,24 milhões de m² em 2000 para 1,50 milhões de m² em 2001. As hipóteses tomadas levam em consideração a classe de renda, potência média dos chuveiros, número de habitantes por domicílio e distribuição geográfica. (MORISHITA, 2011, p. 41).

O arquiteto deveria prever nos projetos canalizações de água quente, facilitando a inserção do sistema de gás ou solar (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2004, p. 74). Além disso, o chuveiro é um dos principais consumidores do setor residencial, sendo muito usado nas regiões Sul e Sudeste em função do clima. Fedrigo, Ghisi e Lamberts (2009, p. 4), através de estudos comparando renda familiar e consumo de energia no inverno e verão, verificou “que a região Sul, a partir da base de dados, é a região que mais consome energia elétrica por residência tanto no verão quanto no inverno, mesmo sendo a região com menos moradores por residência”.

Segundo estudos do Ministério de Minas e Energia (MME, 2010b, p. 7) “cerca de 80,9% dos domicílios brasileiros aquecem a água para banho; 73,5% dos sistemas de aquecimento utilizavam a energia elétrica; 5,9% utilizavam gás e 0,4% utilizavam sistema solar”. Observa-se que no Brasil o sistema de aquecimento de água elétrico é dominante e que ainda há resistência quanto ao uso do sistema de aquecimento solar.

2.3.3 Métodos e sistemas de classificação e avaliação de eficiência energética de edifícios

A década de 1970 é marcada pela crise do petróleo, a partir disso, pesquisas, elaboração de ideias na área energética e o uso de sistemas mais eficientes foram disseminados. Os países europeus e principalmente os Estados Unidos, que são amplamente dependentes do petróleo, passaram a investir em edificações eficientes e sustentáveis, sendo a certificação um meio de classificação e avaliação das mesmas.

Certificação de energia é um mecanismo de mercado cujo principal objetivo é promover padrões mais altos de desempenho de energia do que as regulamentações prescritivas (GOULART, 2008, p. 24). A certificação é necessária para avaliar o setor da construção civil, quanto ao seu impacto sobre o ambiente, sendo que ‘a classificação de desempenho atrelada aos sistemas de certificação é um dos métodos mais eficientes para elevar o nível de desempenho tanto do estoque construído quanto de novas edificações’(SILVA, 2003, p. 37).

O fator determinante para incentivar políticas de preservação e conservação de energia foi o uso crescente da energia elétrica para suprir as necessidades de aquecimento e resfriamento, além do aumento da temperatura global, o que torna indispensável o surgimento de diretrizes que regulamentem as edificações com relação ao consumo de energia.

Com relação à avaliação das edificações em âmbito mundial pode-se citar a certificação *High Enviromental Quality* (HEQ) da França, *Green Star* da Austrália, *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) dos Estados Unidos, *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) do Reino Unido, *International Initiative for a Sustainable Built Environment* (iiSBE) do Canadá e a *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* (ASHRAE) que é uma norma americana de eficiência energética.

No Brasil, a primeira iniciativa de avaliação de eficiência energética foi em 2001 quando é publicada a Lei nº 10.295 (Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia), declarando que tanto os equipamentos consumidores de energia elétrica quanto às edificações devem contemplar eficiência energética, ou seja, demanda mínima.

No ano de 2003 é instituído pela ELETROBRÁS/PROCEL o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA). De acordo com o PROCEL (2006) ele atua de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil. Visando o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações, diminuindo desperdícios e impactos sobre o meio ambiente.

Em 2005 entra em vigor a NBR 15220, tratando do desempenho térmico das edificações de interesse social, sendo dividida em cinco partes. A primeira contém definições, símbolos e unidades relativos ao desempenho térmico de edificações. A segunda parte contém procedimentos de cálculo das propriedades térmicas dos elementos e componentes das edificações – resistência térmica total, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso

térmico e fator de calor solar. A terceira parte contém o zoneamento bioclimático das cidades brasileiras, associado a recomendações e diretrizes para edifícios unifamiliares de interesse social com até três pavimentos. Por fim, a quarta e quinta partes contêm a descrição de dois métodos para a determinação da resistência e da condutividade térmica de materiais sólidos e granulares.

A partir do ano de 2007 é elaborada a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), sendo que o objetivo do Programa Nacional de Eficiência Energética (PNEF) é tornar a etiquetagem compulsória dentro de 15 anos para prédios comerciais e de serviços. No ano de 2010, foi publicada a portaria INMETRO n° 449, que trata do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), pretende-se que esta etiquetagem torne-se compulsória em 20 anos. O RTQ-R foi recentemente atualizado pela portaria n° 18, de 16 de janeiro de 2012.

> O RTQ-R tem caráter voluntário, mas com perspectiva de tornar-se compulsório para novas edificações. Por isso e tendo o arquiteto papel fundamental, uma vez que é sua exclusiva competência a prática projetual que definirá não apenas os resultados de consumo energético, mas também os relativos à qualidade ambiental, que inclui aspectos do conforto ambiental e bem estar dos usuários, entendemos ser este um importante momento para por em discussão os aspectos de sua metodologia (FONSECA et al, 2012 p. 2).

Em 2008 é publicada a primeira versão da NBR 15575, voltada para edificações de até cinco pavimentos. A norma é dividida em seis partes, abordando temas relacionados a sistemas estruturais, sistemas de pisos internos, sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de coberturas e sistemas hidrossanitários.

A NBR 15575 foi revista em 2013 e segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013) foram definidos parâmetros técnicos para quesitos como acústica, durabilidade, manutenção e transmitância térmica, conceitos que antes não eram definidos e nem passíveis de serem medidos ou comparados a um padrão, instituindo três níveis de desempenho: o mínimo, que é obrigatório para todas as edificações residenciais abrangidos por ela; o intermediário e o superior, que ficarão a critério do empreendedor e conferem uma classificação mais elevada para o empreendimento.

2.4 Procedimentos para a definição de edificação objeto de estudo

Existem vários estudos sobre eficiência energética em edificações que definem uma tipologia para fins de avaliação. Neste item são apresentados o meio de determinação das edificações objeto de estudo de alguns trabalhos publicados.

Santana (2006, p. 27) diz que "a tipologia predominante é considerada como um conjunto de características reduzidas de uma população de edificações e que represente a realidade construtiva." Em seu trabalho sobre avaliação dos parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritórios em Florianópolis, elaborou um modelo representativo dentre 35 edifícios baseado em análises fotográficas, dimensões, orientação solar entre outros aspectos para simulações termoenergéticas do modelo base e dos modelos com alterações, a simulação dos casos permitiu identificar a influência de parâmetros construtivos no consumo de energia.

Tavares (2006), em sua tese sobre metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras, definiu cinco modelos que representam as principais características físicas e ocupacionais das edificações residenciais brasileiras considerando um ciclo de vida de 50 anos, através de pesquisas em âmbito nacional baseando-se em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Pesquisa Nacional por Análise de Domicílios (PNAD), Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo (SINPHA) e também levantamentos da NBR 12721 (2006), que trata da avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária.

O Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LABEEE), para desenvolver o método prescritivo do Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), empregou simulações termoenergéticas sendo definidos modelos de edificações unifamiliares e multifamiliares.

A tipologia arquitetônica escolhida para o trabalho do RTQ-R foi determinada a partir de edificações residenciais multifamiliares, composta de sala, dois dormitórios, banheiro, cozinha e lavanderia totalizando 72,61m², uma edificação de sete pavimentos e quatro apartamentos por andar.

As diferenças entre as tipologias mostraram-se insignificantes, portanto, utilizou-se apenas um modelo de edificação multifamiliar. Na Figura 2.6 é apresentado o croqui da edificação residencial multifamiliar adotada para o desenvolvimento da base de simulações do RTQ-R.

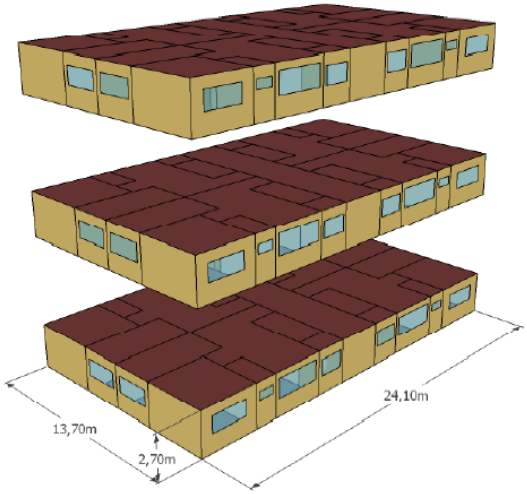


Figura 2.6 – Croqui da edificação residencial multifamiliar, modelo base
Fonte: LABEEE UFSC (2011, p. 10).

Na Figura 2.7 é apresentado layout dos apartamentos do modelo base. Morishita (2011) em sua dissertação utilizou esse modelo para simulações computacionais do desempenho térmico e energético das edificações, inserindo nas planilhas as características construtivas predominantes de acordo com a região geográfica.

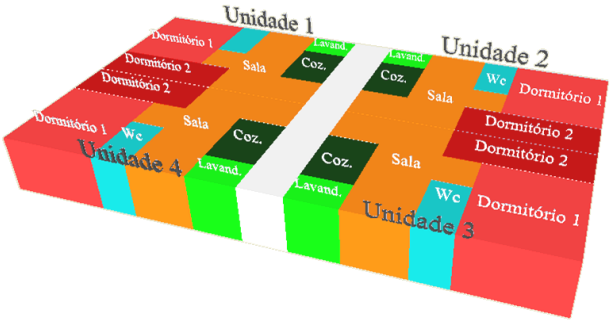


Figura 2.7 - Layout dos apartamentos do modelo base
Fonte: Adaptado LABEEE UFSC (2011, p. 11).

Matos (2007), também seguindo as pesquisas de Tavares (2006), avaliou uma residência unifamiliar localizada na Zona Bioclimática 3 por meio de simulação computacional, seguindo a NBR 15220 (2005), e alterando, nas simulações, a área de ventilação, sombreamento nas janelas, transmitância térmica de paredes e cobertura, verificando a influência da orientação solar no desempenho térmico das residências e variando a absortância de paredes e cobertura.

Sorgato (2009, p. 73) baseou-se no tipo de domicílio dos consumidores brasileiros pesquisados pelo SINPHA, "em que se identificou que 85,4% dos brasileiros residem em

unidades habitacionais classificadas como casas, 14,4% em apartamentos e 0,3% em outro tipo de domicílio", além de concepções determinadas por Tavares (2006) em sua tese.

As tipologias com área construída de 36m² e 63m² representam habitações de interesse social e as tipologias de 150m² e 300m² representam habitações para classe média e alta. A partir disso foram realizadas simulações computacionais para analisar o desempenho térmico da envoltória.

Pouey (2011) elaborou um projeto de edificação residencial com estratégias bioclimáticas de condicionamento passivo recomendadas para locais de grande variação climática, realizou simulações com o programa computacional *DesignBuilder*, seguindo as especificações do RTQ-R e com isso foi avaliado o desempenho energético da envoltória do projeto.

Como visto anteriormente, vários foram os meios adotados para definir as edificações objeto de estudo. Neste trabalho será utilizada a NBR 12721 (2006), que trata da avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária, para a contribuição no âmbito de da definição tipológica.

O custo unitário básico (CUB/m²) vem passando por alterações e melhorias desde o ano de 1965. Essa evolução normativa teve sua última revisão em 2006 entrando em vigor em 01/02/2007. O Sinduscon-MG participou ativamente de todos os processos de atualização da norma, segundo eles é "a maior revisão da Norma desde a sua criação, com a introdução de novos projetos-padrão e novo lote básico" (NBR 12721, 2006, p. 17).

A caracterização dos projetos-padrão das residências pode ser vista na Tabela 2.7, através do número de pavimentos, número de ambientes e área total.

Tabela 2.7 – Caracterização dos projetos-padrão residenciais

Nome e Descrição	Dormitórios	Área (m²)
Residência unifamiliar padrão baixo: 1 pavimento, 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.	2	58,64
Residência unifamiliar padrão normal: 1 pavimento, 3 dormitórios, sendo um suíte com banheiro, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e abrigo para automóvel.	3	106,44
Residência unifamiliar padrão alto: 1 pavimento, 4 dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e abrigo para automóvel.	4	224,82

Fonte: Adaptado NBR 12721 (ABNT, 2006, p. 19).

A NBR 12721 (2006, p. 13) cita que “os processos construtivos modernizaram-se, as construções ganharam novas características e a legislação urbana evoluiu.” Dessa forma, essa norma apresenta uma versão que acompanha o desenvolvimento da construção, apresentando novos projetos-padrão, novos projetos arquitetônicos, contemplando as características e exigências do mercado atual de edificações.

A Tabela 2.8 apresenta uma parte de como são especificados os materiais do projeto, com detalhe de portas, janelas, impermeabilização, laje, caixa d’água, também podem ser encontrados na norma tabelas especificando acessórios de banheiro, cozinha, área de serviço, pintura, cobertura e demais acabamentos.

Tabela 2.8– Detalhes construtivos dos projetos-padrão residenciais

Acabamento	**Padrão**		
Serviço/Local	**Alto**	**Normal**	**Baixo**
Portas: Ext. e internas sociais	Madeira maciça lisa encerada, batente e guarnição de madeira para cera	Madeira compensada lisa, com 3,5cm de espessura, pintura esmalte acetinado fosco, batente e guarnição de madeira para pintura esmalte	Madeira semi-oca com 3,5cm de espessura, sem pintura de acabamento e batente de ferro para pintura esmalte
Externas e Internas de serviço	Madeira maciça lisa encerada, batente e guarnição de madeira para cera	Madeira compensada lisa, com 3,5cm de espessura, pintura esmalte acetinado fosco, batente e guarnição de madeira para pintura esmalte	Madeira semi-oca com 3,5cm de espessura, sem pintura de acabamento e batente de ferro para pintura esmalte
Fechadura para portas internas	Fechadura para tráfego moderado, tipo IV (70mm) em ferro com acabamento cromo-acetinado	Fechadura para tráfego moderado, tipo IV (55 mm) em ferro com acabamento cromado	Fechadura para tráfego moderado, tipo II (40mm) em zamak
Fechadura para portas de entrada	Fechadura para tráfego moderado, tipo IV (70mm) em ferro com acabamento cromo-acetinado	Fechadura para tráfego moderado, tipo IV (55 mm) em ferro com acabamento cromado	Fechadura para tráfego moderado, tipo II (40mm) em zamak
Janelas	Alumínio anodizado bronze perfis linha 30, vidro liso/fantasia 4mm	Alumínio anodizado cor natural padronizado perfis linha 25, vidro liso/fantasia 4mm	Esquadria de ferro de chapa dobrada n° 18 para pintura com esmalte sintético com vidro liso/fantasia 4mm

Fonte: Adaptado NBR 12721 (ABNT, 2006, p. 21).

Além disso, a NBR 12721 (2006) apresenta uma série de plantas baixas de cada edificação proposta. A Figura 2.8 ilustra a planta de uma unidade residencial padrão normal que é a considerada neste estudo.

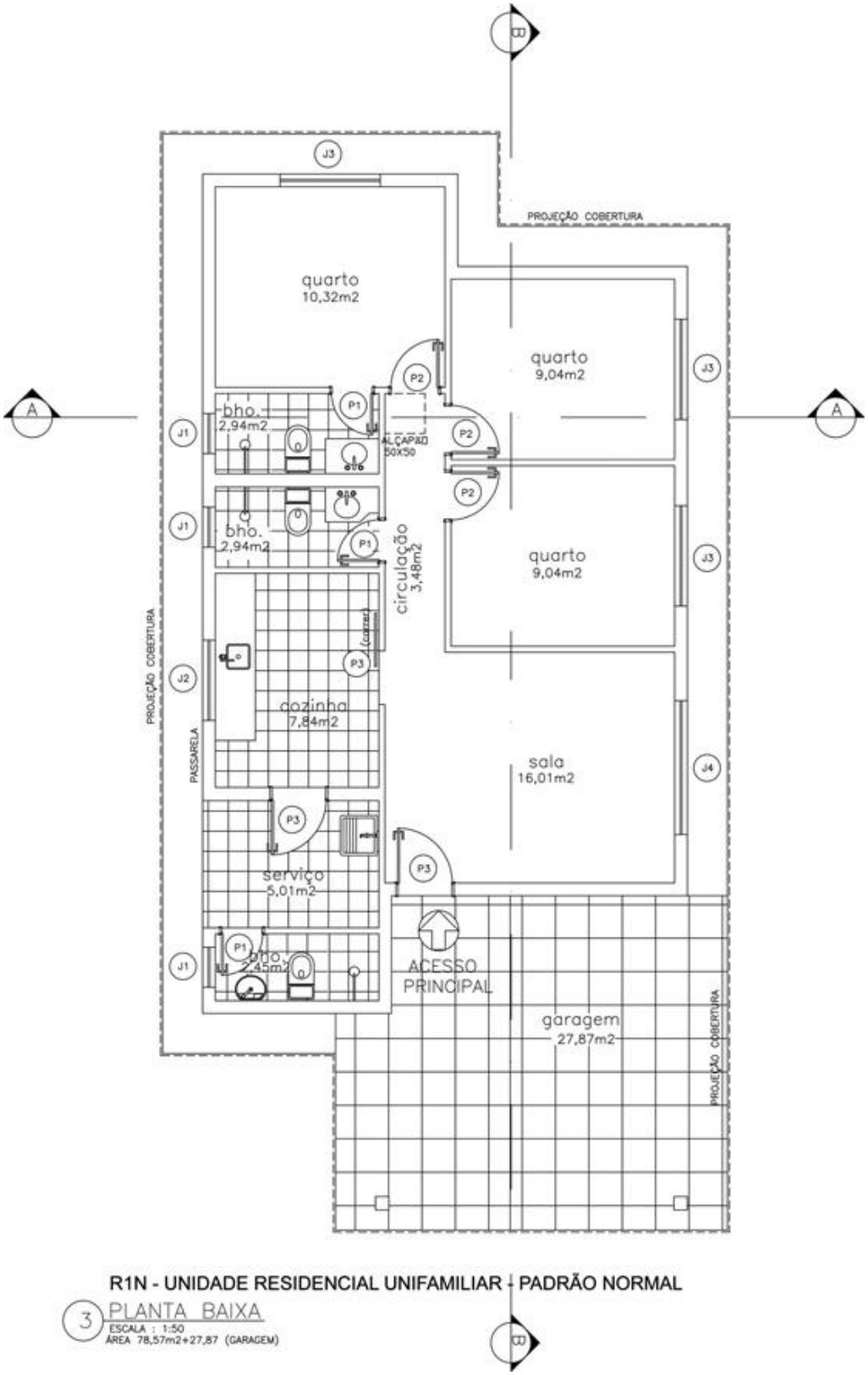


Figura 2.8 – Planta baixa residência unifamiliar padrão normal
Fonte: NBR 12721 (ABNT, 2006, p. 70).

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

O RTQ-R determina os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, variando do nível A mais eficiente a E menos eficiente. A Tabela 2.9 apresenta os níveis de eficiência e o equivalente numérico correspondente.

Tabela 2.9 - Equivalente Numérico (EqNum) para cada nível de eficiência

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: INMETRO (2012, p. 16).

A primeira versão regulamentada do RTQ-R foi em 25 de novembro de 2010 sob portaria n° 449 do INMETRO, sendo que a última versão revisada é apresentada na Portaria INMETRO n°18, de 16 de janeiro de 2012.

O regulamento avalia nas edificações unifamiliares a envoltória por pré-requisitos, eficiência do sistema de aquecimento de água e bonificações. Ele é realizado através do método prescritivo e o método de simulação.

2.5.1 Pré-requisitos da envoltória

O pré-requisito geral para obtenção dos níveis de eficiência A ou B, havendo mais de uma unidade habitacional autônoma no mesmo lote é a presença de medição individualizada de eletricidade e água.

Os pré-requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica e absortância solar das paredes externas e coberturas de ambientes de permanência prolongada, devem atender as especificações da Tabela 2.10, para a Zona Bioclimática 2 considerada nesse trabalho.

Tabela 2.10 - Pré-requisitos de absortância solar, transmitância térmica e capacidade térmica

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
ZB2	Parede	Sem exigência	U ≤ 2,50	CT ≥ 130
	Cobertura	Sem exigência	U ≤ 2,30	Sem exigência

Fonte: Adaptado INMETRO (2012, p. 23).

Caso isso não seja atendido, implica no máximo nível C (EqNum= 3) nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resfr}$), para aquecimento ($EqNumEnvAmb_{A}$) e para refrigeração ($EqNumEnvAmb_{Refrig}$).

O pré-requisito ventilação natural, considera que os ambientes de permanência prolongada devem possuir percentual de áreas mínimas de aberturas para ventilação conforme a Tabela 2.11. O não atendimento implica em no máximo nível C (EqNum = 3) no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resfr}$).

Tabela 2.11 - Percentual de áreas mínimas para ventilação

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)		
Ambientes de permanência prolongada	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
	A ≥ 8%	A ≥ 5%	A ≥ 10%

Fonte: INMETRO (2012, p. 26).

Esse percentual de abertura para ventilação (A) é calculado de acordo com a Equação 1.

$$A = 100.(\frac{\mathrm{Av}}{\mathrm{AUamb}}) \quad (1)$$

Onde:

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

Av: área de abertura para ventilação (m²);

AU_{amb}: área útil do ambiente (m²).

O pré-requisito ventilação cruzada nas Zonas Bioclimáticas 2 a 8 considera que a UH deve possuir ventilação cruzada proporcionada por sistema de aberturas compreendido pelas aberturas externas e internas.

O ar deve circular entre as aberturas localizadas em pelo menos duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes). As aberturas devem atender à proporção indicada na Equação 2. Caso não atenda, a UH atingirá no máximo nível C no equivalente numérico da envoltória para resfriamento ($EqNumEnv_{Resfr}$).

$$\frac{A2}{A1} \geq 0{,}25 \qquad (2)$$

Onde:

A_1: somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m^2);

A_2: somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m^2).

O pré-requisito iluminação natural de cada ambiente deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente. Não atendendo ao pré-requisito resulta em no máximo nível C (EqNum=3) nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resfr}$), para aquecimento ($EqNumEnvAmb_A$) e para refrigeração ($EqNumEnvAmb_{Refrig}$).

2.5.2 Procedimento para determinação da eficiência da envoltória: Método Prescritivo

O desempenho térmico da envoltória da UH é determinado pelo seu equivalente numérico (EqNumEnv), estabelecido através de equações geradas por regressão múltipla, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada.

O equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória a ser utilizado para o cálculo da pontuação geral da UH deve ser o referente à eficiência quando naturalmente ventilada, que consiste nos cálculos do indicador graus-hora para resfriamento (GH_R), consumo relativo para aquecimento (C_A).

O Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LABEEE) da UFSC elaborou a Planilha de Cálculo do Desempenho da Envoltória de Edificações Residenciais (método prescritivo) consistindo em uma planilha do Excel que, a partir da zona bioclimática e dos dados da edificação a ser avaliada, geram automaticamente o GH_R, C_A e também o consumo

para refrigeração (C_R). A Tabela 2.12 apresenta os valores de GH_R e a Tabela 2.13 os valores C_A com o nível de eficiência correspondente.

Tabela 2.12 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento

Eficiência	**$EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**Condição**
A	5	$GH_R \leq 2310$
B	4	$2310 < GH_R \leq 4396$
C	3	$4396 < GH_R \leq 6481$
D	2	$6481 < GH_R \leq 8567$
E	1	$GH_R > 8567$

Fonte: INMETRO (2012, p. 43).

Tabela 2.13 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento

Eficiência	**$EqNumEnvAmb_A$**	**Condição (kWh/m².ano)**
A	5	$C_A \leq 15,591$
B	4	$15,591 < C_A \leq 31,182$
C	3	$31,182 < C_A \leq 46,772$
D	2	$46,772 < C_A \leq 62,363$
E	1	$C_A > 62,383$

Fonte: INMETRO (2012, p. 43).

A Tabela 2.14 apresenta os valores de C_R e, respectivamente, o nível de eficiência equivalente, sendo que o C_R é calculado apenas para os dormitórios e é para a edificação quando condicionada artificialmente.

Tabela 2.14 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração

Eficiência	**$EqNumEnvAmb_{Resfrig}$**	**Condição (kWh/m².ano)**
A	5	$C_R \leq 0,713$
B	4	$0,713 < C_R \leq 1,426$
C	3	$1,426 < C_R \leq 2,138$
D	2	$2,138 < C_R \leq 2,851$
E	1	$C_R > 2,851$

Fonte: INMETRO (2012, p. 43).

Sendo assim, para a Zona Bioclimática 2, o equivalente numérico da envoltória da UH (EqNumEnv) é obtido por meio da Equação 3.

$$EqNumEnv = 0,44 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,56 \times EqNumEnv_A \quad (3)$$

Onde:

$EqNumEnv_{Resfr}$: equivalente numérico da envoltória para resfriamento;

$EqNumEnv_{A}$: equivalente numérico da envoltória para aquecimento.

Após a determinação do EqNumEnv, este valor é inserido na Equação 5 para a obtenção da Pontuação Total do Nível de Eficiência da UH.

2.5.3 Sistema de aquecimento de água

O equivalente numérico de aquecimento de água ($EqNum_{AA}$) é oriundo da avaliação do sistema de aquecimento de água da edificação. Avaliam-se os sistemas que serão entregues pelo empreendedor e não sistemas em espera para futura instalação.

O regulamento especifica os diferentes sistemas de aquecimento de água, sendo o sistema de aquecimento solar, sistema de aquecimento a gás, bombas de calor, sistema de aquecimento elétrico e caldeiras a óleo.

Segundo o RTQ-R (INMETRO, 2012), o sistema de aquecimento de água é avaliado por pré-requisitos ligados às tubulações e reservatório, sendo:

- As tubulações devem atender às normas técnicas de produtos aplicáveis;
- Resistência térmica mínima de 2,20 (m².K)/W para reservatórios não solares;
- Para receber os níveis A e B, deve-se comprovar que as tubulações metálicas para água quente possuem isolamento térmico com espessura mínima, conforme a Tabela xx.

Tubulação para água quente não metálicas, a espessura mínima do isolamento deve ser de 1,0cm para qualquer diâmetro nominal da tubulação e condutividade entre 0,032 a 0,040 (W/m.K).

Tabela 2.15 – Espessura mínima de isolamento de tubulações para aquecimento de água

Temperatura da água (°C)	Condutividade térmica (W/m.K)	Diâmetro nominal da tubulação (mm)	
		<40	≥40
T≥38	0,032 a 0,040	1,0cm	2,5cm

Fonte: INMETRO (2012, p. 77).

As regiões Norte e Nordeste recebem Nível D se não possuírem sistema de aquecimento de água e as demais regiões, Nível E.

Sistema misto, quando for gás ou bomba de calor combinado ao sistema solar, considera-se o maior equivalente numérico obtido, e quando for o sistema solar e o elétrico, é o equivalente numérico solar, quando este corresponder a uma fração solar anual mínima de 70%.

2.5.3.1 Sistema de aquecimento solar

Os pré-requisitos são:

- Instalação com orientação e ângulo de inclinação conforme manual e projeto;
- Para receber nível A ou B os coletores solares devem possuir ENCE A ou B ou Selo Procel e o reservatório possuir Selo Procel, além de que o reservatório de água quente deve ter isolamento térmico.
- Os coletores solares e reservatórios devem atender aos requisitos das normas brasileiras aplicáveis;
- Preferência por instaladores fazem parte do Programa de qualificação de fornecedores de sistemas de aquecimento solar - QUALISOL BRASIL.

A classificação da eficiência do sistema é de acordo com a fração solar anual, se o volume de armazenamento real está entre 40 litros e 50 litros por m² de coletor ou superior a 150litros/m² de coletor, atingirão no máximo Nível D e se for inferior a 40 litros/m² de coletor atingirão no máximo Nível E.

Para o dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água segue-se uma série de cálculos e equações presentes no regulamento. A Tabela 2.16 ilustra a classificação deste sistema que é baseado na fração solar anual.

Tabela 2.16 – Fração anual e classificação

Fração solar anual	**Classificação**
Mínima de 70%	A
Entre 60% e 69%	B
Entre 50% e 59%	C
Inferior a 50%	D

Fonte: Adaptado de INMETRO (2012, p. 82).

2.5.3.2 Sistema de aquecimento a gás

Os pré-requisitos são:

- Os aquecedores do tipo instantâneo e de acumulação devem possuir ENCE A ou B, para obtenção do Nível A;
- Devem-se atender as normas brasileiras e/ou internacionais;
- Instalação em lugares protegidos;
- Isolamento térmico adequado nos reservatórios;
- Para classificação nos níveis A ou B de sistema de acumulação individual e sistema central coletivo a gás, a potência do sistema de aquecimento e o volume de armazenamento informado pelo projetista devem estar dentro de uma variação de 20%, para mais ou para menos, conforme cálculos especificados no regulamento.

No RTQ-R há todo o procedimento para o dimensionamento de aquecedor a gás do tipo instantâneo, do sistema de acumulação individual e do sistema central coletivo a gás.

2.5.3.3 Bombas de calor

A eficiência deste sistema é determinada pelo coeficiente de performance (COP) de acordo com a ASHRAE *Standard* 146, ASHRAE 13256 ou AHRI 1160 e o nível de eficiência é através da Tabela 2.17.

Tabela 2.17 – Nível de eficiência das bombas de calor

COP (W/W)	**Nível de eficiência**
COP≥3,0	A
2,0≤COP<3,0	B
COP<2,0	C

Fonte: INMETRO (2012, p. 97).

2.5.3.4 Sistema de aquecimento elétrico

A eficiência dos sistemas de aquecimento de água com aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas é por meio da potência do aparelho, Nível D, para aparelhos com potência P ≤ 4.600 W e Nível E, para aparelhos com potência P > 4.600 W.

Definem-se pela maior potência os equipamentos com potência regulável e aqueles que não são classificados pelo Inmetro recebem Nível E.

Determina-se a eficiência dos aquecedores elétricos de hidromassagem em função da potência do aparelho, desde façam parte do PBE. Sendo Nível D, para aparelhos com potência P ≤ 5.000 W e Nível E, para aparelhos com potência P > 5.000 W, se os equipamentos não fazem parte do Inmetro recebem Nível E.

Os aquecedores elétricos de água por acumulação (*boiler*) devem possuir ENCE e *timer*, a eficiência dos boilers é de Nível D, para boilers com classificação A ou B no PBE e Nível E, para outros. Além de que os equipamentos não classificados pelo Inmetro receberão classificação nível E.

2.5.3.5 Caldeiras a óleo

Caldeiras que utilizam como combustível fluidos líquidos como óleo diesel ou outros derivados de petróleo receberão classificação Nível E.

2.5.4 Bonificações

As bonificações são iniciativas que recebem uma determinada pontuação aumentando a eficiência da UH. Elas são referentes à ventilação natural, iluminação natural, uso racional de água, condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, ventiladores, refrigeradores e medição individualizada.

Na Tabela 2.18 são apresentadas as bonificações e sua pontuação máxima, sendo possível receber até um ponto, a seguir elas são detalhadas:

Tabela 2.18 – Bonificações e pontuação

Bonificação	**Pontuação (máxima)**
Ventilação Natural	0,40
Iluminação Natural	0,30
Uso racional de água	0,20
Condicionamento artificial de ar	0,20
Iluminação artificial	0,10
Ventiladores de teto	0,10
Refrigeradores	0,10
Medição individualizada	0,10

Fonte: Adaptado INMETRO (2012, p. 100).

- A bonificação de ventilação natural contempla a verificação da porosidade, calculada a partir da relação entre a área efetiva de abertura para ventilação e a área de fachada. Para receber a pontuação de 0,12, ela deve ser de no mínimo 20% e em pelo menos duas fachadas com orientações diferentes.

Pontua-se 0,16 se há dispositivos especiais (como venezianas móveis, peitoris ventilados, torres de vento e outros), em todos os ambientes de permanência prolongada.

Pode receber 0,06 pontos se há aberturas externas (janelas, rasgos, peitoris ventilados, etc.) cujo vão livre tenham o centro geométrico localizado entre 0,40 e 0,70 m medidos a partir do piso e no caso da ZB 8 pode receber 0,06 se as aberturas intermediárias (portas, rasgos, etc.) apresentam permeabilidade com uma área livre de no mínimo, 30% da área da abertura intermediária quando a mesma estiver fechada e devem ser passíveis de fechamento.

- A bonificação de iluminação natural pontua 0,20, quando a maioria dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia com iluminação natural lateral tem a profundidade máxima calculada pela Equação 4.

$$P \leq 2{,}4 \times h_a \qquad (4)$$

Onde:

P: profundidade do ambiente (m);

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

Essa bonificação também pode ser comprovada utilizando simulação computacional com os programas *DaySim, Apolux e Troplux.*

Pontua-se 0,10 nesta bonificação se a refletância do teto for acima de 60% nos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia.

- A bonificação de uso racional de água pontua 0,20, se a unidade habitacional possui sistemas de uso da água da chuva e equipamentos economizadores, de acordo com equação presente no regulamento.

- A bonificação condicionamento artificial de ar pontua de zero a 0,20 proporcionalmente ao número de ambientes de permanência prolongada, se o nível de eficiência energética quando condicionada artificialmente é Nível A e os condicionadores de ar tipo janela ou *split* possuem Selo Procel ou ENCE A.

- A bonificação de iluminação artificial pontua até 0,10, sendo 0,05 pontos se a unidade habitacional possui 50% das fontes de iluminação com eficiência superior a 75lm/W ou com Selo Procel em todos os ambientes. Obtém-se 0,10 pontos se 100% das fontes de iluminação atendem o critério acima.
- A bonificação de ventiladores de teto gera 0,10 pontos se os ventiladores possuem Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada para as unidades habitacionais nas ZB2 a ZB8.
- A bonificação de refrigeradores resulta em 0,10 pontos se os refrigeradores possuem Selo Procel ou ENCE A, além de estar instalado adequadamente.
- A bonificação de medição individualizada considera 0,10 pontos se a medição é individual, quando o sistema de aquecimento de água ser partilhado por mais de uma UH.

A classificação do nível de eficiência das UHs é o resultado da distribuição dos pesos através da Equação 5 que representa a Pontuação Total do Nível de Eficiência da UH de acordo com a região geográfica na qual a edificação se localiza.

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNum_{AA}] + Bonificações \qquad (5)$$

Onde:

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

a: coeficiente adotado de acordo com a região geográfica (mapa político do Brasil) na qual a edificação está localizada, no caso deste trabalho o valor é de 0,65, região sul;

EqNumEnv: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente;

$EqNum_{AA}$: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;

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

Após o resultado obtido na Equação 5, verifica-se a Tabela 2.19 que apresenta o intervalo de valores da pontuação total da UH e o nível de eficiência equivalente.

Tabela 2.19 - Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida

Pontuação (PT)	**Nível de Eficiência**
PT ≥ 4,5	A
3,5 ≤ PT < 4,5	B
2,5 ≤ PT < 3,5	C
1,5 ≤ PT < 2,5	D
PT < 1,5	E

Fonte: INMETRO (2012, p.17).

2.5.5 Procedimento para determinação da eficiência da envoltória: Método de Simulação

No método de simulação o desempenho da envoltória da edificação é determinado por meio de simulação computacional. Para tanto, deve-se seguir as especificações quanto à modelagem da geometria da edificação sob avaliação, o programa de simulação e o arquivo climático.

Segundo o RTQ-R (INMETRO, 2012) o programa computacional de simulação deve possuir as seguintes características: ser um programa para a análise do consumo de energia em edifícios, estar de acordo com testes propostos pela ASHRAE *Standard* 140 (2004), modelar 8.760 horas por ano, modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, rede de ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados, modelar efeitos de inércia térmica, modelar efeitos de multi-zonas térmicas, ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto, determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar, produzir relatórios horários das trocas de ar e das infiltrações e produzir relatórios horários do uso final de energia.

De acordo com RTQ-R (INMETRO, 2012), o arquivo climático utilizado deve possuir as seguintes características: fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar; os dados climáticos devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto sob avaliação será localizado e, caso o local do projeto não possua arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas semelhantes; e devem ser utilizados arquivos climáticos disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos ou os arquivos climáticos publicados pelo PROCEL em formatos tais como TRY e TMY.

Além disso, a modelagem da envoltória da edificação deve considerar que, para as UHs, cada ambiente deve ser modelado como uma única zona térmica, com as características geométricas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme o projeto sob avaliação.

O método de simulação avalia a edificação, através de duas simulações, a primeira consiste na edificação naturalmente ventilada onde são obtidos os indicadores de graus-hora de resfriamento (GH_R) dos ambientes de permanência prolongada da UH.

O GH_R é obtido a partir do somatório de todas as temperaturas operativas subtraída de da temperatura base de 26°C, conforme a equação do indicador GH_R (Equação 6).

$$GH_R = \sum (To - 26°C) \quad (6)$$

Onde:

GH_R: indicador de graus-hora para resfriamento;

To: temperatura operativa horária (°C).

No regulamento há as especificações da modelagem do sistema de ventilação natural, do padrão de ocupação, padrão de uso da iluminação, taxa metabólica, densidades de potência instalada de iluminação, cargas internas de equipamentos e a temperatura do solo dos modelos.

Para a segunda simulação, que é da edificação condicionada artificialmente no período das 21h às 8h, sendo que no período restante deve-se considerar a edificação naturalmente ventilada, são especificadas no regulamento as condições para cálculo do consumo relativo de energia e a modelagem do sistema de condicionamento de ar, para a obtenção dos consumos relativos de aquecimento (C_A) e o consumo relativo de refrigeração (C_R) dos ambientes de permanência prolongada.

2.5.5.1 Programa computacional *DesignBuilder*

Para o método de simulação deste trabalho será utilizado o programa computacional *DesignBuilder*, que foi desenvolvimento no Reino Unido pela *DesignBuilder Software Ltda* e que consiste em uma ferramenta para simulação do desempenho térmico e energético de

edificações. A interface utiliza os algoritmos do *EnergyPlus* e corrige suas limitações gráficas no processo de modelagem.

O uso da ferramenta permite respaldar decisões projetuais de novas edificações, bem como pode oferecer suporte a propostas de *retrofit* (reforma). Venâncio, Pedrini e Lima (2007, p. 1.974) dizem que o *DesignBuilder* "trata-se de uma das melhores opções disponíveis, que combina versatilidade de modelagem com confiabilidade dos resultados".

O programa possibilita importar arquivos 2D e 3D dependendo do tipo arquivo, a modelagem da edificação pode ser feita no próprio programa, como também a colocação de portas, janelas e paredes que compõem o interior da edificação, posteriormente configurados através do banco de dados existente ou personalizados de acordo com as características do modelo em questão.

O *DesignBuilder* fornece relatórios de consumo de climatização, iluminação e equipamentos, dentre outros dados mais específicos sobre o consumo de energia, além do consumo de outros tipos de combustível.

Gera relatórios de saída sobre as trocas térmicas por paredes externas, paredes internas, pisos, cobertas, forros, infiltração, ventilação, dentre outros e os ganhos térmicos internos provenientes da ocupação e da incidência de radiação por aberturas. Além disso, as perdas térmicas por ventilação, cálculo da taxa de renovação de ar por hora de um ambiente, e também prediz a temperatura do ar e a temperatura radiante média.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi dividida em quatro etapas, sendo elas:

1) Definição da edificação objeto de estudo;

2) Procedimento de etiquetagem: Método prescritivo;

3) Procedimento de etiquetagem: Método de simulação;

4) Avaliação da influência da transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absortância solar (α) dos fechamentos opacos verticais.

3.1 Definição da edificação objeto de estudo

Esta etapa consistiu na definição da edificação unifamiliar com as características peculiares de uma residência padrão normal, sendo considerada como local de levantamentos a cidade de Santiago-RS, localizada na Zona Bioclimática 2 Brasileira.

Esta definição foi embasada pelas concepções da NBR 12721 (ABNT, 2006), sendo relevantes para esta definição duas condições básicas: a caracterização do projeto-padrão normal e a área total. Esta norma contém os chamados projetos-padrão, divididos em padrão baixo, normal e alto. Especificadamente, o padrão normal, que é o foco do trabalho, possui a seguinte caracterização: um pavimento, três dormitórios, sendo um suíte, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel) e uma área de 106,44m².

Para determinar os limites de metragem da edificação objeto de estudo foi feita uma média entre as áreas, definidas pela norma, da residência unifamiliar padrão baixo 58,64m² e a residência unifamiliar padrão normal 106,44m², e entre o padrão normal e a padrão alto 224,82m², destas médias resultou um intervalo de metragem que varia de 80,00m² a 170,00m².

Com essas informações em posse, contatou-se o Arquivo da Prefeitura Municipal de Santiago-RS que autorizou a pesquisa, possibilitando a obtenção de dados essenciais para a realização deste trabalho. O intervalo de anos que foi considerado no levantamento das residências foi entre 2007 e 2011 (totalizando cinco anos). Após realizou-se uma amostragem,

sendo que as casas da amostra foram inicialmente divididas em dois grupos, de acordo com a área menor (80,00m² a 125,00m²) ou maior (125,00m² a 170,00m²), sendo selecionadas de cada grupo uma residência com a geometria retangular alongada e outra retangular compacta, resultando quatro residências.

Estas residências foram utilizadas para a aplicação do processo de etiquetagem através do método prescritivo e do método de simulação do RTQ-R, determinando a eficiência energética deste padrão de residência.

3.2 Procedimento de etiquetagem: Método prescritivo

O método prescritivo do RTQ-R foi aplicado seguindo as especificações do regulamento, conforme mencionado nos itens 2.5.1 e 2.5.2.

Usou-se a mesma sequência de etapas nas quatro edificações objeto de estudo, sendo, inicialmente, coletados os dados projetuais das edificações na sua condição real.

Utilizando esses dados foram analisados os pré-requisitos da envoltória:

- Transmitância térmica, capacidade térmica e absortância solar das superfícies;
- Ventilação natural;
- Iluminação natural;
- Ventilação cruzada.

Posteriormente, para a determinação do graus-hora para resfriamento (GH_R), consumo de energia para aquecimento (C_A) e consumo para refrigeração (C_R), de cada ambiente de permanência prolongada, utilizou-se a Planilha de Avaliação do Método Prescritivo para o Desempenho da Envoltória.

O equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resfr}$) e de aquecimento ($EqNumEnvAmb_A$), resultantes da planilha, foram confrontados com os pré-requisitos da envoltória, pois o não atendimento a eles influenciam no nível dos equivalentes. Após essa verificação os equivalentes foram ponderados pela área útil de cada ambiente, resultando no equivalente numérico da envoltória para resfriamento ($EqNumEnv_{Resfr}$) e do equivalente numérico da envoltória para aquecimento ($EqNumEnv_A$).

Também foi calculado o consumo relativo para refrigeração (C_R) dos dormitórios, este consumo é apenas informativo e serve para a determinação do nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente, sendo que a obtenção do Nível A permite a

pontuação da bonificação de condicionamento artificial de ar. O processo para a determinação do equivalente numérico da envoltória para refrigeração ($EqNumEnv_{Refrig}$) é o mesmo dos outros equivalentes, ou seja, ponderando o equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração ($EqNumEnvAmb_{Refrig}$) pela área útil de cada ambiente.

O RTQ-R estabelece o $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ a partir do intervalo de valores de GH_R, que consta na Tabela 2.12 deste trabalho, e também o $EqNumEnvAmb_A$ de acordo com os valores de C_A, conforme se observa na Tabela 2.13, assim como o $EqNumAmbEnv_{Refrig}$ a partir dos valores de C_R apresentados na Tabela 2.14.

Com os valores de $EqNumEnv_{Resfr}$ e $EqNumEnv_A$ determinados, calculou-se o equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória (EqNumEnv) através da Equação 3, apresentado no item 2.5.2.

Em seguida foi avaliado o sistema de aquecimento de água adotado nas residências, seguindo as especificações do regulamento, dessa forma gerou-se o equivalente numérico do sistema de aquecimento de água ($EqNum_{AA}$).

Posteriormente foi verificada a existência de bonificações.

Os resultados do EqNumEnv, $EqNum_{AA}$ e das bonificações foram aplicados na Equação 5 da PT_{UH}, cuja pontuação é avaliada conforme a Tabela 2.19.

Para o cálculo de somb considerou-se a Carta Solar da cidade de Caxias do Sul (Anexo A), cuja latitude é de -29° 10’ 05’’, sendo próxima da latitude da cidade de Santiago que é -29º 09’ 50”.

3.3 Procedimento de etiquetagem: Método de simulação

Para o procedimento de etiquetagem através do RTQ-R, empregando o método de simulação, foi utilizado o programa computacional *DesignBuilder* versão 2.4.2.016, após verificado o atendimento aos pré-requisitos de ventilação natural e iluminação natural.

Neste item são apresentados os parâmetros utilizados na simulação da edificação naturalmente ventilada para a obtenção da variável GH_R, e, posteriormente, as especificações da simulação da edificação condicionada artificialmente que resultou na variável C_A. Ambas variáveis foram introduzidas na equação que determinou o desempenho da eficiência energética da envoltória das residências.

3.3.1 Simulação da edificação naturalmente ventilada

O RTQ-R (INMETRO, 2012) estabelece alguns parâmetros importantes para a modelagem do sistema de ventilação natural da edificação, como o coeficiente de rugosidade do entorno, os coeficientes de pressão superficial, o coeficiente de descarga para janelas e portas e o coeficiente do fluxo de ar por frestas.

O coeficiente de rugosidade do entorno é baseado na ASHRAE *Handbook of Fundamentals* (2009) que deve ser de 0,33, o qual representa um terreno de centro urbano e recomenda que este valor seja utilizado na simulação mesmo que a edificação não esteja num centro urbano.

O RTQ-R (INMETRO, 2012, p. 7) diz que "o coeficiente de pressão superficial é um número adimensional que indica as relações entre as pressões em diferentes pontos das superfícies externas de um sólido", portanto, os valores de C_P dependem da forma da edificação, da direção do vento e da influência de obstruções como edificações vizinhas, vegetação e características locais do terreno.

O programa computacional *DesignBuilder* possui uma base de dados de coeficientes de pressão do vento. De acordo com Oliveira (2012, p. 48), ele considera "construções de baixa elevação com geometria simples, com uma relação de comprimento x largura de 1:1 e o nível de referência da velocidade do vento na altura do edifício".

O coeficiente de descarga para janelas e portas retangulares deve ser de 0,60. O coeficiente do fluxo de ar por frestas deve ser de 0,001 kg/s.m e o expoente do fluxo de ar deve ser 0,65 (INMETRO, 2012, p. 68).

3.3.1.1 Padrão de uso da ventilação natural

De acordo com o RTQ-R (INMETRO, 2012), o padrão de uso da ventilação natural pode ser com o controle através de padrões horários de abertura e fechamento das aberturas ou estratégias de controle automático, por temperatura ou entalpia.

Neste trabalho, as edificações objeto de estudo são analisadas utilizando o padrão de uso da ventilação natural com controle automático por temperatura, ou seja, quando a temperatura do ar do ambiente (T_{int}) é igual ou superior à temperatura do termostato ($T_{int} \geq$

$T_{termostato}$), e também quando a temperatura do ar do ambiente é superior à temperatura externa ($T_{int} \geq T_{ext}$), as janelas estão habilitadas para abertura das 8h às 20hs.

Nas simulações deste trabalho foi usada a temperatura de *setpoint* utilizada no RTQ-R de 20°C.

3.3.1.2 Operação das venezianas

A Residência 1 (99,88m²) possui veneziana horizontal de madeira em todas as janelas e a Residência 4 (168,65m²) apenas na sala e na suíte, as demais edificações objeto de estudo não apresentam esses dispositivos de sombreamento. Diante disso, considerou-se na simulação uma rotina de abertura e fechamento programada pelo usuário para a operação das venezianas.

Segundo Oliveira (2012), para a rotina de abertura e fechamento das venezianas considerou-se a segurança, ao mantê-las fechadas durante a noite, e também as recomendações da NBR 15220 – 3 (ABNT, 2005c). Diante disso, associou-se o critério de segurança à noite, a rotina de abertura do usuário em permitir a entrada de radiação solar na edificação. Assim, considerou-se a abertura das venezianas das 8h às 20h em 100% durante os meses de abril a setembro e entre os meses de outubro a março, parcialmente aberta (20%) das 8h às 20h conforme informado pelos moradores.

3.3.1.3 Padrão de ocupação

O padrão de ocupação é de duas pessoas por dormitório, sendo que a sala é um ambiente usado por todos os usuários dos dormitórios (INMETRO, 2012, p. 68). Foi considerado um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, conforme os horários de ocupação apresentados na Tabela 3.1, na qual a ocupação do ambiente é representada pela porcentagem das pessoas disponíveis no horário.

Tabela 3.1 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana

Hora	Dormitório		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1h-7h	100	100	0	0
8h-9h	0	100	0	0
10h	0	50	0	0
11h	0	0	0	25
12h	0	0	0	75
13h	0	0	0	0
14h	0	0	25	75
15h-17h	0	0	25	50
18h	0	0	25	25
19h	0	0	100	25
20h	0	0	100	50
21h	0	50	50	50
22h-24h	0	100	0	0

Fonte: Adaptado INMETRO (2012, p. 69).

3.3.1.4 Atividade

O RTQ-R (INMETRO, 2012, p. 70) diz que "em função do tipo de atividade desempenhada em cada ambiente será adotada a taxa metabólica para cada atividade", conforme a Tabela 3.2. Os valores recomendados para as taxas foram baseados na ASHRAE *Handbook of Fundamentals* (2009), considerando uma área de pele média de 1,80m², equivalente à área de pele de uma pessoa média.

Tabela 3.2 - Taxas metabólicas para cada atividade

Ambiente	Atividade	Calor produzido (W/m²)	Calor produzido para área de pele = 1,80 m² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitório	Dormindo ou descansando	45	81

Fonte: Adaptado INMETRO (2012, p. 70).

3.3.1.5 Padrão de uso da iluminação

Foram adotados dois padrões de uso da iluminação: um para os dias de semana e outro para os finais de semana, conforme apresentado na Tabela 3.3. Ainda, segundo o RTQ-R (INMETRO, 2012, p. 82), "os ambientes de permanência prolongada devem ser modelados com densidade de potência instalada de iluminação de 5,0 W/m² para os dormitórios e 6,0 W/m² para a sala".

Tabela 3.3 – Padrão de uso da iluminação

Hora	Dormitório		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1h-6h	0	0	0	0
7h	100	0	0	0
8h	0	0	0	0
9h	0	100	0	0
10h	0	0	0	0
11h-12	0	0	0	100
13h-16h	0	0	0	0
17h-20h	0	0	100	100
21h	100	100	100	100
22h	100	100	0	0
23h-24h	0	0	0	0

Fonte: Adaptado INMETRO (2012, p. 71).

3.3.1.6 Cargas internas de equipamentos

De acordo com o RTQ-R (INMETRO, 2012) as cargas internas de equipamentos devem ser modeladas somente para a sala, conforme a Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Cargas internas de equipamentos

Ambiente	Período	Potência (W/m²)
Sala	24h	1,5

Fonte: Adaptado INMETRO (2012, p. 72).

3.3.1.7 Temperatura do solo

Utilizou-se o programa computacional *Slab*, que é um programa auxiliar do *EnergyPlus*, para o cálculo da temperatura média mensal do solo, baseando-se nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação para o clima que será simulado. Na Tabela 3.5 são apresentados os valores calculados de temperatura do solo de cada edificação objeto de estudo.

Tabela 3.5 – Temperatura do solo das residências

Resid.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	26,44	25,94	24,67	22,39	18,55	17,32	17,59	18,72	18,55	20,53	22,67	25,50
2	27,11	26,63	25,44	23,02	19,42	18,20	18,38	19,39	19,29	21,18	23,24	26,18
3	26,34	26,04	24,92	22,78	19,22	18,04	18,22	19,23	19,05	20,82	22,78	25,48
4	27,58	27,07	25,77	23,32	19,88	18,64	18,78	19,71	19,64	21,53	23,64	26,72

3.3.1.8 Arquivo climático

Utilizou-se o arquivo climático de Santa Maria-RS, possuindo dados horários desenvolvidos por *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), obtidos em um projeto juntamente com o INPE e LABSOLAR/UFSC, financiado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas, que disponibilizou arquivos climáticos TMY para 20 cidades brasileiras. Os dados de localização da cidade de Santiago-RS, onde se encontram as residências analisadas, estão citados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Dados de localização geográfica para Santiago-RS

Latitude	Longitude	Zona Horária	Altitude
-29,09	-54,31	-3 (GMT)	439m

3.3.2 Simulação da edificação condicionada artificialmente

Segundo o RTQ-R (INMETRO, 2012), calcula-se o consumo relativo de energia para refrigeração (C_R) dos dormitórios e o consumo relativo para aquecimento (C_A) de todos os ambientes de permanência prolongada da UH. O C_A e C_R tratam-se do consumo anual de

energia, em kWh/m².ano, e são calculados no período das 21h às 8h, com a temperatura de refrigeração de 24°C e aquecimento 22°C. No período restante considera-se a edificação naturalmente ventilada. O RTQ-R também estabelece que:

• Taxa de fluxo de ar por pessoa de 0,00944 m³/s;

• Modo de operação do ventilador contínuo;

• Eficiência do ventilador de 0,7 e eficiência do motor de 0,9;

• Razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 3,00 W/W;

• Razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 2,75 W/W;

• Número máximo de horas não atendidas do sistema de condicionamento de ar de 10%.

3.4 Avaliação da influência da transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absortância solar (α) dos fechamentos opacos verticais

Esta etapa consiste na avaliação, através de simulação, da influência da transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absortância solar (α) das paredes externas sobre os valores de graus hora (GH_R), consumo de energia para aquecimento (C_A) e consumo de energia para refrigeração (C_R), tornando-se importante para constatar o nível de influência dessas propriedades.

Para realizar esta avaliação foi determinada a Residência 1, que atendeu a todos os pré-requisitos do regulamento, além de apresentar resultados semelhantes pelos dois métodos.

Os dados a serem simulados partiram dos valores reais das paredes externas da residência, sendo a transmitância térmica de 2,28 W/(m².K) e a capacidade térmica de 168 kJ/(m².K). Desta forma, foram simuladas 18 alternativas de fechamentos, considerando as variações possíveis dos parâmetros apresentados na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Valores adotados para os fechamentos opacos verticais

U [W/(m²K)]	**CT [kJ/(m²K)]**	**α**
1,28	68	0,20
2,28	168	0,80
3,28	268	

4 RESULTADOS

4.1 Definição das edificações objetos de estudo

A análise dos projetos dos anos de 2007 a 2011 no Arquivo da Prefeitura Municipal de Santiago-RS podem ser verificados no Apêndice A. Na Figura 4.1 pode-se observar o crescimento anual no número de projetos com as características consideradas no trabalho.

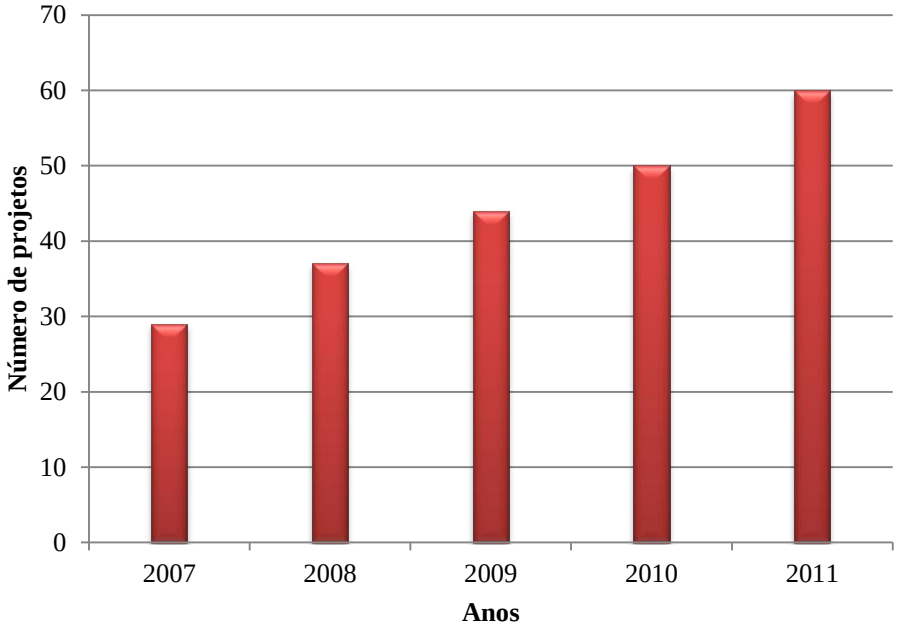


Figura 4.1 – Crescimento no número de projetos com as características do trabalho

As tipologias foram nomeadas de A a R e classificadas de acordo com o número de pavimentos, número de dormitórios, existência ou não de suíte, número de banheiros e presença ou não de garagem, conforme a Tabela 4.1, ressaltando que a R é o conjunto de edificações que atenderam a metragem, porém com características não relevantes ao trabalho. A Figura 4.2 demonstra o número de projetos de cada tipologia ao longo dos cinco anos analisados.

Tabela 4.1 – Tipologia de projetos considerados na amostra

Tipologia	N° Pavim.	N° Dormit.	Suíte	Banho	Garagem	Quantidade	Selecionados
A	1	3	X	2		18	X
B	1	2		1		14	
C	1	3	X	2	X	45	X
D	1	3		1	X	28	X
E	1	2	X	2		11	
F	1	2		1	X	33	
G	1	3		1		17	X
H	1	2	X	2	X	13	
I	1	3		2	X	6	
J	1	2		3	X	2	
K	1	2	X	1		1	
L	1	1	X	1	X	2	
M	1	2		2	X	1	
N	1	2		2		2	
O	1	3		2		1	
P	1	1		1	X	2	
Q	1	2	X	1	X	1	
*R	-	-	-	-	-	23	

*R Tipologias variadas

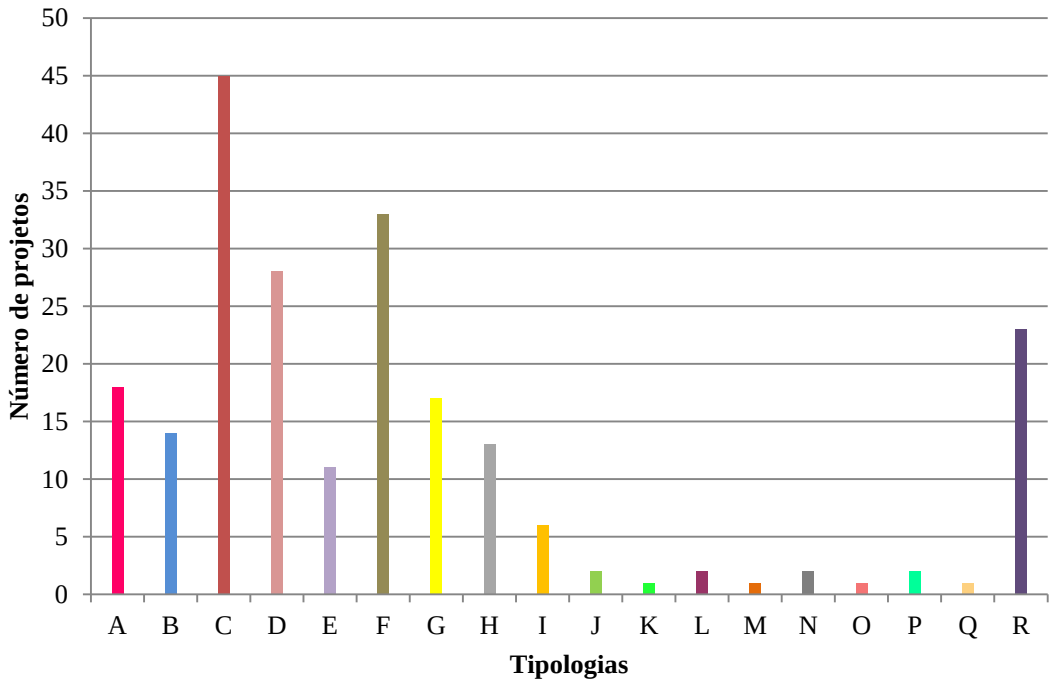


Figura 4.2 – Tipologias encontradas no período analisado de cinco anos

Nota-se que as tipologias de A a H são as mais expressivas. Diante disso, foi realizada uma análise desses modelos considerando as características estipuladas pela norma (metragem e ambientes) e pelos parâmetros considerados no processo de etiquetagem.

Desses modelos apresentados, foram selecionados os A, C, D e G, pois apresentam três dormitórios como a norma estabelece, porém o fato de nem todos possuírem suíte e/ou mais de um banho não interfere no processo de etiquetagem, assim como a presença ou não da garagem/abrigo. Assim, resultaram em 108 projetos de residências, a partir dos quais se realizou uma amostragem considerando 50% de sucesso e 50% de fracasso e com um erro amostral de 10% resultando em uma amostra aleatória de 52 projetos.

Das 52 residências avaliadas cerca de 50% foram descartadas, por dificuldade na obtenção de dados e acesso a informações ou por possuir geometria complexa. As restantes foram divididas em dois grupos conforme a metragem e estas foram analisadas. Observou-se que elas apresentavam semelhanças tanto na volumetria quanto na distribuição dos ambientes, sendo todas térreas e possuindo como único diferencial o formato de planta retangular alongado ou retangular compacto. Diante disso, selecionaram-se duas retangulares alongadas, uma com área de 99,88m² e outra de 142,05m², e duas retangulares compactas, uma com 100,00m² de área e a outra de 168,65m², totalizando quatro edificações, as quais foram utilizadas para a realização deste trabalho.

A seguir serão apresentadas as edificações objetos de estudo, ilustrando a planta baixa, fachada e abordando suas características. As plantas baixas das residências encontram-se no Anexo B.

4.1.1 Residência objeto de estudo 1

A Residência 1 é uma edificação de um pavimento, possui planta retangular alongada, nas dimensões de 7,35m x 12,65m, pé-direito de 2,80m e 99,88m² de área total. Na Figura 4.3 é apresentada a planta baixa e na Figura 4.4 sua fachada principal.

Os materiais que compõem a edificação foram verificados *in loco* e com o engenheiro responsável pela construção, as propriedades termofísicas dos materiais estão listadas na Tabela 4.2.

As características térmicas dos fechamentos de todas as residências avaliadas foram calculadas de acordo com a NBR 15220-2 (2005) e com o Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros do LABEEE (2012).

Os valores de absortância solar adotados neste trabalho foram retirados da NBR 15220-2 (2005), como também de Dornelles (2008). Os tipos de janelas das residências estão ilustrados no Apêndice B.

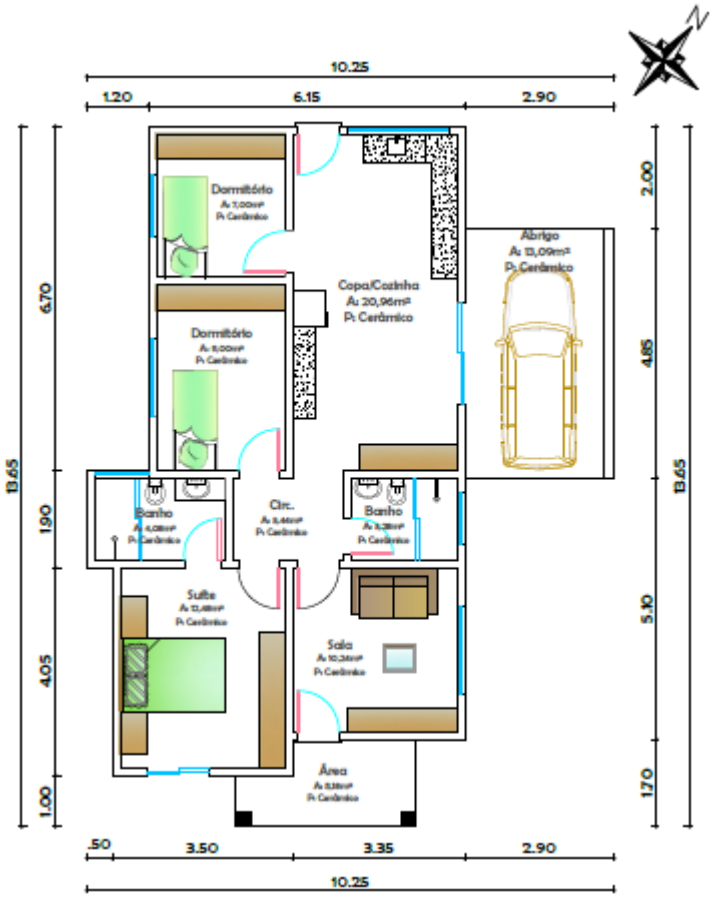


Figura 4.3 – Planta baixa da residência objeto de estudo 1

Figura 4.4 – Fachada principal da residência objeto de estudo 1

Tabela 4.2 – Materiais componentes da residência 1 e suas características térmicas

Componente da edificação	**Materiais utilizados**		**Características Térmicas**		
	Composição dos materiais	Espessura total (cm)	Transmitância Térmica (W/m².K)	Capacidade Térmica (kJ/(m².K)	Cor/ Absortância solar
Paredes Externas e Internas	Tijolo cerâmico 6 furos circulares (10x15x20cm) espessura argamassa de emboço de 2,5cm espessura argamassa de assentamento de 1cm.	15	2,28	168	Verde claro-0,40
Cobertura	Telha de fibrocimento 8mm, com laje pré-moldada 12cm.	Variável	1,79	180,00	Vermelho escuro-0,75
Janelas	Vidro simples	0,4	5,75	-	
Porta	Madeira maciça	4	2,7	-	

4.1.2 Residência objeto de estudo 2

A Residência 2 não foi executada, sendo de um pavimento, possuindo planta retangular alongada, nas dimensões de 19,00m x 8,65m, pé-direito de 2,80m e 142,05m² de área total. Na Figura 4.5 é apresentada a planta baixa e na Figura 4.6 a fachada principal.

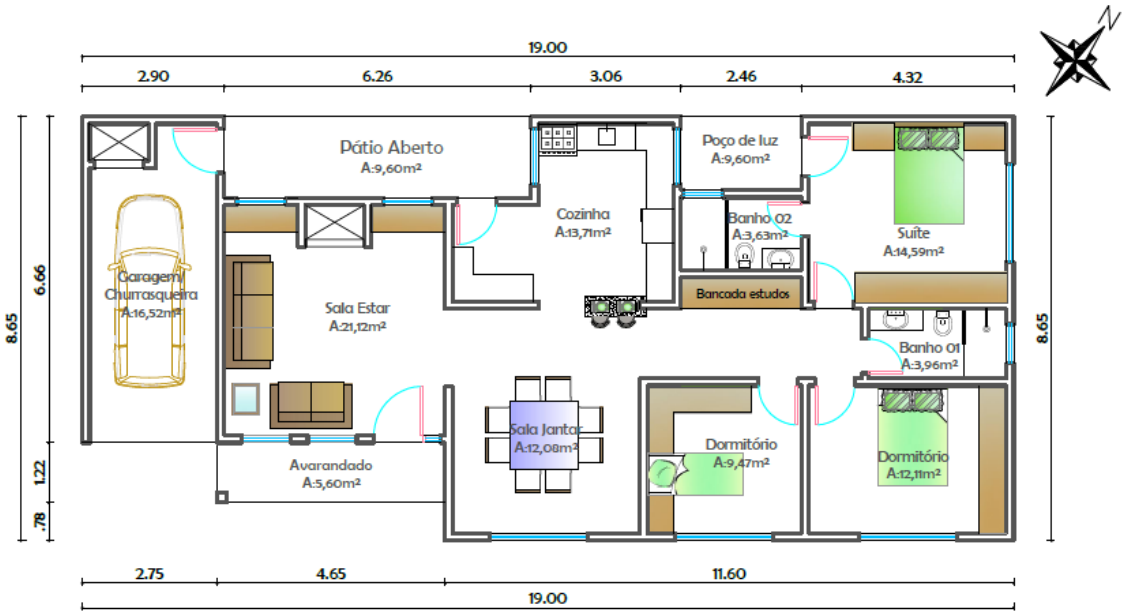


Figura 4.5 – Planta baixa da residência objeto de estudo 2

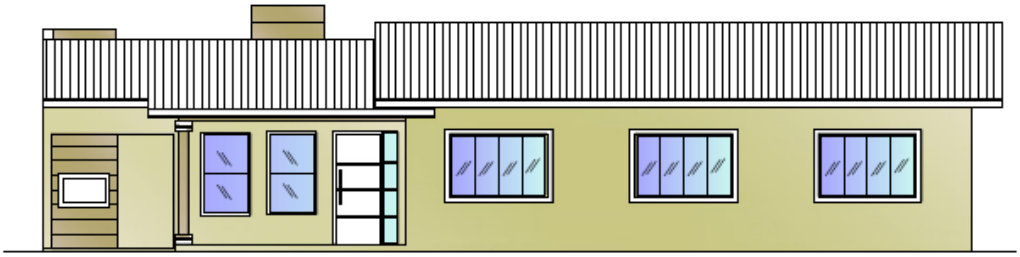


Figura 4.6 – Fachada principal da residência objeto de estudo 2

Os materiais que compõem a edificação e as propriedades termofísicas dos materiais estão na Tabela 4.3, sendo que os materiais empregados foram obtidos com a arquiteta responsável pela obra.

Tabela 4.3 – Materiais componentes da residência 2 e suas características térmicas

Componente da edificação	**Materiais utilizados**		**Características Térmicas**		
	Composição dos materiais	Espessura total (cm)	Transmitância Térmica (W/m².K)	Capacidade Térmica (kJ/(m².K)	Cor/ Absortância Solar
Paredes Externas e Internas	Tijolo cerâmico 6 furos circulares (10x15x20cm) espessura argamassa de emboço de 2,5cm espessura argamassa de assentamento de 1cm.	15	2,28	168	Amarelo médio-055*
Cobertura	Telha de fibrocimento 8mm e forro de PVC 1cm.	Variável	1,76	16,00	Branco-0,20
Janelas	Vidro simples	0,4	5,75	-	
Porta	Madeira maciça	4	2,7	-	

* Valor obtido de Dornelles (2008)

4.1.3 Residência objeto de estudo 3

A Residência 3 possui planta retangular compacta, nas dimensões de 10,00m x 10,00m, pé-direito de 2,60m e 100,00m² de área total. Na Figura 4.7 é apresentada a planta baixa e na Figura 4.8 a fachada principal. Os materiais que compõem essa edificação e as propriedades termofísicas dos materiais estão na Tabela 4.4.

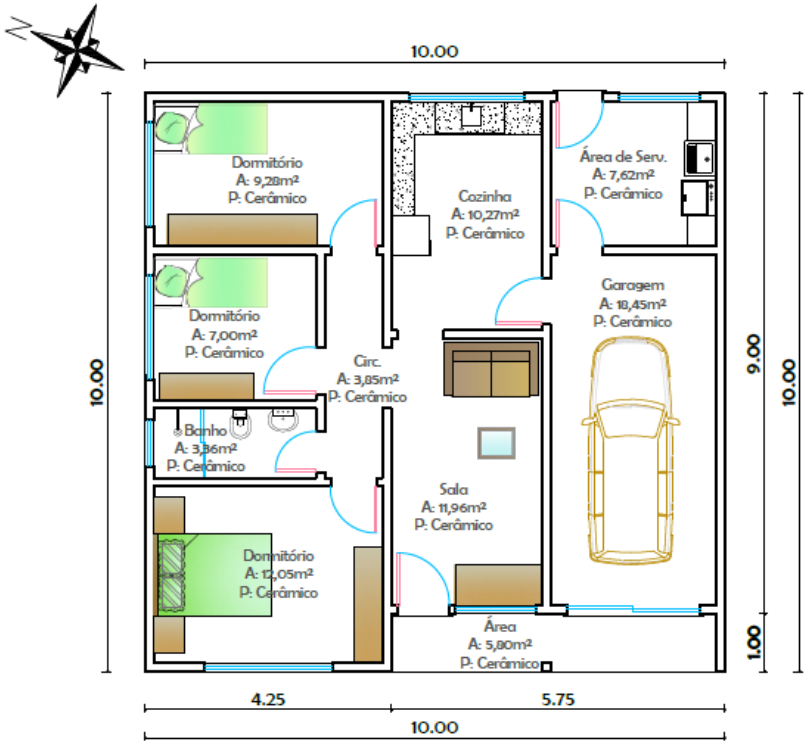


Figura 4.7 – Planta baixa da residência objeto de estudo 3

Tabela 4.4 – Materiais componentes da residência 3 e suas características térmicas

Componente da edificação	**Materiais utilizados**		**Características Térmicas**		
	Composição dos materiais	Espessura total (cm)	Transmitância Térmica (W/m².K)	Capacidade Térmica (kJ/(m².K)	Cor/ Absortância solar
Paredes Externas e Internas	Tijolo cerâmico 6 furos circulares (10x15x20cm) espessura argamassa de emboço de 2,5cm espessura argamassa de assentamento de 1cm.	15	2,28	168	Vanilla-0,28*
Cobertura	Telha de fibrocimento 8mm, forro de PVC 1cm.	Variável	1,76	16,00	Branco-0,20
Janelas	Vidro simples	0,4	5,75	-	
Porta	Madeira maciça	4	2,7	-	

* Valor obtido de Dornelles (2008)

Figura 4.8 – Fachada principal da residência objeto de estudo 3

4.1.4 Residência objeto de estudo 4

A Residência 4 também possui planta retangular compacta, nas dimensões de 11,80m x 14,55m, pé-direito de 2,70m e 168,65m² de área total. Na Figura 4.9 é apresentada a planta baixa e na Figura 4.10 a fachada principal.

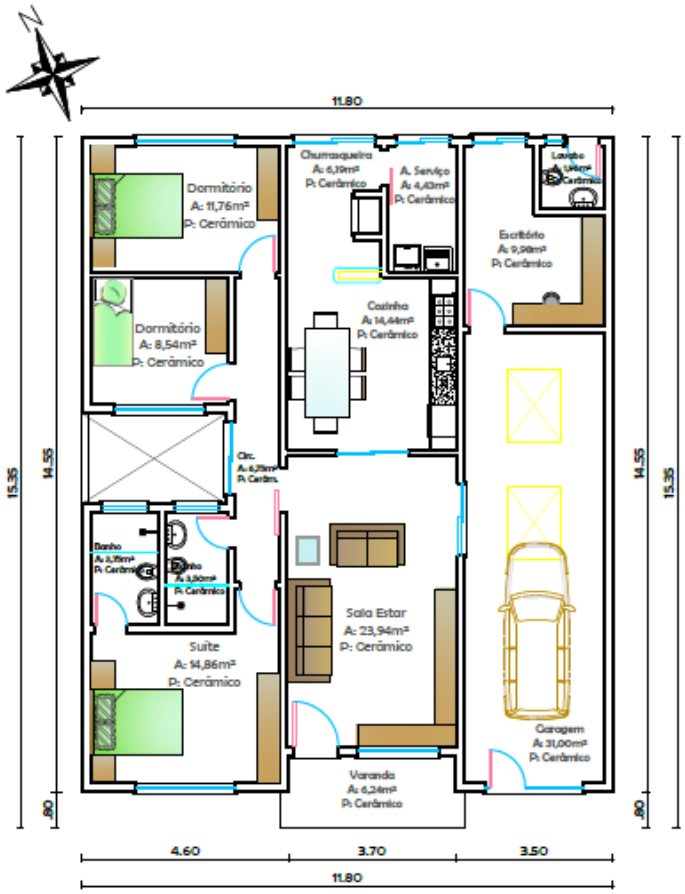


Figura 4.9 – Planta baixa da residência objeto de estudo 4

Figura 4.10 – Fachada principal da residência objeto de estudo 4

Os materiais que compõem a edificação objeto de estudo 4 e as propriedades termofísicas dos materiais estão na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Materiais componentes da residência 4 e suas características térmicas

Componente da edificação	**Materiais utilizados**		**Características Térmicas**		
	Composição dos materiais	Espessura total (cm)	Transmitância Térmica (W/m².K)	Capacidade Térmica (kJ/(m².K)	Cor/ Absortância solar
Paredes Externas	Tijolo cerâmico 6 furos circulares (10x15x20cm) espessura argamassa de emboço de 2,5cm espessura argamassa de assentamento de 1cm.	20	1,92	202	Laranja claro-0,53*
Paredes Internas	Tijolo cerâmico 6 furos circulares (10x15x20cm) espessura argamassa de emboço de 2,5cm espessura argamassa de assentamento de 1cm.	15	2,28	168	-
Cobertura	Telha cerâmica e laje maciça de 10cm	Variável	2,05	238,00	Vermelho escuro-0,75
Janelas	Vidro simples	0,4	5,75	-	
Porta	Madeira maciça	4	2,7	-	

* Valor obtido de Dornelles (2008)

4.1.6 Zoneamento e geometria: Padrão normal NBR 12721 e as edificações objetos de estudo

Com a determinação das edificações objetos de estudo, foi realizada uma análise de zoneamento e geometria comparando a residência padrão normal da NBR 12721 (2006) e as residências padrão normal definidas para este trabalho. A Figura 4.11 apresenta o zoneamento de cada edificação e sua geometria.

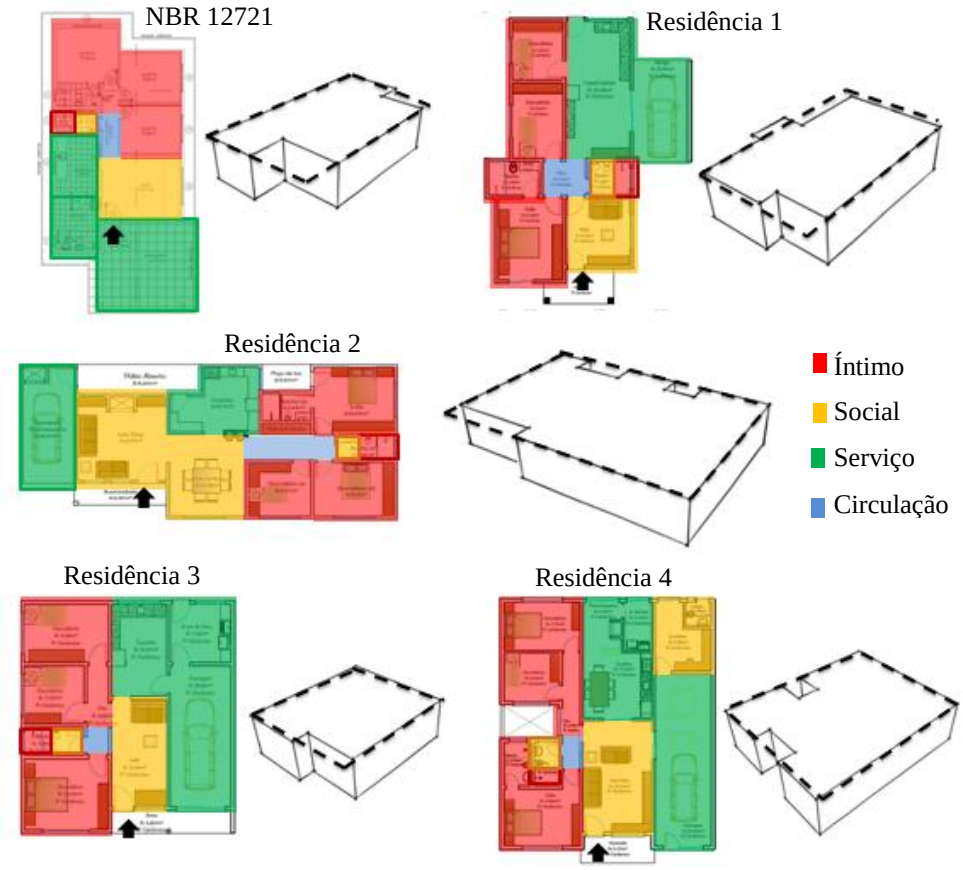


Figura 4.11 – Zoneamento e geometria das residências

O zoneamento foi divido em íntimo, que corresponde aos dormitórios, suíte e seu banho individual; o social, que compreende a sala e o escritório; o serviço, sendo a cozinha, área de serviço e abrigo/garagem e circulação.

Constatou-se na planta padrão normal da NBR 12721, que a área de acesso principal à residência é aproveitada como abrigo do automóvel, sendo similar a Residência 1, porém nas demais edificações o abrigo é incorporado a edificação como um ambiente fechado.

Em todas as residências há um zoneamento bem definido das funções íntimas, sociais, e de serviço, somente o banho é de uso íntimo e social.

Com relação à geometria, observou-se que todas as edificações se originam do retângulo, onde este sofre subtrações ou adições na sua forma original, atendendo as necessidades projetuais.

A diferença encontrada entre essas residências foi o formato alongado ou compacto, como já foi mencionado anteriormente, e que serviu para a nominação da forma geométrica das edificações objetos de estudo deste trabalho.

4.2 Procedimento de etiquetagem: Método Prescritivo

A seguir serão apresentados os resultados da aplicação do método prescritivo do RTQ-R nas quatro edificações objetos de estudo considerando suas condições originais.

Inicialmente foi realizada a análise dos pré-requisitos da envoltória, sendo em seguida determinados os valores de graus-hora de resfriamento (GH_R) e do consumo para aquecimento (C_A) e consumo para refrigeração (C_R), através da Planilha de Avaliação do Método Prescritivo para o Desempenho da Envoltória. Após foi avaliado o sistema de aquecimento de água e verificadas as bonificações. A partir da consideração desses dados foi então determinada à pontuação total da unidade habitacional (PT_{UH}).

4.2.1 Método Prescritivo – Residência 1

4.2.1.1 Pré-requisitos da envoltória

A partir dos dados da residência, avaliaram-se os pré-requisitos descritos no regulamento, sendo as análises apresentadas nas Tabelas 4.6 a 4.9.

Tabela 4.6 – Pré-requisitos transmitância, capacidade térmica e absortância – Residência 1

Cálculado	Transmitância	Capacidade térmica	Absortância	Pré-requisito
Paredes externas	2,28 W/(m².K)	168,00 kJ/(m².K)	0,40	ATENDE
Cobertura	1,79 W/(m².K)	180,00 kJ/(m².K)	0,75	ATENDE

Tabela 4.7 – Pré-requisito ventilação natural – Residência 1

Ambientes	Área amb.	Área de ventil.	% Abertura	Pré-requisito
Sala Estar	10,24m²	0,92m²	8,98	ATENDE
Suíte	12,48m²	1,13m²	9,05	ATENDE
Dormitório 1	9,00m²	0,81m²	9,00	ATENDE
Dormitório 2	7,00m²	0,65m²	9,28	ATENDE

Tabela 4.8 – Pré-requisito iluminação natural – Residência 1

Ambientes	Área amb.	Área de ilumin.	% Ilumin.	Pré-requisito
Sala Estar	10,24m²	1,63m²	15,91	ATENDE
Suíte	12,48m²	2,01m²	16,10	ATENDE
Dormitório 1	9,00m²	1,44m²	16,00	ATENDE
Dormitório 2	7,00m²	1,15m²	16,42	ATENDE

Tabela 4.9 – Pré-requisito ventilação cruzada – Residência 1

Fachadas	Área efetiva abertura	Proporção	Condição	Calculado	Pré-requisito
Fachada Leste	3,22m²	A1	$\frac{A2}{A1} \geq 0{,}25$	1,34	ATENDE
Demais Fachadas	4,33m²	A2			

A partir dessas avaliações, observou-se que os materiais que compõem a cobertura e as paredes externas possuem os valores de transmitância e capacidade térmica dentro da faixa estabelecida no regulamento.

Verificou-se que foi atendido em todos os ambientes de permanência prolongada o percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A), como também ao pré-requisito que corresponde à soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente.

O pré-requisito ventilação cruzada também foi atendido, considerando o somatório das áreas efetivas de abertura das demais fachadas (A2) dividido pelo somatório das áreas efetivas de abertura da fachada com maior número de aberturas (A1).

4.2.1.2 Determinação do graus-hora de resfriamento (GH_R) e do consumo para aquecimento (C_A)

Para o cálculo das variáveis GH_R e C_A dos ambientes de permanência prolongada, utilizou-se a Planilha de Avaliação do Método Prescritivo para o Desempenho da Envoltória ilustrada na Figura 4.12.

Como a envoltória da residência atendeu a todos os pré-requisitos, os níveis obtidos na planilha se mantiveram. Diante disso, calculou-se o $EqNumEnv_{Resfr}$, através da ponderação do

$EqNumEnvAmb_{Resfr}$ pela área útil do ambiente (AU_{amb}), resultando em um $EqNumEnv_{Resfr}$ de 3,81, sendo Nível B, conforme a Tabela 4.10. Foi realizado o mesmo procedimento para a obtenção do $EqNumEnv_A$, que resultou em 4, que equivale ao Nível B , como se observa na Tabelas 4.11.

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Nome do Ambiente		Sala Estar	Suíte	Dormitório 1	Dormitório 2
	Identificação		Residência 1	Residência 1	Residência 1	Residência 1
	AUamb	m²	10,24	12,48	9,00	7,00
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,79	1,79	1,79	1,79
	CTcob	kJ/m².K	180,00	180,00	180,00	180,00
	αcob	adimensional	0,75	0,75	0,75	0,75
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,28	2,28	2,28	2,28
	CTpar	kJ/m².K	168,00	168,00	168,00	168,00
	αpar	adimensional	0,40	0,40	0,40	0,40
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0	0
Situação do piso e cobertura	cob	adimensional	1	1	1	1
	solo	binário	1	1	1	1
	pil	binário	0	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	APambN	m²	0,00	0,00	0,00	7,00
	APambS	m²	7,28	6,44	0,00	0,00
	APambL	m²	6,92	1,54	0,00	0,00
	APambO	m²	0,00	10,92	6,48	6,40
Áreas de Aberturas Externas	AAbN	m²	0,00	0,00	0,00	0,00
	AAbS	m²	0,00	2,52	0,00	0,00
	AAbL	m²	2,04	0,00	0,00	0,00
	AAbO	m²	0,00	0,00	1,80	1,44
Caracteristicas das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50	0,50	0,50	0,50
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	AparInt	m²	16,24	15,19	22,4	13,16
	PD	m	2,8	2,8	2,8	2,8
	Caltura	adimensional	0,273	0,224	0,311	0,400
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0	0
	vid	binário	0	0	0	0
	Uvid	W/m².K	5,75	5,75	5,75	5,75
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	B	B	C
			3665	3332	3768	5474
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m².ano	B	B	B	B
			25,584	25,481	22,590	25,205
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m².ano	E	C	E	E
			22,999	15,745	24,531	31,846

Figura 4.12 – Planilha com variáveis para cálculo do GH_R e C_A – Residência 1

Tabela 4.10 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 1

Ambiente	GH_R	$EqNumEnvAmb_{Resfr}$	AU_{amb}	$EqNumEnv_{Resfr}$
Sala Estar	3665	B-4	10,24m²	3,81-B
Suíte	3332	B-4	12,48m²	
Dormitório 1	3768	B-4	9,00m²	
Dormitório 2	5474	C-3	7,00m²	

Considerando os equivalentes numéricos de resfriamento, pode-se constatar que somente o dormitório 2 obteve Nível C e os demais resultaram em Nível B, este ambiente é orientado a noroeste e com abertura voltada a oeste.

Tabela 4.11 – Determinação do $EqNumEnv_A$ – Residência 1

Ambiente	**C_A**	**$EqNumEnvAmb_A$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_A$**
Sala Estar	25,584	B-4	10,24m²	4-B
Suíte	25,481	B-4	12,48m²	
Dormitório 1	22,590	B-4	9,00m²	
Dormitório 2	25,205	B-4	7,00m²	

Ao analisar os equivalentes numéricos de aquecimento, observa-se que a edificação apresentou Nível B no consumo de energia para aquecimento em todos os ambientes de permanência prolongada.

Sendo assim, após a determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ e do $EqNumEnv_A$ os mesmos foram aplicados na Equação do Equivalente Numérico da Envoltória (Equação 3).

Dessa forma, obteve-se a eficiência energética da envoltória da edificação, que neste caso resultou em 3,91 que corresponde ao Nível B.

4.2.1.3 Sistema de aquecimento de água (SAA)

As informações quanto ao sistema de aquecimento foram verificadas *in loco*, através de contato com os proprietários e profissionais responsáveis. Com isso foi constatado que o sistema de aquecimento de água na residência é elétrico, possuindo a Ducha *Advanced* Turbo da marca Lorenzetti, potência de 6400W e Selo Procel Nível E. Portanto, o equivalente numérico do sistema de aquecimento de água ($EqNum_{AA}$) é Nível E .

No RTQ-R (INMETRO, 2012, p. 98) “os aparelhos com potência P > 4.600 W recebem Nível E, ou seja, a eficiência do sistema de aquecimento é atribuída em função da potência do aparelho”.

4.2.1.4 Bonificações

Na Tabela 4.12 encontra-se a análise da porosidade, relativa à bonificação à ventilação natural.

Tabela 4.12 - Verificação da porosidade – Residência 1

UH	Área de fachada (m²)	Área de abertura para ventilação (m²)	Porosidade	Exigência RTQ-R
Fachada Sudeste	19,86	2,52	12,68%	20%
Fachada Nordeste	34,65	6,84	19,74%	
Fachada Noroeste	21,31	3,40	15,95%	
Fachada Sudoeste	36,68	3,24	8,83%	

Constatou-se que nenhuma das fachadas atendeu a exigência mínima de 20% de porosidade do RTQ-R, portanto não recebe a pontuação.

Como a edificação possui veneziana nos quatro ambientes de permanência prolongada, recebe a pontuação de 0,16.

Na Tabela 4.13 é apresentada a avaliação da profundidade dos ambientes referente à bonificação iluminação natural.

Tabela 4.13 - Verificação da profundidade máxima de ambientes – Residência 1

Ambiente	Profundidade (m)	Cálculo $P \leq 2{,}4xh_a$	Exigência RTQ-R
Sala Estar	3,20	$3{,}20 \leq 5{,}04$	ATENDE
Suíte	3,90	$3{,}90 \leq 12{,}09$	ATENDE
Dormitório 1	2,50	$2{,}50 \leq 5{,}04$	ATENDE
Dormitório 2	2,50	$2{,}50 \leq 5{,}04$	ATENDE
Cozinha	3,20	$3{,}20 \leq 5{,}04$	ATENDE

Nota-se que todos os ambientes atenderam a exigência do regulamento, recebendo a pontuação de 0,20.

A refletância do teto de todos os ambientes é pintado na cor areia, com grau de refletância de 55%, não obtendo a pontuação.

A residência não faz uso racional da água e/ou equipamentos economizadores.

A bonificação de condicionamento artificial de ar é ilustrada na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 1

Ambiente	C_R	$EqNumEnvAmb_{Refrig}$	AU_{amb}	$EqNumEnv_{Refrig}$
Suíte	15,745	C-3	12,48m²	1,87-D
Dormitório 1	24,531	E-1	9,00m²	
Dormitório 2	31,846	E-1	7,00m²	

O resultado da ponderação do $EqNumEnvAmb_{Refrig}$ pela área útil de cada ambiente, determinou um $EqNumEnv_{Refrig}$ de 1,87, sendo Nível D, dessa maneira, não recebe a pontuação.

Na bonificação de iluminação artificial observou-se que todos os ambientes possuem lâmpadas fluorescentes compactas com Selo Procel, obtendo a pontuação.

Na bonificação que considera os ventiladores de teto, encontrou-se em dois dormitórios, não recebendo pontuação.

Na bonificação dos refrigeradores, a cozinha possui um refrigerador, sendo da marca Electrolux Prosdócimo modelo R27, que não possui Selo Procel nem ENCE, portanto não recebe a bonificação.

Por fim, analisa-se a bonificação que considera a medição individualizada do sistema de aquecimento da água, como o sistema é elétrico e somente usado pela residência, não recebe a pontuação.

Na Tabela 4.15 é apresentada uma tabela com a pontuação de cada bonificação.

Tabela 4.15 – Bonificações – Residência 1

Ventilação Natural	0,16
Iluminação Natural	0,20+0,10
Uso Racional da Água	-
Condicionamento Artificial de Ar	-
Iluminação Artificial	0,10
Ventiladores de Teto	-
Refrigeradores	-
Medição Individualizada	-
TOTAL	**0,56**

4.2.1.5 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional – PT_{UH1}

Após a determinação do EqNumEnv, do $EqNum_{AA}$ e das bonificações, os valores são inseridos na Equação da Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional (Equação 5), obtendo, dessa maneira, o nível de eficiência energética da residência.

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

$$PT_{UH1} = (0,65 \times 3,91) + [(1 - 0,65) \times 1] + 0,56$$

$$PT_{UH1} = 3,5 \text{ (Nível B)}$$

Pode-se observar que a pontuação total da UH resultou em 3,5 que equivale segundo ao RTQ-R ao Nível B.

4.2.2 Método Prescritivo - Residência 2

4.2.2.1 Pré-requisitos da envoltória

Assim como efetuado na primeira edificação objeto de estudo, a partir dos dados da residência, avaliaram-se os pré-requisitos descritos no regulamento. Os resultados para esta residência encontram-se nas Tabelas 4.16 a 4.19.

Tabela 4.16 – Pré-requisitos transmitância, capacidade térmica e absortância - Residência 2

Cálculado	Transmitância	Capacidade térmica	Absortância	Pré-requisito
Paredes externas	2,28 W/(m².K)	168,00 kJ/(m².K)	0,55	ATENDE
Cobertura	1,76 W/(m².K)	16,00 kJ/(m².K)	0,20	ATENDE

Tabela 4.17 – Pré-requisito ventilação natural - Residência 2

Ambientes	Área amb.	Área de ventil.	% Abertura	Pré-requisito
Sala Estar	61,22m²	5,86m²	9,57	ATENDE
Suíte	14,59m²	1,19m²	8,19	ATENDE
Dormitório 1	12,11m²	1,04m²	8,58	ATENDE
Dormitório 2	9,47m²	1,04m²	10,98	ATENDE

Tabela 4.18 – Pré-requisito iluminação natural - Residência 2

Ambientes	Área amb.	Área de ilumin.	% Ilumin.	Pré-requisito
Sala Estar	61,22m²	8,05m²	13,14	ATENDE
Suíte	14,59m²	2,09m²	14,32	ATENDE
Dormitório 1	12,11m²	1,82m²	15,03	ATENDE
Dormitório 2	9,47m²	1,82m²	19,21	ATENDE

Tabela 4.19 – Pré-requisito ventilação cruzada - Residência 2

Ambientes	Área abertura	Proporção	Condição	Calculado	Pré-requisito
Fachada Sul	5,84m²	A1	$\frac{A2}{A1} \geq 0{,}25$	0,71	ATENDE
Demais Fachadas	4,19m²	A2			

A Residência 2, assim como a anterior, atendeu a todos os pré-requisitos, garantindo os níveis obtidos na planilha.

Os fechamentos opacos (paredes externas e cobertura) atenderam os valores de transmitância, capacidade térmica e absortância solar especificados no regulamento.

No pré-requisito ventilação natural, o percentual de ventilação excedeu os 8%, assim como a iluminação natural atendeu ao mínimo de 12,5%, considerados no RTQ-R.

A ventilação cruzada resultou em 0,71, atendendo ao estipulado no regulamento.

4.2.2.2 Determinação do graus-hora de resfriamento (GH_R) e do consumo para aquecimento (C_A)

A Figura 4.13 apresenta a Planilha de Avaliação do Método Prescritivo para o Desempenho da Envoltória utilizada para o cálculo de GH_R e C_A dos ambientes de permanência prolongada, para a Residência 2.

Como a envoltória da residência atendeu a todos os pré-requisitos, os níveis obtidos na planilha se mantiveram. Diante disso, calculou-se o $EqNumEnv_{Resfr}$, através da ponderação do $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ pela área útil do ambiente (AU_{amb}), obtendo 3,70, Nível B, sendo da mesma forma para o $EqNumEnv_A$, que resultou em 4,62, Nível A, conforme se observa nas Tabelas 4.20 e 4.21.

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Nome do Ambiente		Sala Estar	Suíte	Dormitório 1	Dormitório 2
	Identificação		Residência 2	Residência 2	Residência 2	Residência 2
	AUamb	m²	61,22	14,59	12,11	9,47
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,76	1,76	1,76	1,76
	CTcob	kJ/m².K	16,00	16,00	16,00	16,00
	αcob	adimensional	0,20	0,20	0,20	0,20
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,28	2,28	2,28	2,28
	CTpar	kJ/m².K	168,00	168,00	168,00	168,00
	αpar	adimensional	0,55	0,55	0,55	0,55
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0	0
Situação do piso e cobertura	cob	adimensional	1	1	1	1
	solo	binário	1	1	1	1
	pil	binário	0	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	APambN	m²	21,82	11,25	0,00	0,00
	APambS	m²	14,43	0,00	8,65	6,22
	APambL	m²	2,54	7,14	8,40	0,00
	APambO	m²	7,69	2,02	0,00	0,00
Áreas de Aberturas Externas	AAbN	m²	1,20	0,00	0,00	0,00
	AAbS	m²	6,66	0,00	2,60	2,60
	AAbL	m²	1,26	2,99	0,00	0,00
	AAbO	m²	1,26	0,00	0,00	0,00
Caracteristicas das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50	0,50	0,50	0,50
	Somb	adimensional	0,00	0,00	0,00	0,00
Características Gerais	AparInt	m²	74,77	14,54	18,06	23,94
	PD	m	2,8	2,8	2,8	2,8
	Caltura	adimensional	0,046	0,192	0,231	0,296
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0	0
	vid	binário	0	0	0	0
	Uvid	W/m².K	5,75	5,75	5,75	5,75
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	D	B	B
			2872	6644	3689	3441
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m².ano	A	B	B	B
			14,255	22,903	27,808	28,465
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m².ano	A	C	B	C
			1,264	15,601	11,083	14,227

Figura 4.13 – Planilha com variáveis para cálculo do GH_R e C_A - Residência 2

Tabela 4.20 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ - Residência 2

Ambiente	**GH_R**	**$EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Resfr}$**
Sala Estar	2872	B-4	61,22m²	3,70-B
Suíte	6644	D-2	14,59m²	
Dormitório 1	3689	B-4	12,11m²	
Dormitório 2	3441	B-4	9,47m²	

Avaliando o equivalente numérico de resfriamento, observa-se que a maioria dos ambientes de permanência prolongada obteve Nível B, somente a suíte apresentou Nível D, ela está orientada a nordeste no projeto.

Tabela 4.21 – Determinação do $EqNumEnv_A$ - Residência 2

Ambiente	**C_A**	**$EqNumEnvAmb_A$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_A$**
Sala Estar	14,255	A-5	61,22m²	4,62-A
Suíte	22,903	B-4	14,59m²	
Dormitório 1	27,808	B-4	12,11m²	
Dormitório 2	28,465	B-4	9,47m²	

Com relação ao equivalente numérico de aquecimento, constata-se que a maioria dos ambientes avaliados apresentou Nível B no consumo de energia para aquecimento e a sala de estar resultou em Nível A.

A aplicação do $EqNumEnv_{Resfr}$ e do $EqNumEnv_A$ na Equação do Equivalente Numérico da Envoltória (Equação 3).

Obtendo-se a eficiência energética da envoltória da edificação, que neste caso resultou em 4,21, que corresponde ao Nível B.

4.2.2.3 Sistema de aquecimento de água (SAA)

A residência está em fase projetual, sendo previsto o uso do sistema de aquecimento de água elétrico, com chuveiro da marca Lorenzetti e potência de 6400W, recebendo Nível E.

4.2.2.4 Bonificações

Na Tabela 4.22 é apresentada a análise da porosidade, que compõe a bonificação de ventilação natural.

Tabela 4.22 - Verificação da porosidade - Residência 2

UH	Área de fachada (m²)	Área de abertura para ventilação (m²)	Porosidade (%)	Exigência RTQ-R
Fachada Sudeste	55,10	11,20	20,32	20%
Fachada Nordeste	25,08	3,55	14,15	
Fachada Nororeste	55,10	1,76	3,19	
Fachada Sudoeste	25,08	-	-	

Somente uma das fachadas atendeu a exigência mínima de 20% de porosidade do RTQ-R, porém é necessário comprovar a existência de porosidade em pelo menos duas fachadas, portanto não recebe a pontuação.

Não foi constatada a existência de dispositivos especiais, não recebendo essa pontuação.

Com relação à bonificação iluminação natural, na Tabela 4.23 é apresentada a verificação da profundidade dos ambientes, através da Equação 6.

Tabela 4.23 - Verificação da profundidade máxima de ambientes - Residência 2

Ambiente	Profundidade (m)	Cálculo $P \leq 2{,}4xh_a$	Exigência RTQ-R
Sala Estar	4,57	$4{,}57 \leq 5{,}28$	ATENDE
Suíte	4,05	$4{,}05 \leq 5{,}28$	ATENDE
Dormitório 1	3,00	$3{,}00 \leq 5{,}28$	ATENDE
Dormitório 2	3,00	$3{,}00 \leq 5{,}28$	ATENDE
Cozinha	3,65	$3{,}65 \leq 5{,}28$	ATENDE

Observou-se a partir da Tabela 4.23 que todos os ambientes atenderam a exigência do regulamento, recebendo a pontuação de 0,20.

Constatou-se que o forro de todos os ambientes é branco, sendo que sua refletância varia de 70% a 80%, portanto recebe a pontuação de 0,10.

Não haverá o uso racional da água e/ou equipamentos economizadores, portanto a residência não recebe a pontuação desta bonificação.

Na Tabela 4.24 é apresentado o cálculo do consumo para refrigeração (C_R) dos dormitórios e da suíte para a bonificação de condicionamento artificial de ar.

Tabela 4.24 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ - Residência 2

Ambiente	C_R	$EqNumEnvAmb_{Refrig}$	AU_{amb}	$EqNumEnv_{Refrig}$
Suíte	15,601	C-3	14,59m²	3,33-C
Dormitório 1	11,083	B-4	12,11m²	
Dormitório 2	14,227	C-3	9,47m²	

O resultado da ponderação do $EqNumEnvAmb_{Refrig}$ pela área útil de cada ambiente, determinou um $EqNumEnv_{Refrig}$ de 3,33, sendo Nível C, dessa maneira, não recebe a pontuação.

Na bonificação de iluminação artificial, foi informado que todos os ambientes serão entregues com lâmpadas fluorescentes compactas com Selo Procel, obtendo a pontuação.

Na bonificação dos ventiladores de teto, analisou-se que, nesta residência, não há previsão de uso de ventiladores de teto nos ambientes, portanto, não recebe a pontuação.

Na bonificação dos refrigeradores, a cozinha possuirá um refrigerador com ENCE, portanto recebe a pontuação de 0,10.

A medição individualizada do sistema de aquecimento da água não ocorre, pois o sistema de aquecimento é elétrico, não recebendo essa pontuação.

Na Tabela 4.25 é apresentada uma tabela com a pontuação de cada bonificação.

Tabela 4.25 – Bonificações - Residência 2

Ventilação Natural	-
Iluminação Natural	0,20+0,10
Uso Racional da Água	-
Condicionamento Artificial de Ar	-
Iluminação Artificial	0,10
Ventiladores de Teto	-
Refrigeradores	0,10
Medição Individualizada	-
TOTAL	**0,50**

4.2.2.5 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH2}

Após a determinação do EqNumEnv, do $EqNum_{AA}$ e das bonificações, os valores são inseridos na Equação 5, obtendo o nível de eficiência energética da residência.

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

$$PT_{UH2} = (0,65 \times 4,21) + [(1 - 0,65) \times 1] + 0,50$$

$$PT_{UH2} = 3,6 \text{ (Nível B)}$$

Pode-se observar que a pontuação total da UH resultou em 3,6, que equivale segundo ao RTQ-R, ao Nível B.

4.2.3 Método Prescritivo – Residência 3

4.2.3.1 Pré-requisitos da envoltória

As Tabelas de 4.26 a 4.29 apresentam a avaliação dos pré-requisitos para a Residência 3 estudada.

Tabela 4.26 – Pré-requisitos transmitância, capacidade térmica e absortância – Residência 3

Cálculado	Transmitância	Capacidade térmica	Absortância	Pré-requisito
Paredes externas	2,28 W/(m².K)	168,00 kJ/(m².K)	0,25	ATENDE
Cobertura	1,76 W/(m².K)	16,00 kJ/(m².K)	0,20	ATENDE

Tabela 4.27 – Pré-requisito ventilação natural – Residência 3

Ambientes	Área amb.	Área de ventil.	% Abertura	Pré-requisito
Sala Estar	26,35m²	1,63m²	6,20	NÃO ATENDE
Dormitório 1	12,05m²	1,05m²	8,76	ATENDE
Dormitório 2	9,28m²	0,86m²	9,31	ATENDE
Dormitório 3	7,00m²	0,86m²	12,28	ATENDE

Tabela 4.28 – Pré-requisito iluminação natural – Residência 3

Ambientes	Área amb.	Área de ilumin.	% Ilumin.	Pré-requisito
Sala Estar	26,35m²	2,86m²	10,84	NÃO ATENDE
Dormitório 1	12,05m²	1,85m²	15,35	ATENDE
Dormitório 2	9,28m²	1,51m²	16,27	ATENDE
Dormitório 3	7,00m²	1,51m²	21,57	ATENDE

Tabela 4.29 – Pré-requisito ventilação cruzada – Residência 3

Fachadas	Área efetiva abertura	Proporção	Condição	Calculado	Pré-requisito
Fachada Norte	2,06m²	A1	$\frac{A2}{A1} \geq 0{,}25$	1,62	ATENDE
Demais Fachadas	3,35m²	A2			

Observou-se que os pré-requisitos transmitância, capacidade térmica e absortância foram atendidos, assim como o pré-requisito de ventilação cruzada.

Quanto aos pré-requisitos de ventilação natural e iluminação natural, verificou-se que somente a sala de estar não atendeu, pois a janela é de 4 folhas (2 fixas e 2 móveis) e de acordo com a Tabela de Desconto das Esquadrias (Anexo II) do RTQ-R ela ventila 40% e ilumina 70%. Realizando os cálculos que consideram a área útil do ambiente, obtiveram-se

valores abaixo do estipulado pelo regulamento, implicando na redução dos níveis de GH_R e C_A obtidos na planilha.

4.2.3.2 Determinação do graus-hora de resfriamento (GH_R) e do consumo para aquecimento (C_A)

Para o cálculo das variáveis GH_R e C_A dos ambientes de permanência prolongada, utilizou-se a Planilha de Avaliação do Método Prescritivo para o Desempenho da Envoltória, apresentada na Figura 4.14.

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Nome do Ambiente		Sala Estar	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3
	Identificação		Residência 3	Residência 3	Residência 3	Residência 3
	AUamb	m²	26,35	12,05	9,28	7,00
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,76	1,76	1,76	1,76
	CTcob	kJ/m².K	16,00	16,00	16,00	16,00
	αcob	adimensional	0,20	0,20	0,20	0,20
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,28	2,28	2,28	2,28
	CTpar	kJ/m².K	168,00	168,00	168,00	168,00
	αpar	adimensional	0,25	0,25	0,25	0,25
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0	0
Situação do piso e cobertura	cob	adimensional	1	1	1	1
	solo	binário	1	1	1	1
	pil	binário	0	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	APambN	m²	0,00	7,93	4,34	4,34
	APambS	m²	0,00	2,21	0,00	0,00
	APambL	m²	4,36	0,00	10,27	0,00
	APambO	m²	3,19	7,73	0,00	0,00
Áreas de Aberturas Externas	AAbN	m²	0,00	0,00	2,16	2,16
	AAbS	m²	0,00	0,00	0,00	0,00
	AAbL	m²	2,40	0,00	0,00	0,00
	AAbO	m²	1,68	2,64	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50	0,50	0,50	0,50
	Somb	adimensional	0,00	0,00	0,00	0,20
Características Gerais	AparInt	m²	56,42	8,59	56,42	56,42
	PD	m	2,6	2,6	2,6	2,6
	Caltura	adimensional	0,099	0,216	0,280	0,371
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0	0
	vid	binário	0	0	0	0
	Uvid	W/m².K	5,75	5,75	5,75	5,75
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	C	C	B
			3417	4867	4547	4219
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m².ano	B	B	B	B
			16,915	26,781	30,686	29,604
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m².ano	A	C	A	A
			2,759	15,241	-17,011	-15,293

Figura 4.14 – Planilha com variáveis para cálculo do GH_R e C_A – Residência 3

Para o dormitório 3 foi necessário calcular o valor de somb, devido à sua orientação solar, ser protegido por beiral e a área de janela ser maior que 25% da área de piso. Esse valor resultou em 0,20.

Os níveis obtidos na planilha de GH_R e C_A da sala de estar passaram de Nível B para Nível C, pelo não atendimento aos pré-requisitos acima citados. Diante disso, calculou-se o $EqNumEnv_{Resfr}$, através da ponderação do $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ pela área útil do ambiente (AU_{amb}), obtendo-se 3,12, Nível C, conforme a Tabela 4.30. Da mesma forma foi realizado para o $EqNumEnv_A$, que resultou em 3,51, Nível B, conforme se observa na Tabela 4.31.

Tabela 4.30 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 3

Ambiente	**GH_R**	**$EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Resfr}$**
Sala Estar	3417	B-4 cai para C-3	26,35m²	3,12-C
Dormitório 1	4867	C-3	12,05m²	
Dormitório 2	4547	C-3	9,28m²	
Dormitório 3	4219	B-4	7,00m²	

Tabela 4.31 – Determinação do $EqNumEnv_A$ – Residência 3

Ambiente	**C_A**	**$EqNumEnvAmb_A$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_A$**
Sala Estar	16,915	B-4 cai para C-3	26,35m²	3,51-B
Dormitório 1	26,781	B-4	12,05m²	
Dormitório 2	30,686	B-4	9,28m²	
Dormitório 3	29,604	B-4	7,00m²	

Analisando o equivalente numérico de resfriamento, observa-se que a sala de estar reduziu para Nível C, pelo não atendimento a porcentagem mínima de ventilação natural e iluminação natural estabelecidas no regulamento, enquanto os dormitórios 1 e 2, orientados a noroeste e nordeste, respectivamente, resultaram em Nível C, e somente o dormitório 3 apresentou Nível B.

Avaliando o equivalente numérico de aquecimento constata-se que os ambientes de permanência prolongada resultaram em Nível B no consumo de energia para aquecimento, com exceção da sala de estar que teve seu nível reduzido por conta dos pré-requisitos já mencionados.

Após a determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ e do $EqNumEnv_A$ os mesmos foram aplicados na Equação do Equivalente Numérico da Envoltória (Equação 3).

Dessa forma, obteve-se a eficiência energética da envoltória da edificação, que neste caso resultou em 3,33 que corresponde ao Nível C.

4.2.3.3 Sistema de aquecimento de água (SAA)

As informações quanto ao sistema de aquecimento foram verificadas *in loco*, onde se constatou o uso do sistema elétrico, com ducha da marca Lorenzetti, modelo Bello Banho, com potência de 5.500W, recebendo Nível E.

4.2.3.4 Bonificações

Na Tabela 4.32 é apresentada a análise da porosidade para a verificação da bonificação de ventilação natural.

Tabela 4.32 – Verificação da porosidade – Residência 3

UH	**Área de fachada (m²)**	**Área de abertura para ventilação (m²)**	**Porosidade (%)**	**Exigência RTQ-R**
Fachada Sudoeste	27,00	4,32	16,00	20%
Fachada Noroeste	27,00	4,80	17,77	
Fachada Nordeste	27,00	3,94	14,59	
Fachada Sudeste	27,00	-	-	

Através da Tabela 4.33 pode-se observar que nenhuma das fachadas atendeu a exigência mínima de 20% de porosidade do RTQ-R, portanto não recebe a pontuação.

Nesta residência também não há nenhum dispositivo especial, não recebendo a pontuação.

A avaliação da bonificação de iluminação natural é apresentada na Tabela 4.33, a partir da análise da profundidade dos ambientes.

Tabela 4.33 – Verificação da profundidade dos ambientes – Residência 3

Ambiente	**Profundidade (m)**	**Cálculo $P \leq 2{,}4xh_a$**	**Exigência RTQ-R**
Sala Estar	4,60	$4{,}60 \leq 5{,}04$	ATENDE
Dormitório 1	3,05	$3{,}05 \leq 5{,}04$	ATENDE
Dormitório 2	3,95	$3{,}95 \leq 5{,}04$	ATENDE
Dormitório 3	2,80	$2{,}80 \leq 5{,}04$	ATENDE
Cozinha	3,95	$3{,}95 \leq 5{,}04$	ATENDE
Área de serv.	2,50	$2{,}50 \leq 5{,}04$	ATENDE

Na Tabela 4.33 observa-se que todos os ambientes atenderam a exigência do regulamento, recebendo a pontuação de 0,20.

Na avaliação da refletância do teto, o forro de todos os ambientes é branco, com a refletância entre 70% e 80%, recebendo a pontuação de 0,10.

Não há o uso racional da água e/ou equipamentos economizadores, portanto a residência não recebe a pontuação desta bonificação.

Para a verificação da bonificação de condicionamento artificial de ar calculou-se o consumo para refrigeração (C_R) dos dormitórios, apresentados na Tabela 4.34.

Tabela 4.34 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 3

Ambiente	**C_R**	**$EqNumEnvAmb_{Refrig}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Refrig}$**
Dormitório 1	15,241	C-3	12,05m²	4,14-B
Dormitório 2	-17,011	A-5	9,28m²	
Dormitório 3	-15,293	A-5	7,00m²	

O resultado da ponderação do $EqNumEnvAmb_{Refrig}$ pela área útil de cada ambiente, determinou um $EqNumEnv_{Refrig}$ de 4,14, sendo Nível B, não recebendo a pontuação deste item.

Na bonificação de iluminação artificial, somente o dormitório 3 possui lâmpada incandescente, os demais ambientes são com lâmpadas fluorescentes compactas com Selo Procel, diante disso, recebe a pontuação de 0,05.

Na bonificação que considera a existência de ventiladores de teto, foi encontrado somente na sala e em um dos dormitórios, dessa forma não recebe pontuação.

Na bonificação dos refrigeradores, o refrigerador é da marca Consul Biplex, modelo CRD36, com ENCE Nível A, portanto recebe a pontuação de 0,10.

A medição individualizada do sistema de aquecimento da água não ocorre, pois o sistema é elétrico, não recebendo a pontuação.

Na Tabela 4.35 é apresentada uma tabela com a pontuação de cada bonificação.

Tabela 4.35 – Bonificações – Residência 3

Ventilação Natural	-
Iluminação Natural	0,20+0,10
Uso Racional da Água	-
Condicionamento Artificial de Ar	-
Iluminação Artificial	0,05
Ventiladores de Teto	-
Refrigeradores	0,10
Medição Individualizada	-
TOTAL	**0,45**

4.2.3.5 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH3}

Após a determinação do EqNumEnv, do $EqNum_{AA}$ e das bonificações, os valores são inseridos na Equação 5, resultando no nível de eficiência energética da residência.

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

$$PT_{UH3} = (0,65 \times 3,33) + [(1 - 0,65) \times 1] + 0,45$$

$$PT_{UH3} = 3,0 \text{ (Nível C)}$$

Pode-se observar que a pontuação total da UH resultou em 3,0 que equivale segundo ao RTQ-R ao Nível C.

4.2.4 Método Prescritivo – Residência 4

4.2.4.1 Pré-requisitos da envoltória

As análises dos pré-requisitos da envoltória para a Residência 4 encontram-se nas Tabelas 4.36 a 4.39.

Tabela 4.36 – Pré-requisitos transmitância, capacidade térmica e absortância – Residência 4

Cálculado	Transmitância	Capacidade térmica	Absortância	Pré-requisito
Paredes externas	1,92 W/(m².K)	202,00 kJ/(m².K)	0,53	ATENDE
Cobertura	2,05 W/(m².K)	238,00 kJ/(m².K)	0,75	ATENDE

Tabela 4.37 – Pré-requisito ventilação natural – Residência 4

Ambientes	Área amb.	Área de ventil.	% Abertura	Pré-requisito
Sala Estar	24,51m²	1,37m²	5,61	NÃO ATENDE
Suíte	14,86m²	1,28m²	8,61	ATENDE
Dormitório 1	11,76m²	1,28m²	10,94	ATENDE
Dormitório 2	8,54m²	1,17m²	13,70	ATENDE
Escritório	9,98m²	1,18m²	11,90	ATENDE

Tabela 4.38 – Pré-requisito iluminação natural – Residência 4

Ambientes	Área amb.	Área de ilumin.	% Ilumin.	Pré-requisito
Sala Estar	24,51m²	2,44m²	9,95	NÃO ATENDE
Suíte	14,86m²	2,28m²	15,34	ATENDE
Dormitório 1	11,76m²	2,28m²	19,45	ATENDE
Dormitório 2	8,54m²	2,08m²	24,35	ATENDE
Escritório	9,98m²	2,11m²	21,14	ATENDE

Tabela 4.39 – Pré-requisito ventilação cruzada – Residência 4

Fachadas	Área efetiva abertura	Proporção	Condição	Calculado	Pré-requisito
Fachada Norte	5,70m²	A1	$\frac{A2}{A1} \geq 0{,}25$	0,83	ATENDE
Demais Fachadas	4,78m²	A2			

Após a verificação dos pré-requisitos, pode-se observar que somente a sala de estar não atendeu aos pré-requisitos de ventilação natural e iluminação natural, pois a janela é de correr 2 folhas e de acordo com a Tabela de Desconto das Esquadrias (Anexo II) do RTQ-R ela ventila 45% e ilumina 80%. Realizando os cálculos que consideram a área útil do ambiente, obtiveram-se valores abaixo do estipulado pelo regulamento.

4.2.4.2 Determinação do graus-hora de resfriamento (GH_R) e do consumo para aquecimento (C_A)

Para o cálculo das variáveis GH_R e C_A dos ambientes de permanência prolongada, utilizou-se a Planilha de Avaliação do Método Prescritivo para o Desempenho da Envoltória, ilustrada na Figura 4.15.

Como a sala de estar não atendeu aos pré-requisitos de ventilação natural e iluminação natural, o Nível B obtido na planilha para este ambiente será reduzido para Nível C. Calculou-se então o $EqNumEnv_{Resfr}$, através da ponderação do $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ pela área útil do ambiente (AU_{amb}) obtendo-se 2,90, Nível C, conforme a Tabela 4.40. Da mesma maneira foi calculado o $EqNumEnv_A$, que resultou em 3,64, Nível B, conforme se observa na Tabela 4.41.

Considerando-se os equivalentes numéricos de resfriamento, pode-se constatar que a sala de estar teve seu nível reduzido, conforme já explicado, a suíte obteve Nível B, os dormitórios 1 e 2 resultaram em Nível D e Nível C, respectivamente, e o escritório resultou em Nível D.

Zona Bioclimática	ZB		ZB2	ZB2	ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Nome do Ambiente		Sala Estar	Suíte	Dormitório 1	Dormitório 2	Escritório
	Identificação		Residência 4	Residência 4	Residência 4	Residência 4	Residência 4
	AUamb	m²	24,51	14,86	11,76	8,54	9,98
Cobertura	Ucob	W/m².K	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
	CTcob	kJ/m².K	238,00	238,00	238,00	238,00	238,00
	αcob	adimensional	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Paredes Externas	Upar	W/m².K	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92
	CTpar	kJ/m².K	202,00	202,00	202,00	202,00	202,00
	αpar	adimensional	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0	0	0
Situação do piso e cobertura	cob	adimensional	1	1	1	1	1
	solo	binário	1	1	1	1	1
	pil	binário	0	0	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	APambN	m²	0,00	0,00	8,48	0,00	1,54
	APambS	m²	5,00	8,48	0,00	5,63	0,00
	APambL	m²	0,00	0,00	0,00	0,00	6,61
	APambO	m²	0,00	8,91	7,56	7,56	0,00
Áreas de Aberturas Externas	AAbN	m²	0,00	0,00	2,86	0,00	2,64
	AAbS	m²	3,06	2,86	0,00	2,60	0,00
	AAbL	m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AAbO	m²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Somb	adimensional	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Características Gerais	AparInt	m²	36,27	20,34	17,22	14,11	25,86
	PD	m	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
	Caltura	adimensional	0,110	0,182	0,230	0,318	0,271
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0	0	0
	vid	binário	0	0	0	0	0
	Uvid	W/m².K	5,75	5,75	5,75	5,75	5,75
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	B	D	C	D
			2753	3589	6913	5943	6650
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m².ano	B	B	B	B	B
			15,876	22,725	19,610	27,855	20,063
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m².ano	B	C	E	E	E
			10,566	14,237	26,300	33,208	27,618

Figura 4.15 – Planilha com variáveis para cálculo do GH_R – Residência 4

Tabela 4.40 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ – Residência 4

Ambiente	GH_R	$EqNumEnvAmb_{Resfr}$	AU_{amb}	$EqNumEnv_{Resfr}$
Sala Estar	2753	B-4 cai para C-3	24,51m²	2,90-C
Suíte	3589	B-4	14,86m²	
Dormitório 1	6913	D-2	11,76m²	
Dormitório 2	5943	C-3	8,54m²	
Escritório	6650	D-2	9,98m²	

Tabela 4.41 – Determinação do $EqNumEnv_A$ – Residência 4

Ambiente	C_A	$EqNumEnvAmb_A$	AU_{amb}	$EqNumEnv_A$
Sala Estar	15,876	B-4 cai para C-3	24,51m²	3,64-B
Suíte	22,725	B-4	14,86m²	
Dormitório 1	19,610	B-4	11,76m²	
Dormitório 2	27,855	B-4	8,54m²	
Escritório	20,063	B-4	9,98m²	

Acredita-se que os equivalentes numéricos de resfriamento dos dormitórios e do escritório diferem-se dos demais ambientes por conta da orientação solar das paredes externas, assim como a inexistência de dispositivos de proteção solar nas aberturas, pois somente a sala de estar e a suíte possuem venezianas.

Com relação ao equivalente numérico de aquecimento, observa-se que o projeto alcançou Nível B no consumo de energia para aquecimento em todos os ambientes de permanência prolongada, sendo que somente a sala de estar teve seu nível reduzido.

Os valores de $EqNumEnv_{Resfr}$ e do $EqNumEnv_{A}$ foram aplicados na Equação do Equivalente Numérico da Envoltória (Equação 3).

Obtendo-se a eficiência energética da envoltória da edificação, que neste caso resultou em 3,31 que corresponde ao Nível C.

4.2.4.3 Sistema de aquecimento de água (SAA)

Nesta residência, como ocorre na demais, o sistema de aquecimento de água na residência é elétrico, sendo a ducha *Advanced* Turbo da marca Lorenzetti, potência de 6400W, recebendo Nível E.

4.2.4.4 Bonificações

A Tabela 4.42 apresenta a análise da porosidade para verificação da bonificação de ventilação natural.

Tabela 4.42 - Verificação da porosidade – Residência 4

UH	Área de fachada (m²)	Área de abertura para ventilação (m²)	Porosidade (%)	Exigência RTQ-R
Fachada Sudoeste	31,86	5,92	18,58	20%
Fachada Noroeste	39,28	3,52	8,96	
Fachada Nordeste	31,86	12,46	39,10	
Fachada Sudeste	39,28	-	-	

Pode-se observar através da Tabela 4.42, que somente uma das fachadas atendeu a exigência mínima de 20% de porosidade do RTQ-R, porém é necessário comprovar a existência de porosidade em pelo menos duas fachadas, portanto não recebe a pontuação. Ainda, nesta bonificação, foi avaliada a existência de dispositivos especiais, porém, só há na sala e na suíte, não obtendo a pontuação.

A avaliação da bonificação de iluminação natural é apresentada na Tabela 4.43.

Tabela 4.43 – Verificação da profundidade dos ambientes – Residência 4

Ambiente	Profundidade (m)	Cálculo $P \leq 2{,}4xh_a$	Exigência RTQ-R
Sala Estar	6,45	$6{,}45 \leq 5{,}28$	NÃO ATENDE
Suíte	4,30	$4{,}30 \leq 5{,}28$	ATENDE
Dormitório 1	2,80	$2{,}80 \leq 5{,}28$	ATENDE
Dormitório 2	2,80	$2{,}80 \leq 5{,}28$	ATENDE
Escritório	4,00	$4{,}00 \leq 5{,}28$	ATENDE
Cozinha	6,75	$6{,}75 \leq 5{,}28$	NÃO ATENDE
Área de serv.	2,80	$2{,}80 \leq 5{,}28$	ATENDE

Observa-se que mais da metade ambientes avaliados atenderam a exigência do regulamento, recebendo a pontuação de 0,20.

Com relação à refletância do teto, constatou-se que o forro de todos os ambientes é pintado de branco, recebendo a pontuação de 0,10.

Não há o uso racional da água e/ou equipamentos economizadores, portanto a residência não recebe a pontuação desta bonificação.

Para verificar a bonificação de condicionamento artificial de ar, calculou-se o consumo para refrigeração (C_R) da suíte e dos dormitórios, sendo na Tabela 4.44 apresentados os valores obtidos.

Tabela 4.44 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ – Residência 4

Ambiente	C_R	$EqNumEnvAmb_{Refrig}$	AU_{amb}	$EqNumEnv_{Refrig}$
Suíte	14,237	C-3	14,86m²	1,84-D
Dormitório 1	26,300	E-1	11,76m²	
Dormitório 2	33,208	E-1	8,54m²	

O resultado da ponderação do $EqNumEnvAmb_{Refrig}$ pela área útil de cada ambiente, determinou um $EqNumEnv_{Refrig}$ de 1,84, sendo Nível D, não recebendo a pontuação.

Na bonificação de iluminação artificial constatou-se que todos os ambientes possuem lâmpadas fluorescentes compactas com Selo Procel, recebendo a pontuação de 0,10.

Na bonificação que considera a presença de ventiladores de teto, em nenhum dos ambientes foi encontrado esse equipamento, portanto, não recebe a pontuação.

Para a bonificação dos refrigeradores, foi verificado na residência que o refrigerador é da marca Consul, sem Selo Procel, não recebendo a pontuação.

Assim como as demais residências, a medição individualizada do sistema de aquecimento da água não ocorre, pois o sistema de aquecimento é elétrico, não recebendo essa pontuação.

Na Tabela 4.45 é apresentada uma tabela com a pontuação de cada bonificação.

Tabela 4.45 – Bonificações – Residência 4

Ventilação Natural	-
Iluminação Natural	0,20+0,10
Uso Racional da Água	-
Condicionamento Artificial de Ar	-
Iluminação Artificial	0,10
Ventiladores de Teto	-
Refrigeradores	-
Medição Individualizada	-
TOTAL	**0,40**

4.2.4.5 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH4}

Após a determinação do EqNumEnv, do $EqNum_{AA}$ e das bonificações, os valores são inseridos na Equação 5, obtendo, dessa maneira, o nível de eficiência energética da residência.

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

$$PT_{UH4} = (0,65 \times 3,31) + [(1 - 0,65) \times 1] + 0,40$$

$$PT_{UH4} = 3,0 \text{ (Nível C)}$$

Pode-se observar que a pontuação total da UH resultou em 3,0, que equivale segundo ao RTQ-R ao Nível C.

4.2.5 Síntese dos resultados obtidos através do método prescritivo

A Tabela 4.46 ilustra a síntese dos resultados da aplicação do método prescritivo nas edificações objetos de estudo, permitindo uma melhor visualização dos resultados.

Tabela 4.46 – Síntese dos resultados do método prescritivo

Resid.	**Pré-requisitos**	**$EqNumEnv_{Resfr}$**	**$EqNumEnv_A$**	**EqNumEnv**	**SAA**	**Bonificações**	**PT_{UH}**
1	Atendeu	B	B	B	E	0,56	B
2	Atendeu	B	A	B	E	0,50	B
3	Não atendeu	C	B	C	E	0,45	C
4	Não atendeu	C	B	C	E	0,40	C

Comparando as edificações objetos de estudo, constatou-se que as Residências 1 e 2, com formato retangular alongado mantiveram os níveis da planilha pelo atendimento aos pré-requisitos, e no caso da Residência 1 a existência de veneziana em todos os ambientes de

permanência prolongada contribuiu para o Nível B do equivalente numérico de resfriamento dos ambientes.

Conforme se observa na Tabela 4.46 o nível de eficiência energética da envoltória das Residências 1 e 2 é de Nível B e a PT_{UH} que também considera o SAA e as bonificações, resultou em Nível B.

As Residências 3 e 4 com formato retangular compacto resultaram em Nível C no equivalente numérico da envoltória para resfriamento, denotando a necessidade de melhorias no período de verão, como também foi verificado que um dos ambientes de permanência prolongada não atendeu aos pré-requisitos de ventilação natural e iluminação natural. Porém, isto pode ser facilmente solucionado através do dimensionamento e a definição do tipo de janela pelo projetista.

Sendo assim, o nível de eficiência energética da envoltória das Residências 3 e 4 resultou em Nível C e a PT_{UH} que alia o SAA e as bonificações, resultou em Nível C.

Diante disso, pode-se analisar que pelo método prescritivo as residências de mesmo formato apresentaram basicamente os mesmos resultados em termos nível de eficiência energética, assim como comparando as quatro edificações objetos de estudo não foram constatadas consideráveis diferenças, pois se a sala de estar das Residências 3 e 4 atendessem ao pré-requisito de ventilação e iluminação natural o nível de eficiência energética da envoltória seria Nível B.

O sistema de aquecimento de água (SAA) elétrico das residências também contribuiu para a redução da PT_{UH} das edificações objetos de estudo por ser Nível E, sendo que esta situação representa a maioria dos casos das residências, ou seja, ainda há resistência quanto à implantação de outro sistema de aquecimento de água mais eficiente.

Com relação às bonificações, observa-se, principalmente, que as edificações objetos de estudo apresentaram iluminação artificial consciente, ou seja, os moradores estão adquirindo lâmpadas que consomem menos energia. Uma pontuação simples de se obter são os dispositivos de sombreamento nos ambientes de permanência prolongada, item em que somente a Residência 1 foi pontuada.

Acredita-se que as propriedades termofísicas da cobertura seja um fator relevante nos resultados, pois ele é o componente de maior variação entre as residências, assim como a cor das paredes externas.

4.3 Procedimento de etiquetagem: Método de Simulação

Neste item são apresentados os resultados referentes à aplicação do método de simulação do RTQ-R para as quatro edificações objetos de estudo, nas suas condições reais.

A partir da modelagem das edificações no programa computacional *DesignBuilder*, inserção dos materiais e dos ajustes baseados nos parâmetros especificados no RTQ-R, realizaram-se as simulações para a obtenção dos dados para a determinação do GH_R e do C_A, para o cálculo do EqNumEnv de cada residência, e para a obtenção da Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional, associando aos valores já obtidos referentes ao sistema de aquecimento de água e as bonificações.

A primeira simulação foi da edificação naturalmente ventilada durante o dia e consistiu na obtenção da temperatura operativa horária dos ambientes de permanência prolongada para a determinação do GH_R, conforme a Equação 6.

A segunda simulação consistiu na edificação condicionada artificialmente durante a noite e a partir dela é obtido o consumo para aquecimento (C_A) anual de cada ambiente de permanência prolongada.

4.3.1 Método de Simulação - Residência 1

A Figura 4.16 apresenta a vista isométrica da Residência 1.

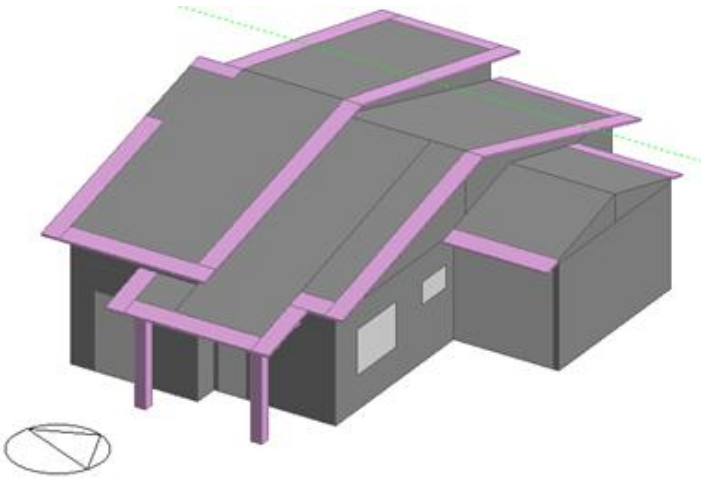


Figura 4.16 – Vista isométrica da Residência 1

A Tabela 4.47 apresenta os valores de GH_R obtido em cada ambiente de permanência prolongada, sendo que o $EqNumEnv_{Resfr}$ foi determinado por meio da ponderação do $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ pela área útil de cada ambiente, com isso resultou em 4 que equivale ao Nível B. Como todos os ambientes atenderam aos pré-requisitos de ventilação natural e iluminação natural (Tabelas 4.7 e 4.8), os níveis do $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ e do $EqNumEnvAmb_A$ são mantidos.

Tabela 4.47 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ - Residência 1

Ambiente	**GH_R**	**$EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Resfr}$**
Sala Estar	2786	B-4	10,24m²	4-B
Suíte	2576	B-4	12,48m²	
Dormitório 1	3260	B-4	9,00m²	
Dormitório 2	3924	B-4	7,00m²	

Da mesma forma, obteve-se o $EqNumEnv_A$ através da ponderação do $EqNumEnvAmb_A$ pela área útil de cada ambiente, neste caso o resultado foi de 3,47, que corresponde ao Nível B, conforme se observa na Tabela 4.48.

Tabela 4.48 – Determinação do $EqNumEnv_A$ - Residência 1

Ambiente	**C_A**	**$EqNumEnvAmb_A$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_A$**
Sala Estar	52,288	D-2	10,24m²	3,47-B
Suíte	23,243	B-4	12,48m²	
Dormitório 1	19,090	B-4	9,00m²	
Dormitório 2	23,126	B-4	7,00m²	

Com relação ao equivalente numérico de resfriamento, observa-se que o projeto alcançou Nível B em todos os ambientes de permanência prolongada.

Observa-se que a maioria dos ambientes avaliados apresentou Nível B no consumo para aquecimento, somente a sala de estar resultou em Nível D.

Após a determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ e do $EqNumEnv_A$, foi aplicado no Equivalente Numérico da Envoltória (Equação 3).

Obteve-se a eficiência energética da envoltória da edificação, resultando em 3,70, que corresponde ao Nível B.

O consumo para refrigeração (C_R) dos dormitórios e suíte para a verificação da eficiência da envoltória da residência quando condicionada artificialmente, encontra-se na Tabela 4.49.

Tabela 4.49 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ - Residência 1

Ambiente	**C_R**	**$EqNumEnvAmb_{Refrig}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Refrig}$**
Suíte	10,610	B-4	12,48m²	3,19-C
Dormitório 1	14,465	C-3	9,00m²	
Dormitório 2	17,280	D-2	7,00m²	

Observou-se que a envoltória da residência quando condicionada artificialmente resultou em Nível C, o que não acrescenta a pontuação da bonificação referente ao condicionamento de ar.

4.3.1.1 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH1}

Após a determinação do EqNumEnv através da simulação, do $EqNum_{AA}$ e das bonificações já analisadas, os valores são inseridos na Equação 5, obtendo, dessa maneira, o nível de eficiência energética da residência.

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

$$PT_{UH1} = (0,65 \times 3,70) + [(1 - 0,65) \times 1] + 0,56$$

$$PT_{UH1} = 3,3 \text{ (Nível C)}$$

Pode-se observar que a pontuação total da UH resultou em 3,3, que equivale ao Nível C.

4.3.2 Método de Simulação - Residência 2

A Figura 4.17 ilustra a vista isométrica da Residência 2.

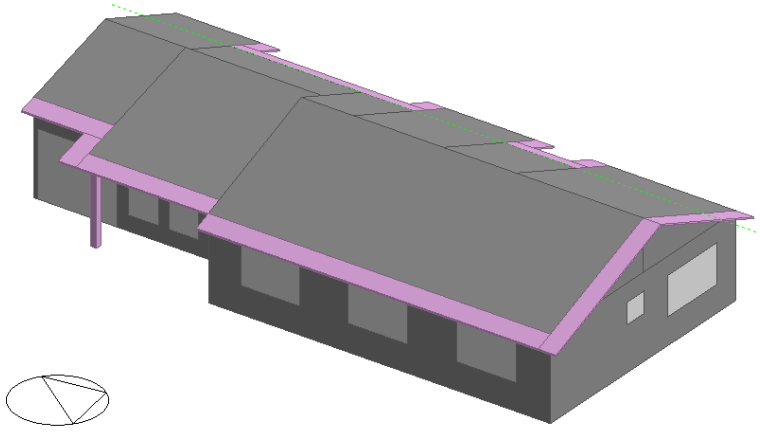


Figura 4.17 – Vista isométrica da Residência 2

Determinou-se o $EqNumEnv_{Resfr}$ através da ponderação do $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ pela área útil de cada ambiente, resultando em 2,85, que equivale ao Nível C, na Tabela 4.50 são apresentados esses valores.

Todos os ambientes atenderam aos pré-requisitos de ventilação natural e iluminação natural (Tabelas 4.17 e 4.18), portanto, os níveis do $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ e do $EqNumEnvAmb_A$ são mantidos.

Tabela 4.50 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ - Residência 2

Ambiente	**GH_R**	**$EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Resfr}$**
Sala Estar	4691	C-3	61,22m²	2,85-C
Suíte	6798	D-2	14,59m²	
Dormitório 1	5700	C-3	12,11m²	
Dormitório 2	5833	C-3	9,47m²	

A Tabela 4.51 apresenta os valores de C_A resultantes da segunda simulação. Para determinar o $EqNumEnv_A$ pondera-se o $EqNumEnvAmb_A$ pela área útil de cada ambiente, isto resultou em 4,77, que equivale ao Nível A.

Tabela 4.51 – Determinação do $EqNumEnv_A$ - Residência 2

Ambiente	**C_A**	**$EqNumEnvAmb_A$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_A$**
Sala Estar	15,380	A-5	61,22m²	4,77-A
Suíte	15,570	A-5	14,59m²	
Dormitório 1	19,100	B-4	12,11m²	
Dormitório 2	18,286	B-4	9,47m²	

Considerando-se o equivalente numérico de resfriamento, observa-se que a maioria dos ambientes de permanência prolongada resultou em Nível C e somente a suíte apresentou Nível D.

Com relação aos equivalentes numéricos de aquecimento, pode-se constatar que os ambientes de permanência prolongada apresentaram Nível A e Nível B.

Definido os valores do $EqNumEnv_{Resfr}$ e do $EqNumEnv_A$, aplicou-se na Equação do Equivalente Numérico da Envoltória (Equação 3).

Observa-se que a eficiência energética da envoltória da edificação, resultando em 3,92, que corresponde ao Nível B.

Apresenta-se na Tabela 4.52 o consumo para refrigeração (C_R) dos dormitórios e suíte para a verificação da eficiência da envoltória da residência quando condicionada artificialmente.

Tabela 4.52 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ - Residência 2

Ambiente	**C_R**	**$EqNumEnvAmb_{Refrig}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Refrig}$**
Suíte	15,421	C-3	14,59m²	3-C
Dormitório 1	13,247	C-3	12,11m²	
Dormitório 2	13,847	C-3	9,47m²	

Constatou-se que a eficiência energética da edificação quando condicionada artificialmente resultou em 3,00, sendo Nível C, não recebendo a bonificação de condicionamento artificial de ar.

4.3.2.1 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH2}

Com a determinação do EqNumEnv, do $EqNum_{AA}$ e das bonificações já analisadas, inseriu-se os valores na Equação 5, resultou em uma PT_{UH} de 3,4, que equivale ao Nível C.

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

$$PT_{UH2} = (0,65 \times 3,92) + [(1 - 0,65) \times 1] + 0,50$$

$$PT_{UH2} = 3,4 \text{ (Nível C)}$$

4.3.3 Método de Simulação - Residência 3

A Figura 4.18 apresenta a vista isométrica da Residência 3.

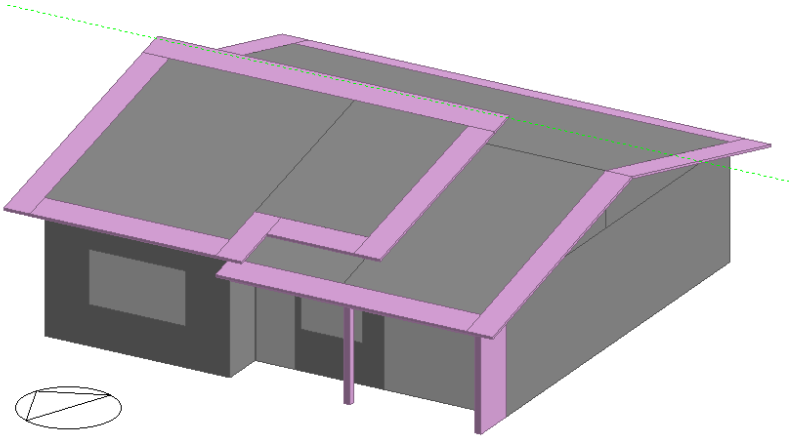


Figura 4.18 – Vista isométrica da Residência 3

Na Tabela 4.53 são apresentados os valores de GH_R, sendo que a sala de estar não atendeu aos pré-requisitos de ventilação natural e iluminação natural (Tabelas 4.27 e 4.28), o $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ e o $EqNumEnvAmb_A$ que é Nível B cairá para Nível C. Diante disso, pode-se observar que $EqNumEnv_{Resfr}$ resultou em 3,00, Nível C.

Tabela 4.53 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ - Residência 3

Ambiente	**GH_R**	**$EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Resfr}$**
Sala Estar	4069	B-4 cai para C-3	26,35m²	3,00-C
Dormitório 1	4870	C-3	12,05m²	
Dormitório 2	4398	C-3	9,28m²	
Dormitório 3	5380	C-3	7,00m²	

Na Tabela 4.54 são apresentados os valores de C_A obtidos na simulação da edificação condicionada artificialmente, constata-se que o $EqNumEnv_A$ resultou em 3,51, Nível B.

Tabela 4.54 – Determinação do $EqNumEnv_A$ - Residência 3

Ambiente	**C_A**	**$EqNumEnvAmb_A$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_A$**
Sala Estar	24,743	B-4 cai para C-3	26,35m²	3,51-B
Dormitório 1	19,976	B-4	12,05m²	
Dormitório 2	18,483	B-4	9,28m²	
Dormitório 3	18,006	B-4	7,00m²	

Analisando o equivalente numérico de resfriamento, constata-se que a sala de estar teve seu nível reduzido por conta dos pré-requisitos e os demais ambientes de permanência prolongada apresentaram Nível C.

Com relação ao equivalente numérico de aquecimento observa-se que todos os ambientes avaliados resultaram em Nível B, porém a sala de estar teve seu nível reduzido, conforme já mencionado.

Com os valores do $EqNumEnv_{Resfr}$ e do $EqNumEnv_A$ calculou-se a eficiência energética da envoltória através da Equação do Equivalente Numérico da Envoltória (Equação 4), deste cálculo, resultou em 3,28, Nível C.

Ilustra-se na Tabela 4.55 o consumo para refrigeração (C_R) dos dormitórios para a verificação da eficiência da envoltória da residência quando condicionada artificialmente.

Tabela 4.55 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ - Residência 3

Ambiente	**C_R**	**$EqNumEnvAmb_{Refrig}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Refrig}$**
Dormitório 1	11,276	B-4	12,05m²	3,75-B
Dormitório 2	10,669	B-4	9,28m²	
Dormitório 3	13,956	C-3	7,00m²	

O $EqNumEnv_{Refrig}$ resultou em 3,75, que corresponde ao Nível B, portanto, não recebe a pontuação.

4.3.3.1 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH3}

Com a determinação do EqNumEnv, do $EqNum_{AA}$ e das bonificações, inseriu-se os valores na Equação 5, resultando em uma PT_{UH} de 2,9, que equivale ao Nível C.

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

$$PT_{UH3} = (0,65 \times 3,28) + [(1 - 0,65) \times 1] + 0,50$$

$$PT_{UH3} = 2,9 \text{ (Nível C)}$$

4.3.4 Método de Simulação - Residência 4

A Figura 4.19 apresenta a vista isométrica da Residência 4.

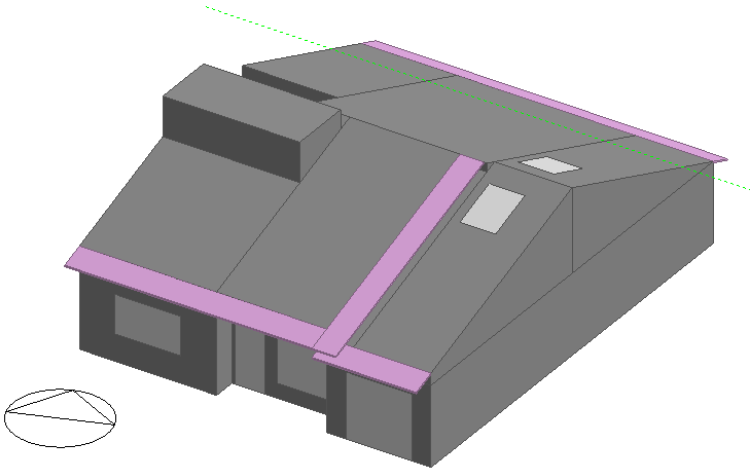


Figura 4.19 – Vista isométrica da Residência 4

Na Tabela 4.56 são apresentados os valores de GH_R calculados para os diferentes ambientes, assim como o valor do $EqNumEnv_{Resfr}$, que resultou em 3,07, Nível C.

Tabela 4.56 – Determinação do $EqNumEnv_{Resfr}$ - Residência 4

Ambiente	**GH_R**	**$EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Resfr}$**
Sala Estar	5002	C-3	24,51m²	3,07-C
Suíte	4083	B-4	14,86m²	
Dormitório 1	6376	C-3	11,76m²	
Dormitório 2	6221	C-3	8,54m²	
Escritório	7197	D-2	9,98m²	

Na Tabela 4.57 são apresentados os valores de C_A, sendo que a sala de estar não atendeu os pré-requisitos de ventilação natural e iluminação natural (Tabelas 4.37 e 4.38), dessa forma, o $EqNumEnvAmb_A$ cai para Nível C. Portanto, o valor do $EqNumEnv_A$ resultou em 3,50, Nível B.

Tabela 4.57 – Determinação do $EqNumEnv_A$ - Residência 4

Ambiente	**C_A**	**$EqNumEnvAmb_A$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_A$**
Sala Estar	23,636	B-4 cai para C-3	24,51m²	3,50-B
Suíte	17,780	B-4	14,86m²	
Dormitório 1	22,116	B-4	11,76m²	
Dormitório 2	17,110	B-4	8,54m²	
Escritório	45,550	C-3	9,98m²	

Considerando-se o equivalente numérico de resfriamento, observa-se que a maioria dos ambientes avaliados resultou em Nível C, somente o escritório apresentou Nível D.

Com relação ao equivalente numérico de aquecimento, pode-se constatar que com exceção do escritório que resultou em Nível C e a sala de estar que teve o seu nível reduzido, os demais ambientes de permanência prolongada apresentaram Nível B no consumo de energia para aquecimento.

A partir dos valores obtidos de $EqNumEnv_{Resfr}$ e do $EqNumEnv_A$ calculou-se a eficiência energética da envoltória conforme a Equação do Equivalente Numérico da Envoltória (Equação 3), que resultou em 3,21, Nível C.

Na Tabela 4.58 são apresentados os valores de C_R e do $EqNumEnv_{Refrig}$ que resultou em 2,66, sendo Nível C, não recebendo a pontuação da bonificação de condicionamento de ar.

Tabela 4.58 – Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ - Residência 4

Ambiente	C_R	$EqNumEnvAmb_{Refrig}$	AU_{amb}	$EqNumEnv_{Refrig}$
Suíte	11,312	C-3	14,86m²	2,66-C
Dormitório 1	18,472	D-2	11,76m²	
Dormitório 2	15,349	C-3	8,54m²	

4.3.4.1 Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional - PT_{UH4}

Utilizando-se os valores determinados do EqNumEnv, do $EqNum_{AA}$, e considerando as bonificações já analisadas, inseriu-se os valores na Equação 5, que resultou em uma PT_{UH} de 2,9, que equivale ao Nível C.

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

$$PT_{UH} = (0,65 \times 3,31) + [(1 - 0,65) \times 1] + 0,40$$

$$PT_{UH4} = 2,9 \text{ (Nível C)}$$

4.3.5 Síntese dos resultados obtidos através do método de simulação

A Tabela 4.59 ilustra a síntese dos resultados da aplicação do método de simulação nas edificações objetos de estudo.

Tabela 4.59 – Síntese dos resultados do método de simulação

Resid.	Pré-requisitos	$EqNumEnv_{Resfr}$	$EqNumEnv_A$	EqNumEnv	SAA	Bonificações	PT_{UH}
1	Atendeu	B	B	B	E	0,56	C
2	Atendeu	C	A	B	E	0,50	C
3	Não atendeu	C	B	C	E	0,45	C
4	Não atendeu	C	B	C	E	0,40	C

A partir da Tabela 4.59 pode-se observar que pelo método de simulação a Residência 1 apresentou Nível B nos equivalentes numéricos para resfriamento e aquecimento, resultando em Nível B na eficiência energética da envoltória, porém quando calculada a PT_{UH}, considerando também o SAA e as bonificações, demonstraram que suas pontuações não foram suficientes para manter o Nível B.

A Residência 2, em se tratando do consumo de energia para aquecimento alcançou Nível A, enquanto que o equivalente numérico de resfriamento resultou em Nível C, constatando a necessidade de melhorias na residência no período de verão, o mesmo foi observado nas Residências 3 e 4.

Dessa forma, observa-se que as Residências 1 e 2, de formato retangular alongado, apresentaram o melhor nível de eficiência energética da envoltória, quando comparadas as Residências 3 e 4, de formato retangular compacto, porém considerando o sistema de aquecimento de água e as bonificações, todas as edificações objetos de estudo resultaram em uma PT_{UH} Nível C.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise dos resultados, objetivando avaliar os dados obtidos e torná-los práticos para o estudo, analisando as edificações objetos de estudo, definindo suas semelhanças e disparidades em termos de eficiência energética, e desta forma caracterizando este padrão de residência. Também será explanado sobre o método prescritivo e de simulação do RTQ-R, através da compilação dos resultados da aplicação dos dois procedimentos, permitindo uma análise comparativa entre os mesmos.

5.1 Comparação entre o método prescritivo e o método de simulação

A Tabela 5.1 sintetiza os valores de equivalentes numéricos de resfriamento, aquecimento e envoltória obtidos através do método prescritivo e de simulação, para cada uma das edificações objetos de estudo, possibilitando uma análise dos resultados sem a consideração dos pré-requisitos.

Observa-se que a Residência 1 e 3 obtiveram Nível B nos equivalentes numéricos da envoltória para resfriamento e aquecimento tanto pelo método prescritivo quanto pelo método de simulação.

Com relação à Residência 2, verificou-se que pelo método prescritivo o equivalente numérico da envoltória para resfriamento resultou em Nível B, diferentemente do método de simulação que apresentou Nível C. Já no equivalente numérico da envoltória para aquecimento, apresentou Nível A pelos dois métodos.

A Residência 4 resultou em Nível C no equivalente numérico da envoltória para resfriamento e no equivalente numérico da envoltória para aquecimento alcançou Nível B, revelando a congruência nos resultados pelos dois métodos.

Tabela 5.1 – Método prescritivo e método de simulação das edificações objetos de estudo

RESIDÊNCIA 1 (99,88m²)								
	MÉTODO PRESCRITIVO				**MÉTODO DE SIMULAÇÃO**			
Ambiente	**EqNumEnvAmb$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnvAmb$_{A}$**	**EqNumEnv$_{A}$**	**EqNumEnvAmb$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnvAmb$_{A}$**	**EqNumEnv$_{A}$**
Sala Estar	B-4	3,81-B	B-4	4-B	B-4	4-B	D-2	3,47-B
Suíte	B-4		B-4		B-4		B-4	
Dormitório 1	B-4		B-4		B-4		B-4	
Dormitório 2	C-3		B-4		B-4		B-4	
RESIDÊNCIA 2 (142,05m²)								
	MÉTODO PRESCRITIVO				**MÉTODO DE SIMULAÇÃO**			
Ambiente	**EqNumEnvAmb$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnvAmb$_{A}$**	**EqNumEnv$_{A}$**	**EqNumEnvAmb$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnvAmb$_{A}$**	**EqNumEnv$_{A}$**
Sala Estar	B-4	3,70-B	A-5	4,62-A	C-3	2,85-C	A-5	4,77-A
Suíte	D-2		B-4		D-2		A-5	
Dormitório 1	B-4		B-4		C-3		B-4	
Dormitório 2	B-4		B-4		C-3		B-4	
RESIDÊNCIA 3 (100,00m²)								
	MÉTODO PRESCRITIVO				**MÉTODO DE SIMULAÇÃO**			
Ambiente	**EqNumEnvAmb$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnvAmb$_{A}$**	**EqNumEnv$_{A}$**	**EqNumEnvAmb$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnvAmb$_{A}$**	**EqNumEnv$_{A}$**
Sala Estar	B-4	3,60-B	B-4	4-B	B-4	3,48-B	B-4	4-B
Dormitório 1	C-3		B-4		C-3		B-4	
Dormitório 2	C-3		B-4		C-3		B-4	
Dormitório 3	B-4		B-4		C-3		B-4	
RESIDÊNCIA 4 (168,65m²)								
	MÉTODO PRESCRITIVO				**MÉTODO DE SIMULAÇÃO**			
Ambiente	**EqNumEnvAmb$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnvAmb$_{A}$**	**EqNumEnv$_{A}$**	**EqNumEnvAmb$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnvAmb$_{A}$**	**EqNumEnv$_{A}$**
Sala Estar	B-4	3,16-C	B-4	4-B	C-3	3,07-C	B-4	3,85-B
Suíte	B-4		B-4		B-4		B-4	
Dormitório 1	D-2		B-4		C-3		B-4	
Dormitório 2	C-3		B-4		C-3		B-4	
Escritório	D-2		B-4		D-2		C-3	

Analisando de uma maneira geral, as maiores discrepâncias foram nos níveis dos equivalentes numéricos de resfriamento, sendo que pelo método de simulação, considerando as características da edificação e em condições normais de ventilação natural, aponta que há mais horas em desconforto por calor do que o apresentado pelo método prescritivo. Isto indica que as residências precisam de estratégias para o período de verão, reduzindo o desconforto.

Acredita-se que as diferenças entre os resultados dos dois métodos sejam ocasionadas pela avaliação mais detalhada realizada pelo programa computacional, pois ele analisa a edificação durante um período de 8.760 horas por ano e também considera as variações climáticas do local estudado.

Foram encontradas consideráveis semelhanças nos resultados do consumo de energia para aquecimento, obtendo Níveis A e B pelos dois métodos, demonstrando que há um reduzido consumo de energia para aquecimento dos ambientes das residências.

Dessa forma, como a Residência 1 apresentou os melhores níveis pelo método simulação no equivalente numérico de resfriamento dos ambientes, sendo este o equivalente de maior discrepância nos resultados, e por ser a única das residências que possui veneziana nas janelas de todos os ambientes de permanência prolongada, simulou-se as Residências 2, 3 e 4 com as venezianas na mesma condição da Residência 1 item 3.3.1.2, protegendo 50% das janelas no período de verão, obtendo os resultados da Figura 5.1.

Observa-se que na Residência 2 o número de graus-hora de resfriamento foi reduzido em até 37%, na Residência 3, reduziu 56%, e na Residência 4, 24% das horas em desconforto.

Na Residência 4, os valores de graus-hora da sala de estar e da suíte se mantiveram, pois esses ambientes já possuíam venezianas na condição real da residência.

A partir dos valores apresentados na Figura 5.1 elaborou-se a Tabela 5.2 com os níveis alcançados em cada ambiente de permanência prolongada após a presença da proteção solar nas janelas.

Figura 5.1 – Gráfico do graus-hora de resfriamento com a presença de venezianas nas janelas

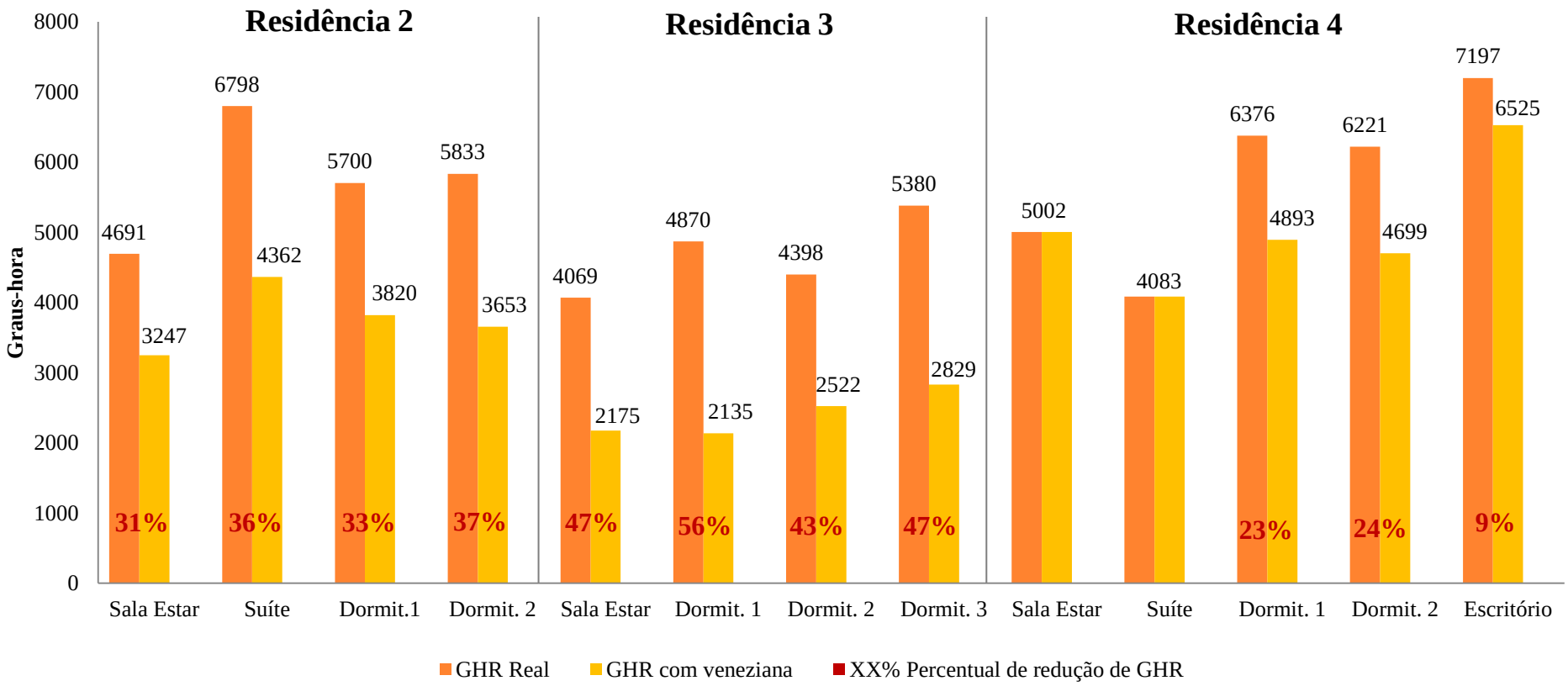


Tabela 5.2 – Graus-hora de resfriamento das Residências 2, 3 e 4 com veneziana

RESIDÊNCIA 2				
Ambiente	**GH_R Real - $EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**GH_R Com veneziana - $EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Resfr}$ com veneziana**
Sala Estar	4691 Nível C – 3	3247 Nível B – 4	61,22m²	4-B
Suíte	6798 Nível D – 2	4362 Nível B – 4	14,59m²	
Dormitório 1	5700 Nível C – 3	3820 Nível B – 4	12,11m²	
Dormitório 2	5833 Nível C – 3	3653 Nível B – 4	9,47m²	
RESIDÊNCIA 3				
Ambiente	**GH_R Real - $EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**GH_R Com veneziana - $EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Resfr}$ Com veneziana**
Sala Estar	4069 Nível B – 4	2175 Nível A – 5	26,35m²	4,70-A
Dormitório 1	4870 Nível C – 3	2135 Nível A – 5	12,05m²	
Dormitório 2	4398 Nível C – 3	2522 Nível B – 4	9,28m²	
Dormitório 3	5380 Nível C – 3	2829 Nível B – 4	7,00m²	
RESIDÊNCIA 4				
Ambiente	**GH_R Real - $EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**GH_R Com veneziana - $EqNumEnvAmb_{Resfr}$**	**AU_{amb}**	**$EqNumEnv_{Resfr}$ Com veneziana**
Sala Estar	5002 Nível C – 3	5002 Nível C – 3	24,51m²	3,07-C
Suíte	4083 Nível B – 4	4083 Nível B – 4	14,86m²	
Dormitório 1	6376 Nível C – 3	4893 Nível C – 3	11,76m²	
Dormitório 2	6221 Nível C – 3	4699 Nível C – 3	8,54m²	
Escritório	7197 Nível D – 2	6525 Nível D – 2	9,98m²	

Pode-se observar que a presença da veneziana nas janelas elevou para Nível B o equivalente numérico da envoltória para resfriamento da Residência 2 que anteriormente era Nível C.

A Residência 3 que era Nível B, alcançou Nível A e a Residência 4 manteve os mesmos níveis, porém pode-se verificar que mesmo não alterando o nível, a proteção solar reduziu em até 24% as horas em desconforto.

A permanência dos resultados da Residência 4, possivelmente estão sendo influenciados pelas características térmicas dos fechamentos opacos, que diferenciam-se das demais residências, e também pela geometria retangular compacta da edificação.

A Tabela 5.3 apresenta os resultados obtidos no método prescritivo e no método de simulação das edificações objetos de estudo, com a aplicação dos pré-requisitos e considerando o sistema de aquecimento de água e as bonificações.

Tabela 5.3 – Resultados do método prescritivo e do método de simulação

MÉTODO PRESCRITIVO							
Resid.	**Pré-req.**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{A}$**	**EqNumEnv**	**SAA**	**Bonificações**	**PT$_{UH}$**
1	Atendeu	B	B	B	E	0,56	B
2	Atendeu	B	A	B	E	0,50	B
3	Não atendeu	C	B	C	E	0,45	C
4	Não atendeu	C	B	C	E	0,40	C
MÉTODO DE SIMULAÇÃO							
Resid.	**Pré-req.**	**EqNumEnv$_{Resfr}$**	**EqNumEnv$_{A}$**	**EqNumEnv**	**SAA**	**Bonificações**	**PT$_{UH}$**
1	Atendeu	B	B	B	E	0,56	C
2	Atendeu	C	A	B	E	0,50	C
3	Não atendeu	C	B	C	E	0,45	C
4	Não atendeu	C	B	C	E	0,40	C

Conforme se observa na Tabela 5.3, com a aplicação dos pré-requisitos a Residência 3 que antes era Nível B no equivalente numérico de resfriamento, passa a ser Nível C, influenciando no nível de eficiência energética da envoltória que antes era Nível B e agora passa a ser Nível C.

A Residência 4, que também possui um ambiente que não atende aos pré-requisitos ventilação natural e iluminação natural, mantém o Nível C no equivalente numérico de resfriamento, porém esse é valor é ainda mais reduzido, não favorecendo na permanência do Nível B da eficiência energética da envoltória, portanto, o desempenho da envoltória vai para Nível C.

Esta análise permite compreender o impacto dos pré-requisitos nos resultados, sendo que os relacionados com a ventilação natural e iluminação natural interferem tanto no método prescritivo quanto no método de simulação, limitando os equivalentes dos ambientes ao Nível C. Dessa forma, para se obter um nível elevado de eficiência energética é necessário o atendimento a todos os pré-requisitos.

Considerando o SAA e as bonificações, observa-se que no método prescritivo as Residências 1 e 2 resultaram em uma pontuação total que corresponde ao Nível B e as Residências 3 e 4 em Nível C. Comparando com o método de simulação, nota-se que os valores do equivalente numérico da envoltória não foram suficientes para manter o Nível B, portanto, por esse método todas as edificações objetos de estudo obtiveram Nível C.

O nível de eficiência energética da envoltória calculado pelo método prescritivo na Residência 1 e 2 foi Nível B, igualmente ao alcançado no método de simulação. As Residências 3 e 4 pelo prescritivo resultaram em Nível C e pelo método de simulação também se obteve Nível C, mostrando conformidade entre os dois métodos.

5.2 Influência da transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absortância solar (α) dos fechamentos opacos verticais

Neste item são apresentadas as análise dos resultados da influência da transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absortância solar (α) das paredes externas sobre os valores de graus-hora de resfriamento, consumo de energia para aquecimento e refrigeração dos ambientes de permanência prolongada da Residência 1, que foi escolhida por ter atendido todos os pré-requisitos, como também obteve resultados similares pelos dois métodos.

No Apêndice C são ilustrados os valores de GH_R, C_A e C_R de cada ambiente avaliado nas condições estabelecidas para o desenvolvimento desta etapa.

A Figura 5.2 apresenta uma média dos resultados do graus-hora de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada alterando U, CT e α da parede.

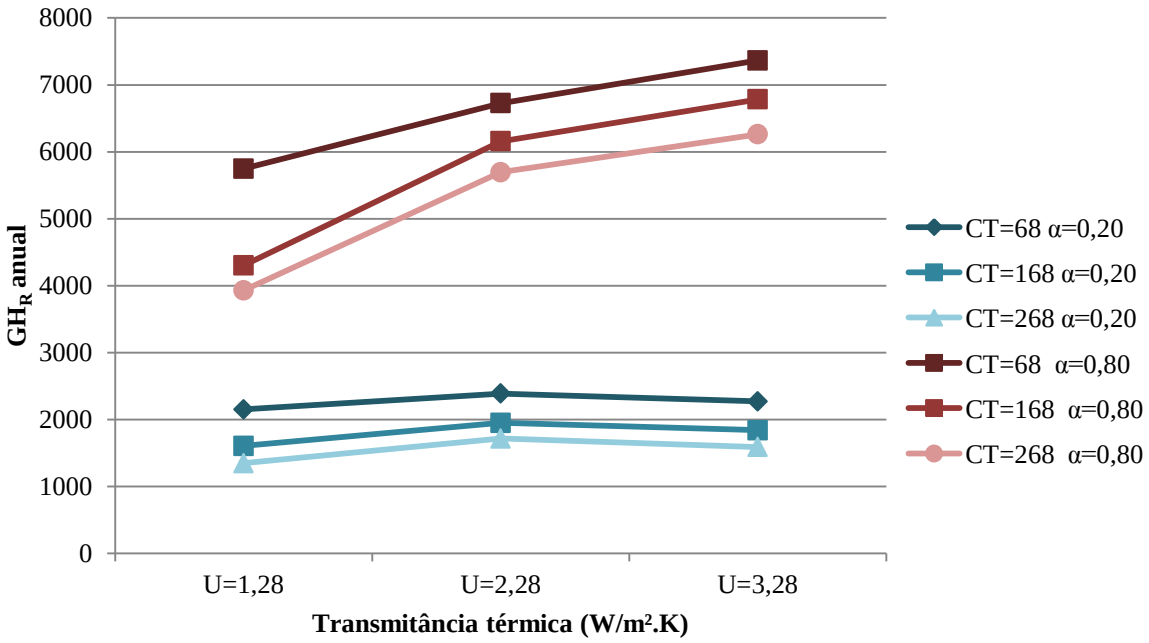


Figura 5.2 – Gráfico do graus-hora de resfriamento

Observa-se que, para todos os ambientes, a absortância de 0,20 foi a que apresentou o menor número de horas em desconforto por calor, para qualquer U e CT. Fixando o valor de 0,20 e alterando a transmitância térmica e a capacidade térmica da parede, constata-se a pouca variação do graus-hora de resfriamento.

A parede com absortância solar de 0,80 resultou nos maiores valores de GH_R, principalmente com a transmitância mais elevada. Verifica-se uma maior influência da transmitância térmica no GH_R quando a absortância é mais elevada.

A combinação de alta capacidade térmica com baixa absortância promove os menores valores de GH_R, e quanto maior a capacidade térmica da parede menos horas em desconforto por calor, para qualquer transmitância térmica e absortância solar.

A Figura de 5.3 apresenta o somatório dos resultados do consumo de energia para aquecimento dos ambientes de permanência prolongada.

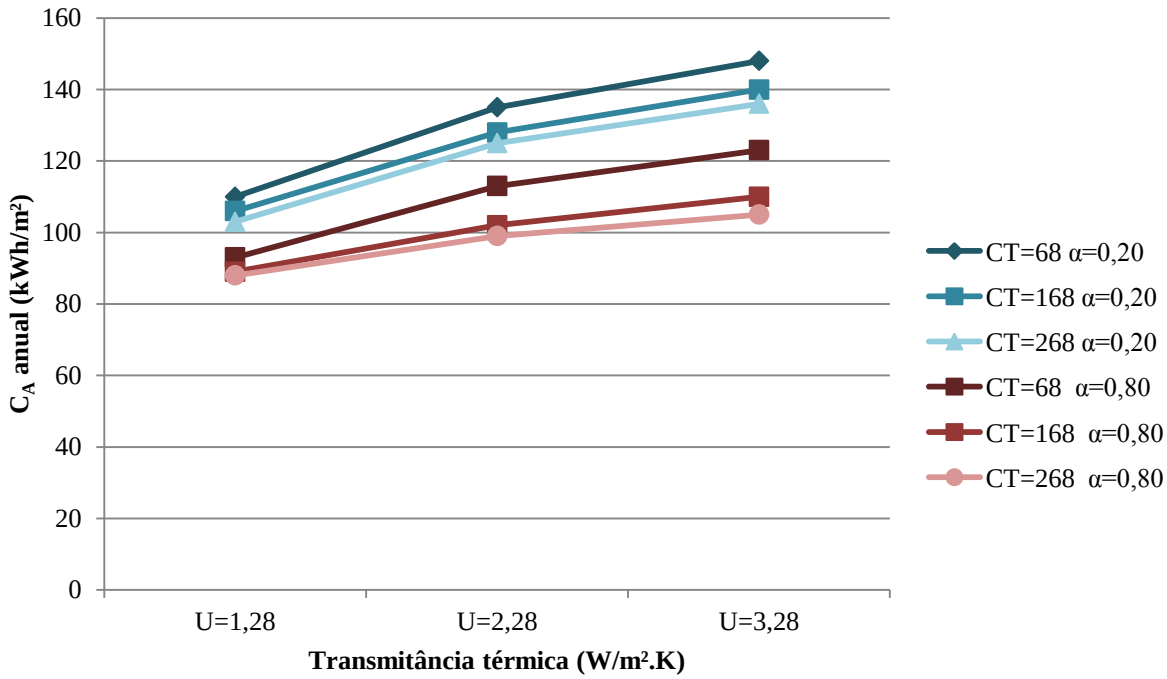


Figura 5.3 – Gráfico do consumo de energia para aquecimento

A partir dos gráficos do consumo de energia para aquecimento pode-se constatar que os menores consumos foram registrados com a transmitância de 1,28 W/(m².K) e absortância de 0,80, e os maiores consumos foram com a transmitância de 3,28 W/(m².K) e a absortância de 0,20.

Para qualquer valor de absortância solar e capacidade térmica o consumo para aquecimento é elevado com o aumento da transmitância térmica dos fechamentos opacos verticais, o que indica maiores perdas térmicas, principalmente à noite.

A Figura 5.4 apresenta o somatório dos resultados do consumo de energia para refrigeração dos ambientes de permanência prolongada.

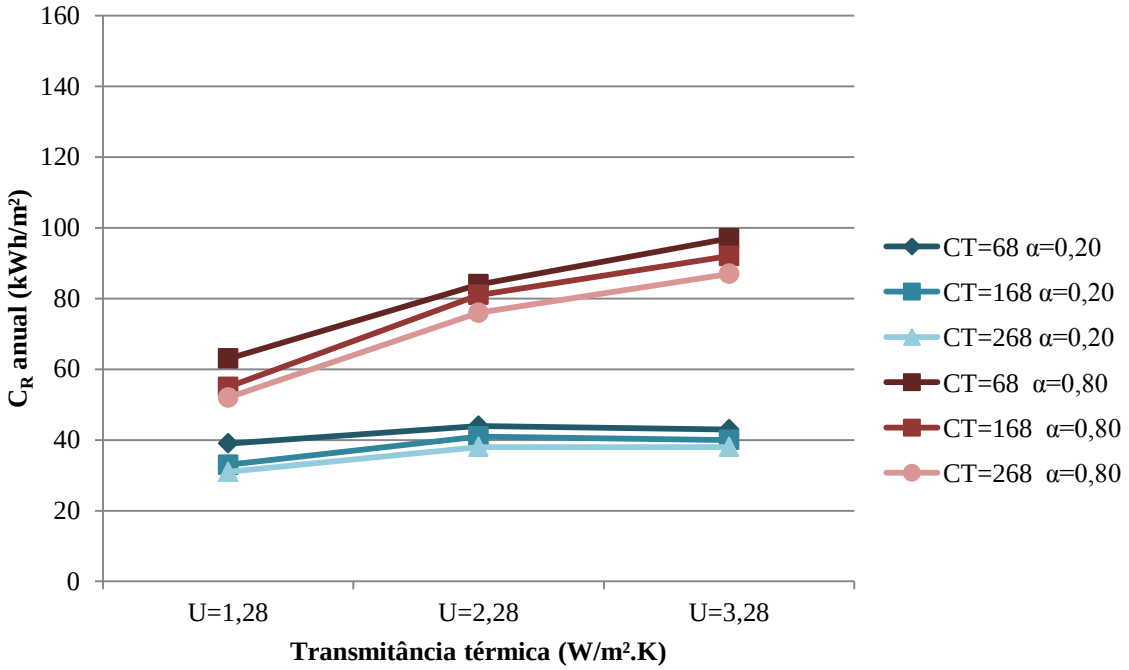


Figura 5.4 – Gráfico do consumo de energia para refrigeração

Observa-se, a partir dos gráficos, que os menores consumos são com a absortância solar de 0,20 e transmitância térmica de 1,28 W/(m².K), diferentemente da absortância de 0,80, sendo que esta maior absortância aliada a transmitância de 3,28 W/(m².K) registrou os maiores consumos de energia para refrigeração.

Verificou-se que mantendo a transmitância térmica, e aumentando a capacidade térmica do fechamento opaco vertical, para qualquer valor de U e α ocorre uma redução no consumo de energia para refrigeração, embora pouco acentuada nesse caso específico.

A Figura 5.5 apresenta a relação do C_A e do C_R através do somatório do consumo dos ambientes. Por meio dos gráficos é possível analisar que o C_R e o C_A tem variação inversa com a absortância. A baixa absortância promove alto C_A e baixo C_R, já a alta absortância ocasiona baixo C_A e alto C_R, apontando a relevância deste parâmetro nos resultados.

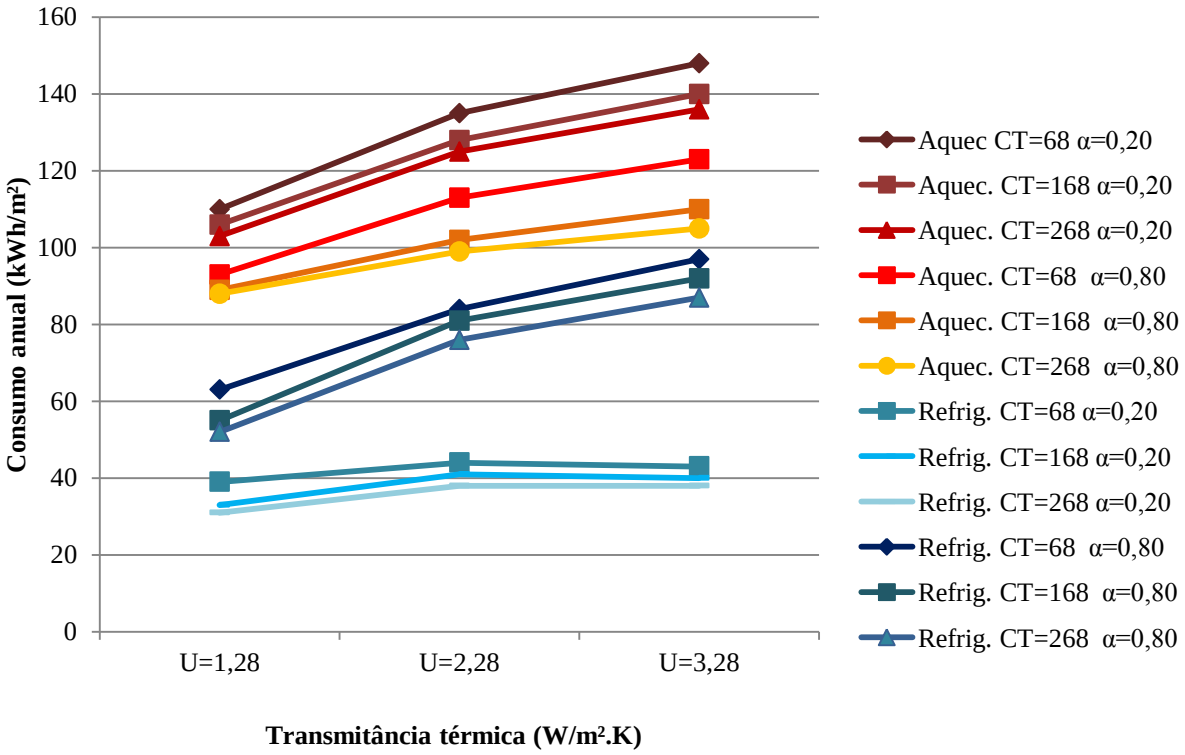


Figura 5.5 – Gráfico do consumo de energia anual com a relação do CA e CR

Dessa forma, verifica-se que esta divergência e a falta de especificação dificultam nas decisões sobre esta variável, pois no regulamento para a zona bioclimática 2 não há exigência para o valor de absortância solar.

Portanto, analisando esses resultados juntamente com os limites estabelecidos para U, CT e α dos fechamentos opacos verticais no método prescritivo, pode-se constatar que:

- Com a alta absortância solar: o GH_R e C_R apresentaram os menores valores com a redução da transmitância térmica e o aumento da capacidade térmica, confirmando as especificações do regulamento. Os resultados de C_A também apresentaram esse comportamento, confirmando os parâmetros do RTQ-R.

- Com a baixa absortância solar: o aumento da transmitância térmica se mostrou inexpressivo nos resultados de GH_R e C_R, assim como o aumento da capacidade térmica pouco reduziu os valores. Já para os resultados de C_A, com a redução da transmitância térmica e o aumento da capacidade térmica obtiveram-se os menores consumos, sendo coerente com as especificações do regulamento. A Figura 5.6 ilustra o consumo de energia total anual da edificação avaliada.

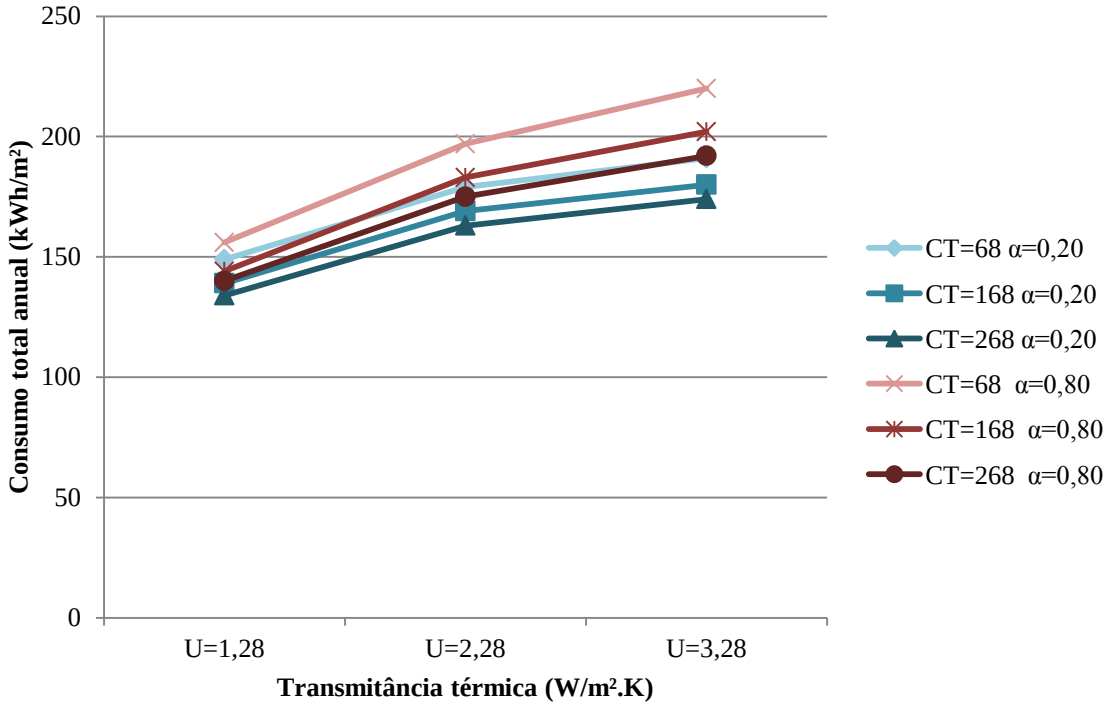


Figura 5.6 – Gráfico do consumo de energia total anual

Considerando o somatório do consumo de energia para aquecimento e refrigeração da residência analisada, observa-se que os maiores consumos são gerados com o aumento da transmitância térmica para qualquer valor de capacidade térmica e absortância solar, porém o consumo sofreu uma pequena redução com a combinação da baixa capacidade térmica e a baixa absortância solar.

Constatou-se que os menores consumos foram com a alta capacidade térmica e a baixa absortância solar, assim como os maiores consumos registrados foram com a baixa capacidade térmica e a alta absortância solar.

Comparando essas análises com os limites de transmitância térmica e capacidade térmica do RTQ-R, pode-se verificar que a baixa transmitância térmica e a alta capacidade térmica promoveram os menores consumos para qualquer absortância.

6 CONCLUSÃO

A partir da aplicação do método prescritivo e do método de simulação do RTQ-R, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência energética de edificações unifamiliares padrão normal localizadas na zona bioclimática 2 brasileira, possuindo como base de estudo a cidade de Santiago-RS.

Observou-se a ampla tendência na construção de casas com as características deste trabalho, pois o número de projetos duplicou no ano de 2011 quando comparado ao ano de 2007. Sendo que se constataram grandes semelhanças nos projetos analisados com a planta padrão normal da NBR 12721 (ABNT, 2006), portanto, acredita-se que este estudo contempla um grande número de edificações dentro da zona bioclimática estudada.

Os dois métodos do RTQ-R nortearam as avaliações das quatro edificações objetos de estudo, possibilitando a análise de cada um dos métodos, como também uma avaliação conjunta, o que facilita e potencializa a compreensão do regulamento.

Analisando a aplicabilidade do método prescritivo, verificou-se a necessidade do atendimento aos pré-requisitos para a manutenção dos níveis, sendo que a avaliação por este método é composta por variáveis e equações que acabam conferindo-o certas limitações.

O método de simulação é um processo que se aproxima mais da realidade, avaliando as diversidades do projeto, especialmente no caso da residência unifamiliar, que permite maiores possibilidades quanto à forma e a aplicação de estratégias bioclimáticas.

Constataram-se similaridades nos resultados obtidos entre o método prescritivo e o método de simulação, principalmente, no consumo de energia para aquecimento das residências, apresentando Níveis A e B, ou seja, o consumo é relativamente baixo.

Diante disso, as Residências 1 e 2 de formato retangular alongado apresentaram os melhores resultados quando comparadas com as Residências 3 e 4 de formato retangular compacto, isso reforça a ideia de que uma geometria mais alongada e associada a uma orientação solar adequada promove melhores condições de conforto térmico, pois dessa forma, os ambientes ficam mais expostos ao meio externo possibilitando um maior aproveitamento dos recursos naturais, como a iluminação natural e a ventilação natural.

Concluiu-se que as residências padrão normal avaliadas apresentaram níveis de eficiência energética satisfatórios, na medida em que não foram projetadas sob as considerações do regulamento e foram elaboradas a partir dos ideais dos profissionais da área da construção civil juntamente com os anseios dos proprietários.

Com relação à análise das influências dos pré-requisitos referentes às propriedades térmicas dos fechamentos opacos verticais, foi confirmado que os limites estabelecidos para os pré-requisitos dos fechamentos opacos verticais do RTQ-R apresentaram-se eficazes na obtenção de melhores resultados, apesar de que na situação de baixa absortância solar o aumento da transmitância térmica mostrou-se inexpressiva.

Esses fatores apontaram que os resultados foram muito sensíveis as variações da absortância solar e que se torna imprescindível maiores estudos sobre esta propriedade térmica, principalmente, quanto à sua influência no envelope das edificações.

Observou-se que a baixa absortância solar favoreceu para a redução do consumo de energia para refrigeração e do graus-hora de resfriamento, enquanto a alta absortância solar contribuiu para a diminuição do consumo de energia para aquecimento.

Portanto, os níveis baixos dos ambientes avaliados foram ocasionados pela área de superfície exposta ao exterior, a absortância solar e à falta de dispositivos de proteção solar nas áreas envidraçadas, sendo que esta última foi verificada através da análise do impacto das venezianas sob os valores de graus-hora de resfriamento, onde foi constatada a diminuição do desconforto por calor, promovendo a elevação dos níveis.

Sendo assim, o presente trabalho buscou atender aos objetivos propostos, contribuir para futuros estudos vinculados a esta temática e colaborar para a concepção de edificações mais eficientes.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

A partir deste trabalho, sugere-se o aprofundamento dos seguintes assuntos:

- Influência dos pré-requisitos na cobertura;
- Influência de diferentes dispositivos de proteção solar nos resultados do RTQ-R e na temperatura dos ambientes;
- Influência e análise de diferentes valores de absortância solar nos fechamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, S. F. (1996). **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO - ABRAVA. **Tendência de aumento no uso de ar condicionado residencial**. 2010. Disponível em: <http://www.abrava.com.br/tendencia-de-aumento-no-uso-de-ar-condicionado-residencial-deve-ser-de>. Acesso em: 03/04/12.

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

_____. **NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

_____. **NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

_____. **NBR 15220-4 – Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo principio da placa quente protegida.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

_____. **NBR 12721. Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR15575-1. Edificações habitacionais - Desempenho.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2013 – BEN. **Resultados preliminares ano base 2012**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em 06/09/12.

BARBIRATO, G. M. et al. Diretrizes Bioclimáticas para o Planejamento Urbano a partir da Aplicação de Metodologias de Análise do Clima Local. In: Congresso Planejamento Urbano Regional Integrado e Sustentável, 2010, Brasília. **Anais...** Brasília, 2010.

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares.** 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

Câmara Brasileira da Indústria e da Construção – CBIC**. NBR 15575/2013 Norma de desempenho.** 2013. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/nbr-155752013-norma-de-desempenho-edificacoes-habitacionais-passa-a-valer-e>. Acesso em: 10/06/2013.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CASTRO, A. P. A. S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E. **Edificações residenciais**. 2010. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/residencial>. Acesso em: 08/04/2012.

CRUZ, E. M. **Seleccion de materiales en la concepcion arquitectonica bioclimática**. In: Estudios de arquitectura bioclimática. Venezuela, 1999.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

_____. **Estudo de casos de Inércia Térmica de Edificações na cidade de São Carlos, SP**. 2004. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações. In: X Congresso Internacional de Tintas, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRAFATI, 2007.

FEDRIGO, N. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uso finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. **Anais...** Natal: ENCAC, 2009, v.1.p.1-100.

FONSECA et al. Reflexões sobre a experiência de aplicação do regulamento técnico para avaliação da eficiência energética em apartamento no RJ. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** ENTAC, 2012.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GELLER, H.; POOLE, A. D. **O novo mercado de serviços de eficiência energética no Brasil.** 1997. Disponível em: <http://www.inee.org.br/down_loads/escos/escomerc.pdf>. Acesso em 06/02/12.

GONÇALVES et al. **Ambiente construído, clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa**. Lisboa, INETI, 2004.

GOULART, S. et al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico.** 1994. Disponível: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/Relatórios pesquisa/RP_Bioclimatologia.pdf>. Acesso em 06/02/12.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas edificações e no espaço urbano.** Apostila - Disciplina Desempenho Térmico de Edificações - ECV5161, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – Método Prescritivo.** Brasil, 2009.

_____. INMETRO. **Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R.** Brasil, 2012.

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LABEEE. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros (Anexo V)**. 2013. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/AnexoVRAC_CatalogoPropriedades Termicas%20v03SET2013.pdf>. Acesso em: 10/09/2013.

_____. **Relatório Técnico da Base de Simulações para o RTQ-R.** 2011. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/desenvolvimento/SORGATO_2011_Relatorio%20Tecnico%20da%20Base%20de%20Simulacoes%20para%20o%20RTQR.pdfSORGATO_2011_Relatorio%20Tecnico%20da%20Base%20de%20Simulacoes%20para%20o%20RTQ-R.pdf >. Acesso em: 07/09/2013.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2 ed. São Paulo: ProLivros, 2004.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. **Projeto Tecnologias para Construção Habitacional mais Sustentável: Documento Levantamento do estado da arte: Energia.** Projeto Finep 2386/04. São Paulo, 2007.

MARIN, P.; AMORIM, C. N. D. Estratégias para a eficiência energética de residências unifamiliares na serra gaúcha: uma análise baseada no RTQ-R**.** In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** ENTAC, 2012.

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

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Empresa de pesquisa energética – EPE.** 2010. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20201008_4.pdf. Acesso em 06/02/12.

_____. **Plano de ação para incentivo ao uso de aquecedores solares**. 2010b. Disponível em: <http://api.ning.com/files/Q1K5EZlBBKzp5fprTE8qMRDjcCj*y1c66fJq30IB5vOgMIrPWEJgrmgX4O-FqrCEIdbeA6UYeMf7idBdG*g8edcoYgHLt/PRODUTOIIISOLARBRASILV30082007minutafinal.pdf>. Acesso em 06/02/12.

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

OLIVEIRA, L. S. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2**. 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

PROCEL EDIFICA. **Eficiência Energética nas Edificações.** 2006. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br. Acesso em 06/02/12.

POUEY, J. A. **Projeto de edificação residencial unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com avaliação termo energética por simulação computacional.** 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

RORIZ, M. Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC**, São Paulo, jan. 2012.

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SANTOS, J. C. P dos. **Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar.** 2002. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

VENANCIO, R.; PEDRINI, A.; LIMA, C. Caracterização de variáveis de ocupação da reitoria da UFRN através do monitoramento de temperaturas internas e consumo energético In: ENCAC–ELACAC – Encontro Nacional, 9., e Encontro latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 4., Ouro Preto **Anais**... Ouro Preto: ANTAC, 2007. p. 1.973-1.981.

ZÓFOLI, G. R. **Contribuição termo-energética dos fechamentos transparentes em edifícios comerciais climatizados artificialmente em Santa Maria-RS**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Preservação Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tipologias dos anos de 2007 a 2011

ANO 2007							
Ident.	m²	N° Pavim.	N° Dormit.	Suíte	Banho	Garagem	Considera
1	146,70	1	3	X	2		
2	89,78	1	2		1		
3	99,73	1	3	X	2		
4	99,94	1	3	X	2	X	X
5	140,00	1	3		1	X	
6	81,00	1	3	X	2	X	X
7	99,78	1	3		1	X	
8	100,00	1	2	X	2		
9	98,70	1	2		1	X	
10	100,88	1	3		1		
11	144,47	2	3	X	2	X	
12	111,96	1	3	X	2	X	X
13	99,64	1	2	X	2	X	
14	93,74	1	3		2	X	
15	165,87	1	3	X	2	X	X
16	80,27	1	2		3	X	
17	120,74	2	1		1	X	
18	84,07	1	2		1	X	
19	95,75	1	2		1		
20	132,80	2	3	X	3	X	
21	93,30	1	2		1		
22	85,50	1	2		1		
23	147,98	2	2		1	X	
24	133,04	2	2		2		
25	93,89	1	2		1	X	
26	134,30	2	3	X	2	X	
27	87,25	1	2		1	X	
28	98,55	1	3		1	X	
29	108,00	1	3		1		
TOTAL ATENDE PROJETO-PADRÃO							**4**

ANO 2008							
Ident.	m²	N° Pavim.	N° Dormit.	Suíte	Banho	Garagem	Considera
1	161,43	1	3		1	X	
2	167,31	1	3	X	2	X	X
3	92,05	1	2		1	X	
4	120,66	2	2		2		
5	81,31	1	2	X	2	X	
6	99,95	1	2		1	X	
7	156,93	1	3		1		
8	139,84	1	3	X	2	X	X
9	143,48	1	3		1	X	
10	95,07	1	3		1		
11	112,64	1	3		1	X	
12	97,00	1	3	X	2		
13	155,00	1	3	X	2	X	X
14	133,14	1	2		1		
15	81,50	1	3		1	X	
16	82,00	1	2		1	X	

(continua)

17	162,58	1	3	X	2	X	X
18	87,00	1	3		1		
19	99,96	1	3	X	2	X	X
20	140,40	1	3	X	2	X	X
21	83,82	1	2		1	X	
22	125,76	1	3		1	X	
23	99,78	1	3		1	X	
24	128,34	2	3		2	X	
25	132,04	2	3	X	3	X	
26	87,68	1	2		1	X	
27	125,45	1	3		1	X	
28	129,67	1	3		1	X	
29	97,49	1	2		1	X	
30	137,66	2	2	X	2	X	
31	114,00	1	3	X	2	X	X
32	112,90	1	2	X	2		
33	125,64	2	2	X	2	X	
34	96,83	1	3		1	X	
35	99,90	1	3	X	2	X	X
36	141,15	1	3		1	X	
37	121,46	1	2		1	X	
TOTAL ATENDE PROJETO-PADRÃO							**8**

ANO 2009							
Ident.	m²	N° Pavim.	N° Dormit.	Suíte	Banho	Garagem	Considera
1	118,74	1	2		1	X	
2	111,62	1	1	X	1	X	
3	117,60	1	3	X	2	X	X
4	85,80	1	3		1	X	
5	92,28	1	2	X	1		
6	99,19	1	3	X	2		
7	99,69	1	3		2	X	
8	157,06	1	2		1	X	
9	89,35	1	2		1		
10	100,00	1	3	X	2	X	X
11	107,45	1	3	X	2	X	X
12	165,86	1	3	X	2	X	X
13	129,00	1	3	X	2	X	X
14	140,00	1	2	X	2	X	
15	92,50	1	2	X	2		
16	92,70	1	2	X	2	X	
17	99,14	1	3		1		
18	100,00	1	3		1	X	
19	99,78	1	2		1	X	
20	95,68	1	3	X	2	X	X
21	139,30	1	3	X	2	X	X
22	125,65	1	3	X	2	X	X
23	94,31	1	2		1	X	
24	133,66	1	3	X	2	X	X
25	83,00	1	3		1		
26	160,00	2	4		2		
27	89,30	1	2	X	2	X	
28	163,94	1	3	X	2	X	X

(continua)

29	155,41	2	3	X	2	X	
30	156,60	1	3	X	2	X	X
31	109,72	1	3	X	2		
32	99,40	2	1	X	2	X	
33	94,61	1	2		1	X	
34	113,53	1	3		1		
35	98,00	1	3	X	2	X	X
36	132,70	1	3		1	X	
37	91,60	1	3		1	X	
38	121,14	1	3	X	2	X	X
39	99,73	1	3	X	2		
40	88,25	1	2		1	X	
41	145,38	1	3		1	X	
42	148,15	1	2		1	X	
43	106,45	1	3	X	2	X	X
44	96,05	1	2		1	X	
TOTAL ATENDE PROJETO-PADRÃO							**14**

ANO 2010							
Ident.	m²	N° Pavim.	N° Dormit.	Suíte	Banho	Garagem	Considera
1	82,41	1	2	X	2		
2	156,27	1	3	X	2	X	X
3	80,00	1	2		2		
4	126,76	1	3		1		
5	145,96	1	3		2	X	
6	82,85	1	2		1	X	
7	82,00	1	3	X	2		
8	95,52	1	3		1	X	
9	83,15	1	2		1		
10	84,02	1	2		1		
11	99,88	1	3	X	2	X	X
12	89,70	1	2		1		
13	92,84	1	2		2	X	
14	130,96	1	3		1	X	
15	98,56	1	3		1		
16	89,26	1	2		1		
17	85,42	1	2		1	X	
18	94,37	1	2	X	2		
19	120,12	1	3		1	X	
20	85,00	1	2		2		
21	98,00	1	3	X	2		
22	131,00	1	3	X	2	X	X
23	89,98	1	2		1		
24	89,00	1	3	X	2		
25	85,00	1	3		1		
26	114,15	1	3	X	2	X	X
27	148,00	2	3		2	X	
28	128,55	1	3		2	X	
29	101,00	1	3		2		
30	120,00	1	3		2	X	
31	97,71	1	2	X	2	X	
32	123,37	1	3		1	X	
33	86,54	1	3	X	2		

(continua)

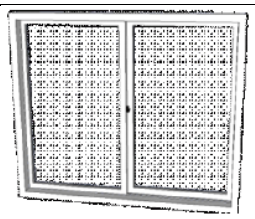
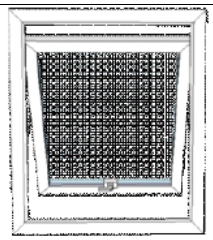
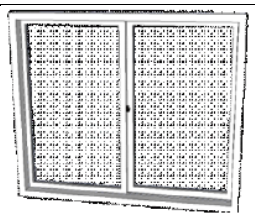
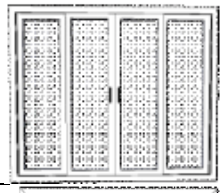
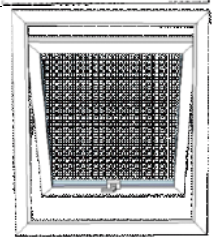
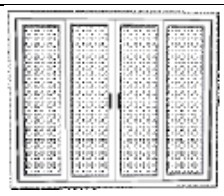
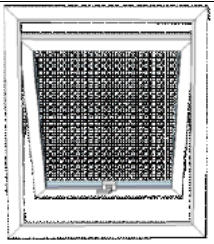
34	103,45	1	2	X	2		
35	147,00	1	3	X	2	X	X
36	142,05	1	3		2	X	
37	109,89	1	3	X	2	X	X
38	83,89	1	3	X	2		
39	110,25	1	2	X	2	X	
40	120,00	1	3	X	2	X	X
41	146,90	1	2	X	2	X	
42	125,20	2	3	X	2		
43	112,75	1	2	X	2	X	
44	97,80	1	3		1	X	
45	134,07	1	3		1	X	
46	108,76	1	2	X	2	X	
47	166,00	1	2	X	2		
48	90,00	1	3		1	X	
49	110,54	1	2		1	X	
50	129,30	1	3	X	2	X	X
TOTAL ATENDE PROJETO-PADRÃO							**8**

ANO 2011							
Ident.	m²	N° Pavim.	N° Dormit.	Suíte	Banho	Garagem	Considera
1	156,30	1	2		1	X	
2	128,11	1	1		1	X	
3	110,50	1	3	X	2	X	X
4	104,69	1	3	X	2		
5	143,46	1	1		1	X	
6	99,73	1	3	X	2		
7	99,36	1	3	X	2		
8	87,79	1	2		1	X	
9	122,63	1	3	X	2	X	X
10	98,00	2	2		2		
11	82,49	1	2		1		
12	168,65	1	3	X	2	X	X
13	87,75	1	2		1	X	
14	89,95	1	3	X	2	X	X
15	129,22	1	2		1	X	
16	129,80	1	3	X	2	X	X
17	141,70	2	3	X	2		
18	115,00	1	2		1	X	
19	150,00	1	2		1	X	
20	144,60	1	3	X	2	X	X
21	97,70	1	3		1		
22	111,79	1	3	X	2		
23	106,00	1	3	X	2		
24	130,00	1	2	X	2	X	
25	169,86	1	2		1	X	
26	96,49	1	3		1		
27	109,23	1	2	X	1	X	
28	134,90	2			2	X	
29	81,81	1	2		2		
30	110,80	2	3	X	2		
31	137,13	1	3	X	2	X	X
32	95,65	1	3		1	X	

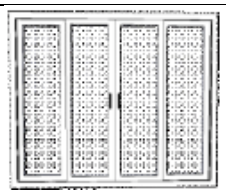
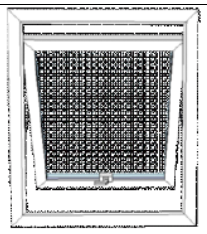
(continua)

33	136,54	1	3		1		
34	96,60	1	2		1	X	
35	83,52	2	2		1		
36	90,00	1	3		1	X	
37	91,45	1	2	X	2		
38	112,00	1	3		1	X	
39	108,94	1	3	X	2	X	X
40	141,79	2	3		1	X	
41	114,75	1	3		1		
42	132,75	1	3	X	2	X	X
43	96,00	1	2		1	X	
44	124,41	1	2		1		
45	94,48	1	2		1	X	
46	163,56	2	3		2		
47	146,61	1	3	X	2	X	X
48	96,76	1	2	X	2		
49	113,00	1	3	X	2	X	X
50	106,40	1	2	X	2	X	
51	100,20	1	2	X	2		
52	162,00	1	2	X	2	X	
53	99,80	1	3	X	2		
54	158,02	1	1	X	1	X	
55	92,06	1	3		1		
56	115,06	1	2		1	X	
57	114,25	1	2		1		
58	88,80	1	3	X	2		
59	94,50	1	3		1		
60	112,55	1	2	X	2		
TOTAL ATENDE PROJETO-PADRÃO							**11**

APÊNDICE B – Tipos de janelas das residências

	Imagem	Tipo de janela	% Abertura para iluminação	% Abertura para ventilação
Residência 1		De correr (ou deslizante) 2 folhas *Todos os ambientes, na suíte e cozinha porta janela	80	45
		Maxim-ar (abertura 90°) *Banho	80	80
Residência 2		De correr (ou deslizante) 2 folhas *Cozinha	80	45
		De correr (ou deslizante) 4 folhas (2 móveis e 2 fixas) *Todos os ambientes	70	40
		Maxim-ar (abertura 90°) *Sala de Estar e Banho	80	80
Residência 3		De correr (ou deslizante) 4 folhas (2 móveis e 2 fixas) *Todos os ambientes	70	40
		Maxim-ar (abertura 90°) *Banho	80	80

(continua)

Residência 4		De correr (ou deslizante) 4 folhas (2 móveis e 2 fixas) *Todos os ambientes	70	40
		Maxim-ar (abertura 90°) *Banho	80	80

* Ambiente de localização da janela

Fonte: Adaptado de INMETRO (2012, p. 134).

APÊNDICE C – GH_R, C_A e C_R dos ambientes avaliados – Residência 1

GRAUS-HORA DE RESFRIAMENTO													
SALA													
		CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**
	U*	**68**	**0,20**	**68**	**0,80**	**168**	**0,20**	**168**	**0,80**	**268**	**0,20**	**268**	**0,80**
GH_R	**1,28**	2014		4350		1494		3532		1238		3193	
	2,28	2294		5702		1847		5133		1615		4716	
	3,28	2176		6190		1750		5648		1500		5191	
SUÍTE													
GH_R	**1,28**	1503		4618		1069		3834		847		3500	
	2,28	1760		6162		1422		5687		1247		5265	
	3,28	1758		6891		1401		6387		1197		5897	
DORMITÓRIO (9,00m²)													
GH_R	**1,28**	2316		5197		1733		4281		1464		3873	
	2,28	2561		6740		2098		6135		1861		5690	
	3,28	2391		7369		1958		6759		1706		6242	
DORMITÓRIO (7,00m²)													
GH_R	**1,28**	2777		6657		2128		5572		1838		5156	
	2,28	2940		8301		2434		7674		2146		7114	
	3,28	2755		9015		2253		8339		1954		7721	

CONSUMO DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO													
SALA													
		CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**
	U*	**68**	**0,20**	**68**	**0,80**	**168**	**0,20**	**168**	**0,80**	**268**	**0,20**	**268**	**0,80**
C_A	**1,28**	50,463		46,030		49,616		45,203		49,133		44,873	
	2,28	57,153		52,300		55,223		49,213		54,496		48,170	
	3,28	61,036		55,230		58,853		51,700		57,880		50,240	
SUÍTE													
C_A	**1,28**	20,033		16,056		19,143		15,313		18,710		14,920	
	2,28	25,353		20,526		24,096		18,583		23,626		18,016	
	3,28	28,570		22,976		26,856		20,390		26,156		19,483	

(continua)

	DORMITÓRIO (9,00m²)						
C_A	**1,28**	17,413	14,330	16,440	13,453	15,980	13,056
	2,28	23,133	17,626	21,976	16,146	21,396	15,600
	3,28	26,360	19,366	24,056	17,510	23,363	16,780
	DORMITÓRIO (7,00m²)						
C_A	**1,28**	21,950	16,146	20,756	15,396	19,626	14,910
	2,28	29,186	22,076	26,313	18,516	25,563	17,553
	3,28	32,496	24,973	29,920	20,476	28,850	18,913

CONSUMO DE ENERGIA PARA REFRIGERAÇÃO													
	SALA												
		CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**	**CT**	**α**
C_R	**U***	**68**	**0,20**	**68**	**0,80**	**168**	**0,20**	**168**	**0,80**	**268**	**0,20**	**268**	**0,80**
	1,28	7,810		11,796		6,698		10,203		6,229		9,625	
	2,28	9,029		15,800		8,101		14,501		7,505		13,545	
	3,28	9,105		17,952		8,178		16,469		7,509		15,367	
	SUÍTE												
C_R	**1,28**	6,730		12,465		5,643		10,738		5,272		10,189	
	2,28	7,767		16,574		7,396		16,527		6,861		15,672	
	3,28	7,985		19,472		7,712		19,218		7,160		18,352	
	DORMITÓRIO (9,00m²)												
C_R	**1,28**	10,810		17,458		9,418		15,429		8,861		14,720	
	2,28	12,621		23,112		11,796		22,098		11,090		21,036	
	3,28	12,661		26,527		11,294		25,105		10,512		23,774	
	DORMITÓRIO (7,00m²)												
C_R	**1,28**	13,174		21,709		11,261		18,800		10,189		17,912	
	2,28	14,327		28,454		13,236		27,592		12,407		26,210	
	3,28	13,712		32,989		13,225		31,352		12,400		29,876	

* Transmitância térmica (U) em [W/(m².K)]

** Capacidade térmica (CT) em [kJ/(m².K)]

ANEXOS

ANEXO A – Carta solar de Caxias do Sul

FACHADA NORTE	Caxias do Sul			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA OESTE	Caxias do Sul			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
75°	--	--	30°	30°
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA SUDESTE	Caxias do Sul			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

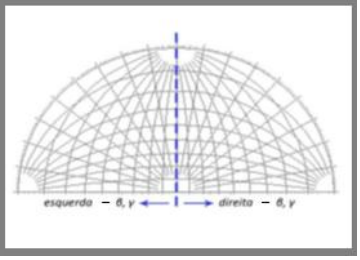
FACHADA SUL	Caxias do Sul			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA NORDESTE	Caxias do Sul			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

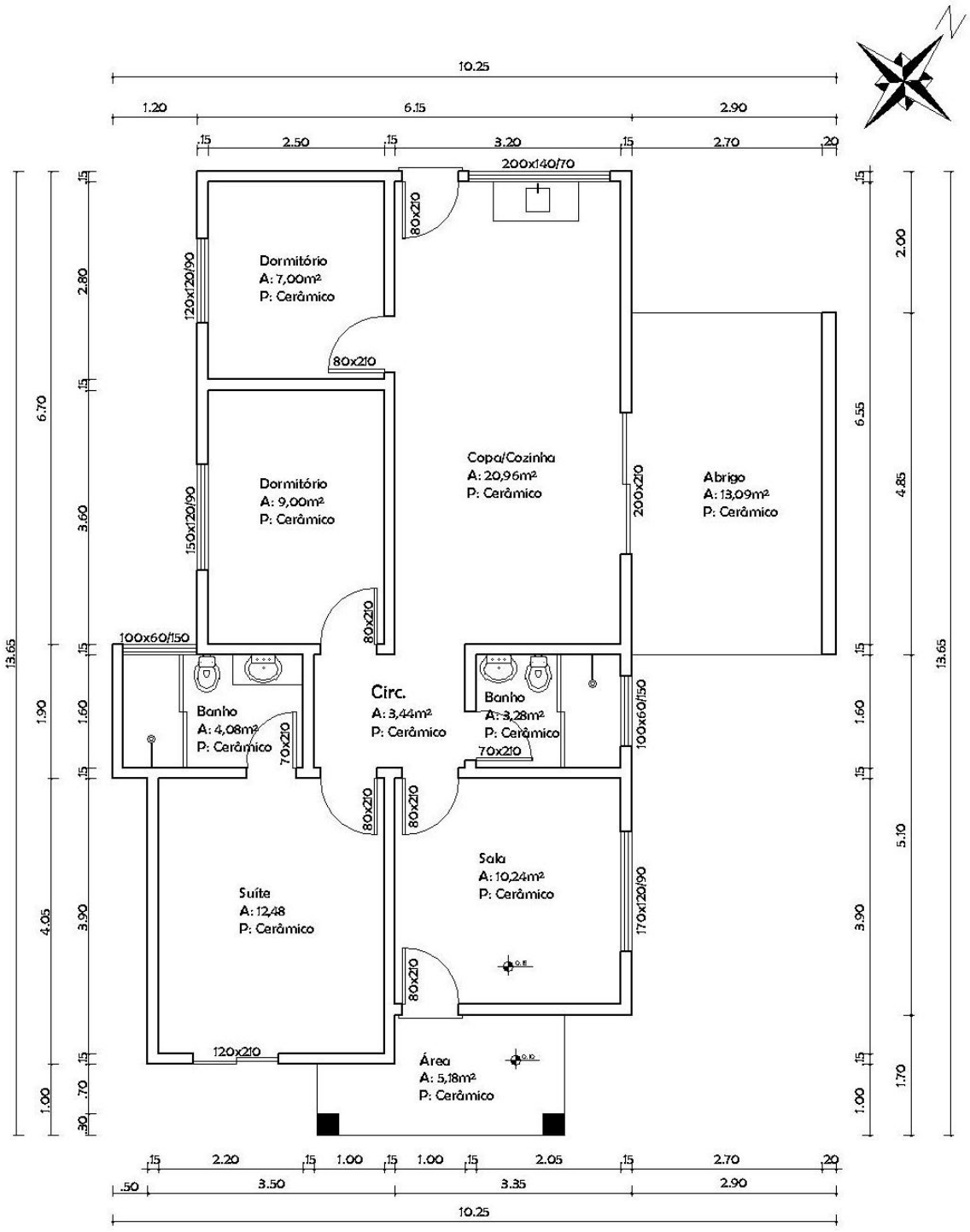
FACHADA NOROESTE	Caxias do Sul			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
70°	--	--	20°	30°
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA LESTE	Caxias do Sul			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

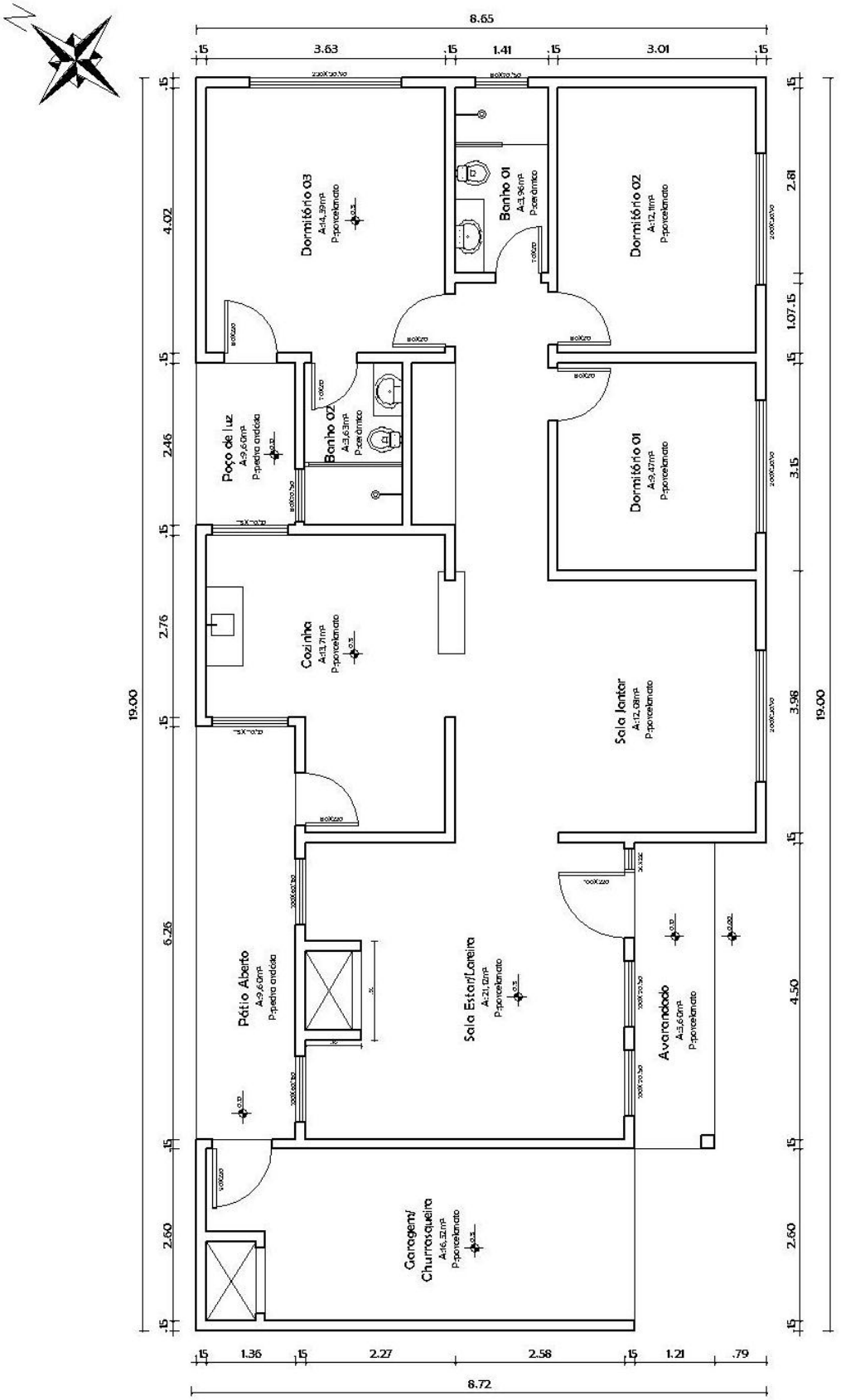
FACHADA SUDOESTE	Caxias do Sul			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--



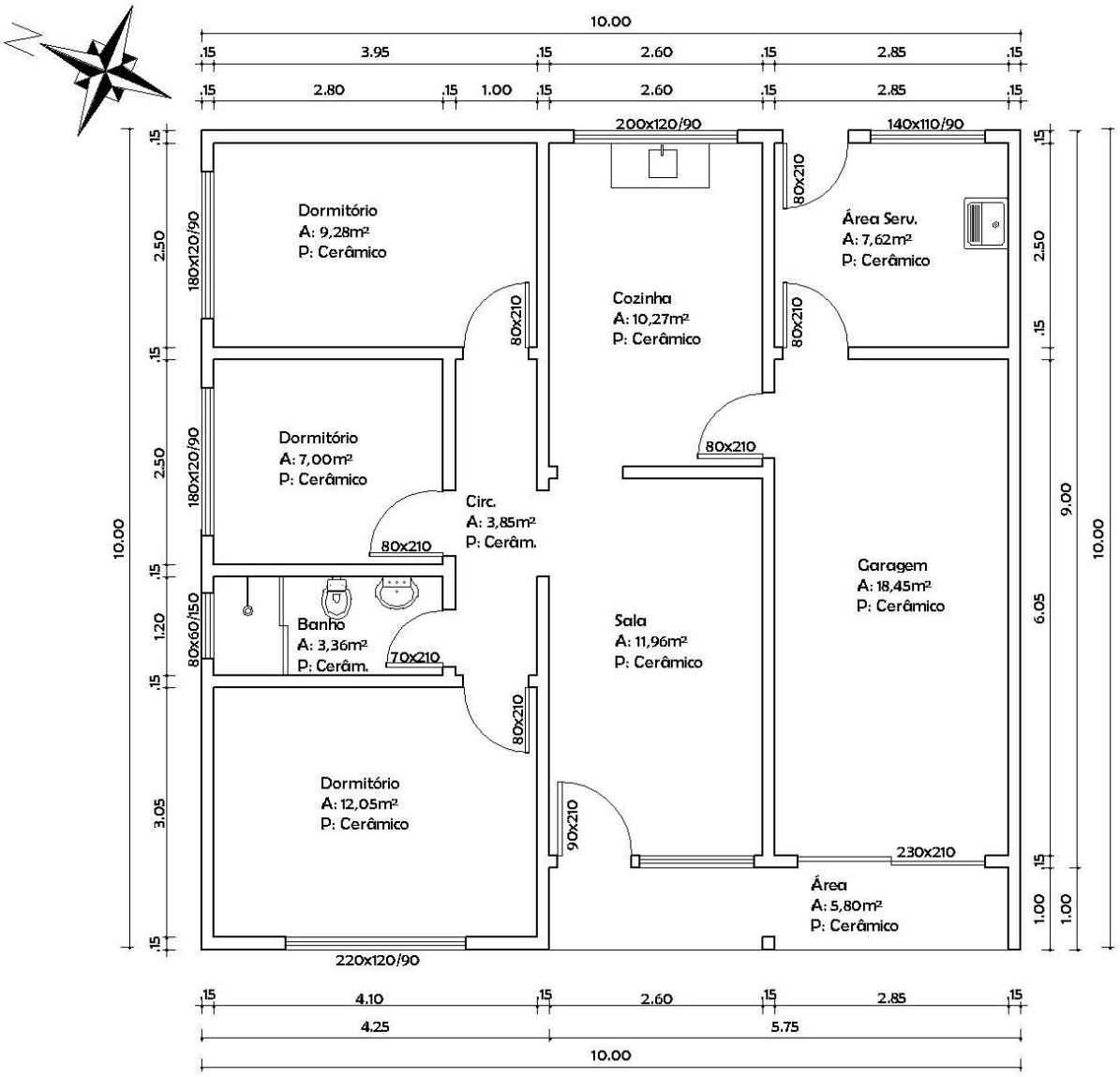
ANEXO B – Planta baixa das residências



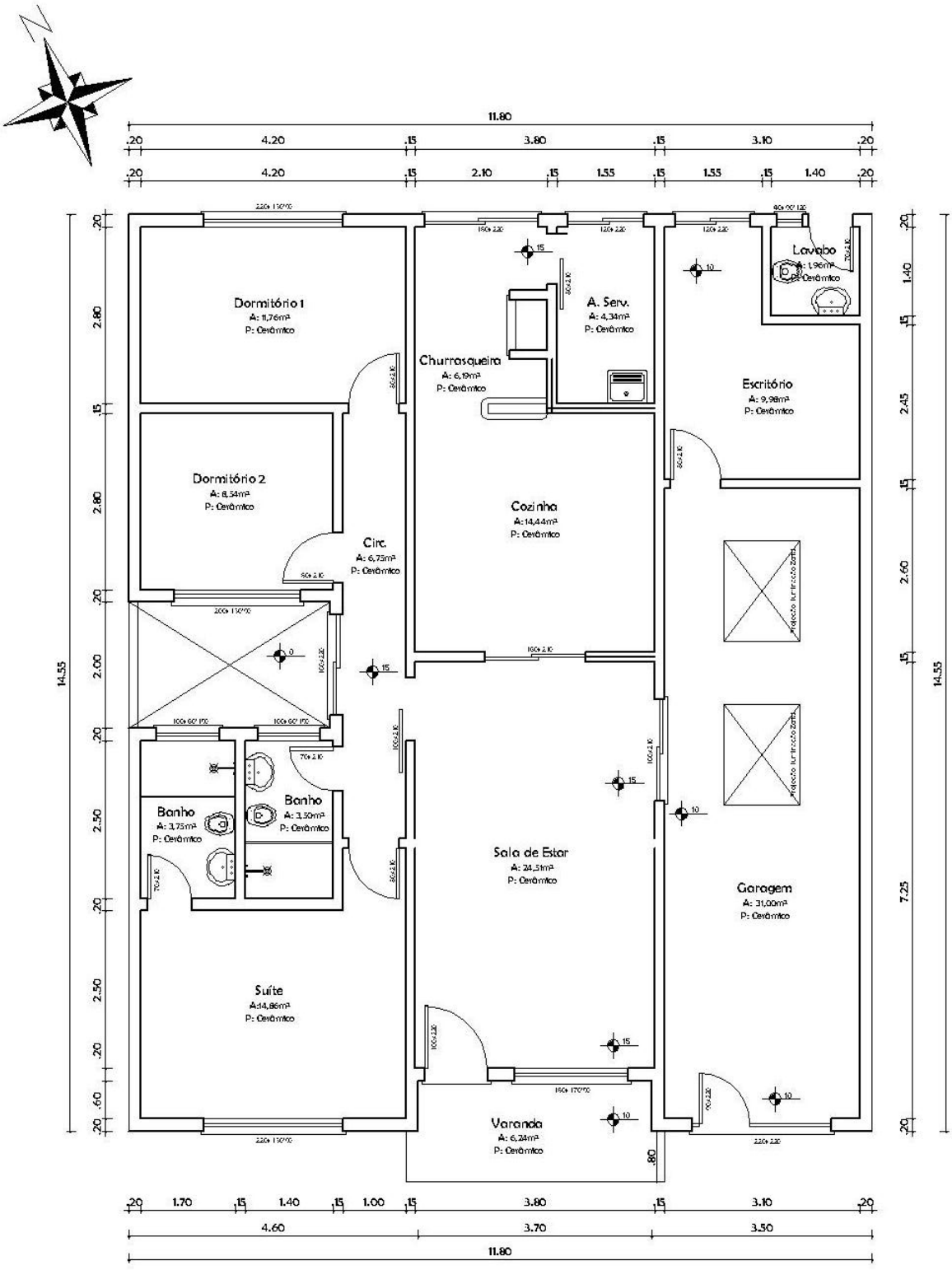
Planta baixa - Residência 1
A: 99,88m²



Planta baixa - Residência 2
A: 142,05m²



Planta baixa - Residência 3
A: 100,00m²



Planta baixa - Residência 4
A: 1685,65m²