

CAROLINA DE PAULA TELLES

PROPOSTA DE SIMPLIFICAÇÃO DO RTQ-R

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

T274p
2016 Telles, Carolina de Paula, 1989-
 Proposta de simplificação do RTQ-R / Carolina de Paula
 Telles. – Viçosa, MG, 2016.
 xv, 118f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Inclui apêndices.

Orientador: Joyce Correna Carlo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Arquitetura e conservação de energia. 2. Arquitetura de
habitação. 3. Energia- Conservação. 4. Energia elétrica.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Arquitetura
e Urbanismo. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e
Urbanismo. II. Título.

CDD 22. ed. 720.472

CAROLINA DE PAULA TELLES

PROPOSTA DE SIMPLIFICAÇÃO DO RTQ-R

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 9 de junho de 2016.



Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá



Roberta Vieira Gonçalves de Souza



Jôyce Correna Carlo
(Orientadora)

Aos meus pais,
pelo amor, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que foram meu porto seguro ao longo deste percurso.

À minha orientadora Joyce, pelos ensinamentos, pelas oportunidades, e pelas preciosas contribuições que permitiram constuir este trabalho e me aprimorar como pesquisadora.

Aos professores da qualificação, por gentilmente aceitarem participar e contribuir na etapa final deste trabalho.

Aos amigos do Latecae e do mestrado pelas conversas e conteúdos compartilhados, em especial a Ana Flávia, Iris, Ítalo e Renan por todo auxílio e contribuições com este trabalho.

Aos professores do PPGAU/UFV, pelos conhecimentos transmitidos.

A toda equipe da secretaria do PPGAU pelo suporte.

Aos amigos, primos e a Chepa, pela amizade e pelo apoio, em especial Liliane e Janaina pelas trocas de experiências.

À FAPEMIG pelo estímulo ao desenvolvimento desta pesquisa por meio da Bolsa Fortis e financiamento da pesquisa.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE QUADROS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	X
RESUMO	XIII
ABSTRACT.....	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1. 1 Objetivos	4
1. 2 Hipótese e pressuposto	5
1. 3 Método da dissertação	5
1. 4 Estrutura da Dissertação	6
Referências Bibliográficas.....	7
2. DEFINIÇÃO DE MODELOS REPRESENTATIVOS DAS EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS BRASILEIRAS EXISTENTES	10
2. 1 Introdução.....	11
2. 2 Objetivo	12
2. 3 Determinação de modelos de referência.....	12
2. 4 Dados nacionais existentes	14
2. 5 Método.....	18
2.5.1. Levantamento das características externas de edificações residenciais existentes	19
2.5.2. Método de definição de modelos representativos de unidades habitacionais autônomas.....	22
2. 6 Resultados	22
2.6.1. Características externas representativas	22
2.6.2. Modelos representativos de unidades habitacionais autônomas.....	29
2. 7 Considerações finais.....	35
Referências bibliográficas	36
3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS TERMOFÍSICOS DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R	39
3. 1 Introdução.....	40
3.1. 1 Análise de sensibilidade	41

3.1. 2	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)	42
3. 2	Objetivo	45
3. 3	Método.....	45
3.3. 1	Definição da amostra.....	46
3. 4	Resultados e discussão	50
3. 5	Considerações finais	57
	Referências Bibliográficas.....	58
4.	PROPOSTA DE SIMPLIFICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO PRESCRITIVO DO RTQ-R	60
4.1	Introdução.....	60
4.2	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais	62
4.3	Propostas de simplificação do procedimento para determinação da eficiência	63
4.3.1	Envoltória da UH naturalmente ventilada.....	64
4.4	Considerações finais	79
	Referências Bibliográficas.....	80
5.	CONCLUSÕES FINAIS.....	83
5.1.	Limitações do trabalho	84
5.2.	Recomendações para trabalhos futuros	85
	APÊNDICE	86
	Apêndice A – Definição da composição da amostra de edificações residenciais ..	86
	Apêndice B – Tabela de modelos de esquadrias levantadas	88
	Apêndice C – Tabelas de percentuais de ocorrência de cada parâmetro em unidades residenciais unifamiliares.....	90
	Apêndice D – Tabelas de percentuais de ocorrência de cada parâmetro em unidades residenciais multifamiliares.....	92
	Apêndice E – Representatividade dos modelos de esquadria nas residências brasileiras existentes.....	94
	Apêndice F – Equações simplificadas para o cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento e consumo relativo para aquecimento em unidade habitacional autônoma de edificação unifamiliar	95
	Apêndice G – Equações simplificadas para o cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento e consumo relativo para aquecimento em unidade habitacional autônoma de edificação multifamiliar	102

Apêndice I – EqNumEnv obtidos pelos casos avaliados pelo método prescritivo atual e método prescritivo simplificado	111
Apêndice J – Método simplificado proposto para dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água.....	113
ANEXOS	116
Anexo A – Tabela base para definição de valores de absorptância solar de tintas	116
Anexo B – Tabela de modelos de esquadrias do RTQ-R.....	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação percentual do número de amostras por Zona Bioclimática.....	20
Figura 2 – Características das edificações unifamiliares por Zona Bioclimática: (a) volume e (b) área de fachada principal	25
Figura 3 – Características das edificações unifamiliares por Zona Bioclimática: (a) da absorvência solar e (b) percentual de abertura da fachada principal	26
Figura 4 – Características das edificações multifamiliares por Zona Bioclimática: (a) volume e (b) área de fachada principal	28
Figura 5 – Características das edificações multifamiliares por Zona Bioclimática: (a) da absorvência solar e (b) percentual de abertura da fachada principal.....	28
Figura 6 – Planta do Modelo 1	30
Figura 7 – Planta do Modelo 2	30
Figura 8 – Planta do Modelo 3.....	31
Figura 9 – Planta do Modelo 4.....	31
Figura 10 – Planta do Modelo 5.....	32
Figura 11 – Planta do Modelo 6.....	32
Figura 12 – Planta do Modelo 7.....	33
Figura 13 – Planta do Modelo 8.....	33
Figura 14 – Paredes dos modelos representativos.....	34
Figura 15 – Cobertura dos modelos representativos	34
Figura 16 – Distribuição de probabilidades utilizadas	46
Figura 17 – Distribuição de probabilidades dos parâmetros solo e pé-direito.....	47
Figura 18 – Coeficientes de correlação parcial das variáveis de área de abertura para os indicadores de consumo da ZB1.....	56
Figura 19 – Nível de eficiência energética da envoltória da UH obtido para a ZB4 .	70
Figura 20 – EqNumEnv obtidos pelos casos avaliados da ZB4	71
Figura 21 – Relação entre fração solar anual (F) e fração solar média (FS).....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos domicílios brasileiros por décadas	15
Tabela 2 – Percentual de tipologias levantadas por Zona Bioclimática.....	22
Tabela 3 – Características externas representativas por Zona Bioclimática e tipologia	24
Tabela 4 – Percentual de tipologias do pavimento térreo de unidades multifamiliares levantadas por Zona Bioclimática.....	26
Tabela 5 – Detalhes dos modelos representativos.....	29
Tabela 6 – Variáveis independentes.....	49
Tabela 7 – Coeficientes de correlação parcial para os graus-hora de resfriamento classificado por coeficiente de sensibilidade	51
Tabela 8 – Coeficientes de correlação parcial para os graus-hora de resfriamento classificado por variável independente	52
Tabela 9 – Coeficientes de correlação parcial para o consumo de aquecimento classificado por coeficiente de sensibilidade	54
Tabela 10 – Coeficientes de correlação parcial para o consumo de aquecimento classificado por variável independente	55
Tabela 11 – Parâmetros simplificados nas equações do cálculo do indicador de Graus-hora por Zona Bioclimática.....	68
Tabela 12 – Parâmetros simplificados nas equações do cálculo do consumo relativo para aquecimento por Zona Bioclimática	69
Tabela 13 – Relação entre os resultados obtidos pela avaliação dos casos pelo método prescritivo atual x método simplificado.....	70
Tabela 14 – Constantes simplificadas da Equação 2	72
Tabela 15 – Constantes simplificadas da Equação 3	72
Tabela 16 – Constantes simplificadas da Equação 4	73
Tabela 17 – Constantes da Equação 5.....	73
Tabela 18 – Modelos avaliados para validação da equação de dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água	76
Tabela 19 – Variáveis simplificadas na equação de dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água	77
Tabela 20 – Comparação entre os resultados de Fração solar obtidos pelo método atual x método proposto.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Método de definição da amostra de edificações por Estado	20
Quadro 2 – Procedimentos de simplificação das equações do dimensionamento do sistema de aquecimento de água	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAbL	Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Leste.
AAbN	Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Norte.
AAbO	Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Oeste.
AAbS	Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Sul.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
AbL	Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Leste.
AbN	Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Norte.
AbO	Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Oeste.
AbS	Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Sul.
AbsCob	Absortância da superfície externa da cobertura.
AbsPar	Absortância externa das paredes externas.
APambL	Área de parede externa do ambiente voltada para o Leste.
APambN	Área de parede externa do ambiente voltada para o Norte.
APambO	Área de parede externa do ambiente voltada para o Oeste.
APambS	Área de parede externa do ambiente voltada para o Sul.
AparInt	Área das paredes internas, excluindo as aberturas e as paredes externas.
APP	Ambiente de permanência prolongada.
ASHRAE	International Technical Society Organized to Advance The Arts And Sciences Of Heating, Ventilation, Air-Conditioning And Refrigeration.
AUamb	Área útil do ambiente analisado.
C_A	Consumo relativo de aquecimento.
Caltura	Coeficiente de altura, calculado pela razão entre o pé-direito e a área útil do ambiente.
CCP	Coeficientes de Correlação Parcial.
CO ₂	Dióxido de carbono.

Cob	Variável que define se o ambiente possui fechamento superior voltada para o exterior.
CTalta	Variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica acima de 250kJ/m²K.
CTbaixa	Variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica abaixo de 50kJ/m²K.
CTcob	Capacidade térmica da cobertura.
CTpar	Média ponderada da capacidade térmica das paredes externas e internas do ambiente pelas respectivas áreas.
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.
EqNumEnv	Equivalente numérico da envoltória.
EqNumEnv _{Resf}	Equivalente numérico da UH para resfriamento.
EqNumEnv _A	Equivalente numérico da UH para aquecimento.
EqNumAA	Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água.
Fvent	Fator das aberturas para ventilação: valor adimensional proporcional à abertura para ventilação em relação a abertura do vão.
GHResf	Graus-hora de resfriamento.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IC	Indicador de consumo.
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.
Isol	Variável binária que representa a existência de isolamento nas paredes externas e coberturas.
PambL	Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Leste.
PambN	Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Norte.
PambO	Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Oeste.
PambS	Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Sul.

PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem.
PD	Pé-direito do ambiente analisado.
Pil	Variável binária que define o contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis.
PT _{UH}	Pontuação total do nível de eficiência da UH.
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios.
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações para edifícios comerciais, de serviços e públicos.
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios.
Solo	Variável binária que define o contato do piso do ambiente com o solo.
SomAparext	Somatório das áreas de parede externa do ambiente.
Somb	Variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas.
Ucob	Transmitância térmica da cobertura.
UH	Unidade habitacional autônoma.
Upar	Transmitância térmica das paredes externas.
Uvid	Transmitância térmica do vidro.
Vid	Variável binária que indica a existência de vidro duplo no ambiente.
Volume	Volume do ambiente, obtido através da multiplicação entre o pé-direito e a área útil do ambiente.
ZB	Zona biolimática.

RESUMO

TELLES, Carolina de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2016.
Proposta de simplificação do RTQ-R. Orientadora: Joyce Correna Carlo.

O consumo energético residencial vem crescendo nos últimos anos e, no Brasil, ações que visam o incremento da eficiência energética nestas edificações resultaram no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O regulamento consiste em uma certificação nacional pertencente ao Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro e apresenta os métodos prescritivo e de simulação para avaliação do desempenho energético: o primeiro a faz através de equações; o segundo avalia o desempenho por meio de simulação computacional. A efetividade do RTQ-R depende de métodos apropriados de avaliação e sua aceitação pelo mercado. Entretanto, foi constatada baixa aplicabilidade do RTQ-R ao longo dos cinco anos em que o regulamento se encontra em vigor. Partindo-se da hipótese de que a certificação apresenta margem de simplificação, este trabalho propõe um método de avaliação simplificado do nível de eficiência energética para edificações naturalmente ventiladas do setor residencial para o PBE Edifica. A proposta focou na simplificação do cálculo do equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) e do dimensionamento do sistema de aquecimento solar. O método consiste na definição de modelos representativos das edificações residenciais brasileiras existentes; na análise da influência das variáveis da equação do método prescritivo nos indicadores de consumo do RTQ-R; e no desenvolvimento e validação do método de avaliação proposto a partir da comparação dos resultados obtidos pelo método atual e o proposto. A simplificação do EqNumEnv resultou em equações reduzidas que variam de acordo com a tipologia e zona bioclimática (ZB) da edificação avaliada. A proposta foi validada com um percentual de convergência dos resultados variando de 97% a 100%, de acordo com a ZB analisada. A proposta para o sistema de aquecimento de água consistiu na adaptação do cálculo da fração solar anual, realizado por meio dos dados mensais, pelo cálculo da fração solar a partir dos dados das médias anuais. A eficácia do método foi verificada para dezesseis casos e a diferença média dos resultados do

método simplificado e do vigente foi de 0,00905. Espera-se que o método simplificado contribua para a consolidação do RTQ-R no território nacional.

ABSTRACT

TELLES, Carolina de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2016.
Proposal to simplify the RTQ-R. Adviser: Joyce Correna Carlo.

The residential energy consumption has been growing in recent years and, in Brazil, some actions that aimed to increase energy efficiency in buildings resulted in the Technical Quality Requirements for Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R). The regulation is a national certification that is part of the Brazilian Labeling Program of Inmetro and it presents a prescriptive and a simulation method to evaluate the energy performance: the first is through equations; the second is through computer simulation. The effectiveness of RTQ-R depends on appropriate evaluation methods and its acceptance by the building market. However, a low use of RTQ-R was observed over the five years in which the regulation is active. Starting from the hypothesis that the certification presents scope that can be simplified, this study proposes a simplified method of evaluating the energy efficiency level for naturally ventilated buildings in the residential sector for PBE Edifica. The proposal was to simplify the calculation of the numerical equivalent of the envelope (EqNumEnv) and the water heating system. The method consists in defining representative models of existing Brazilian residential buildings; analysis of the influence of the variables of the prescriptive method equation in consumption indicators RTQ-R; and the development and validation of the proposed evaluation method from the comparison between the results obtained by the present method and the proposed. The simplification of EqNumEnv resulted in reduced equations that vary with the type and bioclimatic zone (ZB) of evaluated building. The proposal has been validated as a percentage of convergence of results ranging of 97% to 100%, according to ZB analyzed. The proposal for the water heating system was adaptation of the calculation of annual solar fraction, conducted through monthly data, by calculating the solar fraction from the annual data. The effectiveness of the method was verified in sixteen cases and the average difference of the results of simplified method and of current was 0,00905. It is expected that the simplified method enables the consolidation of the RTQ-R in Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, discussões sobre edificações energeticamente eficientes e a busca por construções capazes de proporcionar maior conforto aos usuários com um menor dispêndio de energia vem crescendo, visto que as edificações são responsáveis pelo consumo de cerca de um terço da energia elétrica mundial. Nesse contexto, diversos países têm estabelecido instrumentos de certificação a fim de aumentar a eficiência energética das construções (VAN DER KNAAP, 2011).

Três instrumentos costumam ser mais usuais nas políticas de certificação: um é dado por uma política baseada em índices de desempenho mínimos que, em geral, envolve ações públicas; outro atua com classificações de níveis variados, por meio de programas de certificação; e um terceiro consiste na comparação do índice de desempenho energético de um edifício com um ou uma amostra de edifícios similares, conhecido como *benchmarking* (WANG et al., 2012). As certificações visam regular o mercado ao estabelecer parâmetros que incrementem eficiência sem comprometer os índices de conforto e produtividade (PÉREZ-LOMBARD et al., 2009).

Na União Europeia, a Diretiva Europeia de desempenho energético de edificações determinou uma estrutura para seus Estados-Membros desenvolverem regulamentações para a promoção da eficiência energética em edificações (COMISSÃO EUROPEIA, 2002). Em Portugal, por exemplo, houve a criação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) que culminou na atualização do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE (ADENE, 2006a) e do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios – RSECE (ADENE, 2006b). O primeiro é aplicável no âmbito das edificações residenciais e de pequeno porte sem sistema de climatização, enquanto o segundo é voltado aos edifícios climatizados. Assim, SCE, RCCTE e RSECE formam juntos a base que rege a qualidade térmica dos edifícios em Portugal (ADENE, 2009).

A Agência para a Energia (ADENE) adota o modelo de classificação de edificações em níveis energéticos. As avaliações das edificações são feitas por

Peritos Qualificados (PQ), sendo RCCTE de acordo com a razão entre valor estimados de energia primária anual consumida pelo valor limite destas, o resultado é expresso em quilogramas equivalente de petróleo por metro quadrado de área útil e por ano ($\text{kgep/m}^2 \times \text{ano}$) (ADENE, 2006a). A classificação do RSECE com índices de eficiência energética e consumos específicos da edificação também se expressa em $\text{kgep/m}^2 \times \text{ano}$ (ADENE, 2006b). Amplamente difundido no país, o programa residencial se mostra eficaz e apresenta, além de estratégias e procedimentos eficientes e comuns no âmbito das certificações, algumas peculiaridades interessantes. Destacam-se, por exemplo: a sugestão de melhorias a serem implementadas à edificação para melhor desempenho térmico; a ‘Plataforma Casa Certificada’, que garante à população acesso a informações e serviços referentes a certificação; e ainda, o simulador casA+ da ADENE, que possibilita ao proprietário compreender melhor os efeitos das melhorias propostas pelo PQ (ADENE, 2009).

No Brasil, dentro do contexto de certificações energéticas tem-se os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (INMETRO, 2010) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012), ambas derivadas da inclusão de edificações no Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro – PBE. O objetivo imediato desse programa voluntário é a concessão de uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) dado pelo processo de etiquetagem que caracteriza o nível de eficiência energética da edificação do nível A (mais eficiente) até o nível E (menos eficiente). A definição do nível de eficiência pode ser determinada por dois métodos: o método prescritivo e o método de simulação. O primeiro contém equações e tabelas que limitam os parâmetros para obtenção de determinado nível de eficiência. Já o método de simulação permite a avaliação bioclimática do projeto por meio de simulações higrotérmicas e energéticas, o que inclui iluminação e ventilação natural (INMETRO, 2010, 2012).

O processo de etiquetagem pode ser realizado em diferentes etapas da construção, fase de projeto ou edificação existente, sendo estes avaliados através de inspeção *in loco*. Além disso, no caso do RTQ-R, a etiquetagem pode ser realizada para o edifício completo ou para alguma parte, como espaços privativos ou espaços condominiais (INMETRO, 2012). A certificação para edificações residenciais tem

como parâmetros de avaliação a envoltória da unidade habitacional autônoma, seu sistema de aquecimento de água e possíveis bonificações. Além dos já citados, quando se trata de edificações multifamiliares, deve-se analisar ainda se as áreas comuns de uso frequente e eventual também atendem aos requisitos especificados e suas bonificações (INMETRO, 2012).

Por incluir diversos parâmetros de análise, como materiais, sistemas e equipamentos, o RTQ-R exige conhecimento maior da realidade construtiva do país, seja quanto aos produtos disponíveis, tipos de edificações existentes, ou quanto às inovações tecnológicas viáveis de inserção no mercado. Nos cinco primeiros anos de implantação do RTQ-R, apenas 3060 ENCES foram emitidas pelo PBE e, destas, somente 733 foram inspecionadas *in loco* (INMETRO, 2015). Pressupõe-se que uma das razões que expliquem o baixo índice de residências etiquetadas é a complexidade do método de avaliação e o grande tempo gasto no procedimento. Com a expansão do mercado construtivo e a crescente ênfase dada à eficiência energética em edificações, seria de se esperar um cenário diferente, com maior penetração do RTQ-R no país.

Diversas são as limitações relacionadas às dificuldades de inserção da etiquetagem no mercado brasileiro. Entraves referentes à falta de dados técnicos de produtos e sistemas construtivos empregados nas residências levam à demora no processo de avaliação e à necessidade de um detalhamento exaustivo destes materiais e componentes, sobretudo em edificações existentes. Este levantamento, por sua vez, eleva os custos de uma consultoria e do processo de inspeção para obtenção da ENCE. Entretanto, algumas dessas características e especificidades, como fator solar de vidros, sistemas de aquecimento de água e modelo de telhas são comuns e por vezes semelhantes entre as residências existentes, o que viabiliza sua padronização e conseqüentemente, diminui tanto o tempo dedicado ao levantamento desses atributos quanto os custos da avaliação.

Algumas barreiras referentes ao processo de comprovação das características contidas em projeto já foram sanados com a publicação de um novo Regulamento de Avaliação da Conformidade (BRASIL, 2013), que reduziu a complexidade do processo de etiquetagem. Além disso, a Rede de Eficiência Energética em Edificações – R3E, formada por doze laboratórios de diferentes universidades

brasileiras dispostas pelas cinco regiões do país, realiza pesquisas e projetos de capacitação em etiquetagem, que contribuem para o aperfeiçoamento do PBE Edifica.

Estudos relacionados ao RTQ-R vêm sendo desenvolvidos desde seu lançamento, tais como Pouey, Brandalise e Silva (2012), Scalco et al. (2012), Silva e Ghisi (2013, 2014) e Van der Knaap (2011). Entretanto, grande parte dos casos se limitam a discutir apenas parte dos parâmetros abordados pelo regulamento, desconsiderando-se o método como um todo.

Esta dissertação é derivada de uma demanda feita pela Eletrobras/Procel Edifica de facilitar o processo de etiquetagem. Desenvolvida com o apoio da FAPEMIG, espera-se que os resultados desta pesquisa tenham contribuído para reduzir o dispêndio de tempo e os custos do processo de etiquetagem ao contemplar e simplificar o método de avaliação prescritiva do RTQ-R. Espera-se, assim, contribuir para elevar a abrangência da certificação residencial no território nacional. Método que contribua em facilidades de avaliação foi empregado no desenvolvimento da etiqueta de eficiência energética portuguesa e se mostrou eficaz para a sua consolidação. O grande número de edifícios etiquetados em Portugal evidencia a relevância do emprego de métodos simplificados na difusão de certificações (ADENE, 2009).

1.1 Objetivos

Geral

Desenvolver método de avaliação simplificada do nível de eficiência energética para edificações naturalmente ventiladas no setor residencial para o PBE Edifica.

Específicos

- Definir modelos representativos das edificações residenciais brasileiras existentes;

- Analisar a influência das variáveis da equação do método prescritivo nos indicadores de consumo graus-hora de resfriamento (GHR) e consumo relativo de aquecimento (CA);
- Propor método de avaliação simplificada para aplicação da etiquetagem brasileira em edificações residenciais existentes.

1.2 Hipótese e pressuposto

Esta dissertação tem como hipótese de que o método prescritivo de etiquetagem vigente em 2016 tem potencial de simplificação. Um dos pressupostos iniciais que embasaram esta pesquisa foi o desenvolvimento de um procedimento de uma simplificação que não modificasse os princípios do atual método de avaliação do RTQ-R. Além disso, a proposta deveria ser trabalhada de modo que não acarretasse em impacto significativo nos níveis de eficiência energética finais.

1.3 Método da dissertação

O método geral da dissertação contou com revisão do método prescritivo vigente do RTQ-R para definição do foco da proposta de simplificação. Assim, duas frentes de trabalho foram identificadas: o cálculo do equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) e do dimensionamento do sistema de aquecimento solar.

O procedimento empregado na simplificação do EqNumEnv consistiu na definição de modelos representativos das edificações residenciais brasileiras existentes; na análise da influência das variáveis da equação do método prescritivo nos indicadores de consumo do RTQ-R; e no desenvolvimento e validação do método de avaliação proposto.

A proposta de simplificação iniciou-se com a definição de modelos representativos, cujo levantamento de campo mostrou o que é mais frequente no parque edificado residencial brasileiro. Este levantamento foi realizado via internet por amostragem aleatória e as características externas mais frequentes das edificações foram incorporadas a arranjos espaciais típicos previamente elaborados em outras pesquisas. Em seguida, foi realizada uma análise de sensibilidade na

equações da envoltória do método prescritivo para identificar os parâmetros de baixo impacto. Por fim, uma proposta foi realizada baseada na frequência de ocorrência de características de edificações e na análise de sensibilidade.

A simplificação do sistema de aquecimento de água consistiu na padronização de algumas variáveis da equação de dimensionamento do sistema em constantes, conforme valores recomendados pelo próprio RTQ-R (INMETRO, 2012). Além disso, foi simplificado o cálculo da fração solar anual, realizado por meio dos dados mensais, pelo cálculo da fração solar a partir dos dados das médias anuais. A eficácia do método foi verificada a partir da quantificação da diferença média das frações solares obtidas por meio da avaliação de casos em diferentes latitudes.

1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação, estruturada em cinco capítulos, apresenta no capítulo 1 uma breve introdução acerca das políticas de certificação energética e do RTQ-R, além de objetivos e a hipótese que nortearam o desenvolvimento desse trabalho. Os três capítulos seguintes foram trabalhados em forma de artigo e contam com introdução, objetivo, método, resultados e discussão, além de considerações finais. O capítulo 2 define modelos representativos das unidades habitacionais brasileiras e o capítulo 3 trabalha uma análise de sensibilidade dos parâmetros da equação. Estes resultados foram base para o desenvolvimento de propostas de simplificação apresentados no capítulo 4.

No capítulo 2 é feita uma discussão sobre modelos representativos e sua importância no contexto das certificações energéticas, com apresentação dos dados existentes referentes às edificações residenciais brasileiras e a realização de um levantamento complementar de informações construtivas. Esses dados permitiram a definição de modelos representativos das unidades unifamiliares e multifamiliares existentes no país e foram empregados no processo de desenvolvimento e validação do método de avaliação simplificado proposto.

O capítulo 3 discute, por meio de análise de sensibilidade, o peso e a influência das variáveis presentes nas equações dos graus-hora de resfriamento e

consumo relativo de aquecimento nos próprios indicadores de consumo do método prescritivo do RTQ-R. Inicialmente aborda o conceito e métodos de análise de sensibilidade e apresenta o método prescritivo do RTQ-R para, então, definir a amostra e discutir os coeficientes de sensibilidade obtidos. Esse capítulo permite maior compreensão de quais são as variáveis de menor impacto na determinação do equivalente numérico da envoltória e viabiliza a simplificação da equação do equivalente numérico da envoltória.

O capítulo 4 apresenta a proposta de etiquetagem simplificada do método prescritivo e sua validação. Essa fase conta com uma breve introdução, apresentação do procedimento atual de determinação da eficiência energética e a proposta de simplificação para a envoltória e para o sistema de aquecimento solar. Por fim, a validação da proposta é feita por meio da quantificação das diferenças entre o método simplificado e o método prescritivo vigente.

Por fim, o capítulo 05 expõe as considerações gerais da pesquisa além de sugestões para trabalhos futuros.

Referências Bibliográficas

ADENE. **Decreto de Lei nº 80**, de 4 de Abril de 2006. Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios. Portugal, 2006a.

ADENE. **Decreto de Lei nº 79**, de 4 de Abril de 2006. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios. Portugal, 2006b.

ADENE. **Perguntas e respostas sobre o SCE** – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. D.L. 78/2006, de 4 de Abril. ADENE, Portugal, 2009.

BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A. Análise da aplicação da certificação ambiental de edificações habitacionais LEED for Homes no contexto brasileiro. **RISCO** – Revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo, v.13, p. 65-74, 2011.

BUENO, C., ROSSIGNOLO, J. A. Desempenho ambiental de edificações: cenário atual e perspectivas dos sistemas de certificação. **MINERVA** – Pesquisa e tecnologia, v.7, p. 45-52, 2010.

COMISSÃO EUROPEIA. **Diretiva 2002/91/EC** do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético de edificações, 2002.

GHISI, E.; LAMBERTS, R.; RORIZ, M.; PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. C. R. Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações. In: ROMAN, Humberto; BONIN, Luís Carlos. Normalização e Certificação na Construção Habitacional. **Coletânea Habitare**. vol. 3. Porto Alegre: ANTAC, 2003.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 372**, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18**, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 50**, de 01 de fevereiro de 2013. Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações. Rio de Janeiro, 2013.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Tabelas de consumo/eficiência energética**. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/unidade-habitacional.pdf> >. Acesso em: 12 jan. 2016.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; GONZÁLEZ, R.; MAESTRE, I. R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, Elsevier, n. 41, out. 2009.

POUEY, J. A. A.; BRANDALISE, M. P.; SILVA, A. C. S. B. Determinação da eficiência energética da envoltória de projeto residencial unifamiliar comparando os resultados a partir da aplicação dos métodos prescritivo e de simulação do RTQ-R. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. **Anais...** Juiz de Fora, out. 2012.

SCALCO, V. A.; FOSSATI, M.; VERSAGE, R.; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R.; MORISHITA, C. Innovations in the Brazilian regulations for energy efficiency of residential buildings. **Architectural Science Review**. v. 55, 2012. p. 71-81.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 135-148, jul./set. 2013.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.

VAN DER KNAAP, A. N. Building performance simulation to support building energy regulation: a case study for residential buildings in Brazil. **Tese** (Doutorado). Building Services, Department of the Built Environment, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2011.

WANG, S.; YAN, C.; XIAO F. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. **Energy and Buildings**. v. 55, p. 873-888, 2012.

2. DEFINIÇÃO DE MODELOS REPRESENTATIVOS DAS EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS BRASILEIRAS EXISTENTES

RESUMO:

O ritmo acelerado de expansão do espaço urbano e o crescente impacto ambiental decorrente da manutenção de edificações têm contribuído para a necessidade de emprego de estratégias e certificações que minimizem tais danos. A caracterização do habitat humano tem caráter relevante para o desenvolvimento ou o aperfeiçoamento dos instrumentos de avaliação da eficiência energética de edificações. Assim, este artigo tem por objetivo a caracterização do parque imobiliário residencial brasileiro existente a fim de contribuir para o desenvolvimento de propostas no contexto de regulamentos nacionais. O trabalho conta com revisão de métodos para determinação de modelos de referência, análise de dados brasileiros existentes referentes ao tema, levantamento de dados complementares e análises do cenário atual. Por fim, foi possível descrever não só as características físicas do setor residencial brasileiro como também definir oito modelos físicos representativos baseados em análise estatística dos dados. Os modelos foram classificados por tipologia e por zona bioclimática. Os resultados alcançados nesta etapa são alicerces para embasar análises energéticas ulteriores e contribuir para simplificação do processo de etiquetagem nacional vigente – RTQ-R.

Palavras chave: *modelos representativos, setor residencial, caracterização física.*

ABSTRACT:

The fast expansion of urban areas and the increasing environmental impact of building maintenance have all contributed to the need for employment strategies and certifications to minimize such damage. The characterization of human habitats replaced by character is relevant to development or even improving assessment instruments of energy efficiency of buildings. Thus, this paper aims to characterize the existing Brazilian residential building stock in order to contribute to the development of proposals in the context of national regulations. The work includes a review of methods for determination of typical building prototypes, analysis of existing Brazilian data on the topic, survey of complementary data and analysis of the current scenario. Finally, it was possible to describe both the physical characteristics of the Brazilian residential sector and to set typical building prototypes based on statistical analysis. The models were set by type and bioclimatic zone. The achieved results at this stage became the foundations to support further energy analysis and contribute to simplification of the existing national labeling process - RTQ-R.

Keywords: *reference buildings, residential sector, physical characterization.*

2.1 Introdução

A construção civil é um setor com crescente impacto urbano e ambiental. As edificações são responsáveis por um consumo significativo da energia elétrica mundial. No Brasil, por exemplo, as edificações comerciais, públicas e residenciais foram responsáveis por 54,5% do consumo final de energia elétrica no ano de 2014, sendo que o setor residencial consumiu 9,9% da energia elétrica total e cresceu o equivalente a 4,5% em relação ao ano anterior (EPE, 2015).

O realce desse setor se alarga à medida que os impactos do consumo de energia aumentam. A eficiência do consumo de energia em edificações torna-se, nesse contexto, uma solução chave para as crises energéticas, tendo como principais instrumentos de auxílio o desenvolvimento de estratégias e as certificações energéticas (AKSOEZEN et al., 2015). O conhecimento das características das edificações, bem como a avaliação dos efeitos desses parâmetros no consumo de energia elétrica, são essenciais para as políticas públicas de transformação do mercado imobiliário e a desaceleração do crescimento do consumo energético do setor (HSU, 2014).

No entanto, o parque imobiliário existente é extenso e conta com construções de diferentes períodos e particularidades, impossibilitando que análises sejam conduzidas com base em um único edifício (KOO, 2014). Na esfera de políticas energéticas, deve-se analisar uma larga escala de edificações localizadas em um contexto territorial específico a fim de se obter uma edificação de referência (FILOGAMO, 2014). A definição de modelos representativos do parque construído é necessária para a estruturação de programas de certificações ambientais visto permitirem a definição de escalas diferenciadas que encorajem atitudes projetuais que contribuam para os edifícios alcançarem os mais altos índices energéticos (AKSOEZEN et al., 2015).

Nesse sentido, este trabalho caracteriza o parque imobiliário residencial brasileiro existente visando embasar análises energéticas ulteriores e contribuir para a simplificação do processo de etiquetagem nacional vigente – PBE Edifica, via RTQ-R (INMETRO, 2012). O trabalho conta com revisão de métodos para determinação de modelos de referência, análise de dados brasileiros existentes sobre o tema, levantamento de dados complementares, análises para contribuição do

método do RTQ-R e, por fim, definição de modelos representativos das residências brasileiras construídas.

2.2 Objetivo

Definir modelos representativos das edificações residenciais brasileiras existentes.

2.3 Determinação de modelos de referência

Os modelos de referência são constituídos por “edifícios que caracterizem e representem as edificações de determinada funcionalidade e localização geográfica, incluindo condições climáticas internas e externas” (DIRECTIVE, 2010). O acesso a bancos de dados de diferentes instituições possibilita a análise do parque construído e sua categorização em classes homogêneas (AKSOEZEN et al., 2015). Entretanto, algumas lacunas de informações referentes às edificações existentes dificultam a determinação de modelos de referência e, por conseguinte, análises e desenvolvimento de políticas energéticas adequadas (HSU, 2014).

O primeiro passo desse processo constitui-se na divisão da amostra em classes de edificações que possuam características similares. Corgnati et al. (2013) definem como critérios de padronização as propriedades referentes a forma, envelope, sistemas artificiais e parâmetros operacionais. Já Filogamo (2014) considera importante aspectos como: tipologia; características térmicas e físicas; sistemas de ventilação, aquecimento e resfriamento; desempenho energético; e, características climáticas do sítio. Diferentes padrões de classificação foram identificados durante a revisão de literatura. Entretanto, o mais corriqueiro condiz com o modelo defendido por Vasconcelos et al. (2015). Nele, os autores definem três principais campos de classificação: tipologia, zona climática e período de construção da edificação. Para os casos em que são necessários parâmetros adicionais de diferenciação, eles acrescentam ainda, como campos secundários, a geometria e os materiais construtivos.

A definição de modelos representativos é feita após classificação da amostra. Segundo as orientações dadas pela comissão delegada pela Directiva 2010/31/EU (que estabelece medidas de desempenho energético em edificações da União Europeia), há três métodos principais para a realização desta etapa (EUR. UNION, 2012). O primeiro seleciona um edifício existente que represente a maioria típica dos edifícios de uma amostra. Já os dois outros criam modelos virtuais em que, para cada parâmetro, o padrão mais frequente da amostra é adotado. Entretanto, tais abordagens se diferem quanto à fonte de informações. Uma se baseia nos conhecimentos de peritos experientes enquanto a outra trabalha com dados estatísticos (EUR. UNION, 2012).

Um quarto método é proposto por Vasconcelos et al. (2015) ao definirem edifícios de referência para Portugal. Devido às lacunas de informações presentes em suas fontes de dados – INE (Instituto de Estatística Português) e ADENE (Agência para a Energia, de Portugal), os autores propuseram uma mescla desses dois últimos métodos aqui apresentados. Assim, a criação de modelos de edifícios virtuais trabalhou com dados estatísticos para descobrir o padrão de cada variável e, ocasionalmente, *experts* da área ou outras fontes de dados foram consultados a fim de preencher as lacunas de informações existentes.

Inúmeros modelos de referência já foram ou vêm sendo desenvolvidos. Nos Estados Unidos, o Departamento de Energia (DOE) criou dezesseis modelos comerciais categorizados por período de construção. O trabalho foi desenvolvido para auxiliar o desenvolvimento e aperfeiçoamento de normas e certificações nacionais (DERU et al., 2011). Na União Europeia, destacam-se os projetos TABULA – *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment* – e ASIEPI – *Assessment and Improvement of the EPBD Impact* – desenvolvidos pela Energia Inteligente da Europa (IEE). O primeiro levanta tipologias de edificações residenciais de treze países da Europa a fim de harmonizar a criação de modelos nacionais para o continente (LOGA et al., 2012). O segundo utiliza modelos de referência a fim de simplificar a comparação de requisitos mínimos de desempenho energético entre países europeus (SPIEKMAN et al., 2010).

Há ainda trabalhos como o de Filogamo et al. (2014), que estabeleceram modelos virtuais para a região da Sicília, na Itália, de acordo com características

climáticas e período de construção, a fim de levantar a demanda energética das edificações. Já Aksoezen et al. (2015) criaram modelos de referência de dois distritos de Basileia, na Suíça, a fim de avaliar a relação entre o período de construção e a compactidade das edificações com seu consumo energético. Ao fim do trabalho, identificaram uma alta interdependência entre os parâmetros analisados.

Dascalaki et al. (2011) classificaram edifícios residenciais helênicos de acordo com tipologia, zona climática e período de construção da edificação, assim como Vasconcelos et al. (2015) fizeram para Portugal. Entretanto, no primeiro estudo, vinte e quatro modelos foram criados baseados em edifícios reais, enquanto que, no caso português, os modelos são virtuais e fundamentados em método próprio citado anteriormente.

2.4 Dados nacionais existentes

Embora existam trabalhos como Tavares (2006), Sorgato (2009) e Teixeiras et al. (2015) com os mais variados métodos e objetivos, as lacunas presentes nos dados de caracterização dos parques construídos ainda são um grande entrave no processo de definição de modelos (HSU, 2014). No Brasil, pesquisas vêm avançando no tema, mas os requisitos abordados e o aprofundamento das pesquisas ainda são limitados, o que dificulta a criação de edificações de referência.

No Brasil, uma fonte de levantamentos em nível nacional é a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD – realizada pelo IBGE (PNAD, 2012). No PNAD, diferentes variáveis que retratam as condições de habitação da população brasileira em diferentes momentos foram pesquisadas, permitindo uma visualização da evolução dos domicílios (tabela 1). Quanto às características físicas dos domicílios, por exemplo, as variáveis levantadas são o tipo do domicílio, a condição de ocupação, os tipos de parede e cobertura, o total de cômodos, de dormitórios e de banheiros.

Tabela 1 – Características dos domicílios brasileiros por décadas

Ano	Nº cômodos		Nº dormitórios		Pessoas/ domicílio	Tipologia		Materiais de paredes e coberturas	
	4	≥6	1	2		casa	apto	rústico	durável
1960	23%	29%	31,7%	39,6%	5,19	-	-	29%	71%
1970	16%	38%	32,3%	39,9%	5,28	-	-	26%	74%
1980	20%	37%	31,9%	39,8%	4,72	92,8%	7,2%	12%	88%
1991	22%	43%	32,9%	41,8%	4,23	90,8%	8,6%	5%	95%
2000	23%	46%	29,1%	42,7%	3,79	89,3%	9,6%	-	-

Fonte: Adaptado de Censos demográficos de IBGE (1960, 1970, 1980, 1991, 2000).

Segundo o último levantamento da PNAD, a tipologia residencial predominante, seja em meio urbano ou rural, é a residência unifamiliar com 89,3% das edificações, em um total de 62.849 domicílios analisados. Entretanto, percebe-se que edificações unifamiliares vêm decrescendo em número em relação aos apartamentos ao longo dos anos, com um percentual de queda de 2% por década. Tal diferenciação foi abordada pelo IBGE somente a partir da década de 1980.

Quanto à configuração interna das edificações, pode-se observar o crescimento do número de habitações com mais cômodos e dormitórios (Tabela 1). Há um aumento do número de cômodos principalmente a partir da década de 1970 e um predomínio de habitações com mais de seis cômodos. Quanto ao número de dormitórios por unidade habitacional, tem-se a presença, predominantemente aquelas de 2 dormitórios, seguida de 1 dormitório. Nesse contexto, constata-se um crescimento mais acelerado do número de cômodos, sendo possível, portanto, inferir que há um aumento do número de funções ou, ainda, supor que estes sejam multifuncionais.

Em relação ao número de pessoas por domicílio, é possível identificar uma redução. Quanto aos materiais construtivos empregados nas paredes e coberturas de edificações residenciais já existentes, o PNAD os classifica em construções duráveis¹

1 Construções cujas “paredes externas do prédio fossem predominantemente de alvenaria (tijolo, adobe, pedra, concreto pré-moldado ou aparente), taipa revestida, madeira aparelhada ou recobertas de mármore, metal, vidro ou lambris; e cobertura do domicílio fosse predominantemente de telha de barro cozido, cimento-amianto, alumínio-madeira, plástico, acrílico ou similares, laje de concreto, madeira aparelhada ou zinco”. (PNAD, 2012)

e rústicas². É possível constatar o predomínio de construções ditas duráveis, as quais tiveram crescimento mais significativo nos anos de 1970 a 1990, período condizente aos surgimento de inúmeros debates sobre sustentabilidade e a inserção de políticas habitacionais no Brasil. Houve um aumento de materiais duráveis em quatorze pontos percentuais de 1970 para 1980, enquanto que de 1960 para 1970 foi de apenas 3% (Tabela 1).

No campo das habitações unifamiliares, destaca-se o trabalho de Sorgato (2009). Ao avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente, o autor propôs quatro modelos representativos: dois modelos representando habitações de interesse social, com áreas de 36m² e 63m², e dois modelos com áreas de 150m² e 300m² a representando as classes média e alta, respectivamente. Visto que havia a intenção de avaliar a influência das áreas de cobertura e paredes expostas ao exterior e da área útil dos ambientes no desempenho térmico, diferentes propriedades térmicas de materiais construtivos foram simuladas.

A definição dos modelos de Sorgato (2009) se basearam no programa Nova Casa da Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina (COHAB) e nos modelos e pesquisas anteriores feitas por Tavares (2006) e Matos (2007). Adaptações foram efetuadas nos modelos a fim de permitir maior diversidade e possibilidade de arranjos e configuração espacial. Além disso, houve também a preocupação de enquadrá-los nos padrões geométricos impostos às simulações de ventilação natural, “tal como o formato retangular para obtenção do coeficiente de pressão” do vento (SORGATO, 2009, p. 75). Padrões de ocupação, taxa metabólica, posse de eletrodomésticos se basearam em levantamentos e indicações do PNAD, ASHRAE (2005) e SINPHA – Pesquisa de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo.

No contexto das edificações multifamiliares, merece destaque o Relatório desenvolvido pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – CB3E (TEIXEIRA et al., 2015). Ao buscar analisar as propriedades geométricas que

2 Construções cujas “paredes externas do prédio fossem predominantemente de taipa não revestida, madeira aproveitada (madeira de embalagem, tapumes, andaimes, etc.); palha (sapé, folha ou casca de vegetal) ou outro material não durável. E cobertura do domicílio fosse predominantemente de madeira aproveitada, palha ou outro material não durável”. (PNAD, 2012)

impactam o desempenho térmico em edificações multifamiliares, os autores propuseram quatro unidades habitacionais representativas. Tais modelos são resultados de análises de 346 plantas de pavimentos tipos disponíveis em *sites* de construtoras e incorporadoras nos últimos dois anos em todo o Brasil.

Dentre as características predominantes, foram identificados edifícios residenciais em formato retangular e com número de pavimentos de 11 – 15 andares. Quanto à área útil dos apartamentos, percebe-se uma variação de acordo com a zona bioclimática na qual se insere. Apartamentos localizados nas regiões Centro-oeste, Nordeste, Norte possuem áreas menores, de ordem de 40 a 45m², 45 a 50m² e 50 a 55m², respectivamente. Já as regiões Sul e Sudeste apresentam unidades habitacionais maiores, sendo o destaque para a região Sudeste, onde o valor de área predominante é entre 80 e 90m², sendo na região Sul entre 65 e 70m² (TEIXEIRA et al., 2015).

Outro dado levantado pelo Relatório (TEIXEIRA et al., 2015) se refere ao número de dormitórios por unidade, no qual a tipologia de dois dormitórios se destaca e condiz com os dados do PNAD. A exceção é para a região Sul, em que, ao contrário das demais, tem-se a tipologia de três dormitórios predomina. Há ainda a região Centro-oeste que apresentou o mesmo percentual de unidades habitacionais com dois e três dormitórios. Ainda quanto a estes ambientes, tem-se que 32% apresenta área útil entre 8,0 e 10,0m² e área de parede externa entre 2,0 e 4,0m², independentemente da região. Já a área de abertura é predominantemente entre 1,4 e 1,6m², com exceção da região Nordeste que apresenta áreas menores, de 1,0 a 1,2m², o que é curioso visto ser uma região cuja estratégia bioclimática típica é a ventilação natural.

Em ambientes de estar e jantar, foram identificadas aberturas maiores, com área variando entre 1,4 e 2,2m². Já a área útil destes ambientes está entre 12,0 e 20,0m² e a área de parede externa entre 2,0 e 4,0m². Na metade das unidades habitacionais analisadas observou-se a integração entre área de estar e jantar com a cozinha, a qual possui metragem predominante entre 6,0 e 10,0m². Ao analisar os demais parâmetros, verifica-se que a maioria das unidades contam com ventilação cruzada, dois banheiros, integração entre área de serviço e cozinha e presença de varandas (TEIXEIRA et al., 2015).

Apesar de algumas diferenciações entre diferentes regiões, os autores concluíram que estas não resultavam em impactos significativos no desempenho e que a região geográfica, bem como as condições climáticas, não influem diretamente na configuração das edificações. Segundo os autores, é o número de dormitórios e a área útil que contribui para alterações e adaptações das configurações físicas das unidades habitacionais. Assim, o Relatório (TEIXEIRA et al., 2015) baseou-se nos mesmos elementos construtivos para a envoltória: paredes em bloco cerâmico (9,0cm x 19,0cm x 19,0cm) e argamassa interna e externa de 2,5cm e pisos e coberturas em concreto maciço de 10,0cm, contrapiso de 2,0cm e piso cerâmico de 0,75cm.

Observa-se que os trabalhos existentes focam muitas vezes na configuração interna tanto das edificações unifamiliares quanto multifamiliares, havendo assim lacunas quanto às propriedades externas das mesmas, o que leva à necessidade de complementação de dados referentes às características externas das edificações.

Já no contexto da eficiência energética, o trabalho apresentado no Relatório de Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso voltado para a classe comercial de alta tensão (DTD, 2008) merece destaque devido à amostragem empregada. Desenvolvido para o ano base de 2005, o trabalho, que tem como objetivo levantar informações acerca do atual mercado de eficiência energética no Brasil, trabalhou com pesquisas a consumidores comerciais de concessionárias elétricas (DTD, 2008). Para a seleção da amostra, o setor comercial foi classificado em subgrupos de tensão e faixa de demanda e, então, dentro de cada agrupamento foram sorteados consumidores aleatórios.

2.5 Método

A partir da constatação das lacunas de informações existentes referentes às características externas das edificações, tais como modelo de esquadrias e cores das fachadas, foi proposto o levantamento desses atributos em etapa anterior a definição dos modelos representativos de unidades habitacionais autônomas brasileiras já existentes.

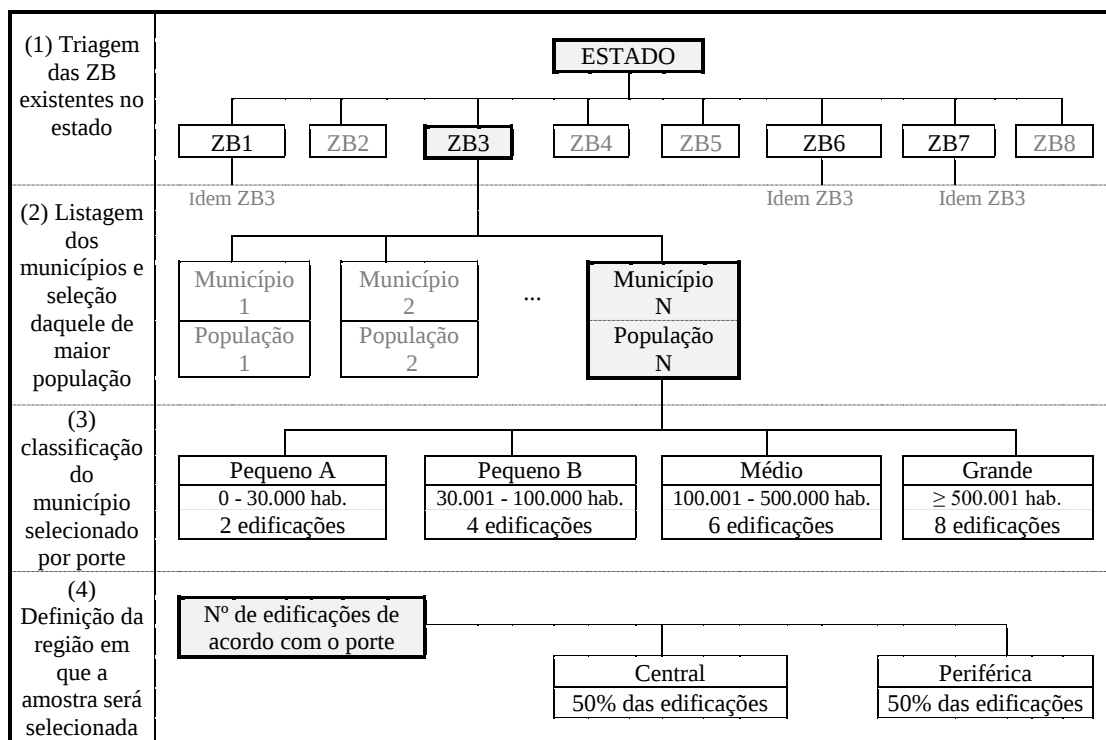
2.5.1. Levantamento das características externas de edificações residenciais existentes

O método adotado para levantar as características externas das residências brasileiras foi amostragem aleatória estratificada, com o emprego de sorteio em agrupamento de amostras de edificações.

No caso do presente estudo, o primeiro passo foi a definição da amostra de edificações para a análise a fim de se representar o parque residencial brasileiro existente. O número de amostras foi definido de acordo com as recomendações empregadas por Carlo (2008). Assim, para uma margem de erro de 5%, o número limite de edificações a serem analisadas para representar o todo é de 400 amostras, considerando-se um universo acima de 100.000 edificações.

O processo de estratificação baseou-se no Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2005) e sua relação com o estado e a população do município. Assim, para cada estado da federação, foi selecionado o município de maior população, de acordo com o Censo do IBGE (IBGE, 2010), em cada zona bioclimática (ZB) daquele estado. O método está esquematizado no Quadro 1. Em Minas Gerais, por exemplo, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), só não há municípios com o clima classificado como ZB8. Nesse estado, portanto, foram trabalhados sete municípios, sendo selecionado o mais populoso de cada uma das sete ZB existentes.

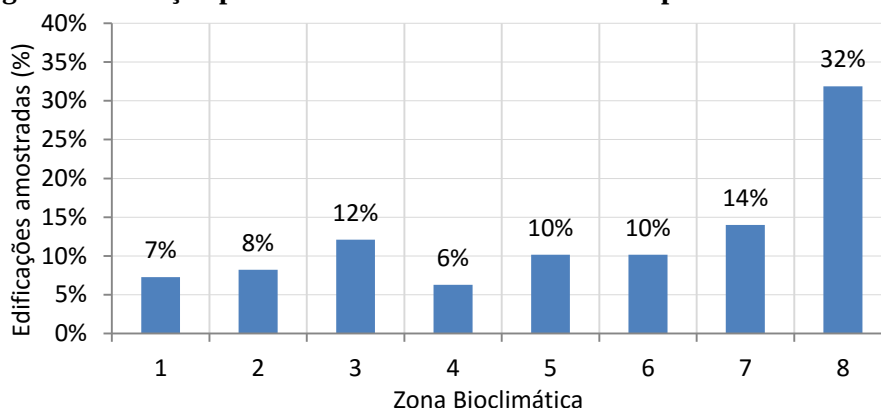
A definição do número de edificações a serem amostrados por município foi feita de acordo com o porte demográfico, assim classificados: pequeno A (0 – 30.000 habitantes), pequeno B (30.001 – 100.000 habitantes), médio (100.001 – 500.000 habitantes) e grande (acima de 500.000 habitantes). O número de amostras de edificações por município foi de 2, 4, 6 e 8 respectivamente (Quadro 1), resultando em um total de 414 amostras (Apêndice A). A amostra foi ainda definida de maneira que metade das edificações se localizasse em áreas centrais e a outra metade em áreas periféricas da mancha urbana (Quadro 1).



Quadro 1 – Método de definição da amostra de edificações por Estado

O Apêndice A apresenta a caracterização de cada um dos grupos definidos enquanto a Figura 1 apresenta a proporção do número de amostras de cada ZB. Como resultado do método empregado, a ZB 8 se destaca em relação às demais, fato condizente com a Zona de maior extensão territorial no Brasil, abrangendo 100% da população e edificações do litoral brasileiro localizadas em latitudes menores à do Estado do Espírito Santo, além de estados menos populosos como Amazonas e Pará.

Figura 1 – Relação percentual do número de amostras por Zona Bioclimática



Com os municípios já definidos, a segunda etapa foi a seleção das edificações a serem amostradas em cada município. Essa etapa do processo foi baseada em análise de imagens de satélite disponíveis no *Google Maps* e no recurso *Google*

Street View, que permitem a visualização bidimensional e panorâmica de 360° das vias urbanas de considerável número de locais atualmente. Para cada município definido na etapa anterior, a seleção das edificações amostradas foi realizada via *Google Maps* a partir da visualização da mancha urbana. Um ponto específico do município era definido aleatoriamente sem qualquer detalhamento visual. Em seguida, a escala era ampliada a fim de permitir a visualização detalhada da rua localizada neste ponto e, então, o número de edificações selecionadas neste ponto correspondia ao estipulado para o porte demográfico do município em questão. Caso o alvo selecionado não representasse uma edificação residencial ou, caso sua análise fosse inviabilizada por obstruções visuais, o processo era reiniciado a partir da etapa de seleção de um ponto aleatório na mancha urbana.

As amostras foram classificadas de acordo com sua tipologia (unifamiliar e multifamiliar) e zona bioclimática (ZB 1-8), gerando um total de 16 grupos de dados para geração de modelos representativos. As variáveis levantadas se referem a características: (1) Gerais: município, endereço, coordenadas geográficas e tipologia; (2) Volumetria: largura (m), altura (m), profundidade (m), volume (m³) e número de pavimentos; (3) Cobertura: presença de placas solares, material construtivo, área de projeção e altura do ático; e (4) fachada: material construtivo, absorvância solar (%), área da fachada principal (m²), presença de varandas, modelo de esquadrias, percentual de abertura da fachada frontal – PAF (%) e presença de proteções solares.

Informações referentes a dimensões horizontais, como largura e profundidade dos edifícios, foram coletadas por meio de ferramenta de medição do *Google Maps*. As medidas verticais foram estimadas a partir de análise de imagens do *Street View*, na qual medidas convencionais, como as de portas, foram adotadas como valores referência. Variáveis como volume e áreas foram obtidas por meio de cálculos baseados nas medidas obtidas. Algumas medidas foram aproximadas devido à baixa precisão das imagens e da ferramenta de medição. Em algumas edificações, parâmetros como a altura do ático da cobertura não foram registrados devido ao alto grau de imprecisão da estimativa.

Parâmetros referentes à presença de dispositivos de proteção solar, por exemplo, foram obtidos visualmente. O catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros (Anexo A) presente no Anexo V da Portaria INMETRO

Nº 50/ 2013 (INMETRO, 2013) foi empregado em conjunto com a observação do material de acabamento das paredes e coberturas, a fim de se definirem os seus materiais constituintes, assim como a definição das absorções solares.

A caracterização dos modelos de esquadrias baseou-se na Tabela de Descontos das Esquadrias (Anexo B) presente no Anexo B do RTQ-R (INMETRO, 2012). Esquadrias não tabeladas foram catalogadas a partir dos modelos identificados pelo levantamento e são apresentadas no Apêndice B deste trabalho.

2.5.2. Método de definição de modelos representativos de unidades habitacionais autônomas

O processo metodológico para definição dos modelos representativos do cenário residencial brasileiro construído foi fundamentado no método criado por Vasconcelos et al. (2015). Assim, o processo foi baseado nas informações obtidas pelo levantamento de dados nacionais existentes realizado e, na falta de informações, o suporte foi oferecido por conhecimentos práticos. Esses dados foram analisados estatisticamente e confrontados com os modelos já configurados por Teixeira et al. (2015), Telles et al. (2012), Sorgato (2009) e Tavares (2006).

2.6 Resultados

2.6.1. Características externas representativas

Feito o levantamento das características externas e sua análise e classificação em frequência de ocorrência, a caracterização da amostra foi finalizada. A Tabela 2 apresenta o percentual de tipologias levantadas por zona bioclimática de um total de 414 edificações, enquanto a Tabela 3 expõe as características construtivas mais representativas por tipologia e ZB.

Tabela 2 – Percentual de tipologias levantadas por Zona Bioclimática

Tipologia	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
Unifamiliar	88,1	88,2	70,8	81,8	88,1	91,3	89,7	80,9	84,7
Multifamiliar	11,9	11,8	29,2	18,2	11,9	8,7	10,3	19,1	15,3

A Tabela 2 evidencia a predominância de amostras de edificações unifamiliares em detrimento das multifamiliares. Tal relação, resultante da

amostragem empregada, está de acordo com a estimativa do último Censo demográfico do IBGE: 89,3% unifamiliar e 9,6% multifamiliar (IBGE, 2010).

Quanto às características externas predominantes, verifica-se certo grau de padronização das características mais representativas entre as zonas bioclimáticas (Tabela 3). As edificações de tipologia unifamiliares apresentam um pavimento, paredes em alvenaria, cobertura em telha cerâmica, absorvência de fachada de até 30%, além de ausência de coletores solares e *brises*, em sua maioria, independentemente de em qual ZB estão inseridas. Mesmo parâmetros que não são idênticos para todas as zonas ainda apresentam certa uniformidade, como é o caso dos volumes e das áreas de fachadas das edificações (Figura 2), em que para a maioria das ZB se situa entre 250 e 500m³ e em até 50m², respectivamente.

É importante salientar que o material construtivo das coberturas foi classificado de acordo com o tipo de material da telha – cerâmica ou fibrocimento –, enquanto o material das fachadas foi tabelado em alvenaria pintada, madeira, tijolo aparente, pedra, alvenaria revestida de cerâmica e painel cerâmico (parte em alvenaria e parte em cerâmica).

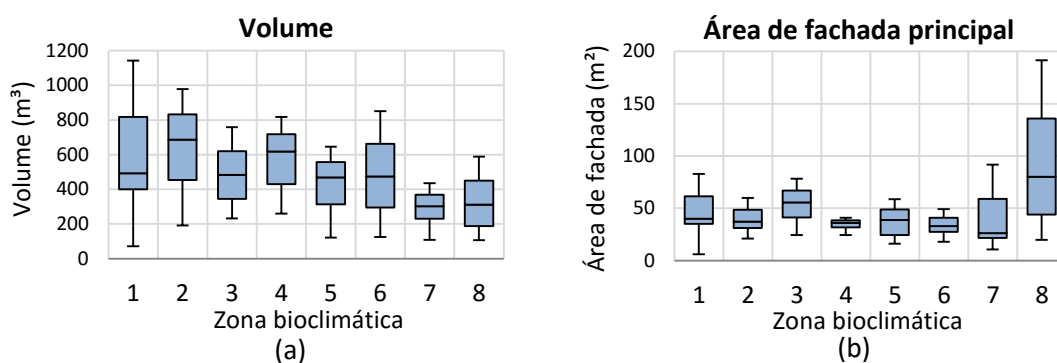
Tabela 3 – Características externas representativas por Zona Bioclimática e tipologia

Variáveis	Zona Bioclimática	Volume (m³)	Nº de pavimentos	Presença de placa solar	Modelo de telha	Área da cobertura (m²)	Altura do ático (m)	Material da fachada	Absortância solar da fachada (%)	Área da fachada (m²)	Presença de varanda	PAF (%)	Modelo de esquadria	Presença de brise
Unifamiliar	ZB1	500 - 750	1	não	cerâmica	100 - 150	0,5 – 1,0	alvenaria	até 30	0 - 50	não	5 - 10	5	não
	ZB2	750 - 1000	1	não	cerâmica	> 150	0,5 – 1,0	alvenaria	até 30	0 - 50	não	5 - 10	22	não
	ZB3	250 - 500	1	não	cerâmica	100 - 150	0,0 – 0,5	alvenaria	até 30	50 - 100	não	0 - 5	5	não
	ZB4	500 - 750	1	não	cerâmica	> 150	0,5 – 1,0	alvenaria	até 30	0 - 50	não	5 - 10	5	não
	ZB5	250 - 500	1	não	cerâmica	50 - 100	0,5 – 1,0	alvenaria	até 30	0 - 50	sim	5 - 10	5	não
	ZB6	250 - 500	1	não	cerâmica	50 - 100	0,5 – 1,0	alvenaria	até 30	0 - 50	não	5 - 10	5	não
	ZB7	250 - 500	1	não	cerâmica	50 - 100	0,5 – 1,0	alvenaria	até 30	0 - 50	não	0 - 5	30	não
	ZB8	250 - 500	1	não	cerâmica	50 - 100	0,0 – 0,5	alvenaria	até 30	0 - 50	sim	5 - 10	5	não
	Brasil	250 - 500	1	não	cerâmica	50 - 100	0,5 – 1,0	alvenaria	até 30	0 - 50	não	5 - 10	5	não
Multifamiliar	ZB1	>1000	5 - 10	não	fibrocimento	>300	NI	alvenaria-painel	30-100	50-100, >300	sim	5 - 10	26	não
	ZB2	250 - 500	3	não	cerâmica	100 - 200	NI	alvenaria	até 30	50 - 100	sim/não	5 - 15	22;28	não
	ZB3	250 - 500	3	não	fibrocimento	200 - 300	NI	alvenaria	até 30	50 - 300	não	0 - 5	5;6;22;26	não
	ZB4	até 250	3	não	cerâmica	<100	NI	alvenaria	até 60	0 - 100	sim	10 - 15	5	não
	ZB5	250 - 500	4	não	cerâmica	100 - 200	NI	cerâmica	até 30	0 - 50	não	5 - 10	24	não
	ZB6	250 - 500	>10	não	cerâmica	>300	NI	alvenaria	até 60	até 50, >300	sim/não	5 - 10	2,6	não
	ZB7	até 250; >1000	4	não	cerâmica	>100	NI	alvenaria-painel	até 30	até 50, >300	sim	<5, >15	1	não
	ZB8	0 - 250	5 - 10	não	cerâmica	100 - 200	NI	alvenaria	30 - 60	50 - 100	não	10 - 15	5	não
	Brasil	250 - 500	3	não	cerâmica	100 - 200	NI	alvenaria	até 30	50 -100	não	5 - 10	5	não

*NI = Não identificado devido à perspectiva do *Google Street View* que dificultava ou impossibilitava esta análise.

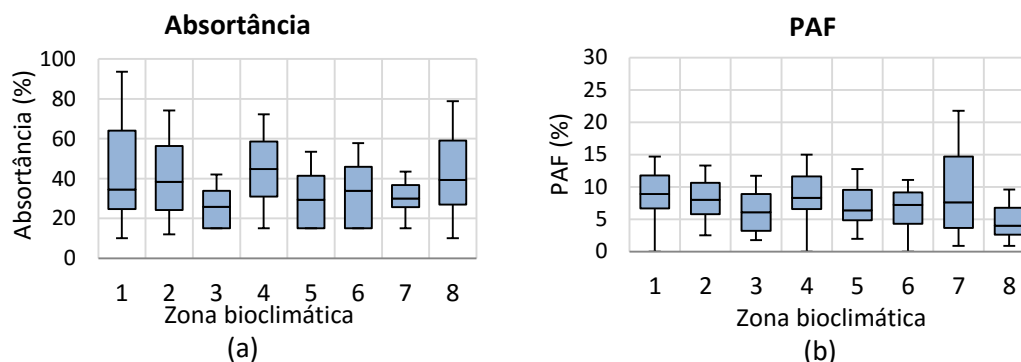
Ainda em relação à Figura 2, observa-se grande variação de volume das edificações da ZB1, enquanto aquelas da ZB7 e ZB8 apresentam maior tendência a seguir um mesmo padrão de volumetria, menor que o das demais zonas. Já em relação às áreas de fachada, o destaque é da ZB8, com elevada variabilidade de área e mediana superior às demais zonas. A combinação do volume com área de fachada principal induz à interpretação de edificações de pequena profundidade em relação à sua largura, porém essa observação não é conclusiva. A análise de área de fachada foi necessária devido ao parâmetro somatório de área de parede externa (SomAparext) presente na equação do método prescritivo do RTQ-R. Para as demais zonas, há pequena variação das áreas de fachada.

Figura 2 – Características das edificações unifamiliares por Zona Bioclimática: (a) volume e (b) área de fachada principal



A Figura 3 apresenta a distribuição de absorção solar e percentual de área de aberturas na fachada principal. A mediana das absorções é, em média, próxima a 30%, o que evidencia que todas as edificações de todas as zonas apresentam tendência a serem mais claras, mesmo com a variação das absorções entre 15 e 60%. Ainda há baixa variação das absorções das ZBs 3 e 7, evidenciando-se um certo padrão de cores adotado nessas zonas. Quanto ao percentual de área de abertura na fachada (PAF), as medianas são sempre inferiores a 10%, com baixa variação, com exceção da ZB7. Ao comparar o percentual de área de aberturas com os modelos de esquadrias de cada zona, que apresentam percentual de abertura para ventilação entre 40 e 50%, tem-se apenas cerca de 4 a 5% de vão de ventilação efetivo em relação à área total de uma fachada. Um ponto crítico se refere à ZB8, a qual apresenta tendência de PAF mais baixos e é justamente a ZB cuja estratégia de ventilação natural é a mais recomendada pela NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005).

Figura 3 – Características das edificações unifamiliares por Zona Bioclimática: (a) da absorção solar e (b) percentual de abertura da fachada principal



O Apêndice C possibilita uma análise mais minuciosa ao apresentar a ocorrência de cada parâmetro em relação às unidades residenciais unifamiliares. As características externas predominantes (Tabela 3) apresentam, em sua maioria, elevados percentuais em relação às demais características amostradas. Em alguns casos, como na análise do levantamento da presença de coletores solares térmicos (placas solares na tabela) e varandas, por exemplo, algumas zonas tiveram 100% da amostra sem a presença desses dispositivos. Assim, é possível definir modelos representativos baseados na Tabela 1, visto que as outras características identificadas mostraram percentuais por vezes pouco significantes em relação ao todo.

A análise da Tabela 2 subsidia o agrupamento de ZBs que apresentam características externas predominantes em comum. Foi estabelecido um critério de que 85% das amostras semelhantes por parâmetro era condição satisfatória para se estabelecer um padrão. Assim, cinco grupos foram estabelecidos: ZB1 e ZB4; ZB2; ZB3; ZB5 e ZB8; e, ZB6 e ZB7. Na maioria destes, as similaridades das amostras ocorreram para 92,3% dos parâmetros e, mesmo aqueles que se diferenciaram, apresentaram características semelhantes.

Já o levantamento de unidades multifamiliares contou ainda com uma análise referente à tipologia encontrada no pavimento térreo das edificações (Tabela 4).

Tabela 4 – Percentual de tipologias do pavimento térreo de unidades multifamiliares levantadas por Zona Bioclimática

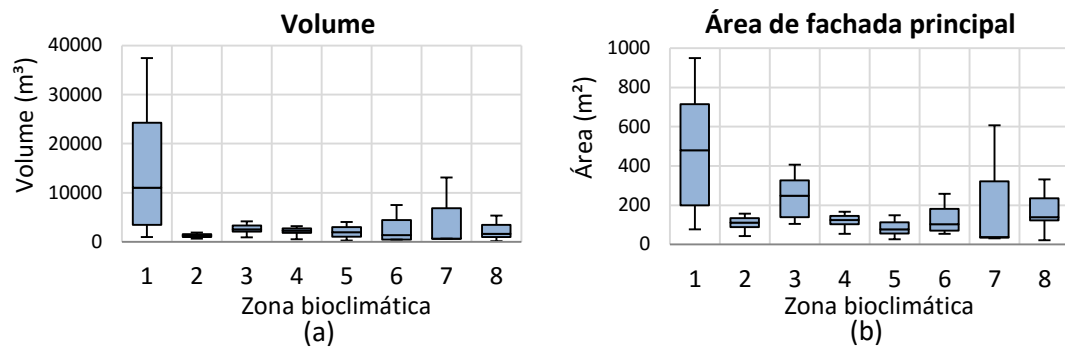
Térreo	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
Comercial	0	0	0	50	0	0	0	88,9	20,4
Residencial	100,0	75,0	100,0	50	60	100,0	100,0	11,1	73,5
Pilotis	0	25,0	0	0	40	0	0	0	6,1

Ao analisar a tipologia presente no pavimento térreo de edificações multifamiliares (Tabela 4), tem-se o predomínio de unidades habitacionais para as diferentes ZBs, com exceção da ZB4 e ZB8. A ZB4 apresenta 50% das amostras com tipologia residencial e 50% comercial no térreo, enquanto a ZB8 apresenta maioria em tipologia comercial no térreo. Observa-se ainda baixo número de amostras que contam com pilotis no pavimento térreo, exceto a ZB5 na qual este padrão é encontrado em 40% das amostras.

Quanto às características comuns das edificações por zona, as multifamiliares apresentaram maior diversificação, ao contrário das edificações unifamiliares. Apesar de as características mais representativas serem as mesmas quando comparadas algumas zonas, apenas os aspectos referentes a ausência de *brises* e varandas foram identificadas como atributo mais representativo em todas ZBs.

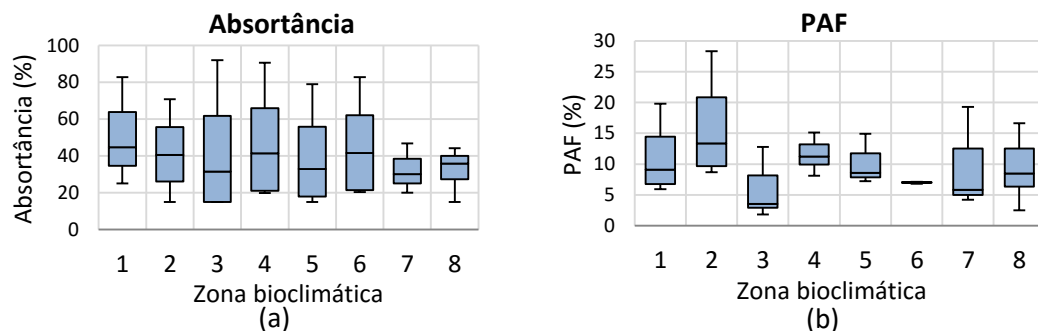
Devido ao método de amostragem, a tipologia multifamiliar apresentou um número limitado de amostras, fazendo com que na maioria dos casos as características identificadas como predominantes apresentassem ora frequência de ocorrência de 100% e ora estabelecendo uma relação de 50% contra 50% dado por outra característica. O Apêndice D evidencia tal relação. Como exemplo, tem-se o parâmetro referente aos volumes da ZB7, que apresentou 50% das amostras com volume entre até 250m³ e 50% maior ou igual a 1000m³, em um total de 4 amostras (Figura 4). Tal extremo dificulta a padronização de modelos na zona e o número de amostras multifamiliares obtidas evidencia uma limitação do método, apesar da relação de amostras unifamiliares e multifamiliares levantadas condizer com a proporção apresentada pelo Censo Demográfico do IBGE (2010). Também ocorre uma variação na ZB1, na qual há discrepância do volume e da área de fachada principal em relação às demais zonas, sem que se pudesse encontrar as razões para tal resultado. Em contraste às zonas que apresentam alta variação de volume e área, outras não exibem grande variação entre os valores de medianas e quartis. Nesses casos, a definição destes parâmetros como representativos são mais confiáveis.

Figura 4 – Características das edificações multifamiliares por Zona Bioclimática: (a) volume e (b) área de fachada principal



Os valores de absorção solar de edificações multifamiliares apresentaram alta variabilidade (Figura 5). Apesar de todas as zonas apresentarem absorção com mediana abaixo de 50%, grande parte das zonas contém edificações com fachadas em cores mais escuras. Quanto ao PAF, observam-se percentuais maiores de aberturas nesta tipologia, sendo a ZB2 a que apresenta maior área envidraçada e as zonas 4, 5 e 6 as com maior semelhança de valores na amostra (Figura 5). O desvio padrão das medianas dos PAF, das ZBs 4, 5 e 6 são respectivamente 3,6%, 2,8% e 0,16%.

Figura 5 – Características das edificações multifamiliares por Zona Bioclimática: (a) da absorção solar e (b) percentual de abertura da fachada principal



Ao contrário da amostra unifamiliar, as características representativas das ZBs multifamiliares não puderam ser agrupadas por não atender ao critério de que tivessem 85% dos parâmetros em comum com outra zona. Entretanto, ainda é possível constatar a tendência das edificações multifamiliares brasileiras apresentarem volumes menores (abaixo de 500m³) com até 4 pavimentos, com presença de telha cerâmica e revestimento de paredes em alvenaria. Todavia, há variações que são inexistentes em edificações unifamiliares, como é o caso do modelo de esquadrias. Na tipologia unifamiliar, o modelo 5 (Anexo B) predomina com 29,2% de ocorrência na tipologia unifamiliar e 21,6% na multifamiliar. Nesta

última tipologia ainda há maior quantidade de modelos considerados significativos, como as esquadrias 6, com 11,4% de ocorrência na fachada principal, e as esquadrias 2 e 8 com 8% (Apêndice E, Anexo B e Apêndice B).

O levantamento permitiu, por fim, a verificação da frequência de ocorrência das características externas das edificações por ZB, sendo que, quanto à tipologia unifamiliar, é possível ainda uma classificação da amostra em grupos. Esta caracterização contribui para a elaboração de modelos representativos.

2.6.2. Modelos representativos de unidades habitacionais autônomas

A partir do método proposto, um total de oito modelos físicos representativos foram estabelecidos a partir das configurações geométricas abordadas pelos autores estudados. A partir do confronto dos dados de diferentes trabalhos, cinco tipologia multifamiliar e três unifamiliar foram classificadas como mais representativas (Tabela 5). Embora o período de construção da edificação seja um importante parâmetro de classificação, como defende Vasconcelos et al. (2015), o método abordado por este trabalho não viabilizou tal procedimento, pois não incluiu levantamentos *in loco*. A Tabela 5 apresenta a caracterização dos modelos, bem como as fontes base que deram origem aos modelos apresentados nas Figuras 6 a 13. Em alguns casos a geometria dos modelos (dimensões, posicionamento de aberturas ou configuração do espaço interno) foram adaptadas a fim de se adequar melhor ao identificado no levantamento das características externas, tais como áreas de aberturas.

Tabela 5 – Detalhes dos modelos representativos

Modelo	Tipologia	Área útil (m ²)	Nº dormitórios	Fonte
1	Multifamiliar	53,3	2	Teixeira et al. (2015)
2	Multifamiliar	60,8	2	Teixeira et al. (2015)
3	Multifamiliar	66,8	3	Teixeira et al. (2015)
4	Multifamiliar	67,7	3	Teixeira et al. (2015)
5	Multifamiliar	33,2	1	Telles et al. (2012)
6	Unifamiliar	30,7	2	Sorgato (2009)
7	Unifamiliar	55,5	2	Sorgato (2009)
8	Unifamiliar	142,9	3	Tavares (2006)

Figura 6 – Planta do Modelo 1
 Fonte: Teixeira et al. (2015)

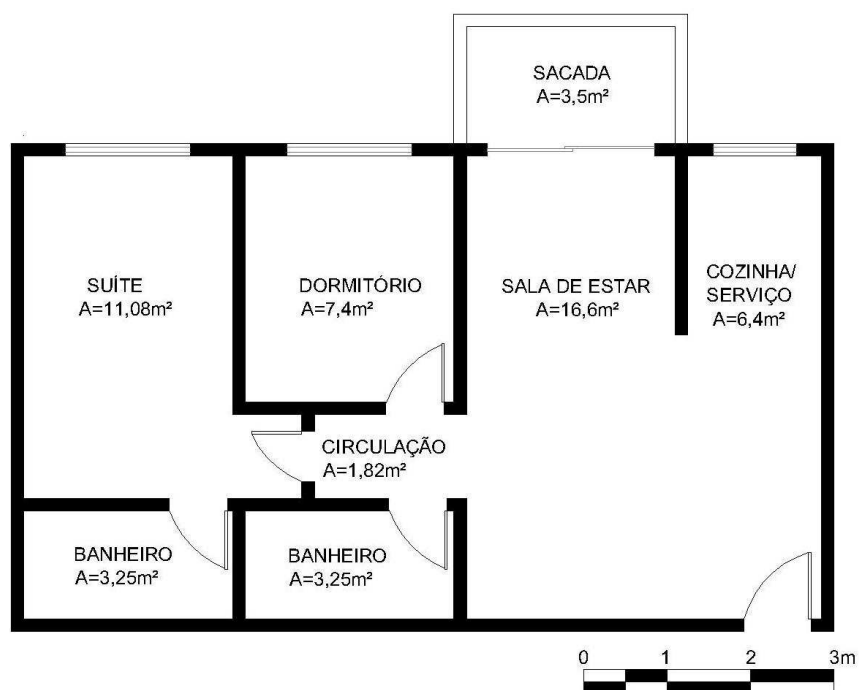


Figura 7 – Planta do Modelo 2
 Fonte: Teixeira et al. (2015), adaptado pela autora

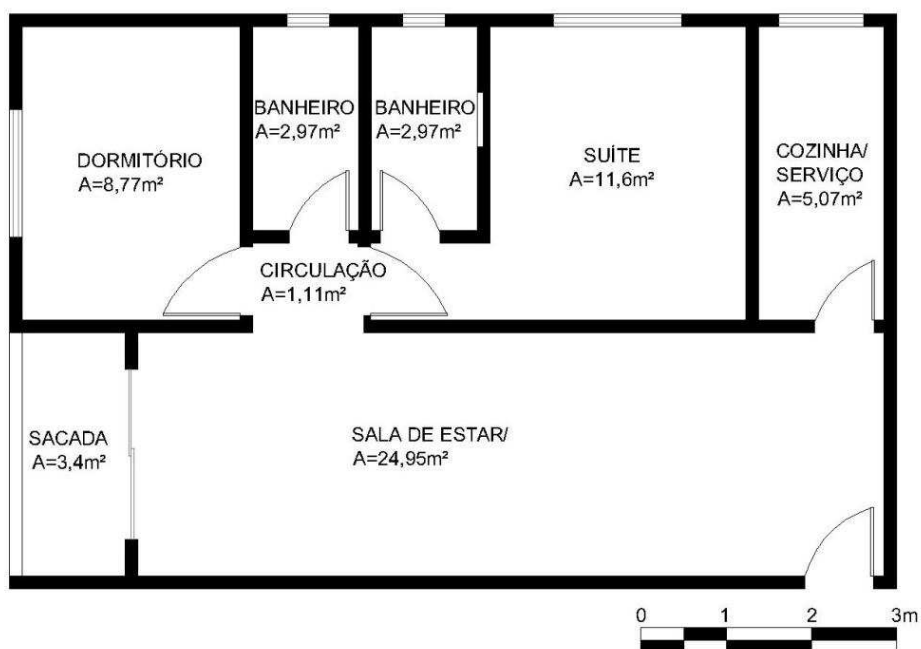


Figura 8 – Planta do Modelo 3
 Fonte: Teixeira et al. (2015), adaptado pela autora

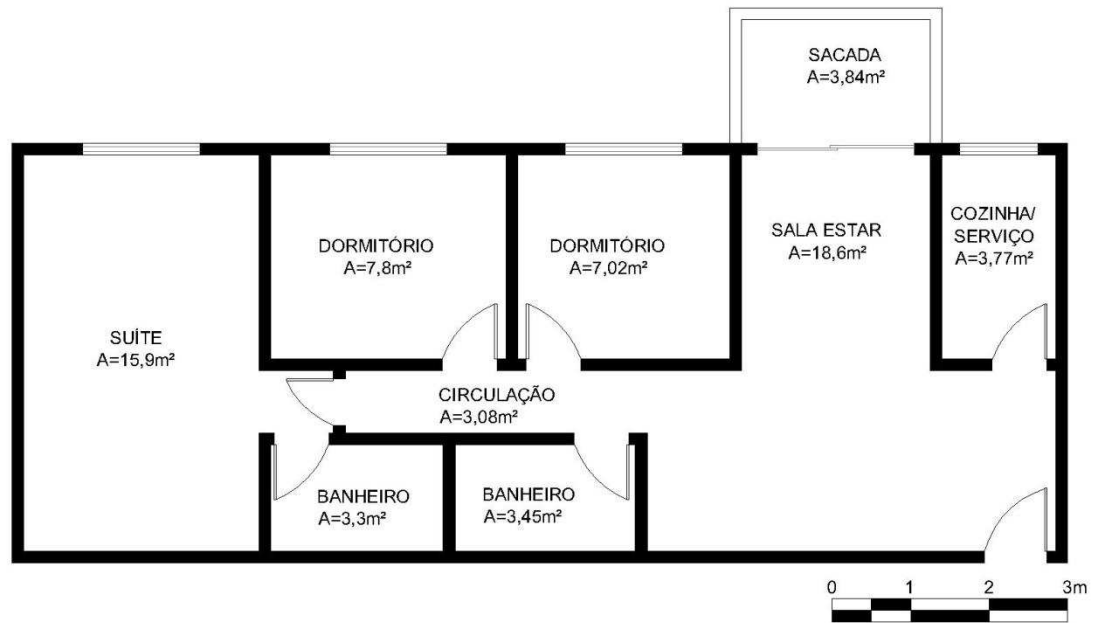


Figura 9 – Planta do Modelo 4
 Fonte: Teixeira et al. (2015)

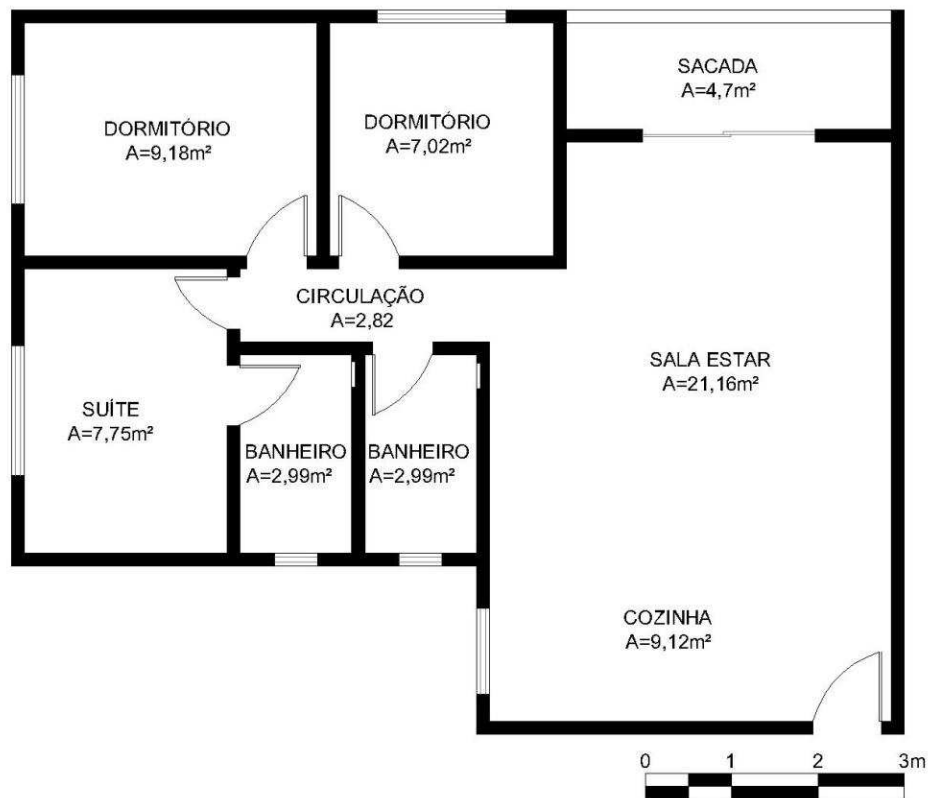


Figura 10 – Planta do Modelo 5

Fonte: Telles et al. (2012)

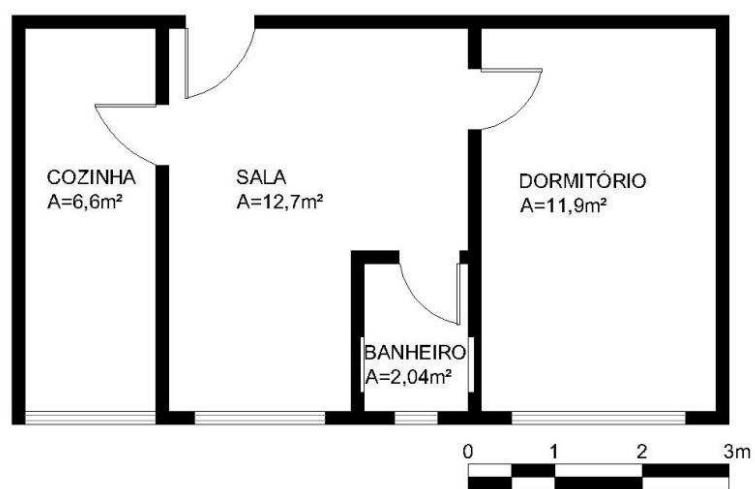


Figura 11 – Planta do Modelo 6

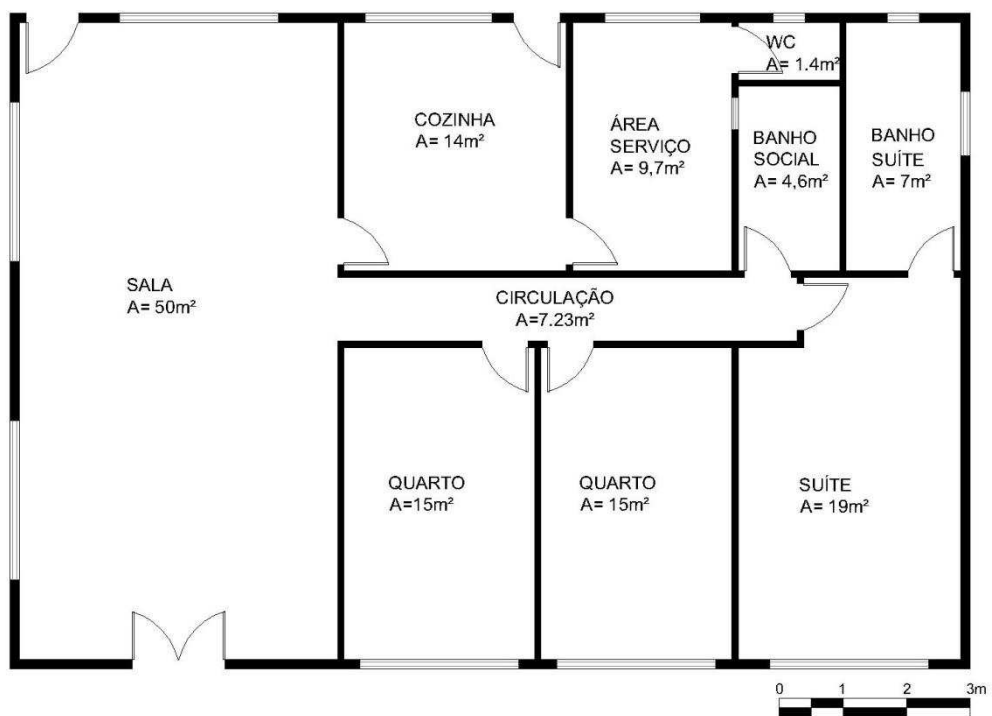
Fonte: Sorgato (2009)



Figura 12 – Planta do Modelo 7
 Fonte: Sorgato (2009)



Figura 13 – Planta do Modelo 8
 Fonte: Tavares (2006), adaptado pela autora



Como identificado por Teixeira et al. (2015), não há diferenças significativas da configuração interna e dos materiais construtivos entre as diferentes regiões brasileiras, assim os modelos físicos definidos são adotados para representar todas as zonas bioclimáticas (ZB). Já as configurações externas das unidades habitacionais variam conforme a zona na qual se situa e a tipologia, como identificado no levantamento complementar. Nesse sentido, diferentes conformações foram adotadas para representar a configuração externa. O arranjo final dos modelos representativos se deu com a combinação de cada modelo físico com as características externas de cada tipologia e zona, resultando em um total de 128 modelos representativos.

As Figura 14 e 15 apresentam, respectivamente, as características das paredes e das coberturas representativas - cerâmica e fibrocimento.

Figura 14 – Paredes dos modelos representativos

Fonte: Inmetro, 2013

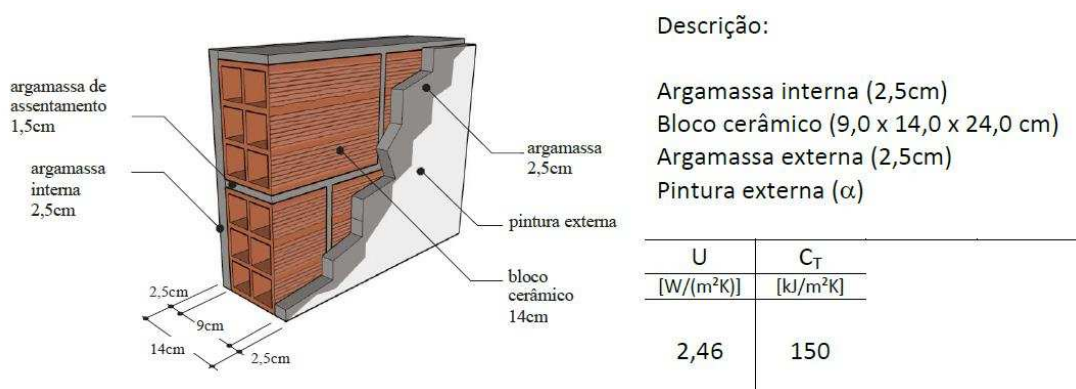
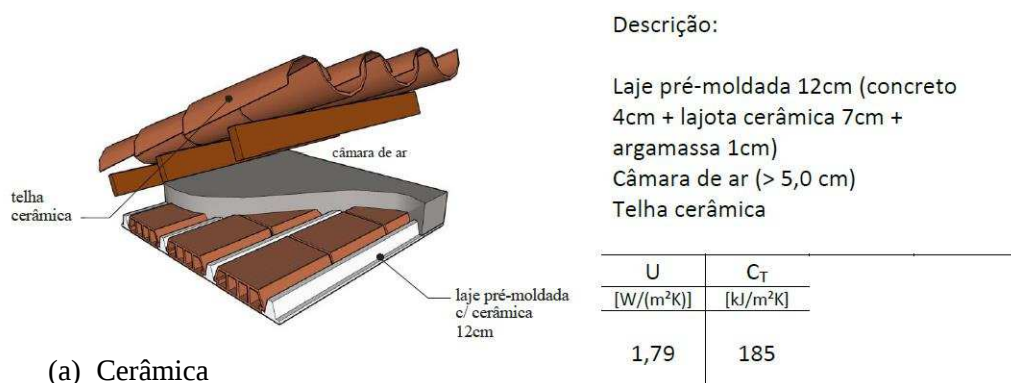
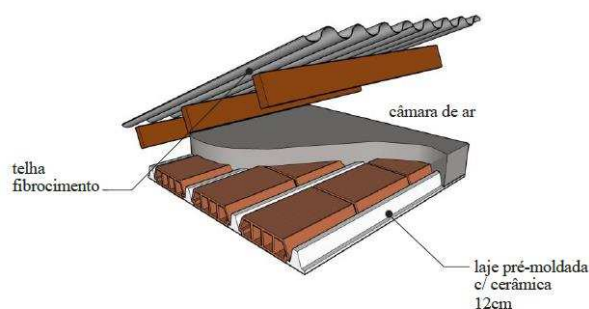


Figura 15 – Cobertura dos modelos representativos

Fonte: Inmetro, 2013





(b) Fibrocimento

Descrição:

Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm)
Câmara de ar (> 5,0 cm)
Telha fibrocimento 0,8cm

U	C _T
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]
1,79	180

2.7 Considerações finais

A fim de caracterizar o setor residencial brasileiro existente, dados pré-existent e levantamento complementar revelam não apenas as características físicas do setor residencial brasileiro como, também, permitiram a definição de modelos representativos. Mesmo o Brasil possuindo estudos relevantes acerca das características físicas do setor residencial brasileiro, lacunas referentes às características externas foram identificadas. Portanto, fez-se necessário uma análise estatística desses dados.

Ao analisar os dados já existentes e os resultados decorrentes do levantamento das informações externas das edificações, foi possível observar que as edificações multifamiliares vêm ganhando espaço e que o número de dormitórios e cômodos nas edificações brasileiras como um todo é crescente. Além disso, diferenças quanto a configuração externa das edificações entre as zonas e tipologias (unifamiliar/multifamiliar) foram identificadas. A absorção solar das fachadas, por exemplo, apresentaram tendência de percentual de até 30% para a tipologia unifamiliar, enquanto que as tipologias multifamiliares de zonas bioclimáticas como ZBs 4, 6 e 8 apresentaram absorção de até 60%. Por fim, oito modelos virtuais físicos – três unifamiliares e cinco multifamiliares – foram definidos, sendo cada um combinado com diferentes configurações externas, de acordo com a ZB na qual se inserem. Apesar de alcançar resultados objetivos e pertinentes, o trabalho apresentou como limitação as lacunas de informações, como áreas de coletores, e as imprecisões dadas pelas ferramentas do Google ao longo do levantamento complementar. Assim, o panorama aqui retratado permitiu a caracterização física do setor, mas ainda está aberto a maiores estudos e aperfeiçoamento.

Como parte de um trabalho maior, os modelos de edificações representativos aqui definidos são alicerces que dão base para simulações de validação da simplificação do método prescritivo da etiquetagem residencial nacional RTQ-R.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2005.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **2005 ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2005.

AKSOEZEN, M.; DANIEL, M.; HASSLER, U.; KOHLER, N. Building age as indicator for energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 74-86, 2015.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 2008.

CORGNATI, S.; FABRIZIO, E.; FILIPPI M.; MONERTI, V. Reference buildings for cost-optimal analysis: method of definition and application. *Applied Energy*, v. 102, p. 983 – 993, 2013.

DASCALAKI, E. G., DROUTSA, K. G.; BALARAS, C. A.; KONTOYIANNDIS, S. Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – a case study for the Hellenic building stock. **Energy Build**, v. 43, p. 3400 – 3409, 2011.

DERU, M.; FIELD, K.; STUDER, D.; BENNE, K.; GRIFFITH , B.; TORCELLINI. P.; LIU, B.; HALVERSON, M.; WINIARSKI, D.; ROSENBERG, M.; YAZDANIAN, M.; HUANG, J.; CRAWLEY, D. U. S. Department of Energy commercial reference building models of the national building stock. **NREL – National Renewable Energy Laboratory**, 2011.

DIRECTIVE. The Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. **União Européia**, 2010.

DTD. **Relatório de Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: classe comercial – alta tensão**. Departamento de Desenvolvimento da Eficiência Energética. Rio de Janeiro, 2008.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2015.

EUR. UNION. **Guidelines Regulation nº 244/2012** of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculation cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements. União Européia, 2012.

FILOGAMO, L.; PERI, G.; RIZZO, G.; GIACCONE, A. On the classification of large residential buildings stocks by sample typologies for energy planning purposes. **Applied Energy**, v. 135, p. 825-835, 2014.

HSU, D. How much information disclosure of building energy performance is necessary? **Energy Policy**, v. 64, p. 263-272, 2014.

IBGE. **Censo demográfico** - 1960, 1970, 1980, 1991 e 2000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2010.

INMETRO. **Anexo da Portaria nº 50/2013**: Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C. Rio de Janeiro, 2013.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18**, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

KOO, C.; PARK, S.; HOG, T.; PARK, H. S. An estimation model for the heating and cooling demand of a residential building with a different envelope design using the finite element method. **Applied Energy**, v. 115, p. 205-215, 2014.

LOGA, T.; DIEFENBACH, N.; STEIN, B. Typology approach for building stock energy assessment: main results of the TABULA project. **Final project report**, Institut Wohnen und Umwelt, 2012.

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

PNAD. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**: síntese de Indicadores 2012. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Empregos e Rendimento. Rio de Janeiro, 2012.

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

SPIEKMAN, M.; PANEK, A.; ERHORN, H.; ERHORN-KLUTTIG, H.; GUYOT, G.; CARRIÉ, R.; SCHILD, P.; HEIJMANS, N.; LASKARI, M.; SANTAMOURIS, M. The final recommendations of the ASIEPI project: how to make EPB regulations more effective? **Summary report**, 2010.

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

TEIXEIRA, C. A.; INVIDIATA, A.; SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; FOSSATI, M. LAMBERTS, R. **Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros**. CB3E, Florianópolis, 2015.

TELLES, C. P.; PESSANHA, T. M. F.; CARLO, J. C. **Avaliações de eficiência energética de edifícios baseadas no Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro**. Relatório de Pesquisa. Centro de ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

VASCONCELOS, A. B.; PINHEIRO, M. D.; MANSO, A.; CABAÇO, A. A Portuguese approach to define reference buildings for cost-optimal methodologies. **Applied Energy**, v. 140, p. 316 – 328, 2015.

3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS TERMOFÍSICOS DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R

RESUMO:

Com a crescente preocupação com as questões energéticas e ambientais, muito se tem discutido a respeito de sustentabilidade e edificações energeticamente eficientes. Nesse sentido, foi lançado no Brasil o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) em 2010. O RTQ-R especifica os requisitos técnicos e os métodos para classificação do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, permitindo a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Ciente da relevância de maior conhecimento do RTQ-R, bem como de seus métodos de avaliação, este artigo tem como objetivo analisar a sensibilidade dos graus-hora (GHResf) e consumo de aquecimento (CA) empregado no método prescritivo de avaliação do RTQ-R com relação às variáveis presentes em sua equação. O procedimento que determina os valores de GHResf e CA baseia-se em equações com uma lista de 36 variáveis, as quais são multiplicadas a diferentes quocientes e somadas. Estes arranjos resultam em um total de oito equações correspondente a cada uma das Zonas Bioclimáticas brasileiras. Para a realização da análise, foi utilizado o programa Simlab 2.2, desenvolvido para aplicação de análises de sensibilidade pelo método Monte Carlo. A técnica de amostragem empregado é o Hipercubo Latino e a análise baseia-se no procedimento de regressão empregando-se o método de Coeficiente de Correlação Parcial (CCP) para análise de sensibilidade. O valor de CCP pode ser positivo ou negativo, se refere a uma relação direta e inversamente proporcional entre variável independente e dependente, respectivamente. Os resultados obtidos evidenciam que as variáveis que apresentam maior influência para GHResf são a área de aberturas voltadas ao leste e a absorvância de paredes, com influência positiva, e as aberturas voltadas a norte e sul com influência negativa. Já para CA, o somatório das áreas de parede externas se destaca com impacto positivo e as áreas de aberturas com impacto negativo. Assim, ao evidenciar a relevância de cada variável, o estudo contribui para futuros aperfeiçoamentos da certificação e ainda enfatiza os pontos de destaque que não devem ser ignorados ao longo do desenvolvimento de projetos arquitetônicos.

Palavras chave: etiqueta residencial, RTQ-R, eficiência energética.

ABSTRACT:

The discussion about sustainability and energy efficiency in buildings increased due to the late concerns about energy and environmental issues. The Technical Quality Requirements for Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R) was released in Brazil in 2010. The RTQ-R specifies the technical requirements and methods for rating the energy efficiency level of low and high rise residential buildings to obtain the National Energy Conservation Label of the Brazilian Labeling Program. This study aims to analyze the sensitivity of cooling degree hours (CDH) and relative consumption for heating (RCH) of the equations used in the prescriptive method of RTQ-R assessment to understand the weight that each variable has on the final label. The calculation of CDH and RCH is based on eight and four equations, respectively, which 36 parameters are multiplied and added at different ratios. There are equations corresponding to each of eight Brazilian Bioclimatic Zones. The analysis was performed using the software SimLab 2.2, developed for sensitivity analysis by Monte Carlo method. The variables used in the RTQ-R were selected using the Latin Hypercube Sampling. The sensitivity analysis was based on Regression analysis using Partial Correlation Coefficients (CCP). The amount of PCC may be positive or negative, it refers to a relation directly and inversely between dependent and independent variable, respectively. The results show that the parameter that presented the greatest influence on CDH are area of east openings and wall absorptance with positive influence and area of north and south openings with negative influence. As for RCH, the total sum of the area of exterior walls stands out with a positive impact and areas of openings with a negative impact. So, by verifying the relevance of variables, the study contributes to future improvements on

labeling and emphasizes the parameters that should not be ignored during the development of architectural designs.

Keywords: *Residential labeling. RTQ-R. Energy efficiency.*

3.1 Introdução

No Brasil, as ações engajadas no contexto de eficiência energética desde a Lei nº 10.295 de 2001 resultaram na inclusão das edificações no Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro - PBE, entidade acreditadora nacional. Foram então lançados os Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (INMETRO, 2010) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012). Ambos regulamentos estabelecem requisitos e métodos de avaliação do nível de eficiência energética de edificações. Há duas abordagens de avaliação: o método prescritivo e o método de simulação. O primeiro contém diversas equações de regressão e tabelas para avaliar o nível de eficiência energética enquanto o último é realizado por simulação energética do edifício (INMETRO, 2010, 2012). Este último é baseado em modelos matemáticos para fazer a simulação energética e resulta na avaliação do desempenho do edifício (CLARKE; HENSEN, 2015). Scalco et al. (2012) discutiram sobre alguns dos destaques do programa como a avaliação de edifícios naturalmente ventilados e o incentivo ao emprego de estratégias naturais e sistemas que valorizem a sustentabilidade ao discutir acerca de inovações do RTQ-R.

O RTQ-R requer alto conhecimento de seus métodos de avaliação (prescritivo e simulação), visto incluir diversos parâmetros de análise. As equações do método prescritivo, por exemplo, compreendem parâmetros independentes e, portanto, é necessário conhecer quais características são mais importantes no desempenho energético de edificações naturalmente ventiladas e seus impactos individuais. Nesse sentido, Silva e Ghisi (2013, p. 136) alertam que a análise de sensibilidade “tem grande aplicação em normalizações de eficiência energética”. O procedimento é uma averiguação da resposta de um modelo quanto aos limites ou variações drásticas das variáveis analisadas (KLEIJNEN, 1997).

Assim, a análise de sensibilidade se torna relevante no estudo dos Requisitos do PBE à medida que pode avaliar o peso que cada parâmetro da edificação possui no método de classificação do seu nível de eficiência. O procedimento já foi realizado em diferentes estudos tanto para o RTQ-C (MACIEL; CARLO, 2011) quanto para o RTQ-R (SILVA; GHISI, 2013, 2014; VAN DER KNAAP, 2011).

3.1. 1 Análise de sensibilidade

Conforme afirmam Macdonald et al. (1999), a análise de sensibilidade consiste em uma avaliação da relação entre as variações de parâmetros de entrada e as variações previstas para os parâmetros de saída de determinado modelo. O procedimento de análise de sensibilidade abordado por este trabalho é o Monte Carlo, o qual consiste na geração de amostra, execução da simulação para obtenção dos dados de saída e, por fim, a análise de sensibilidade e/ou incerteza (IPSC, 2008).

O programa Simlab 2.2. é um *software* desenvolvido para executar o método estatístico Monte Carlo, e proceder com todas as etapas desta técnica por meio dos módulos pré-processador, modelo de execução e pós-processador (IPSC, 2008). O programa que trabalha com diferentes métodos de análise de sensibilidade é eficiente para análises de desempenho energético (TIAN, 2013) e já foi empregado em estudos como Silva e Ghisi (2013; 2014). Dentre as diferentes técnicas de amostragem viáveis para este estudo, destaca-se o Hipercubo Latino, visto permitir uma amostra estratificada que possibilita melhor abrangência das variações e combinações das variáveis independentes, os quais tem analisada sua influência sob a variável dependente (TIAN, 2013). Mesmo a amostragem sendo uma das etapas mais relevantes para a confiabilidade de uma análise de sensibilidade, Silva e Ghisi (2013) afirmam que mais estudos devem ser feitos para verificar o impacto de diferentes distribuições na sensibilidade dos parâmetros.

Para a definição de amostras, as funções mais usuais são a discreta e a triangular, embora Tian (2013) alerte para a falta de dados existentes referentes aos parâmetros tidos como variáveis independentes, fato que dificulta as distribuições de probabilidade. Para tais casos, Mechri, Capozzoli e Corrado (2010) recomendam o emprego de função uniforme. Entretanto, ainda há divergências nesse sentido e

alguns estudos optam por utilizar outras distribuições de acordo com seus objetivos específicos, como é o caso de Silva e Ghisi (2014), que adotaram a distribuição normal visto terem conhecimento de qual é a tendência de valor central.

Quanto aos tipos de análise, Tian (2013) defende a existência de dois procedimentos: local e global. Entretanto, Saltelli, Tarantola e Campolongo (2000) mencionam um terceiro tipo: a análise por triagem. De acordo com os autores, a análise global é a mais aperfeiçoada e completa, pois, ao contrário da triagem – que analisa variáveis isoladamente em seus limites –, e a local – que analisa uma única variável em diferentes níveis –, a análise global avalia a influência e variação de todos os parâmetros simultaneamente.

Dentre as técnicas de análise, destaca-se a regressão por permitir uma análise individual de cada variável independente do modelo. Tian (2013) alerta que para análise via regressão de modelos lineares, os Coeficientes de Regressão Padronizados (CRP) e os Coeficientes de Correlação Parcial (CCP) são as técnicas cabíveis de serem empregadas. Enquanto o CRP quantifica os efeitos da variação de um parâmetro de entrada em particular e mantém os demais com valores fixos, o CCP quantifica tais variações considerando a existência de relações lineares entre duas variáveis (IPSC, 2008). Assim, enquanto CRP só é válido quando não há correlação entre os parâmetros de entrada, o CCP é válido quando há correlação (TIAN, 2013), o que interessa mais a este estudo.

3.1.2 Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)

Lançado em 2010, o RTQ-R (INMETRO, 2012) tem por objetivo a concessão de uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que caracteriza o nível de eficiência energética da edificação. Dependendo do seu desempenho energético, a edificação é classificada dentro de cinco níveis de eficiência (A-E), na qual o A é a classificação atribuída para os casos mais eficientes e E para os menos. O processo de etiquetagem pode ser realizado em diferentes etapas da construção, na fase de projeto bem como na edificação existente. Além disso, a etiquetagem pode

ser realizada para o edifício completo ou para partes deste, como para espaços privativos ou espaços condominiais (INMETRO, 2012).

A definição do nível de eficiência pode ser determinada pelos dois métodos descritos na introdução deste trabalho – prescritivo e simulação. As envoltórias das unidades habitacionais (EqNumEnv), o sistema de aquecimento de água (EqNumAA) e as possíveis bonificações são os parâmetros de avaliação que compõem a equação que determina o nível de eficiência da unidade habitacional. Além disso, no caso de edificações multifamiliares, pode-se analisar ainda se as áreas comuns de uso frequente ou eventual também atendem a requisitos específicos e suas eventuais bonificações.

A análise de sensibilidade realizada por este trabalho é baseada no método prescritivo de avaliação, com foco em seus indicadores de consumo graus-hora de resfriamento³ (GH_R) e consumo relativo de aquecimento⁴ (C_A) utilizados no cálculo do equivalente numérico da envoltória para resfriamento – EqNumEnvResf –, e aquecimento – EqNumEnvA –, respectivamente, e, portanto, no equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) (INMETRO, 2012). O GH_{Resf} e C_A são calculados usando uma das oito e uma das quatro equações, respectivamente, que contêm em torno de 36 parâmetros que são multiplicados por quocientes e, depois, somados. Há equações correspondentes para cada uma das oito Zonas Bioclimáticas (ZB) estabelecidas pela Norma NBR 15220 (ABNT, 2005). O C_A é calculado apenas para as ZBs 1 a 4 (INMETRO, 2012).

Os equivalentes numéricos para resfriamento e aquecimento são obtidos para cada ambiente de permanência prolongada (APP) por meio de limites estabelecidos por tabelas correspondentes a cada ZB. O valor final do EqNumEnvResf e do EqNumEnvA da unidade habitacional é dado por ponderação pela área útil de cada ambiente. Há, portanto, oito equações de acordo com a ZB para determinar o

3 “Somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base, quando a primeira está acima da temperatura de base.” (RTQ-R, 2012 p. 11)

4 “Consumo anual de energia (em kWh) por metro quadrado necessário para aquecimento do ambiente durante o período de 21 h às 8 h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 22° C.” (RTQ-R, 2012 p. 7)

EqNumEnv. Este cálculo é obtido por meio da multiplicação do equivalente de resfriamento e de aquecimento por quocientes seguido de seu somatório, como segue no exemplo referente à ZB3 (Equação 1).

$$\text{EqNumEnv} = 0,64 \times \text{EqNumEnvResf} + 0,36 \times \text{EqNumEnvA} \quad \text{Equação 1 – EqNumEnv da ZB3}$$

Um estudo de análise de sensibilidade relacionado aos parâmetros do RTQ-R foi desenvolvido por Silva e Ghisi (2013). Os autores analisaram a influência de parâmetros físicos e geométricos de diferentes tipologias residenciais para a cidade de Florianópolis - SC no indicador de graus hora para resfriamento e nos consumos relativos para aquecimento e resfriamento por simulação termoenergética. No trabalho de Silva e Ghisi (2013), a amostragem de 500 casos simulados foi realizada pelo método Hipercubo Latino e quinze parâmetros utilizados no RTQ-R foram analisados; para a análise de sensibilidade utilizaram os indicadores CRP e CCP. Os autores trabalharam com distribuição discreta e triangular, com probabilidades de ocorrência de 20% e 80%, e de 20%, 60% e 20%, respectivamente. Como resultado, eles identificaram a absorvância solar da cobertura (AbsCob), a transmitância térmica da cobertura (Ucob) e o contato da cobertura com o exterior (cob) como os parâmetros mais influentes positivamente para os graus-hora de resfriamento, com relação direta no GHResf. Já os parâmetros mais influentes identificados com relação inversa foram a capacidade térmica das paredes externas (CTpar), o contato do piso com o solo (solo) e a capacidade térmica da cobertura (CTcob), isto é, quanto menores seus valores, maior os GHResf (SILVA; GHISI, 2013). Para o CA, os parâmetros mais influentes foram capacidade térmica da cobertura (CTcob), absorvância solar da cobertura (AbsCob) e das paredes (AbsPar) com influência positiva e a emissividade da cobertura, a transmitância térmica de paredes (Upar) e o contato do piso com o solo (solo) com influência negativa.

Os autores trabalharam ainda com análise de sensibilidade em outro trabalho, no qual compararam os resultados de desempenho da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1 - edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais (SILVA; GHISI, 2014). Foram geradas 500 combinações aleatórias e empregou-se o programa Energy Plus para simulação. Assim como no estudo anterior, os autores trabalharam com distribuição discreta e triangular; entretanto, distribuições normais foram empregadas nos casos

em que se tinha uma maior ocorrência do valor central conhecido. Ao analisar os resultados, constatou-se que os métodos de avaliação do RTQ-R e da Norma não possuem concordância quanto ao nível de desempenho, divergindo principalmente quando comparados o consumo de aquecimento do RTQ-R com a condição para o inverno da NBR 15575-1 (SILVA; GHISI, 2014).

Outro estudo de destaque é a comparação dos pesos que os parâmetros do RTQ-R têm nos indicadores de consumo em ambos métodos de avaliação do RTQ-R, feita por Van Der Knaap (2011). Por meio de análise de sensibilidade e amostragem pelo Hipercubo Latino, Van der Knaap (2011) identificou divergência quanto aos parâmetros mais influentes. Percebeu-se que os graus-hora de resfriamento e o consumo de aquecimento são superestimados no método prescritivo e subestima a estratégia de ventilação natural. O estudo de Van der Knaap (2011) abordou apenas as seguintes variáveis: absorvância solar, capacidade térmica, fração de dispositivos de proteção solar, percentual de área de aberturas, orientação, relação entre área de piso e janela, além de transmitância térmica de paredes e cobertura.

3.2 Objetivo

Analisar a sensibilidade dos indicadores de consumo (IC) do método prescritivo – graus-hora de resfriamento (GH_{Resf}) e consumo relativo de aquecimento (CA) – frente às variáveis da envoltória do RTQ-R.

3.3 Método

A revisão de literatura permitiu a definição das técnicas empregadas para análise pelo método Monte Carlo. Assim, com o objetivo de obter índices globais de sensibilidade, foi utilizado o Hipercubo Latino para geração da amostra de variáveis combinadas e uma análise de sensibilidade global baseada em regressão empregando-se a técnica de Coeficientes de Correlação Parcial (CCP). Foi adotado um número de amostras equivalente a 10 vezes o número de variáveis independentes, baseado nas recomendações do Manual do Simlab 2.2. (IPSC, 2008). Assim, o número de amostras total foi igual a 340 e atende às recomendações de Breesch e

Janssens (2010), de que o número de amostras deve ser maior do que 3/2 do número de parâmetros. O presente estudo foi realizado por meio do programa Simlab 2.2.

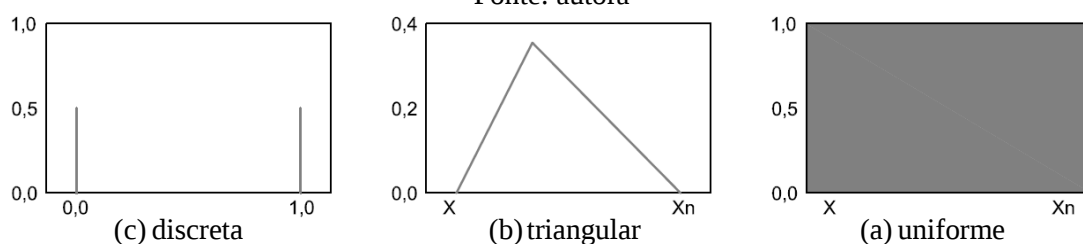
3.3.1 Definição da amostra

Como variáveis dependentes, têm-se os graus-hora de resfriamento (GH_{Resf}) e o consumo relativo de aquecimento (C_A). Já as variáveis independentes são aquelas presentes nas equações de GHR e CA dadas pelo RTQ-R (INMETRO, 2012).

Em conformidade com as recomendações de Tian (2013) e Mechri, Capozzoli e Corrado (2010), foram trabalhadas funções discretas, triangulares e uniformes (Figura 16). Em contraste ao estudo de Silva e Ghisi (2014), que adotou a distribuição normal para alguns parâmetros como absorvância solar, optou-se por usar a distribuição uniforme, visto que as abordagens são distintas. Enquanto Silva e Ghisi (2014) visam uma distribuição em torno de um valor central específico de maior ocorrência, o presente estudo adotou intervalos de valores que são adequadamente representados por distribuições uniformes, visto possuírem mesma frequência de ocorrência.

Figura 16 – Distribuição de probabilidades utilizadas

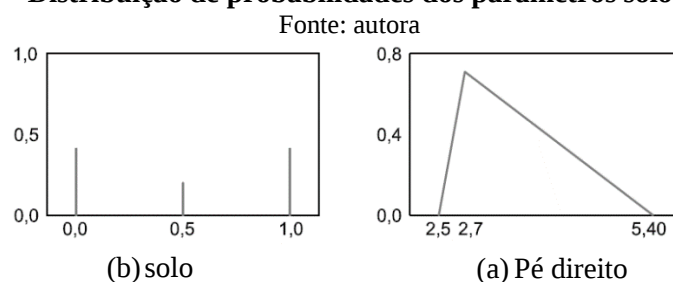
Fonte: autora



A distribuição discreta foi empregada no caso de variáveis binárias, as quais, segundo o RTQ-R, definem se a situação abordada pelo parâmetro ocorre ou não: caso ocorra, o valor empregado é 1 (um); caso não ocorra, o valor deve ser igual a 0 (zero) (Figura 16) (RTQ-R, 2012). Enquadram-se nessa distribuição os parâmetros existência de isolamento em superfícies voltadas para o exterior (isol) e a existência de vidro duplo nos ambientes (vid). Há casos ainda em que a distribuição discreta foi empregada com os valores 0 (zero), 0,5 (meio) e 1 (um), como contato com o solo (Figura 17, a), referindo-se respectivamente a ambientes com 0 a 25%, 25,1% a 75%

e 75,1% a 100% da área do piso em contato com o solo (solo). A distribuição triangular foi usada para os casos em que se conhece o valor específico com alta frequência de ocorrência, como pé-direito (PD) (Figura 17, b). Nesses casos a distribuição normal seria outra opção pertinente, entretanto, como não foi possível apreciar acerca da curvatura da distribuição, foi definido o emprego da distribuição triangular. Por fim, os parâmetros que não se enquadram nos padrões anteriores foram amostrados com distribuição uniforme como, por exemplo, aqueles relacionados à área e orientações de paredes e de aberturas.

Figura 17 – Distribuição de probabilidades dos parâmetros solo e pé-direito



Os intervalos da amostra, bem como os limites e as probabilidades de ocorrência foram especificados de acordo com o RTQ-R, as informações presentes no relatório técnico de base de simulações do RTQ-R (LABEEE, 2011) e nas características físicas das edificações residências brasileiras existentes apresentadas no capítulo anterior. Assim, de acordo com as informações destes documentos, os intervalos ou valores de maior ocorrência foram trabalhados com percentuais de probabilidade iguais a 60% ou 80% da amostra.

Os parâmetros, bem como suas respectivas siglas segundo RTQ-R, unidades, intervalos, bem como as funções de distribuições e probabilidades utilizadas nesta análise de sensibilidade são apresentados na Tabela 6.

A amostragem foi elaborada de modo a englobar todas as possibilidades de ambientes, com diferentes dimensões e características. O parâmetro inicial abordado foi a área útil, e deste foram derivados os demais intervalos. Estipulou-se a área útil variando entre 2,25m² e 100,00m², supondo-se um ambiente um raio de giro mínimo para uma cadeira de rodas e um ambiente com dimensões de 10m x 10m. Os intervalos de áreas de parede e de aberturas são resultado da combinação entre os arranjos com os valores mínimos, médios e máximos de área útil, pé-direito e dimensão mínima dos ambientes (estipulada em 1,5m). A partir desses dados, os

intervalos de maior frequência de ocorrência da área de parede do ambiente (APamb), por exemplo, foram calculados considerando-se as larguras mínima (1,50m) e máxima (10,67m) do intervalo de maior frequência de área útil ($8,00\text{m}^2 - 16,00\text{m}^2$), multiplicados pelo limite mínimo e máximo dos valores de PD. Já os limites dos intervalos de áreas de aberturas (AAb) correspondem a 95% da APamb.

Alguns parâmetros apresentaram certas peculiaridades na distribuição da amostra, como é o caso da absorvância de coberturas. A distribuição de probabilidades exigiu que o intervalo de 0,01 a 0,09 fosse declarado e, portanto, ele foi classificado com uma frequência de ocorrência nula.

Tabela 6 – Variáveis independentes

Sigla	Parâmetro	Unidade	Intervalos	Distribuição	Frequência de ocorrência
AAbL	Área de abertura leste	m ²	0 - 54,70 / 54,71 - 342,00	uniforme	0,80/0,20
AAbN	Área de abertura norte	m ²	0 - 54,70 / 54,71 - 342,00	uniforme	0,80/0,20
AAbO	Área de abertura oeste	m ²	0 - 54,70 / 54,71 - 342,00	uniforme	0,80/0,20
AAbS	Área de abertura sul	m ²	0 - 54,70 / 54,71 - 342,00	uniforme	0,80/0,20
APambL	Área de parede leste	m ²	0 / 0,01 - 3,75 / 3,76 - 57,60 / 57,61 - 360,00	uniforme	0,50/0,10/0,30/0,10
APambN	Área de parede norte	m ²	0 / 0,01 - 3,75 / 3,76 - 57,60 / 57,61 - 360,00	uniforme	0,50/0,10/0,30/0,10
APambO	Área de parede oeste	m ²	0 / 0,01 - 3,75 / 3,76 - 57,60 / 57,61 - 360,00	uniforme	0,50/0,10/0,30/0,10
APambS	Área de parede sul	m ²	0 / 0,01 - 3,75 / 3,76 - 57,60 / 57,61 - 360,00	uniforme	0,50/0,10/0,30/0,10
AparInt	Área das paredes internas	m ²	3,75 / 37,80 / 736,20	triangular	variável
Auamb	Área útil do ambiente	m ²	2,25 - 7,99 / 8,00 - 16,00 / 16,01 - 100,00	uniforme	0,20/0,60/0,20
AbsCob	Absortância da cobertura	-	0 / 0,01 - 0,09 / 0,10 - 0,59 / 0,60 - 0,70 / 0,71 - 0,90	uniforme	0,30/0,0/0,20/0,30/0,20
AbsPar	Absortância das parede	-	0,10 - 0,30 / 0,31 - 0,90	uniforme	0,80/0,20
Caltura	Coeficiente de altura	m ⁻¹	0,05 / 0,22 / 1,20	triangular	variável
cob	Existência de superfície voltada ao exterior	-	0 / 0,50 / 1	discreta	0,40/0,20/0,40
CTalta	Capacidade térmica acima de 250 kJ/(m ² K)	-	0 / 1	discreta	0,50/0,50
CTbaixa	Capacidade térmica abaixo de 50 kJ/(m ² K)	-	0 / 1	discreta	0,50/0,50
CTcob	Capacidade térmica da cobertura	kJ/(m ² K)	0 - 19,99 / 20,00 - 250,00 / 250,01 - 568,00	uniforme	0,20/0,60/0,20
CTpar	Média ponderada da capacidade térmica das paredes	kJ/(m ² K)	49,90 - 250,10 / 250,11 - 445,00	uniforme	0,60/0,40
Fvent	Fator das aberturas para ventilação	-	0 / 0,40 / 1	triangular	Variável
isol	Existência de isolamento nas superfícies voltadas ao exterior	-	0 / 1	discreta	0,80/0,20
PambL	Existência de parede externa voltada ao leste	-	0 / 1	discreta	0,50/0,50
PambN	Existência de parede externa voltada ao norte	-	0 / 1	discreta	0,50/0,50
PambO	Existência de parede externa voltada ao oeste	-	0 / 1	discreta	0,50/0,50
PambS	Existência de parede externa voltada ao sul	-	0 / 1	discreta	0,50/0,50
PD	Pé-direito	m	2,50 / 2,70 / 5,40	triangular	Variável
pil	Existência de pilotis no pavimento inferior	-	0 / 0,50 / 1	discreta	0,80/0,10/0,10
solo	Existência de piso em contato com o solo	-	0 / 0,50 / 1	discreta	0,40/0,20/0,40
SomAparext	Somatório das áreas de paredes externas	-	3,75 / 37,80 / 736,20	triangular	Variável
somb	Existência de dispositivos de proteção solar externos	-	0 / 0,20 / 1	uniforme	Variável
Ucob	Transmitância térmica da cobertura	W/(m ² K)	0 - 0,82 / 0,83 - 4,11 / 4,12 - 4,60	uniforme	0,20/0,60/0,20
Upar	Transmitância térmica das paredes externas	W/(m ² K)	0,98 - 3,70 / 3,71 - 5,04	uniforme	0,60/0,40
Uvid	Transmitância térmica do vidro	W/(m ² K)	3,13 - 5,79	uniforme	1,00
vid	Existência de vidro duplo	-	0 / 1	discreta	0,80/0,20
volume	Volume do ambiente	m ³	6,08 / 32,40 / 540,00	triangular	Variável

3.4 Resultados e discussão

A análise de sensibilidade foi baseada nos coeficientes de correlação parcial (CCP) que varia em um intervalo de 1 a -1. Quanto mais próximos são os coeficientes dos valores extremos, maior o impacto da variável independente no valor da variável dependente. A influência pode ainda ser positiva ou negativa. Caso positiva, tem-se que o aumento da variável independente provoca também um aumento do valor da variável dependente. Caso negativa, o aumento ou diminuição da variável independente provoca o efeito contrário no valor da variável dependente.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os CCP das variáveis independentes para os graus-hora de resfriamento (GHResf) de cada ZB, sendo (a) ordenada de acordo com o peso do coeficiente de sensibilidade e (b) por variável independente. Percebem-se diferenças dos parâmetros mais influentes para as oito ZBs existentes, fato que condiz com as variações climáticas que ocorrem entre as zonas.

De um modo geral, área de aberturas voltadas a leste (AAbL) e absorvência de paredes (AbsPar) são as variáveis que merecem destaque com influência positiva nos graus-horas. Com influência negativa, tem-se as áreas de aberturas voltadas a norte (AAbN) e sul (AAbS). O aumento de GHResf dado por altos valores de AbsPar se justifica pelo fato de quanto maior a absorvência, maior a absorção de calor. Já a relação das áreas de aberturas com o GHResf varia de acordo com o clima e a orientação das aberturas. Como o aumento de aberturas voltadas a leste e oeste acarreta maior incidência solar nos ambientes, espera-se uma relação positiva com GHResf. A relação deveria ser inversa no caso das aberturas voltadas a norte e sul, visto que a expansão de suas dimensões geralmente acarreta maior ventilação do que incidência de raios solares, promovendo assim temperaturas mais amenas e menor GHResf. As expectativas condizem com os resultados alcançados, com exceção de áreas de aberturas voltadas a oeste (AAbO), que nas ZB2 e ZB7 apresentam CCP negativo enquanto que nas zonas 3, 5, 6 e 8 apresenta influência insignificativa. Apenas nas ZB1 e ZB4 a variável AAbO apresenta alta influência positiva, como esperado. Considerando-se que a distribuição da amostra foi idêntica para todas as orientações (Tabela 6), supõe-se que tal contradição é dada por falhas da regressão linear que originou a equação ou mesmo devido às características específicas da cidade que foi simulada como base para o desenvolvimento da equação.

Tabela 7 – Coeficientes de correlação parcial para os graus-hora de resfriamento classificado por coeficiente de sensibilidade

Variável	ZB1	Variável	ZB2	Variável	ZB3	Variável	ZB4	Variável	ZB5	Variável	ZB6	Variável	ZB7	Variável	ZB8
AAbO	0.994	AAbL	0.721	AbsPar	0.621	APambS	0.728	AAbL	0.758	APambL	0.471	SomApar	0.982	AAbL	0.758
AAbL	0.702	AbsPar	0.582	PD	0.212	AparInt	0.642	AAbN	0.576	AAbL	0.337	PambL	0.477	AAbN	0.576
AbsPar	0.391	APambL	0.458	APambS	0.170	AAbO	0.641	PD	0.183	AbsPar	0.208	AbsPar	0.445	PD	0.183
Fvent	0.379	SomApar	0.438	AparInt	0.131	APambL	0.576	SomApar	0.177	solo	0.092	Fvent	0.305	SomApar	0.177
CTbaixa	0.240	PambN	0.203	AAbL	0.125	APambN	0.498	APambS	0.122	Upar	0.088	AparInt	0.164	APambS	0.122
APambS	0.156	somb	0.193	Upar	0.107	AbsPar	0.375	AbsPar	0.119	PambS	0.075	PambO	0.149	AbsPar	0.119
cob	0.152	Upar	0.145	Ucob	0.074	APambO	0.329	CTcob	0.104	AAbO	0.057	somb	0.120	CTcob	0.104
Ucob	0.098	Fvent	0.126	Fvent	0.066	AAbL	0.304	AparInt	0.077	AAbN	0.035	AbsCob	0.118	AparInt	0.077
PambN	0.051	Ucob	0.124	CTcob	0.038	somb	0.288	AbsCob	0.074	PD	0.030	PambN	0.082	AbsCob	0.074
AbsCob	0.050	AparInt	0.118	AAbO	0.038	cob	0.244	Upar	0.065	CTpar	0.026	CTbaixa	0.078	Upar	0.065
somb	0.016	PambO	0.115	PambN	0.033	PambO	0.232	AAbO	0.053	Fvent	0.025	CTcob	0.006	AAbO	0.053
PD	0.012	AbsCob	0.114	PambS	0.031	Fvent	0.225	PambO	0.049	AparInt	0.019	cob	-0.013	PambO	0.049
CTalta	0.006	CTbaixa	0.096	CTpar	0.019	CTbaixa	0.206	Fvent	0.024	APambO	0.013	solo	-0.026	Fvent	0.024
CTpar	-0.003	PD	0.081	PambO	0.012	PambN	0.175	PambS	0.022	PambN	0.011	CTalta	-0.047	PambS	0.022
SomApar	-0.015	isol	0.053	AbsCob	0.012	AbsCob	0.150	cob	0.013	Ucob	0.007	pil	-0.049	cob	0.013
solo	-0.039	APambS	0.046	APambO	0.007	Upar	0.004	APambO	-0.006	CTalta	0.005	PD	-0.056	APambO	-0.006
APambN	-0.042	cob	0.042	cob	0.003	CTpar	-0.006	APambL	-0.014	CTbaixa	0.003	Ucob	-0.056	APambL	-0.014
vid	-0.064	CTpar	0.041	somb	0.002	CTcob	-0.029	solo	-0.045	APambS	-0.002	CTpar	-0.066	solo	-0.045
pil	-0.098	vid	0.029	APambL	-0.024	PambL	-0.032	CTalta	-0.049	AAbS	-0.013	Upar	-0.129	CTalta	-0.049
Auamb	-0.100	CTcob	-0.007	solo	-0.030	solo	-0.038	PambN	-0.051	APambN	-0.020	Auamb	-0.183	PambN	-0.051
CTcob	-0.108	solo	-0.013	SomApar	-0.040	PambS	-0.045	PambL	-0.052	CTcob	-0.024	AAbO	-0.227	PambL	-0.052
isol	-0.121	pil	-0.093	PambL	-0.044	PD	-0.052	Ucob	-0.065	PambL	-0.025	AAbS	-0.384	Ucob	-0.065
APambL	-0.147	CTalta	-0.143	CTalta	-0.051	pil	-0.084	pil	-0.099	PambO	-0.048	APambL	-0.868	pil	-0.099
APambO	-0.166	Auamb	-0.234	AAbS	-0.057	Ucob	-0.126	somb	-0.119	somb	-0.055	APambS	-0.871	somb	-0.119
Upar	-0.179	APambO	-0.259	pil	-0.074	Auamb	-0.339	APambN	-0.121	Auamb	-0.056	APambN	-0.912	APambN	-0.121
AAbS	-0.968	APambN	-0.681	APambN	-0.090	SomApar	-0.711	CTbaixa	-0.336	cob	-0.097	APambO	-0.948	CTbaixa	-0.336
AAbN	-0.974	AAbO	-0.973	CTbaixa	-0.092	AAbS	-0.968	Auamb	-0.675	AbsCob	-0.108	AAbN	-0.993	Auamb	-0.675
		AAbS	-0.994	AAbN	-0.185	AAbN	-0.994	AAbS	-0.995	SomApar	-0.127			AAbS	-0.995
		AAbN	-0.996	Auamb	-0.442										

*SomApar = SomAparext.

Tabela 8 – Coeficientes de correlação parcial para os graus-hora de resfriamento classificado por variável independente

Variável	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8
AAbL	0.702	0.721	0.125	0.304	0.758	0.337		0.758
AAbN	-0.974	-0.996	-0.185	-0.994	0.576	0.035	-0.993	0.576
AAbO	0.994	-0.973	0.038	0.641	0.053	0.057	-0.227	0.053
AAbS	-0.968	-0.994	-0.057	-0.968	-0.995	-0.013	-0.384	-0.995
APambL	-0.147	0.458	-0.024	0.576	-0.014	0.471	-0.868	-0.014
APambN	-0.042	-0.681	-0.090	0.498	-0.121	-	-0.912	-0.121
APambO	-0.166	-0.259	0.007	0.329	-0.006	0.013	-0.948	-0.006
APambS	0.156	0.046	0.170	0.728	0.122	-0.002	-0.871	0.122
AparInt	-	0.118	0.131	0.642	0.077	0.019	0.164	0.077
Auamb	-0.100	-0.234	-0.442	-0.339	-0.675	-0.056	-0.183	-0.675
AbsCob	0.050	0.114	0.012	0.150	0.074	-0.108	0.118	0.074
AbsPar	0.391	0.582	0.621	0.375	0.119	0.208	0.445	0.119
Caltura	-	-	-	-	-	-	-	-
cob	0.152	0.042	0.003	0.244	0.013	-0.097	-0.013	0.013
CTalta	0.006	-0.143	-0.051	-	-0.049	0.005	-0.047	-0.049
CTbaixa	0.240	0.096	-0.092	0.206	-0.336	0.003	0.078	-0.336
CTcob	-0.108	-0.007	0.038	-0.029	0.104	-0.024	0.006	0.104
CTpar	-0.003	0.041	0.019	-0.006	-	0.026	-0.066	-
Fvent	0.379	0.126	0.066	0.225	0.024	0.025	0.305	0.024
isol	-0.121	0.053	-	-	-	-	-	-
PambL	-	-	-0.044	-0.032	-0.052	-0.025	0.477	-0.052
PambN	0.051	0.203	0.033	0.175	-0.051	0.011	0.082	-0.051
PambO	-	0.115	0.012	0.232	0.049	-0.048	0.149	0.049
PambS	-	-	0.031	-0.045	0.022	0.075		0.022
PD	0.012	0.081	0.212	-0.052	0.183	0.030	-0.056	0.183
pil	-0.098	-0.093	-0.074	-0.084	-0.099		-0.049	-0.099
solo	-0.039	-0.013	-0.030	-0.038	-0.045	0.092	-0.026	-0.045
SomAparext	-0.015	0.438	-0.040	-0.711	0.177	-0.127	0.982	0.177
somb	0.016	0.193	0.002	0.288	-0.119	-0.055	0.120	-0.119
Ucob	0.098	0.124	0.074	-0.126	-0.065	0.007	-0.056	-0.065
Upar	-0.179	0.145	0.107	0.004	0.065	0.088	-0.129	0.065
Uvid	-	-	-	-	-	-	-	-
vid	-0.064	0.029	-	-	-	-	-	-
volume	-	-	-	-	-	-	-	-

*As variáveis que não estão presentes nas equações dos GHResf são demarcadas com o símbolo (-).

Além de possuir impacto de destaque em muitas das zonas, as áreas de aberturas frequentemente possuem valor de impacto em módulo superior a $|0,950|$ quando o impacto é negativo e $|0,700|$ quando positivo. O fato evidencia que, de maneira geral, atenção especial deve ser dada no dimensionamento de aberturas ao longo do processo de projeto, com variações somente no impacto desta variável. Esse aspecto está condizente com a realidade brasileira, cujas edificações residenciais são predominantemente naturalmente ventiladas.

Com CCP superior a $|0,900|$, destaca-se o somatório das áreas de paredes externas (SomAparext), com impacto positivo nos GHResf da ZB7 (GH7) e áreas de

paredes externas voltadas a oeste (APambO) e norte (APambN) com impacto negativo também para a GH7. Observa-se que as áreas de paredes dos ambientes de permanência prolongada voltadas ao exterior, independentemente da fachada, possuem alto impacto negativo no GH7 – todos superiores a -0,868. Outra observação interessante é a relação dos impactos positivos e negativos entre diferentes zonas. O fato ocorre por exemplo, para a variável somatório de área de paredes externas (SomAparext), sendo a variável de maior impacto positivo para GH7 (0,982), zona predominantemente quente, é a terceira variável de maior impacto negativo para a GH4 (-0,711), zona de duas estações bem definidas e uma das variáveis de menos influência no GH1 (-0,015), zona predominantemente fria.

As demais variáveis independentes, não citadas até então, possuem CCP inferior a |0,700|, tendo muitas delas impacto insignificante no GHResf, com valores próximos a 0 (zero). Neste caso, as variáveis que aparecem mais frequentemente ao se analisar todas as zonas são aquelas relacionadas com capacidade térmica (CTalta, CTbaixa, CTcob, CTpar), área de parede dos ambientes voltadas ao exterior (APamb), transmitância térmica do vidro (Uvid). Outras variáveis que apresentaram baixo CCP foram solo e cob, que definem, respectivamente, o contato do ambiente com o solo e da cobertura com o exterior. Entretanto esta relação não é o que geralmente ocorre na prática, visto que na prática solo e cob têm alta influência nos GHResf. Divergências de sensibilidade como esta foram também observadas por Van der Knaap (2011), porém entre análises feitas pelo método prescritivo e de simulação.

As Tabelas 9 e 10 apresentam os CCPs das variáveis independentes para o consumo de aquecimento (CA) de cada ZB, sendo (a) ordenada de acordo com o peso do coeficiente de sensibilidade e (b) por variável independente. A partir da análise dos resultados, conclui-se que os parâmetros mais influentes são o somatório das áreas de paredes externas (SomAparext) para ZB3 e ZB4, com impacto positivo, e algumas áreas de abertura com impacto negativo para CA de todas as ZBs, variando a fachada e a influência de acordo com a zona. A ZB4, ao contrário das demais, tem as áreas de abertura voltadas a oeste (AAbO) e leste (AAbL) com influência insignificante e aquelas voltadas ao sul (AAbS) apresentam coeficiente

positivo. Nesta zona, apenas áreas de abertura voltadas a norte (AAbN) apresenta CCP negativo com alto valor (-0,990).

Tabela 9 – Coeficientes de correlação parcial para o consumo de aquecimento classificado por coeficiente de sensibilidade

Variável	ZB1	Variável	ZB2	Variável	ZB3	Variável	ZB4
Upar	0.253	APambN	0.575	SomApar	0.934	SomApar	0.922
APambS	0.223	cob	0.319	APambN	0.575	AAbS	0.668
Ucob	0.173	pil	0.286	cob	0.442	cob	0.569
pil	0.110	SomApar	0.279	CTbaixa	0.333	CTbaixa	0.348
APambO	0.062	CTbaixa	0.271	solo	0.299	pil	0.182
solo	0.059	solo	0.219	pil	0.278	PambS	0.160
CTbaixa	0.056	Upar	0.194	Upar	0.204	CTalta	0.088
Auamb	0.051	PambS	0.172	PambS	0.183	solo	0.028
CTpar	0.032	APambO	0.125	Ucob	0.044	Upar	-0.048
CTcob	0.023	vid	0.101	Auamb	-0.005	CTcob	-0.048
PambS	0.021	somb	0.056	CTalta	-0.069	PambN	-0.066
AbsCob	0.006	Ucob	0.030	Fvent	-0.081	somb	-0.068
AparInt	-0.002	APambL	0.028	CTcob	-0.091	Fvent	-0.118
vid	-0.039	CTalta	0.025	PD	-0.095	PD	-0.147
SomApar	-0.057	CTpar	0.016	CTpar	-0.161	CTpar	-0.189
somb	-0.060	Fvent	0.000	AbsCob	-0.282	Ucob	-0.330
cob	-0.080	AAbL	-0.064	AbsPar	-0.352	AbsCob	-0.347
isol	-0.093	volume	-0.068	APambS	-0.754	APambS	-0.468
PD	-0.104	isol	-0.069	AAbS	-0.973	AbsPar	-0.539
APambL	-0.139	CTcob	-0.091	AAbN	-0.998	APambN	-0.577
APambN	-0.273	AbsCob	-0.183			Auamb	-0.705
AbsPar	-0.281	AbsPar	-0.304			AAbN	-0.990
Fvent	-0.662	PD	-0.394				
AAbN	-0.669	Uvid	-0.467				
Uvid	-0.689	APambS	-0.754				
AAbS	-0.803	Auamb	-0.758				
AAbL	-0.867	AparInt	-0.891				
AAbO	-0.966	AAbS	-0.973				
		AAbO	-0.995				
		AAbN	-0.998				

*SomApar = SomAparext.

No caso do CA, observa-se que as variáveis de maior influência possuem predominantemente impacto negativo. Na ZB1 e na ZB2, mesmo as variáveis com maior influência positiva, transmitância de paredes (Upar) e área de parede externa voltada ao Norte (APambN), respectivamente, apresentam CCPs relativamente baixos em relação às demais variáveis independentes com alto impacto. Outra variável que merece destaque é a área de parede interna (AparInt), com CCP de -0.891 para ZB2 devido ao potencial de inércia interna. As demais variáveis, além das referenciadas nesta análise, apresentam CCP inferior a |0,800|.

Tabela 10 – Coeficientes de correlação parcial para o consumo de aquecimento classificado por variável independente

Variável	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4
AAbL	-0.867	-0.064	-	-
AAbN	-0.669	-0.998	-0.998	-0.990
AAbO	-0.966	-0.995	-	-
AAbS	-0.803	-0.973	-0.973	0.668
APambL	-0.139	0.028	-	-
APambN	-0.273	0.575	0.575	-0.577
APambO	0.062	0.125	-	-
APambS	0.223	-0.754	-0.754	-0.468
AparInt	-0.002	-0.891	-	-
Auamb	0.051	-0.758	-0.005	-0.705
AbsCob	0.006	-0.183	-0.282	-0.347
AbsPar	-0.281	-0.304	-0.352	-0.539
Caltura	-	-	-	-
cob	-0.080	0.319	0.442	0.569
CTalta	-	0.025	-0.069	0.088
CTbaixa	0.056	0.271	0.333	0.348
CTcob	0.023	-0.091	-0.091	-0.048
CTpar	0.032	0.016	-0.161	-0.189
Fvent	-0.662	0.000	-0.081	-0.118
isol	-0.093	-0.069	-	-
PambL	-	-	-	-
PambN	-	-	-	-0.066
PambO	-	-	-	-
PambS	0.021	0.172	0.183	0.160
PD	-0.104	-0.394	-0.095	-0.147
pil	0.110	0.286	0.278	0.182
solo	0.059	0.219	0.299	0.028
SomAparext	-0.057	0.279	0.934	0.922
somb	-0.060	0.056	-	-0.068
Ucob	0.173	0.030	0.044	-0.330
Upar	0.253	0.194	0.204	-0.048
Uvid	-0.689	-0.467	-	-
vid	-0.039	0.101	-	-
volume	-	-0.068	-	-

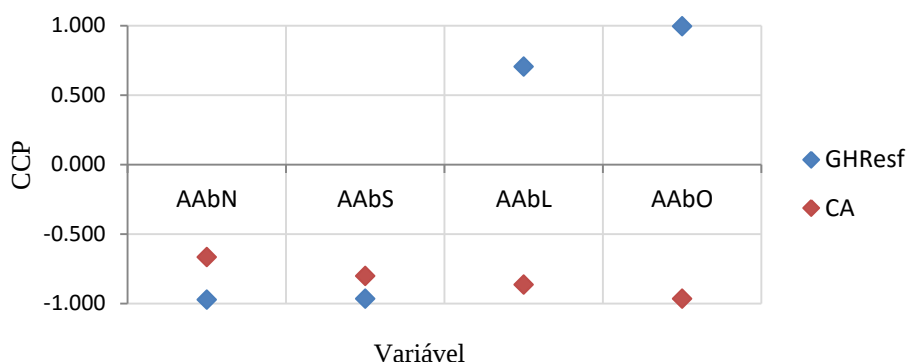
*As variáveis que não estão presentes nas equações dos CA são demarcadas com o símbolo (-).

Ao confrontar as Tabelas 7 e 8 com as tabelas 9 e 10, percebem-se diferenças de quais são as variáveis mais importantes para GHResf e CA, bem como no tipo de influência (positiva/negativa) que exercem. Para a ZB1, por exemplo, áreas de aberturas são as variáveis de maior impacto tanto para GHResf quanto para CA; porém, áreas de aberturas voltadas a oeste (AAbO) e a leste (AAbL) têm coeficiente positivo para GHResf da ZB1 (0,994 e 0,702, respectivamente) e negativo para CA da mesma ZB (-0,966 e -0,867, respectivamente). Já áreas de aberturas voltadas a sul (AAbS) e a norte (AAbN) possuem CCP negativos para ambas variáveis dependentes, CCP de AAbS no valor de -0,968 para GHResf da ZB1 e de -0,803 para CA da ZB1; e AAbN de -0,974 para GHResf e -0,669 para CA (Figura 18).

Situações semelhantes ocorrem para outras variáveis, como somatório das áreas de paredes externas (SomAparext), o qual possui coeficiente negativo para GHResf da ZB4 (-0,711) e positivo para CA dessa ZB (0,922).

Figura 18 – Coeficientes de correlação parcial das variáveis de área de abertura para os indicadores de consumo da ZB1

Fonte: autora



Há ainda casos em que o CCP é alto para uma variável dependente e baixo para outra, como por exemplo a variável cob, em que o CCP de GHResf das ZBs 2 e 3 são 0,042 e 0,003 respectivamente, e 0,319 e 0,442 para CA das ZBs 2 e 3, respectivamente, sendo um dos parâmetros de maior influência. Tal variação é coerente com a correlação existente entre as variáveis independentes e ainda com as limitações geradas pela simplificação do método de avaliação.

Ao confrontar os resultados obtidos com o estudo de Silva e Ghisi (2013), foram encontrados novos parâmetros de grande influência no GHResf e CA, como as áreas de abertura em geral. Essas diferenças de CCP ocorreram por dois motivos. Primeiro, Silva e Ghisi (2013) não trabalharam diretamente com todas as variáveis presentes nas equações do método prescritivo para determinação do EqNumEnv. Além disso, abordaram o método de simulação, em contrapartida com o presente trabalho que abordou o método prescritivo. Segundo Van der Knaap (2011), há grandes divergências entre a análise de sensibilidade feita pelos métodos de avaliação do RTQ-R, visto que o método prescritivo subestima a ventilação natural e superestima o condicionamento artificial.

Algumas variáveis independentes no presente estudo chegaram a apresentar influências (positiva e negativa) diferentes entre os métodos, como é o caso da influência da variável capacidade térmica no CA da ZB3, que é diretamente

proporcional no método de simulação Silva e Ghisi (2013) e inversamente quando a análise ocorre pelo método prescritivo. O mesmo ocorre ao se compararem os resultados obtidos por este estudo e o de Silva e Ghisi (2013) referentes à influência da variável solo no CA também da ZB3. Enquanto aqui a variável apresentou influência positiva, em Silva e Ghisi (2013) a relação foi inversa. Tal divergência pode ser devida às limitações resultantes da simplificação do procedimento de avaliação proposto pelo método prescritivo discutido por Van der Knaap (2011), mas esse aspecto requer maiores estudos.

3.5 Considerações finais

Este capítulo apresenta os resultados de análise de sensibilidade dos graus-hora de resfriamento (GHResf) e do consumo relativo de aquecimento (CA) do RTQ-R com relação aos parâmetros empregados nas equações do método prescritivo do RTQ para cada ZB existente. O procedimento foi realizado com o auxílio do programa Simlab 2.2, que se mostrou eficiente para a concretização da análise proposta.

Como resultado, vetores de sensibilidade adimensionais e independentes foram identificados e obtidos considerando-se todas as possíveis combinações dos parâmetros do método prescritivo do RTQ-R definidas por amostragem pelo hipercubo latino.

A partir dos resultados, observou-se que os parâmetros mais influentes diferem para o GHResf e CA. Quanto aos GHResf, as áreas de aberturas voltadas ao leste (AAbL) e a absorvância de paredes (AbsPar) são variáveis com alta influência positiva, enquanto que aberturas voltadas a norte (AAbN) e sul (AAbS) se destacam com influência negativa. Já para CA, o somatório das áreas de paredes externas (SomAparext) se destaca com impacto positivo e áreas de aberturas (AAb) com impacto negativo.

Os resultados apresentados permitem não só a visualização dos pesos de cada parâmetro nos indicadores de consumo (GHResf e CA) analisados como também permite avaliar a viabilidade de ajustes de um projeto ao longo de seu

desenvolvimento, bem como ajustes e simplificações do método de avaliação prescritivo adotado atualmente pelo RTQ-R, proposto no capítulo 4.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2005.

CLARKE, J. A.; HENSEN, J. L. M. Integrated building performance simulation: progress, prospects and requirements. **Building and Environment**, v. 91, p. 294 – 306, 2015.

BREESCH, H.; JANSSENS, A. Performance evaluation of passive cooling in office buildings based on uncertainty and sensitivity analysis. **Solar Energy**, v. 84, n. 8, p. 1453 – 1467, 2010.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 372**, de 17 de setembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18**, de 16 de janeiro de 2012. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

IPSC. SIMLAB. Simlab 2.2: Reference manual. **Comissão Europeia**, pp. 159, 2008.

KLEIJNEN, J. P. Sensitivity analysis and related analyses: a review of some statistical techniques. **Statistic and Computing Simulation**, v. 57, p. 111-142, 1997.

LABEEE. **Relatório técnico da base de simulações para o RTQ-R**. Relatório técnico – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

MACDONALD, I. A.; CLARKE, J. A.; STRACHAN, P. A. Assessing uncertainty in building simulation. In: Building Simulation 1999, **Proceedings...** Kyoto, Japão: IBPSA, 1999.

MACIEL, L. F.; CARLO, J. C. Análise de sensibilidade do indicador de consumo frente às variáveis das equações do RTQ-C. In: XI ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII ELACAC - Encontro Latino Americano de

Conforto no Ambiente Construído, 2011, Armação de Búzios. **Anais...** Rio de Janeiro, 2011.

MECHRI, H. E.; CAPOZZOLI, A.; CORRADO, V. Use of the ANOVA approach for sensitive building energy design. **Applied Energy**, v. 87, n. 10, p. 3073 – 3083, 2010.

SALTELLI, A.; TARANTOLA, S.; CAMPOLONGO, F. Sensitivity analysis as an ingredient of modeling. **Statistical Science**, v. 15, n. 4, p. 377-395, 2000.

SCALCO, V.A.; FOSSATI, M.; VERSAGE, R.S.; SORGATO, M.J.; LAMBERTS, R.; MORISHITA, C. Innovative approaches to the natural ventilation of buildings. **Architectural Science Review**, v. 55, p. 71 – 81, 2012.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 135-148, jul./set. 2013.

_____. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.

TIAN, W. A Review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 411-419, 2013.

VAN DER KNAAP, A. N. **Building performance simulation to support building energy regulation: a case study for residential buildings in Brazil**. Tese (Doutorado). Building Services, Department of the Built Environment, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2011.

4. PROPOSTA DE SIMPLIFICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO PRESCRITIVO DO RTQ-R

RESUMO:

Lançado em 2010, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) consiste em uma certificação nacional que tem por objetivo a concessão de uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Apesar de sua relevância para promoção de construções mais eficientes, o número de ENCEs emitidas ainda é considerado baixo. Ciente de que pequenas adaptações em seu procedimento para determinação da eficiência pode contribuir para sua difusão, o objetivo deste trabalho foi propor um método de avaliação simplificada do nível de eficiência energética para edificações residenciais existentes quando naturalmente ventiladas. A partir do método prescritivo atual foi proposto um novo método de avaliação que englobou os procedimentos de avaliação da envoltória e do sistema de aquecimento solar. A proposta foi validada a partir da comparação entre os resultados obtidos por meio de avaliação de casos pelo método atual e pelo simplificado. No caso da envoltória, de 97% a 100% dos casos apresentaram o mesmo nível de eficiência energética, enquanto que o método simplificado do sistema de aquecimento solar tem uma média de diferença entre o simplificado e o vigente de 0,009%. Espera-se que o novo método contribua para consolidação do RTQ-R.

Palavras chave: método de avaliação prescritivo, simplificação, RTQ-R.

ABSTRACT:

The Technical Quality Requirements for Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R) released in 2010, consists on a national certification that aims to grant housing buildings a National Energy Conservation Label (ENCE). Though its relevance to promote more efficient buildings, the number of issued ENCEs is still considered low. Considering that simple adjustments in the procedure for determining the efficiency level can contribute to its propagation, the aim of this study was to propose a simplified method of evaluating the level of energy efficiency for existing and naturally ventilated residential buildings. A new method of assessment was proposed based on the current prescriptive method, which included the assessment procedures for the envelope and for the domestic water solar heating system. The proposal was validated by the comparison between the results obtained through evaluation of cases by the current and the simplified methods. In the case of envelope, 97% to 100% of the cases showed the same level of energy efficiency, while the solar heating system evaluation presented mean difference between the simplified and the current method of 0,009%. It is expected that the new method will contribute to the consolidation of the RTQ-R.

Keywords: method evaluation prescriptive, simplification, RTQ-R.

4.1 Introdução

Edificações são responsáveis pelo consumo de mais de um terço da energia total produzida no mundo e é esperado um rápido crescimento no futuro (WANG et al., 2012). Este fato, atrelado ao crescente debate sobre eficiência energética em edificações nos últimos anos culminou no desenvolvimento de certificações energéticas para edificações com o objetivo de reduzir o uso de energia e as emissões de CO₂ (PÉREZ-LOMBARD et al., 2009).

O debate e a divulgação de informações referentes ao desempenho de edificações tem papel chave para incrementar a eficiência energética no mercado construtivo, seja por conscientizar a população e projetistas para a devida importância e benefícios decorrentes desta ação ou ainda por incentivar o uso de sistemas naturais e/ou eficientes. A eficiência energética em edificações é capaz de promover significativas economias no setor (EUROPEAN COMMISSION, 2005).

Diversos países vêm certificando suas edificações através de códigos e normas (CARLO; LAMBERTS, 2010). Em alguns casos como é o caso do *LEED for Homes* (Estados Unidos), do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (ADENE, 2006a) e do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (ADENE, 2006b), estes de Portugal, as certificações estão amplamente difundidas e já consolidadas.

Já no Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INMETRO, 2012) merece destaque no setor de políticas públicas voltadas para promoção e incentivo da eficiência energética nas edificações residenciais. Lançado em 2010, a certificação do Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro – PBE – tem por objetivo a concessão de uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que caracteriza o nível de eficiência energética da edificação do mais elevado nível A até o mais baixo nível E.

Ao contrário das certificações internacionais citadas, a brasileira vem encontrando dificuldades de inserção e aceitação no mercado. Até o ano de 2015 apenas 3060 ENCES foram emitidas pelo PBE e, destas, somente 733 foram inspecionadas *in loco* (INMETRO, 2015). Seja por seu método complexo, que contém diversos parâmetros de análise, que exigem dispêndio de tempo com levantamentos de informações, seja por falta de número suficiente de profissionais capacitados para a etiquetagem, é imprescindível que medidas sejam tomadas a fim de romper as atuais barreiras e promover a difusão do RTQ-R.

Ciente de que pequenas mudanças em procedimentos para determinação da eficiência de certificações podem promover uma gama de efeitos em certificações, o objetivo deste trabalho foi propor método de avaliação prescritivo simplificado do

nível de eficiência energética para edificações residenciais existentes, quando naturalmente ventiladas, para o PBE Edifica.

4.2 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

O RTQ-R trabalha com dois métodos para classificação do nível de eficiência: o método prescritivo e o método de simulação. Como mencionado na introdução desta dissertação, o primeiro contém equações e tabelas que limitam os parâmetros para obtenção de determinado nível de eficiência. Já o método de simulação permite a avaliação bioclimática do projeto por meio de simulações higrótérmicas e energéticas, como também de iluminação e de ventilação (INMETRO, 2010, 2012).

Estudos relacionados ao RTQ-R vêm sendo desenvolvidos relacionados aos dois métodos. Entretanto, nenhum deles foca na simplificação do procedimento de avaliação. Albuquerque e Amorim (2012) trabalharam o RTQ-R de modo a desenvolver recomendações relativas aos parâmetros de avaliação constantes no regulamento relacionadas a iluminação natural. Oliveira et al. (2015) avaliaram o desempenho energético de paredes em concreto de acordo com o método prescritivo e de simulação do RTQ-R.

Pouey, Brandalise e Silva (2012) e Van der Knaap (2011) focaram seus estudos em comparações entre o método prescritivo e de simulação abordados pelo RTQ-R. O primeiro estudo focou na avaliação de uma residência em Pelotas (RS) enquanto que o segundo abordou uma amostra de casos. Silva e Ghisi (2014) trabalharam a comparação do desempenho residencial entre o RTQ-R e a NBR 15.575 (ABNT, 2013) e estudo semelhante foi desenvolvido por Loura, Assis e Bastos (2011) com foco no desempenho da envoltória. Abrahão (2015) avaliou os pesos regionais do RTQ-R, enquanto Silva e Ghisi (2013) estudaram a sensibilidade de parâmetros do método de simulação.

Crawley (2012) e Van der Knaap (2011) destacam o emprego da simulação no desenvolvimento de regulamentações e na avaliação de desempenho térmico. Entretanto, apesar de sua relevância em alguns estudos, a simulação computacional

não se enquadra no método proposto por este trabalho pois este tem como foco a simplificação do método prescritivo, não abrangendo entre seus objetivos comparações entre o método prescritivo e o método de simulação ou mesmo proposições de melhorias ao atual método prescritivo do RTQ-R.

4.3 Propostas de simplificação do procedimento para determinação da eficiência

O procedimento de determinação da eficiência energética de unidade habitacional autônoma (UH), quando naturalmente ventilada, conta com três parâmetros de avaliação: a envoltória da unidade habitacional (EqNumEnv), o sistema de aquecimento de água (EqNumAA) e as possíveis bonificações (Bonificações). A classificação do nível de eficiência final é determinado por equações que ponderam os resultados obtidos por estes parâmetros por meio de coeficientes específicos (a) que variam conforme a zona bioclimática (ZB) em que a edificação se insere (Equação 2).

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

Equação 2 –
Pontuação total
do nível de
eficiência da UH

A pontuação máxima obtida pela avaliação da UH é de 6 pontos, sendo 5 pontos distribuídos para avaliação da envoltória e sistema de aquecimento de água e até 1 ponto para as bonificações. Todos esses parâmetros possuem procedimento de determinação do nível de eficiência específicos que são discutidos junto a suas respectivas propostas de simplificações nos itens seguintes. O foco da simplificação do procedimento de avaliação da UH foi a envoltória e o sistema de aquecimento solar, por corresponderem a uma pontuação máxima de 83% do total de pontos possíveis de serem creditados a uma UH.

Nas edificações unifamiliares, o nível de eficiência da edificação corresponde ao resultado alcançado pela UH, enquanto o nível das multifamiliares é dado pela “ponderação da classificação de todas as UHs da edificação pela área útil das UHs, excluindo terraços e varandas” (INMETRO, 2012, p. 18). Nesta última tipologia, pode-se analisar ainda, se as áreas comuns de uso frequente ou eventual também

atendem a requisitos específicos e suas eventuais bonificações. Este procedimento não foi simplificado por não terem sido identificadas margens para tal ação, além de o método atual já possibilitar uma avaliação rápida e simples. Neste sentido, propostas de simplificação foram trabalhadas apenas para o procedimento de determinação das UHs quando naturalmente ventiladas.

Os itens a seguir contam com apresentação dos procedimentos de avaliação adotados no atual método prescritivo, seguidos do método empregado no desenvolvimento do método simplificado e os resultados alcançados.

4.3.1 Envoltória da UH naturalmente ventilada

4.3.1.1 Método prescritivo vigente em 2016

O método de avaliação da envoltória é baseado em pré-requisitos e no cálculo do equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv). Os pré-requisitos apresentam condições pré-estabelecidas que devem ser atendidas pelos ambientes de permanência prolongada (APP) e pela unidade habitacional autônoma (UH). Os critérios são relacionadas a transmitância térmica, capacidade térmica, absorptância solar das superfícies, além de critérios relativos à ventilação e iluminação natural. O método é considerado simples e sem margem para simplificação. Nesse sentido, a contribuição da pesquisa nesta etapa do procedimento de avaliação é dada pela ampliação da Tabela de desconto das esquadrias (Apêndice B) que é utilizada no cálculo dos percentuais de áreas mínimas para ventilação e iluminação natural desses pré-requisitos.

Quanto ao cálculo da envoltória, ela depende da Zona Bioclimática e da região geográfica onde a UH se localiza. Primeiramente, são obtidos os indicadores graus-hora de resfriamento⁵ (GH_R) e consumo relativo de aquecimento⁶ (C_A) de cada

⁵ “Somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base, quando a primeira está acima da temperatura de base.” (INMETRO, 2012 p. 11)

ambiente de permanência prolongada (APP) de acordo com a ZB. Os equivalentes numéricos são calculados para cada APP e, posteriormente, são ponderados pelas suas respectivas áreas a fim de obter os valores finais do EqNumEnvResf e do EqNumEnvA da unidade habitacional. Por fim, estes são inseridos na equação do EqNumEnv, cujos pesos variam de acordo com a região geográfica brasileira (INMETRO, 2012).

Quanto aos indicadores GHR e CA, estes são calculados a partir dos parâmetros da envoltória (como áreas de aberturas, transmitância térmica de paredes e coberturas, dentre outros), sendo que CA é calculado apenas para as ZBs 1 a 4 (INMETRO, 2012), zonas com duas estações diferenciadas.

4.3.1.2 Método de simplificação

O procedimento de simplificação das equações foi executado por meio da padronização e dos parâmetros de baixo impacto, substituindo-se suas variáveis por constantes representativas do parque edificado residencial nacional. Esse procedimento visa reduzir o número de parâmetros e, por conseguinte, o trabalho manual para cálculo do nível de eficiência e para a inspeção do edifício construído.

A proposta foi diferenciada para UHs unifamiliares e multifamiliares, o que resultou em duas equações para o cálculo de GH e CA de acordo com a tipologia. A abordagem tomou como ponto de referência os modelos representativos apresentados no segundo capítulo deste trabalho. Nesse sentido, as equações simplificadas são aplicáveis somente nos seguintes casos: UH unifamiliar de um pavimento⁷ e UH multifamiliar localizada em pavimento intermediário⁸, ambas com ausência de sombreamento nas aberturas (somb = 0).

⁶ “Consumo anual de energia (em kWh) por metro quadrado necessário para aquecimento do ambiente durante o período de 21 h às 8 h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 22° C.” (INMETRO, 2012 p. 7)

⁷ Todos seus ambientes devem ter contato com o solo e cobertura voltada para o exterior.

⁸ Ficam excluídas deste arranjo todas UH localizadas no pavimento térreo ou cobertura. Nenhum de seus ambientes deve ter contato com o solo, pilotis e cobertura voltada para o exterior.

O primeiro passo consistiu na análise dos coeficientes de correlação parcial (CCP) identificados no capítulo 3. Os CCPs com valor em módulo abaixo da linha de corte pré-definida de 0,100 foram classificados como passíveis de simplificação. Este limite garante que apenas parâmetros que impactam até 10% os GHs ou CAs do ambiente fossem substituídos por constantes.

Definidos os parâmetros, o impacto individual da simplificação foi avaliado para cada ZB. Assim, os 128 modelos representativos determinados no capítulo 2 foram avaliados pela equação do método prescritivo vigente variando cada parâmetro individualmente enquanto os demais permanecem fixos com os valores representativos. Apenas os parâmetros que não apresentaram impacto significativo (de até 1.000 unidades dos valores obtidos para GHR e CA) no nível de eficiência energética da envoltória a partir desta avaliação é que foram considerados válidos para simplificação.

A última etapa consistiu no processo de validação das propostas de simplificação das equações. Para tal, foram realizadas avaliações de casos tanto pelo método prescritivo atual quanto pelo método simplificado. A amostra dos casos contou com os modelos representativos (ver capítulo 2) e com casos em que as geometrias dos modelos representativos foram combinadas a diferentes características construtivas. A combinação das características foi amostrada no programa SimLab 2.2 pelo método Monte Carlo com seleção aleatória otimizada pelo método Hipercubo Latino (LOCHE; RODRIGUES; CARLO, 2016). Para as ZBs 1 e 2, foi obtido um total de 180 amostras, enquanto as demais zonas tiveram 160 casos, visto que apenas as duas primeiras zonas contém a variável ‘vid’ (presença de vidro duplo no ambiente) em suas equações, o que resulta em mais combinações. Do total de casos avaliados, 50% das amostras representam modelos unifamiliares e 50% multifamiliares.

Portanto, a validação da proposta simplificada consistiu, assim, na quantificação das diferenças entre os resultados obtidos pelo método simplificado e o método prescritivo vigente, por meio de máximos, médias, mínimos e percentuais.

4.3.1.1.1 Resultados da proposta simplificada

As Tabelas 11 e 12 apresentam todos os parâmetros presentes nas equações de GHR e CA, respectivamente, diferenciados por tipologia – unifamiliar (uni) e multifamiliar (multi) - e por ZB. A cor cinza aponta que o respectivo parâmetro não existe na equação daquela ZB. A cor rosa indica os parâmetros que apresentam potencial de simplificação por ter CCP menor que $|0,100|$, mas que não foram simplificados por apresentarem impacto no nível de eficiência energética quando analisados individualmente ou por inviabilidade técnica. Como exemplo deste último caso, os parâmetros da ZB6 referentes a área de aberturas voltadas para as fachadas Norte, Sul e Oeste apresentaram baixo impacto. No entanto, não são passíveis de simplificação, visto que não é usual um ambiente conter aberturas voltadas para as três orientações (Tabela 11). Já a cor azul destaca os parâmetros que foram simplificados e o respectivo valor representativo pelo qual o parâmetro foi substituída na equação.

Constata-se que o percentual mínimo de variáveis simplificadas por tipologia de uma determinada ZB foi de 18%, que ocorreu na equação de CA de tipologias unifamiliares da ZB4 (Tabela 12). Já o máximo foi de 36%, ocorrido para as equações de GHR das tipologias unifamiliares e multifamiliares da ZB6 (Tabela 11). Em média, 27% dos parâmetros foram simplificados.

Tabela 11 – Parâmetros simplificados nas equações do cálculo do indicador de Graus-hora por Zona Bioclimática

Variáveis	ZB1		ZB2		ZB3		ZB4		ZB5		ZB6		ZB7		ZB8	
	Uni	Multi	Uni	Multi	Uni	Multi	Uni	Multi	Uni	Multi	Uni	Multi	Uni	Multi	Uni	Multi
AAbL																
AAbN																
AAbO																
AAbS																
APambL																
APambN																
APambO																
APambS																
AparInt																
Auamb																
AbsCob		0				0				0						0
AbsPar																
Caltura																
cob			1	0	1	0			1	0	1	0	1	0	1	0
CTalta	0	0			0	0			0	0	0	0	0	0	0	0
CTbaixa			0	0	0	0					0	0	0	0		
CTcob			238	1	238	1	238	1			238	1	238	1		
CTpar	150	150	150	150	150	150	150	150			150	150	150	150		
Fvent																
isol			0	0												
PambL																
PambN																
PambO																
PambS																
PD	2,7	2,7	2,7	2,7			2,7	2,7			2,7	2,7	2,7	2,7		
pil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
solo	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
SomApar																
somb	0	0			0	0					0	0				
Ucob	2,05	0			2,05	0			2,05	0	2,05	0	2,05	0	2,05	0
Upar							2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46			2,46	2,46
Uvid																
vid	0	0	0	0												
volume																
Porcentual simplificado	30%	33%	31%	31%	31%	34%	21%	21%	21%	25%	36%	36%	33%	33%	21%	25%

Tabela 12 – Parâmetros simplificados nas equações do cálculo do consumo relativo para aquecimento por Zona Bioclimática

Variáveis	ZB1		ZB2		ZB3		ZB4	
	Uni	Multi	Uni	Multi	Uni	Multi	Uni	Multi
AAbL								
AAbN								
AAbO								
AAbS								
APambL								
APambN								
APambO								
APambS								
AparInt								
Auamb								
AbsCob		0						
AbsPar								
Caltura								
cob	1	0						
CTalta			0	0	0	0	0	0
CTbaixa	0	0						
CTcob	238	1	238	1	238	1	238	1
CTpar	150	150	150	150				
Fvent								
isol	0	0	0	0				
PambL								
PambN								
PambO								
PambS								
PD					2,7	2,7		
pil								
solo	1	0					1	0
SomApar								
somb	0	0	0	0			0	0
Ucob			2,05	0	2,05	0		
Upar								2,46
Uvid								
vid	0	0						
volume								
Porcentual simplificado	29%	32%	20%	20%	20%	20%	18%	23%

Após a proposição, a comparação entre os resultados obtidos entre os casos avaliados pelo método prescritivo vigente em 2016 e pelo método proposto mostrou que entre 97% e 100% dos casos apresentaram o mesmo nível de eficiência energética (Tabela 13). As diferenças mínimas e máximas ocorreram na ZB 4 e na ZB 3, respectivamente (Tabela 13). A diferença média entre os EqNumEnv (independentemente de alteração no nível de eficiência energética) para cada ZB variou entre 0,01 e 0,03 (Tabela 13). A Tabela 13 apresenta ainda os parâmetros simplificados que mais influenciaram no EqNumEnv nos casos em que a avaliação apresentou diferentes resultados. Na ZB4, por exemplo, cinco das amostras em que

as paredes apresentaram transmitância térmica de 2,78 W/m²K obtiveram diferentes EqNumEnv.

Tabela 13 – Relação entre os resultados obtidos pela avaliação dos casos pelo método prescritivo atual x método simplificado

ZB	Nº de amostras	Diferença dos resultados				Casos convergentes	Casos divergentes	
		Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão	Percentual de casos	Nº de casos	Parâmetro simplificado mais influente nos casos divergentes
1	180	0,12	0,00	0,00	0,12	99%	1	CTcob (37 kJ/m ² K))
2	180	0,06	-0,02	-0,02	0,06	98%	4	vid (1)
3	160	-0,29	-0,01	0,19	0,05	100%	0	-
4	160	-0,18	0,03	1,01	0,15	97%	5	Upar (2,78 W/m ² K)
6	160	-0,76	-0,01	0,56	0,12	98%	4	Ucob (1,79 W/m ² K)
7	160	-0,54	0,01	0,56	0,09	98%	3	Upar (2,78 W/m ² K)
5 e 8	160	-0,36	0,01	0,45	0,06	98%	3	Ucob (1,94 W/m ² K)

A seguir são detalhados os resultados da ZB4, selecionada por apresentar o menor percentual de casos convergentes entre as ZBs. Os resultados das demais zonas são apresentados nos Apêndices F ao I.

A Figura 19 compara os percentuais de amostras por nível de eficiência energética alcançados pelos casos analisados quando avaliadas pelo método vigente e a proposta. A Figura 20 permite a visualização dos EqNumEnv obtidos por ambos métodos para a ZB4. Constata-se a presença de mais casos com diferentes EqNumEnv que, entretanto, não culminaram em diferença no nível de eficiência energética.

Figura 19 – Nível de eficiência energética da envoltória da UH obtido para a ZB4

Fonte: autora

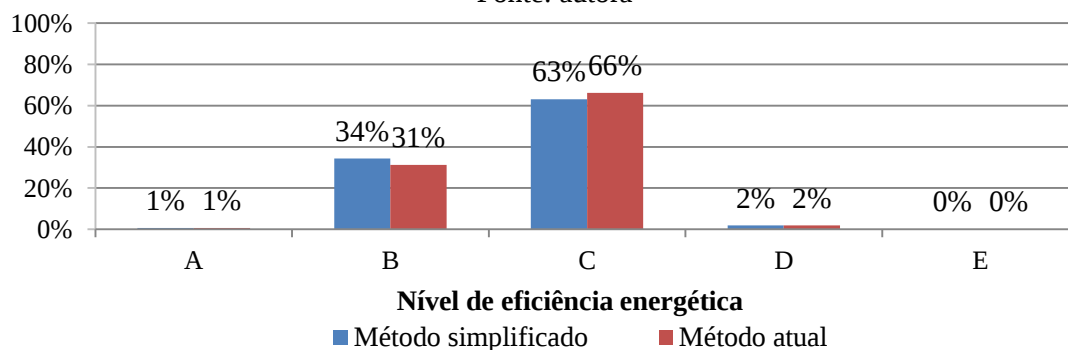
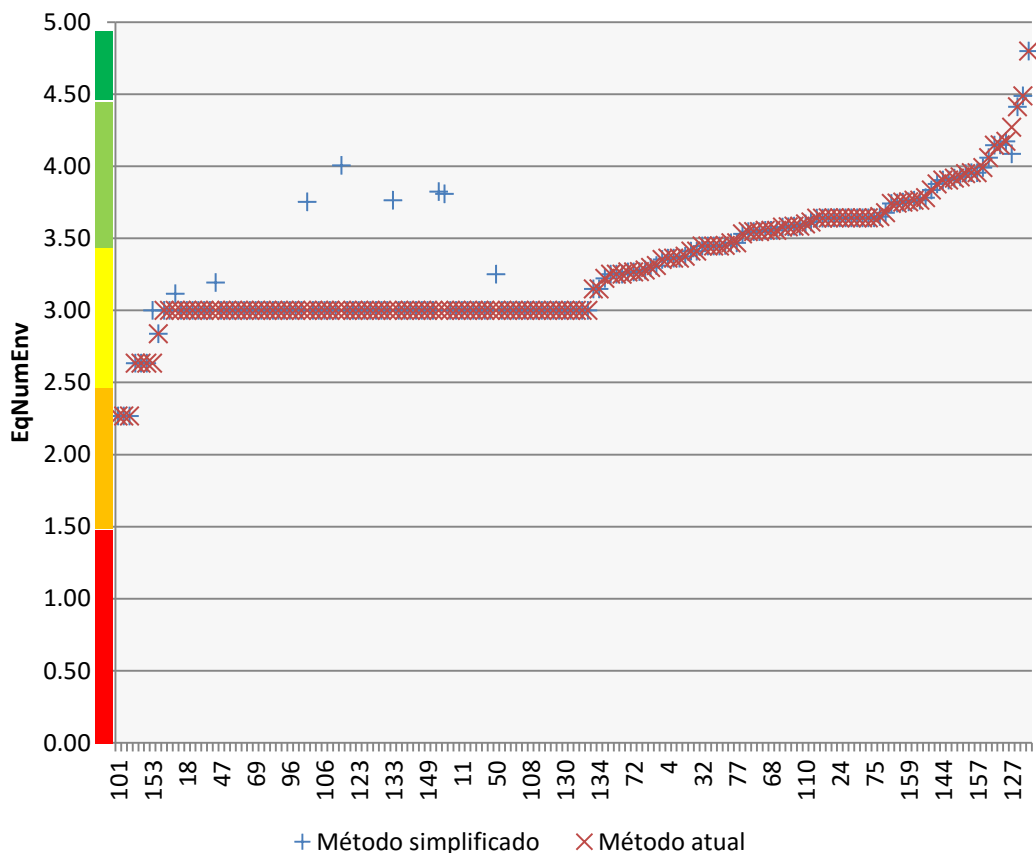


Figura 20 – EqNumEnv obtidos pelos casos avaliados da ZB4

Fonte: autora



As equações simplificadas são apresentadas como Equações 3 e 4 e Tabelas 14 e 15 para as UHs unifamiliar de um pavimento enquanto as Equações 5 e 6 e Tabelas 16 e 17 correspondem à simplificação empregada na avaliação de UH multifamiliar localizada em pavimento intermediário. As Equações e constantes com destaques dos parâmetros que foram simplificadas são apresentadas para as oito ZBs nos Apêndices F e G.

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \text{acob}) + (d \times \text{somb}) + (e \times \\ & \text{AUamb}) + (f \times \alpha_{\text{par}}) + (g \times \text{AAbs} \times (1 - \text{somb})) + (h \times \text{Ucob} \times \\ & \alpha_{\text{cob}} \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (i \times \text{Ucob} \times \alpha_{\text{cob}} \times \text{AUamb}) + (j \times \\ & \text{AparInt}) + (k \times \text{AAbo} \times (1 - \text{somb})) + (l \times \text{AbS}) + (m \times \text{Fvent}) + (n \\ & \times \text{SomApar}) + (o \times \text{AUamb}) + (p \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (q \times \text{AbN}) + \\ & (r \times \text{PambN}) + (s \times \text{APambN}) + (t \times \text{APambL} \times \alpha_{\text{par}}) + (u \times \\ & \text{PambO}) + (v \times \text{AAbL}) + (w \times \text{cob}) + (x \times \text{Ucob}) + (y \times \text{AAbs} \times \\ & \text{Fvent}) + (z \times \text{PambS}) + (aa \times \text{PambL}) + (ab \times \text{AparInt}) + (ac \times \\ & \text{AUamb}) + (ad \times \text{AUamb}) + [ae \times \alpha_{\text{par}} \times \text{SomApar}] + (af \times \\ & \text{CTalta}) + (ag \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (ah \times \text{APambS}) + (ai \times \\ & \text{APambO} \times \alpha_{\text{par}}) + (aj \times \text{AAbL} \times (1 - \text{somb})) \end{aligned}$$

Equação 3 –
Equação
simplificada para
cálculo do
Indicador de
graus-hora para
resfriamento de
UH unifamiliar da
ZB4

Tabela 14 – Constantes simplificadas da Equação 2

a	-396,792	j	0,0600	s	15,4759	ab	9,1604
b	748,0024	k	33,3844	t	42,9300	ac	-27,6075
c	548,8264	l	-67,8611	u	452,3534	ad	1,7323
d	-766,6239	m	-428,7391	v	15,6908	ae	0,0133
e	4.098,8757	n	-10,4357	w	738,0624	af	101,9694
f	445,9668	o	15,6972	x	-302,0291	ag	16,6898
g	-56,0964	p	-13,1833	y	38,3885	ah	26,9753
h	29,0510	q	-214,2001	z	60,5649	ai	20,5553
i	0,05643	r	457,9108	aa	289,4002	aj	-13,3692

$CA = [(a) + (b \times CTbaixa) + (c \times AUamb) + (d \times APambS \times Upar) + (e \times Ucob \times \alpha cob \times AUamb) + (f \times pil) + (g \times \alpha par) + (h \times cob \times AUamb) + (i \times Fvent) + (j \times cob) + (k \times \alpha cob) + (l \times AAbS) + (m \times AbN) + (n \times SomApar) + (o \times solo) + (p \times Upar) + (q \times PambN) + (r \times Ucob) + (s \times SomAparExt \times CTpar) + (t \times PambS) + (u \times APambN \times Upar \times \alpha par) + (v \times PD) + (w \times APambS \times Upar \times \alpha par) + (x \times PD \times AUamb)]/1000$

Equação 4 –
 Equação
 simplificada para
 cálculo do
 Consumo relativo
 para aquecimento
 de UH unifamiliar
 da ZB4

Tabela 15 – Constantes simplificadas da Equação 3

a	-628,9069	g	-2.161,0869	m	-272,8337	s	-0,0169
b	1.948,7618	h	12,1332	n	49,0402	t	851,6260
c	223,8195	i	-1.788,6294	o	434,3085	u	-34,3625
d	2,6903	j	4.47,7162	p	591,0911	v	1.636,1082
e	0,0825	k	-3.292,0955	q	-120,6000	w	-29,7849
f	1.478,9254	l	40,9503	r	-742,1948	x	-104,0720

$GHR = (a) + (b \times CTbaixa) + (c \times \alpha cob) + (d \times somb) + (e \times AUamb) + (f \times \alpha par) + (g \times AAbS \times (1-somb)) + (h \times Ucob \times \alpha cob \times cob \times AUamb) + (i \times Ucob \times \alpha cob \times AUamb) + (j \times AparInt) + (k \times AAbO \times (1-somb)) + (l \times AbS) + (m \times Fvent) + (n \times SomApar) + (o \times AUamb) + (p \times cob \times AUamb) + (q \times AbN) + (r \times PambN) + (s \times APambN) + (t \times APambL \times apar) + (u \times PambO) + (v \times AAbL) + (w \times cob) + (x \times Ucob) + (y \times AAbS \times Fvent) + (z \times PambS) + (aa \times PambL) + (ab \times AparInt) + (ac \times AUamb) + (ad \times \alpha par \times SomApar) + (ae \times CTalta) + (af \times AAbN \times somb) + (ag \times APambS) + (ah \times APambO \times \alpha par) + (ai \times AAbL \times (1-somb))$

Equação 5 –
 Equação
 simplificada para
 cálculo do
 Indicador de
 graus-hora para
 resfriamento de
 UH multifamiliar
 da ZB4

Tabela 16 – Constantes simplificadas da Equação 4

a	151,6389	j	0,0600	s	15,4759	ab	9,1604
b	748,0024	k	33,3844	t	42,9300	ac	-27,6075
c	548,8264	l	-67,8611	u	452,3534	ad	0,0133
d	-766,6239	m	-428,7391	v	15,6908	ae	101,9694
e	4.098,8757	n	-10,4357	w	738,0624	af	16,6898
f	445,9668	o	15,6972	x	-302,0291	ag	26,9753
g	-56,0964	p	-13,1833	y	38,3885	ah	20,5553
h	29,0510	q	-214,2001	z	60,5649	ai	-13,3692
i	13,4318	r	457,9108	aa	289,4002		

$CA = [(a) + (b \times CT_{baixa}) + (c \times AU_{amb}) + (d \times AP_{ambS}) + (e \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times AU_{amb}) + (f \times pil) + (g \times \alpha_{par}) + (h \times cob \times AU_{amb}) + (i \times F_{vent}) + (j \times cob) + (k \times \alpha_{cob}) + (l \times AA_{bS}) + (m \times AbN) + (n \times SomApar) + (o \times solo) + (p \times U_{par}) + (q \times P_{ambN}) + (r \times U_{cob}) + (s \times SomAparExt \times CT_{par}) + (t \times P_{ambS}) + (u \times AP_{ambN} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (v \times PD) + (w \times AP_{ambS} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (x \times PD \times AU_{amb})]/1000$

Equação 6 –
 Equação
 simplificada para
 cálculo do
 Consumo relativo
 para aquecimento
 de UH
 multifamiliar da
 ZB4

Tabela 17 – Constantes da Equação 5

a	-384,1715	g	-2.161,0869	m	-272,8337	s	-0,0169
b	1.948,7618	h	12,1332	n	49,0402	t	851,6260
c	223,8195	i	-1.788,6294	o	434,3085	u	-34,3625
d	6,6181	j	4.447,7162	p	591,0911	v	1.636,1082
e	19,6424	k	-3.292,0955	q	-120,6000	w	-29,7849
f	1.478,9254	l	40,9503	r	-742,1948	x	-104,0720

4.3.2 Aquecimento de água

4.3.2.1 Método prescritivo vigente em 2016

A avaliação do aquecimento de água é dada pela adequação do sistema instalado na edificação aos pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-R, referentes aos equipamentos, aos reservatórios e às tubulações. Além disso, cada tipo de sistema possui um método próprio de determinação do Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água (EqNumAA): equações para cálculo de fração solar anual no caso de aquecimento solar, cálculo para determinação da potência e do volume de armazenamento em sistemas a gás; e classificação de acordo com o coeficiente de

performance (COP), potência dos equipamentos e tipo de combustível para os sistemas de bombas de calor, elétricos e caldeiras a óleo, respectivamente (INMETRO, 2012).

Os métodos de classificação são, em sua maioria, de baixa complexidade e, além disso, há o interesse em desestimular o uso de sistemas como aquecedores elétricos instantâneos devido ao alto consumo energético. Nesse sentido, apesar do levantamento realizado no capítulo 2 indicar baixa presença de coletores solares nas edificações residenciais brasileiras, o foco da simplificação do aquecimento de água foi o sistema de aquecimento solar. O enfoque foi dado devido a complexidade resultante do grande número de variáveis que compõem a equação de determinação da fração solar anual e graças ao caráter sustentável do sistema que contribui para a promoção de edificações mais eficientes.

4.3.2.2 Método de simplificação

O método de simplificação desenvolvido consistiu em duas etapas. Na primeira foi proposta a padronização de algumas variáveis da equação de dimensionamento do sistema em constantes, conforme valores recomendados pelo próprio RTQ-R (INMETRO, 2012). Assim, apenas os parâmetros referentes às características da edificação, localidade e coletor solar permaneceram variáveis, o que resultou na eliminação de algumas equações e reduziu o tempo gasto no processo de avaliação.

A etapa seguinte contou com um ajuste do método para determinação da fração solar anual (F). No método atual a fração solar é determinada por meio da Equação 1, na qual a avaliação é dada pelo somatório de parâmetros representativos de cada mês do ano - energia útil mensal coletada e na demanda de energia mensal. Neste processo há alto dispêndio de tempo na repetição do mesmo processo para cada um dos doze meses do ano.

$$F = \frac{\sum_{1^{12}} EU_{mês}}{\sum_{1^{12}} DE_{mês}}$$

Equação 1 –
Fração solar anual

Onde:

EU_{mês}: energia útil mensal coletada (kWh/mês), calculada por meio da Equação 3.50 do RTQ-R (INMETRO, 2012, p. 87);

DE_{mês}: demanda de energia (kWh/mês), calculada por meio da Equação 3.44 do RTQ-R (INMETRO, 2012, p. 85)

Como as diferenças entre os resultados obtidos para cada mês são decorrentes da variação de quatro variáveis das equações: temperatura média mensal do local de instalação do coletor (T_{AMB}), radiação solar incidente no plano inclinado (H_{DIA}), número de dias do mês (N) e período de tempo considerado (ΔT), o ajuste consistiu na conversão dos dados mensais para anuais: T_{AMB} passa a ser dada pela temperatura média anual ($T_{ambiente}$) e H_{DIA} torna-se a média anual dos totais diários de radiação solar incidente no plano inclinado (H_{dia} -média), ambos dados de acordo com o local de instalação do coletor. Já N e ΔT são dados pelas constantes de 30,42 e 365, respectivamente, que correspondem à média de dias por mês em um ano e ao número total de horas mensais com insolação – para o cálculo partiu-se do pressuposto de que, independente da localidade, houvesse um período de insolação correspondente a 12 horas por dia. Assim, a avaliação deixa de determinar a fração solar anual (F) baseado em dados mensais e passa a calcular a fração solar anual (FS) baseada em dados anuais em um único processo.

A avaliação da proposta foi realizada por meio do dimensionamento de sistemas para uma edificação de dois dormitórios com um coletor solar nível A em 16 diferentes municípios a fim de abranger diferentes latitudes, e conseqüentemente, variações de temperatura e radiação solar. A definição do coletor solar empregado no estudo foi feita mediante seleção daquele de menor fator de eficiência óptica entre os coletores classificados como nível A pelo Inmetro (INMETRO, 2016). Assim, o modelo estabelecido foi o *Apolo Prata V 2,00 x 1,00*, da marca *Argus* do fabricante *Brauer*. Este coletor apresenta área externa de 2,00m², fator de eficiência óptica de 0,689 e coeficiente global de perdas do coletor igual a 6,116W/(m.K).

A definição dos municípios baseou-se no cruzamento dos valores de radiação solar global diária obtidas no Atlas Solarimétrico do Brasil (CHIGUERU TIBA et al., 2000, p. 59) com as coordenadas geográficas. Assim, para cada intervalo de 5° de latitude ao longo de todo eixo Norte-Sul do território brasileiro, era selecionado um município em cada uma das faixas de radiação existentes apresentadas no mapa

citado. A Tabela 18 apresenta os municípios selecionados pelo método, bem como seus respectivos estados, coordenadas geográficas, Ambiente e H_{dia}-média.

Tabela 18 – Modelos avaliados para validação da equação de dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água

Município	Estado	Coordenadas geográficas		Tambiente	H_{dia}-média
Boa Vista	RR	2,8° N	60,6° O	27,4	5,0
Macapá	AP	0° N	51,0° O	26,6	5,1
São Luís	MA	2,5° S	44,3° O	26,1	4,9
Manaus	AM	3,1° S	60,0° O	26,7	4,9
Monteiro	PB	7,8° S	37,1° O	23,7	5,3
Picos	PI	7,0° S	41,4° O	27,1	5,5
Porto Velho	RO	8,7° S	63,9° O	25,6	4,6
Diamantino	MT	14,4° S	56,4° O	24,9	4,9
Vitória	ES	20,3° S	40,3° O	24,2	4,9
Viçosa	MG	20,7° S	42,8° O	19,4	4,8
Campo Grande	MS	20,4° S	54,6° O	22,8	4,9
Rio de Janeiro	RJ	22,9° S	43,6° O	23,8	4,6
São Paulo	SP	23,5° S	46,6° O	19,2	4,0
Florianópolis	SC	27,5° S	48,5° O	20,4	4,2
Alegrete	RS	29,7° S	55,7° O	19,1	4,8
Pelotas	RS	31,7° S	52,3° O	17,8	4,6

4.3.2.3 Resultados da proposta simplificada

A tabela 19 apresenta as variáveis da equação de dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água que foram simplificadas e as respectivas constantes pelas quais foram substituídas.

Tabela 19 – Variáveis simplificadas na equação de dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água

Variável simplificada	Constante adotada
Tconsumo	38 ⁰ C para as regiões Norte e Nordeste e 40 ⁰ C para as demais
Tarmaz	38 ⁰ C para as regiões Norte e Nordeste e 40 ⁰ C para as demais
N	30,42 (média do número de dias pelos meses do ano)
Taf	(Tambiente - 2)
(Ta)/(Ta)n	0,96
F'r/Fr	0,95
ΔT	365
Tac	45 ⁰ C

*Nomenclatura das variáveis conforme RTQ-R (INMETRO, 2012).

Já o Quadro 2 apresenta como as equações do cálculo de dimensionamento do sistema (referenciadas conforme o RTQ-R) foram trabalhadas ao longo do processo de simplificação. Cinco métodos foram empregados: manter (equação mantida conforme método atual); simplificar (algumas variáveis da equação foram adaptadas em constantes); adaptar (algumas variáveis foram substituídas por suas equações correspondentes); embutir (deixou de ser uma equação para fazer parte de uma equação adaptada); e, excluir (equação excluída). Neste último método, a equação foi excluída por corresponder ao método de avaliação atual, o qual trabalha a fração solar mensal e, portanto, não se enquadra no método proposto. Com o novo método, a fração solar média (FS) – foco do estudo – é obtida por meio da equação de fração solar mensal (f) do método original.

Procedimento				
Manter	Simplificar	Adaptar	Embutir	Excluir
K1 (Eq. 3.47) F (Eq. 3.49)	Varmaz (Eq. 3.38) DE mês (Eq. 3.39) K2 (Eq. 3.48)	D1 (Eq. 3.41) D2 (Eq. 3.44)	EI mês (Eq. 3.40) EA mês (Eq. 3.42) F'r(Ta) (Eq. 3.43) EP mês (Eq. 3.45) F'rUI (Eq. 3.46)	EU mês (Eq. 3.50) F (Eq. 3.51)

Quadro 2 – Procedimentos de simplificação das equações do dimensionamento do sistema de aquecimento de água

O método simplificado completo e as equações de dimensionamento do sistema de aquecimento de água estão apresentados no Apêndice J. Com a conclusão desta etapa, a proposta foi avaliada por meio da comparação da fração solar obtida pelo método vigente em 2016 e pelo método proposto para os municípios listados na Tabela 18. As frações solares resultantes das análises são apresentados na Tabela 20,

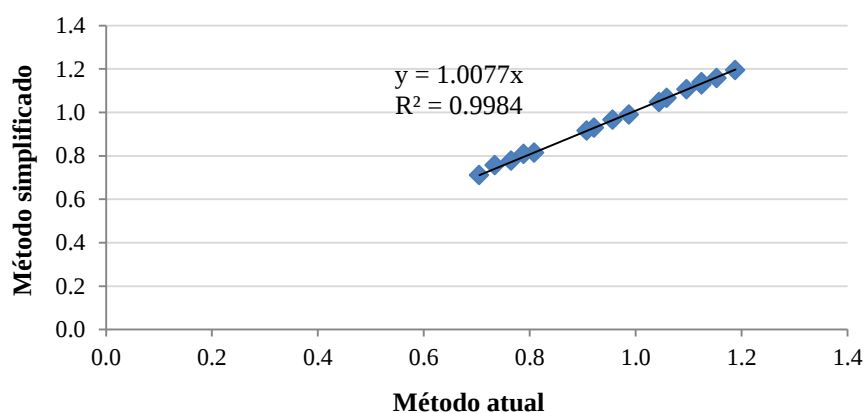
bem como a diferença percentual entre os resultados da fração solar anual (F) e da fração solar média (FS), enquanto que a Figura 21 apresenta a dispersão dos dados gerados pelos dois métodos.

Tabela 20 – Comparação entre os resultados de Fração solar obtidos pelo método atual x método proposto

Município	Fração solar		
	Método vigente Fração solar anual (F)	Método proposto Fração solar anual (FS)	Diferença (%)
Boa Vista	1,15291	1,15729	0,003
Macapá	1,12482	1,13734	0,011
São Luís	1,09659	1,10477	0,007
Manaus	1,12471	1,12816	0,003
Monteiro	1,05883	1,06499	0,005
Picos	1,18846	1,19326	0,004
Porto Velho	1,04444	1,04652	0,002
Diamantino	0,98741	0,98847	0,001
Vitória	0,95691	0,96568	0,009
Viçosa	0,80870	0,81402	0,006
Campo Grande	0,92139	0,92819	0,007
Rio de Janeiro	0,90749	0,91538	0,008
São Paulo	0,70498	0,70960	0,006
Florianópolis	0,76488	0,77592	0,014
Alegrete	0,78842	0,80780	0,024
Pelotas	0,73455	0,75584	0,028
Média	0,96034	0,96833	0,009
Desvio padrão	0,16135	0,15875	0,007

Figura 21 – Relação entre fração solar anual (F) e fração solar média (FS)

Fonte: autora



Constata-se, a partir da análise dos dados apresentados, que o modelo de avaliação proposto tem uma média de diferença entre o simplificado e o vigente de 0,009%, e como mostra a equação linear, as diferenças são de fato mínimas. A partir de tais dados, o método proposto por este trabalho é válido e mostra-se eficiente para avaliação do sistema de aquecimento solar de água.

4.3.2.1 Bonificações

As bonificações são o terceiro item que compõe o procedimento para determinação da eficiência energética de unidades habitacionais autônomas (UH). A comprovação do atendimento das iniciativas especificadas pelo RTQ-R acarreta pontos que são somados à classificação geral da UH, sendo as bonificações referentes à ventilação natural, iluminação natural, uso racional de água, condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, ventiladores de teto, refrigeradores e medicação individualizada (INMETRO, 2012).

Mesmo composto por diversas iniciativas que acarretam no somatório de até um ponto no equivalente numérico final da UH, os métodos individuais propostos para cada quesito são simples e eficazes, garantindo a agilidade do processo de etiquetagem e dispensando trabalhos para simplificação do método. Nenhuma margem de simplificação foi constatada e, assim, o método de avaliação das bonificações segue sem modificações.

4.4 Considerações finais

Este capítulo descreve o desenvolvimento e a validação do método prescritivo simplificado proposto por este trabalho para o RTQ-R. O foco da simplificação foram os procedimentos para determinação do nível de eficiência da envoltória e o cálculo do sistema de aquecimento solar.

O método proposto para a envoltória consistiu na padronização dos parâmetros de baixo impacto nos indicadores de consumo das equações. A partir do método de validação constatou-se que de 97% a 100% dos casos avaliados obtiveram

o mesmo nível de eficiência energética quando avaliados pelo método atual e pelo método simplificado, variando conforme a ZB na qual a UH se insere.

Quanto ao atual método de cálculo do sistema de aquecimento solar, que no método atual se baseia na fração solar anual, foi proposto que o mesmo fosse realizado por meio dos dados médios anuais e que alguns dos parâmetros das equações fossem padronizados. A comparação entre os resultados obtidos por ambos métodos tem média de diferença de 0,00905.

Com os resultados obtidos por meio da comparação entre os resultados do método atual e do método simplificado, a proposta foi validada. Espera-se que a simplificação do procedimento atual contribua para melhor aceitação do RTQ-R pelo mercado construtivo e contribua para sua consolidação.

Referências Bibliográficas

ADENE. **Decreto de Lei nº 80**, de 4 de Abril de 2006. Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios. Portugal, 2006a.

ADENE. **Decreto de Lei nº 79**, de 4 de Abril de 2006. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios. Portugal, 2006b.

ALBUQUERQUE, M. S. C; AMORIM, C. N. D. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 37 – 57, abr./jun. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2013.

ABRAHÃO, K. C. F. J. **Avaliação dos pesos regionais do RTQ-R a partir da análise da estrutura do consumo residencial de energia elétrica por região geográfica**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e Métodos Adotados no Regulamento de Etiquetagem da Eficiência Energética de Edifícios: parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CHIGUERU TIBA et al.. **Atlas solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos. Editora Universitária da UFPE, Recife, 2000.

CRAWLEY, D. B. Building simulation for policy support. In: Hensen, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building performance simulation for design and operation**. Routledge, 2012. Cap. 16, p. 469 – 480.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18**, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Tabelas de consumo/eficiência energética**. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/unidade-habitacional.pdf> >. Acesso em: 12 jan. 2016.

EUROPEAN COMISSION. **Doing more with less: green paper on energy efficiency**. EU Directorate-General for Energy and Transport. European Communities, Bélgica, p.51, 2005.

LOCHE, I.; RODRIGUES, A. F., CARLO, J. **Relatório** de Iniciação Científica. Universidade federal de Viçosa. Viçosa, 2016.

LOURA, R. M.; ASSIS, E. S. de; BASTOS, L. E. G. Análise Comparativa entre Resultados de Desempenho Térmico de Envolórias de Edifícios Residenciais Gerados por Diferentes Normas Brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 7.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 11., Búzios, 2011. **Anais...** Búzios, 2011.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G.; MAIRINK, A. J. M.; RIZZI, M. T. G.; SILVA, R. M. Concrete walls thermal performance analysis by Brazilian Standards. *Energy Procedia*, Elsevier, v. 78, p. 213 – 218, 2015.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; GONZÁLEZ, R.; MAESTRE, I. R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, Elsevier, n. 41, out./2009.

POUEY, J. A. A.; BRANDALISE, M. P.; SILVA, A. C. S. B. Determinação da eficiência energética da envoltória de projeto residencial unifamiliar comparando os resultados a partir da aplicação dos métodos prescritivo e de simulação do RTQ-R. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. **Anais...** Juiz de Fora, out. 2012.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 135-148, jul./set. 2013.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Police**, Elsevier, v. 87, dez. 2015.

VAN DER KNAAP, A. N. Building performance simulation to support building energy regulation: a case study for residential buildings in Brazil. **Tese** (Doutorado). Building Services, Department of the Built Environment, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2011.

WANG, S; YAN, C; XIAO, F. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. **Energy and buildings**, Elsevier, n. 55, 2012.

5. CONCLUSÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma proposta de simplificação para o atual método prescritivo de avaliação do nível de eficiência energética de unidades habitacionais autônomas (UH) quando naturalmente ventiladas. A proposta foi desenvolvida conforme os resultados obtidos nos processos de determinação de modelos representativos de edificações residenciais brasileiras existentes e de análise de sensibilidade dos parâmetros presentes nas equações dos graus-hora de resfriamento (GHR) e consumo relativo de aquecimento (CA) presentes no método de determinação do equivalente numérico da envoltória.

A fim de caracterizar o setor residencial brasileiro existente, foram definidos oito modelos representativos do arranjo espacial dos ambientes – três unifamiliares e cinco multifamiliares –, sendo cada um combinado com diferentes configurações de materiais e outras características, de acordo com cada uma das oito zonas bioclimáticas (ZB) existentes e a tipologia da unidade. Os modelos representativos contêm variações como o número de dormitórios até diferentes absorções solares das superfícies externas da UH.

A partir da análise de sensibilidade, realizada pelo método Monte Carlo com amostragem pelo hipercubo latino, foram obtidos os parâmetros que mais influenciaram nos GHR e CA. Os parâmetros mais influentes têm impactos diferentes em cada indicador e zona bioclimática. Para os GHResf, destacam-se as áreas de aberturas voltadas ao leste (AAbL) e a absorção de paredes (AbsPar) como parâmetros com alta influência positiva – diretamente proporcionais –, enquanto que aberturas voltadas a norte (AAbN) e sul (AAbS) se destacam com influência negativa – inversamente proporcionais. Já para CA, o somatório das áreas de paredes externas (SomAparext) se destaca com impacto positivo e áreas de aberturas (AAb) com impacto negativo.

Estes estudos contribuíram na elaboração do método simplificado proposto para a determinação do nível de eficiência da envoltória. A proposta foi desenvolvida a partir da adaptação em constantes dos valores dos parâmetros de baixo impacto – identificados pela análise de sensibilidade – por valores representativos do parque

edificado definidos pelos modelos definidos no capítulo 2. A partir da comparação entre os níveis de eficiência energética obtidos por avaliação pelo método vigente e pelo método simplificado de casos amostrados, a proposta foi validada com um percentual de convergência dos resultados variando de 97% a 100%, de acordo com a ZB analisada.

A eficácia do método proposto para o sistema de aquecimento solar foi verificada para 16 casos usando a diferença média entre o simplificado e o vigente, que foi de 0,00905. O método proposto consistiu na adaptação do cálculo da fração solar anual, realizado por meio dos dados mensais, pelo cálculo da fração solar a partir dos dados das médias anuais.

A proposta trabalhada nesta pesquisa resultou em simplificação do método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) sem modificar a base do método de avaliação vigente. Além disso, o método simplificado se mostrou eficaz visto apresentar baixo impacto nos níveis de eficiência energética finais quando casos foram avaliados pelo método vigente e o proposto.

5.1. Limitações do trabalho

As principais limitações desta pesquisa estão relacionadas às lacunas existentes referentes à caracterização do setor residencial brasileiro existente. Apesar de terem sido identificados estudos relevantes acerca do tema, análises estatísticas e levantamentos complementares precisaram ser trabalhados a fim de se alcançar resultados objetivos e completos. Mesmo o levantamento complementar realizado para sanar tal limitação apresentou alguns entraves devido a imprecisões dadas pelas ferramentas do *Google Maps* empregada. A ferramenta de medição resulta em incertezas nos dados obtidos e até mesmo a amostra apresenta um número total baixo para representar as edificações multifamiliares.

As incertezas dos dados interferem ainda na análise de sensibilidade realizada, visto que os dados levantados neste estudo complementar foram a base

para o desenvolvimento da amostragem dos parâmetros tidos como variáveis independentes.

5.2. Recomendações para trabalhos futuros

Nas sugestões para trabalhos futuros, recomendam-se algumas ações dentre as possibilidades detectadas ao longo do desenvolvimento do método simplificado:

- ampliação da proposta de simplificação para unidades habitacionais autônomas condicionadas artificialmente;
- avaliação do desempenho térmico dos modelos representativos pelo método de simulação;
- quantificação dos impactos da etiquetagem na escala do parque edificado brasileiro com uso dos modelos representativos;
- desenvolvimento de programa computacional para processamento da inspeção de projeto e do edifício construído pelos dois métodos prescritivos: simplificado e completo.

APÊNDICE

Apêndice A – Definição da composição da amostra de edificações residenciais

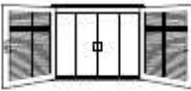
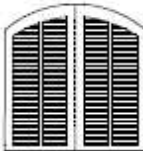
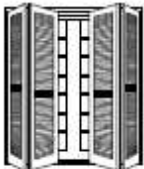
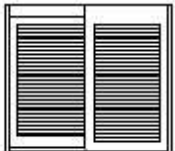
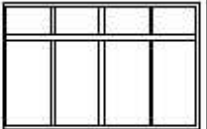
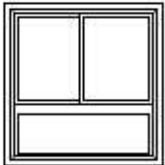
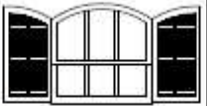
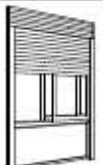
Porte demográfico	Estado	Zona Bioclimática	Município	População (IBGE, 2010)	Nº edificações por município
Pequeno A (7 municípios)	CE	5	Guaramiranga	3909	2
	MT	6	General Carneiro	5130	
	MT	5	Cidade Vera	10235	
	TO	6	Paranã	10335	
	PE	6	Triunfo	15264	
	MG	7	Monte Azul	22000	
	GO	7	Goiás	24727	
Pequeno B (10 municípios)	PB	6	Monteiro	31330	4
	SC	5	São Francisco do Sul	42569	
	MS	5	Aquidauana	46830	
	SP	1	Campos do Jordão	47824	
	TO	7	Porto Nacional	51501	
	SC	2	Araranguá	64405	
	PB	7	Sousa	68030	
	BA	6	Irecê	72041	
	AC	8	Cruzeiro do Sul	80377	
	MT	8	Cáceres	87912	
Médio (32 municípios)	MS	8	Corumbá	108010	6
	PE	5	Garanhuns	136057	
	PI	8	Parnaíba	148832	
	BA	7	Barreiras	150896	
	SC	1	Lages	158961	
	MG	1	Poços de Caldas	161025	
	MG	2	Ibirité	171932	
	GO	4	Luziânia	188181	
	CE	7	Sobral	197613	
	RJ	2	Nova Friburgo	202085	
	SP	6	Presidente Prudente	207625	
	MS	3	Dourados	210218	
	MG	4	Sete Lagoas	227571	
	MA	7	Imperatriz	251468	
	MG	5	Governador Valadares	276995	
	RN	7	Mossoró	284288	
	RJ	3	Petrópolis	295917	

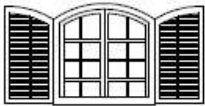
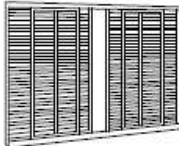
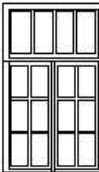
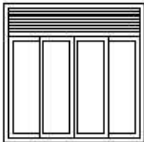
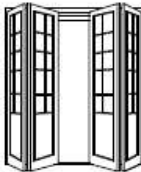
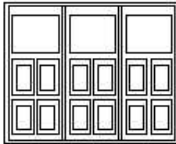
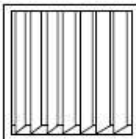
(Continua)

(Continuação)

Porte demográfico	Estado	Zona Bioclimática	Município	População (IBGE, 2010)	Nº edificações por município
Médio (32 municípios)	RR	8	Boa Vista	309050	6
	PE	7	Petrolina	326017	
	RS	2	Pelotas	327778	
	PR	2	Ponta Grossa	334535	
	SP	4	Franca	339461	
	BA	5	Vitória da Conquista	340199	
	ES	8	Vitória	348265	
	SP	2	Piracicaba	367289	
	MG	6	Montes Claros	385898	
	SP	5	Santos	433153	
	AP	8	Macapá	437255	
	SC	3	Florianópolis	461525	
	RS	1	Caxias do Sul	465304	
	RO	8	Porto Velho	484992	
	RJ	5	Niterói	494200	
Grande (21 municípios)	PR	3	Londrina	537566	8
	MT	7	Cuiabá	575480	
	SE	8	Aracaju	623776	
	PB	8	João Pessoa	780738	
	PI	7	Teresina	840600	
	MS	6	Campo Grande	853120	
	RN	8	Natal	862044	
	AL	8	Maceió	1005319	
	MA	8	São Luiz	1064197	
	GO	6	Goiânia	1393579	
	PA	8	Belém	1425923	
	RS	3	Porto Alegre	1467823	
	PE	8	Recife	1608488	
	PR	1	Curitiba	1848943	
	AM	8	Manaus	2020301	
	MG	3	Belo Horizonte	2479175	
	CE	8	Fortaleza	2551805	
	DF	4	Brasília	2852372	
	BA	8	Salvador	2908927	
	RJ	8	Rio de Janeiro	6453682	
	SP	3	São Paulo	11895893	
Total:	28	8	70	55966765	414

Apêndice B – Tabela de modelos de esquadrias levantadas

Nº	Tipo de Janela	Ilustração	% abertura iluminação natural	% abertura ventilação natural	somb
18	de correr - 4 folhas (2 fixas e 2 móveis) com venezianas de abrir 2 folhas		90	40	1
19	Veneziana de abrir - 2 folhas, superior curvo		90	90	1
20	correr 4 folhas com veneziana de abrir tipo camarão 4 folhas (2 fixas e 2 móveis)		60	30	1
21	veneziana de correr- 2 folhas		40	40	1
22	de correr- 4 folhas (2 fixas e 2 móveis) com bandeira móvel		75	40	0
23	de correr - 2 folhas com parte inferior fixa		80	40	0
24	guilhotina - 2 folhas, sendo duas venezianas de abrir		80	40	0
25	de correr- 2 folhas com bandeira móvel		85	40	0
26	de correr- 2 folhas com parte inferior fixa e persiana integrada		60	30	1

Nº	Tipo de Janela	Ilustração	% abertura iluminação natural	% abertura ventilação natural	somb
27	de correr- 2 folhas móveis com bandeira de veneziana fixa		70	40	0
28	abrir - 4 folhas, sendo duas venezianas		90	90	1
29	venezianas de correr - 4 folhas sem vidro		40	40	1
30	de correr (ou deslizantes) - 6 folhas, sendo 4 venezianas		40	40	1
31	pinázio - 2 folhas de abrir com bandeira móvel		75	60	0
32	de correr - 4 folhas com bandeira de veneziana fixa		70	30	0
33	de abrir - 4 folhas tipo camarão de abrir com parte inferior opaca		60	30	0
34	de abrir - 3 folhas sendo 60% opaca		70	70	0
35	pivotante - 6 folhas com eixo vertical		90	80	0

Apêndice C – Tabelas de percentuais de ocorrência de cada parâmetro em unidades residenciais unifamiliares

Volume (m³)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de 0 - 250	13,2	16,7	8,8	0	13,5	11,9	27,6	52,6	16,6
de 250 - 500	18,4	26,7	47,1	16,7	48,6	52,4	55,2	42,1	39,7
de 500 - 750	26,3	20,0	26,5	55,6	27,0	28,6	13,8	0	24,7
de 750 - 100,00	23,7	30	11,8	27,8	2,7	7,1	3,4	5,3	13,4
> 100,00	18,4	6,7	5,9	0	8,1	0	0	0	5,7

Nº de pavimentos	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
1	65,8	83,3	76,5	100,0	62,2	97,6	93,1	78,9	81,0
2	28,9	10,0	20,6	0	37,8	2,4	3,4	278,9	36,4
3	5,3	6,7	2,9	0	0	0	0	0	2,0

Presença de placa solar	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
sim	0	3,3	2,9	0	0	0	0	0	0,8
não	100,0	96,7	97,1	100,0	100,0	100,0	96,6	100,0	98,8

Modelo de telha	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
telha cerâmica	73,7	90,0	82,4	100,0	75,7	71,4	96,6	68,4	81,0
telha de fibrocimento	26,3	10	17,6	0	24,3	28,6	0	31,6	18,6

Área da cobertura (m²)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de 0 - 50	2,6	0	0	0	2,7	19,0	34,5	26,3	10,1
de 50 - 100,0	18,4	23,3	35,3	0	56,8	35,7	44,8	57,9	34,8
de 100,0 - 150	47,4	30,0	52,9	22,2	29,7	21,4	10,3	10,5	30
> 150	31,6	46,7	11,8	77,8	10,8	23,8	6,9	5,3	24,7

Altura do ático (m)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de 00 - 0,50	18,4	3,3	52,9	33,3	21,6	40,5	13,8	36,8	27,5
de 0,50 - 1,00	47,4	70,0	23,5	55,6	37,8	50,0	48,3	26,3	44,9
> 1,00	18,4	13,3	5,9	11,1	8,1	4,8	20,7	31,6	13,0
não identificado	15,8	13,3	17,6	0	32,4	4,8	13,8	5,3	14,2

Material da fachada	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
Alvenaria	73,7	73,3	88,2	61,1	89,2	100,0	96,6	78,9	84,6
Cerâmica	0	3,3	0	0	5,4	0	0	21,1	3
Madeira	15,8	10,0	8,8	0	5,4	0	0	0	5,7
Painel cerâmico	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tijolo aparente	10,5	10,0	2,9	16,7	0	0	0	0	4,5
Pedra	0	3,3	0	22,2	0	0	0	0	2,0

Absortância da fachada (%)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de 0 - 30	42,1	36,7	50,0	33,3	56,8	42,9	41,4	42,1	44,1
de 30 - 60	28,9	26,7	26,5	27,8	18,9	31,0	34,5	31,6	27,9
de 60 - 100,0	28,9	20,0	14,7	27,8	10,8	11,9	3,4	26,3	17,0
Não identificado	0	16,7	8,8	11,1	13,5	14,3	17,2	0	10,5

Área fachada (m²)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de 0 - 50	68,4	76,7	41,2	94,4	81,1	88,1	72,4	52,6	72,1
de 50 - 100,0	28,9	16,7	52,9	5,6	18,9	7,1	10,3	15,8	20,6
> 100,0	2,6	6,7	5,9	0	0	4,8	13,8	31,6	6,9

Presença de varanda	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
sim	44,7	36,7	44,1	38,9	51,4	42,9	31,0	57,9	43,3
não	55,3	63,3	55,9	61,1	48,6	57,1	65,5	42,1	56,3

PAF (%)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
0 - 5	2,6	26,7	44,1	16,7	24,3	31,0	48,3	57,9	30
de 5 - 10	52,6	43,3	38,2	33,3	51,4	47,6	17,2	26,3	40,9
de 10 - 15	31,6	20,0	14,7	22,2	8,1	21,4	17,2	5,3	18,2
> 15	13,2	10,0	2,9	11,1	16,2	0	13,8	10,5	9,3

Presença de brise	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
sim	2,6	0	0	11,1	8,1	0	0	0	2,4
não	97,4	100,0	100,0	88,9	91,9	100,0	96,6	100,0	97,2

*O maior valor de frequência de ocorrência de cada parâmetro está demarcado, mesmo nos casos em que a variável apresente outras características com alta frequência de ocorrência.

Apêndice D – Tabelas de percentuais de ocorrência de cada parâmetro em unidades residenciais multifamiliares

Tipologia do térreo	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
Comercial	0	0	0	50,0	0	0	0	88,9	20,4
Residencial	100,0	75,0	100,0	50,0	60,0	100,0	100,0	11,1	73,5
Pilotis	0	25,0	0	0	40,0	0	0	0	6,1

Volume (m³)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de até 250,0	0	25,0	7,1	50,0	20,0	25,0	50,0	33,3	12,6
de 250,0 - 500,0	0	75,0	57,1	25,0	40,0	50,0	0	22,2	20,7
de 500,0 - 750,0	0	0	14,3	25,0	20,0	0	0	22,2	6,9
de 750,0 – 1000,0	0	0	21,4	0	0	0	0	422,2	47,1
> 1000,0	100,0	0	0	0	20,0	25,0	50,0	22,2	12,6

Nº de Pavimentos	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
2	0	25,0	7,1	25,0	20,0	25,0	25,0	22,2	16,3
3	20,0	75,0	57,1	75,0	20,0	0	0	11,1	34,7
4	20,0	0	28,6	0	40,0	25,0	75,0	11,1	24,5
de 5 - 10	40,0	0	7,1	0	20,0	0	0	33,3	14,3
> 10	20,0	0	0	0	0	50,0	0	22,2	10,2

Presença de placa solar	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
sim	0	0	7,1	0	0	0	0	0	2,0
não	100,0	100,0	92,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,0

Modelo de telha	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
telha cerâmica	40,0	75,0	14,3	100,0	100,0	75,0	100,0	100,0	65,3
telha de fibrocimento	60,0	25,0	85,7	0	0	25,0	0	0	34,7

Área da cobertura (m²)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
< 100	0	25,0	0	50,0	0	25,0	0	11,1	10,2
de 100 - 200	40,0	50,0	35,7	0	60,0	25,0	50,0	55,6	40,8
de 200 - 300	0	25,0	57,1	25,0	20,0	0	0	11,1	24,5
> 300	60,0	0	7,1	25,0	20,0	50,0	50,0	22,2	24,5

Altura do ático da cobertura (m)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de até 0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
de 0,50 - 1,00	0	25,0	21,4	25,0	0	0	25,0	44,4	22,4
> 1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
não identificado	100,0	75,0	78,6	75,0	100,0	75,0	75,0	55,6	77,6

Material fachada	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
Alvenaria	40,0	75,0	57,1	100,0	20,0	50,0	50,0	100,0	63,3
Cerâmica	0	0	0	0	80,0	25,0	0	0	10,2
Madeira	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mármore	0	0	7,1	0	0	0	0	0	2,0
Painel cerâmico	40,0	0	21,4	0	0	25,0	50,0	0	16,3
Tijolo aparente	20,0	25,0	14,3	0	0	0	0	0	8,2

Absortância da fachada	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de 0 - 30	20,0	50,0	50,0	50,0	60,0	50,0	75,0	22,2	44,9
de 30 - 60	40,0	25,0	21,4	50,0	20,0	50,0	0	55,6	32,7
de 60 - 100	40,0	25,0	28,6	0	20,0	0	25,0	22,2	22,4

Área da fachada (m²)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de 0 - 50,0	0	25,0	0	50,0	60,0	50,0	50,0	22,2	24,5
de 50,0 - 100	40,0	75,0	35,7	50,0	40,0	0	0	55,6	38,8
de 100 - 300	20,0	0	35,7	0	0	0	0	0	12,2
> 300	40,0	0	28,6	0	0	50,0	50,0	22,2	24,5

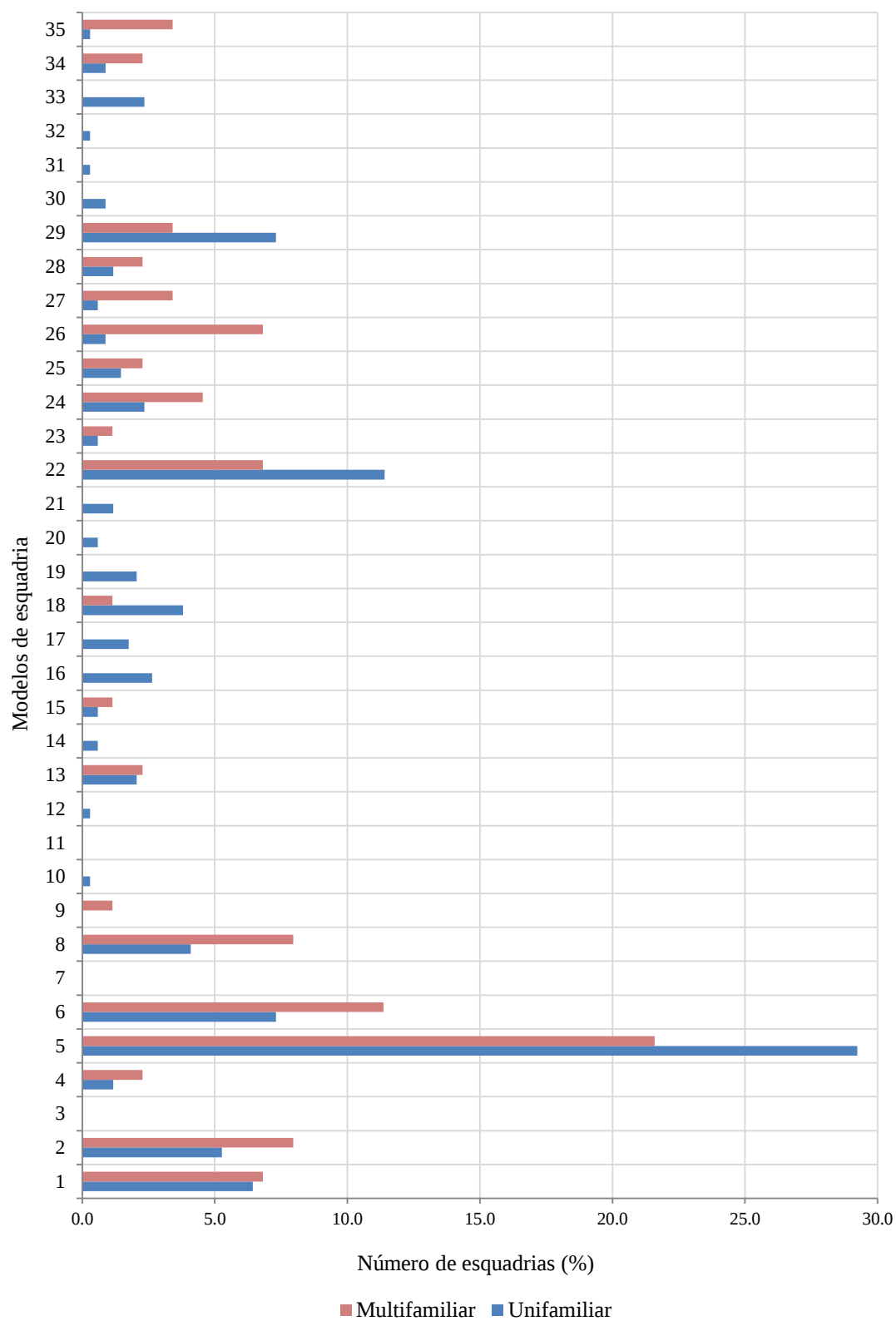
Presença de varanda	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
sim	60,0	50,0	7,1	75,0	40,0	50,0	75,0	22,2	36,7
não	40,0	50,0	92,9	25,0	60,0	50,0	25,0	77,8	63,3

PAF (%)	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
de 0 - 5	0	0	57,1	0	0	0	50,0	0	20,4
de 5 - 10	60,0	50,0	21,4	25,0	80,0	75,0	0	33,3	38,8
de 10 - 15	0	0	7,1	50,0	20,0	25,0	0	55,6	20,4
> 15	40,0	50,0	14,3	25,0	0	0	50,0	11,1	20,4

Presença de brise	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	Brasil
sim	0	0	7,1	0	0	0	0	0	2,0
não	100,0	100,0	92,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,0

*O maior valor de frequência de ocorrência de cada parâmetro está demarcado, mesmo nos casos em que a variável apresente outras características com alta frequência de ocorrência.

Apêndice E – Representatividade dos modelos de esquadria nas residências brasileiras existentes



Apêndice F – Equações simplificadas para o cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento e consumo relativo para aquecimento em unidade habitacional autônoma de edificação unifamiliar

As equações e tabelas 1 a 12 são reproduções do RTQ-R (INMETRO, 2012), entretanto apresentam demarcadas as simplificações realizadas conforme o método proposto por este trabalho. Variáveis e constantes simplificadas foram tachadas e as constantes que foram adaptadas (multiplicadas ao valor simplificado, resultando em uma nova constante) são destacadas em preenchimento cinza.

Equação 1 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB1

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \text{PD}/\text{AUamb}) + (d \times \text{Ucoba} \times \alpha_{\text{cob}} \times \text{cob} \times \text{AUamb}) \\ & + [e \times (\text{Ucoba} \times \alpha_{\text{cob}}/\text{CTcob}) \times \text{AUamb}] + (f \times \text{somb}) + (g \times \text{CTcob}) + (h \times \alpha_{\text{cob}}) \\ & + (i \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) + (j \times \text{isol}) + (k \times \text{sola}) + (l \times \text{AbS}) \\ & + [m \times (\text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}/\text{CTpar}) \times \text{SomApar}] + (n \times \text{Fvent}) + (o \times \text{CTpar}) + (p \times \text{pil}) \\ & + (q \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (r \times \text{vid}) + (s \times \text{cob}) + (t \times \text{AbO}) \\ & + (u \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (v \times \text{AUamb}) + (w \times \text{PD}) + (x \times \text{sola} \times \text{AUamb}) \\ & + (y \times \text{AAbL} \times \text{Fvent}) + (z \times \text{APambN} \times \alpha_{\text{par}}) + (aa \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) \\ & + (ab \times \text{APambL} \times \text{Upar}) + (ac \times \text{AAbS} \times \text{somb}) + (ad \times \text{AAbO} \times \text{somb}) \\ & + (ae \times \text{APambS} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) + (af \times \alpha_{\text{par}}) + (ag \times \text{CTalta}) + (ah \times \text{Upar}) \\ & + (ai \times \text{AAbS} \times \text{Fvent}) + (aj \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) + (ak \times \text{APambO} \times \text{Upar}) \\ & + (al \times \text{PambN}) + (am \times \text{AbN}) \end{aligned}$$

Tabela 1 – Constantes da Equação 1

a	51,9457	k		u	5,4197	ae	0,4732
b	123,0188	l	-13,7824	v	-0,8241	af	153256
c	443,8209	m	0,0017	w		ag	
d	5,4024	n	-35,9380	x	0,4141	ah	-12,2883
e	6,2656	o		y	5,4487	ai	2,6390
f	-66,6721	p		z	-0,1569	aj	1,7745
g	-0,0607	q	-0,9075	aa	2,4596	ak	2,4596
h	56,9221	r		ab	-1,0187	al	22,1077
i	9,1358	s	50,8387	ac	2,2785	am	-15,7841
j	-32,8413	t	21,8479	ad	2,9537		

Equação 2 – Consumo relativo para aquecimento da ZB1

$$\begin{aligned} \text{CA} = & [(a) + (\text{PD} \cdot \text{AUamb} \cdot b) + (\text{pil} \cdot \text{AUamb} \cdot c) + (\text{isol} \cdot d) + (\text{AparInt} \cdot \text{CTpar} \cdot e) \\ & + (\text{sola} \cdot \text{AUamb} \cdot f) + ((\text{Upar} \cdot \alpha_{\text{par}}/\text{CTpar}) \cdot \text{SomAparext} \cdot g) + (\text{coba} \cdot \text{AUamb} \cdot h) \\ & + (\text{AAbS} \cdot \text{Uvid} \cdot i) + (\text{Ucob} \cdot \text{Acob} \cdot \text{coba} \cdot \text{AUamb} \cdot j) + (\alpha_{\text{par}} \cdot k) + (\text{AAbL} \cdot \text{Uvid} \cdot l) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (\text{Upar} . m) + (\text{APambS} . n) + (\text{Fvent} . o) + (\text{CTbaixa} . p) + (\text{AparInt} . q) \\
& + (\text{SomAparext} . \text{CTpar} . r) + (\text{vid} . s) + ((\text{Ucob} . \alpha\text{cob} / \text{CTeob}) . \text{AUamb} . t) \\
& + (\text{SomAparext} . u) + (\text{APambN} . \alpha\text{par} . v) + (\text{PD} . w) + (\text{somb} . x) + \\
& (\text{APambS} . \alpha\text{par} . y) + (\text{Ucob} . z) + (\text{CTeob} . aa) + (\text{CTpar} . ab) + (\text{AAbS} . ac) \\
& + (\text{AAbN} . \text{Fvent} . ad) + (\text{APambN} . \text{Upar} . ae) + (\text{APambS} . \text{Upar} . af) \\
& + (\text{AAbO} . \text{Fvent} . ag) + (\text{eob} . ah) + (\alpha\text{cob} . ai) + (\text{AAbO} . \text{Uvid} . aj) \\
& + (\text{AAbN} . \text{Uvid} . ak) + (\text{APambO} . \alpha\text{par} . al) + (\text{APambL} . \alpha\text{par} . am) + (\text{APambN} . an) \\
& + (\text{AAbL} . \text{Fvent} . ao) + (\text{AAbS} . \text{Fvent} . ap) + (\text{solo} . aq) + (\text{pil} . ar) + (\text{AAbL} . as) \\
& + (\text{AAbO} . (1 - \text{somb}) . at) + (\text{APambN} . \text{Upar} . \alpha\text{par} . au) + (\text{APambS} . \text{Upar} . \alpha\text{par} . av) \\
& + (\text{AAbO} . aw) + (\text{AAbO} . \text{somb} . ax) + (\text{PambS} . ay) + (\text{AAbN} . (1 - \text{somb}) . az) \\
& + (\text{AAbN} . \text{somb} . ba) + (\text{AAbN} . bb)] / (\text{AUamb} . 1000)
\end{aligned}$$

Tabela 2 – Constantes da Equação 2

a	476.458,791	o	79.769,314	ac	20.177,453	ap	-47.868,104
b	620,640	p		ad	-43.565,157	aq	
c	8.314,496	q	6.372,943	ae	3.414,205	ar	27.238,852
d		r	-525,750	af	3.099,252	as	16.614,694
e	-179,100	s		ag	-48.984,907	at	-16.143,487
f	5.881,999	t	4,145	ah		au	-3.226,219
g	6,160	u	17.709,262	ai	-136.860,726	av	-2.820,982
h	3.090,563	v	-1.889,736	aj	3.541,891	aw	17.484,409
i	4.325,616	w	-75.954,953	ak	3.326,543	ax	
j	-1,728	x		al	-9.946,801	ay	-17.090,252
k	-86.128,150	y	-1.593,427	am	-9.318,630	az	-14.060,875
l	3.777,324	z	4.000,912	na	-9.418,871	ba	
m	-57.706,666	aa		ao	-53.392,697	bb	11.212,923
n	-5.503,373	ab					

Equação 3 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB2

$$\begin{aligned}
\text{GHR} = & (a) + (\text{b} \times \text{CTbaixa}) + (c \times \text{solo} \times \text{AUamb}) + (d \times \text{somb}) + (e \times \text{Ucob}) \\
& + (f \times \alpha\text{par}) + (g \times \text{Upar}) + (h \times \text{PD} / \text{AUamb}) + (i \times \text{CTalta}) + (j \times \text{AbS}) + (k \times \alpha\text{cob}) \\
& + (\text{l} \times \text{solo}) + (m \times \text{Fvent}) + (\text{n} \times \text{CTeob}) + (o \times \text{SomApar}) + (p \times \text{AUamb}) \\
& + (q \times \text{Ucob} \times \alpha\text{cob} \times \text{eob} \times \text{AUamb}) + (\text{r} \times \text{vid}) + (s \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) \\
& + (t \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (u \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (\text{v} \times \text{pil}) \\
& + (w \times \text{AAbL} \times (1 - \text{somb})) + (x \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) \\
& + [y \times (\text{Upar} \times \alpha\text{par} / \text{CTpar}) \times \text{SomApar}] + (z \times \text{APambS} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (aa \times \text{PambN}) \\
& + (ab \times \text{AbN}) + (ac \times \text{APambN}) + (ad \times \text{eob} \times \text{AUamb}) + (ae \times \text{AAbN} \times \text{Fvent}) + (af \times \\
& \text{APambN} \times \text{Upar}) + [ag \times (\text{Ucob} \times \alpha\text{cob} / \text{CTeob}) \times \text{AUamb}] \\
& + (ah \times \text{AAbL} \times \text{somb}) + (ai \times \text{AAbO}) + (\text{aj} \times \text{PD}) + (ak \times \text{AAbS} \times \text{somb}) \\
& + (al \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (am \times \text{AparInt}) + (an \times \text{APambN} \times \alpha\text{par}) + (ao \times \text{AAbS}) \\
& + (ap \times \text{APambS} \times \text{Upar}) + (aq \times \text{AAbS} \times \text{Fvent}) + (\text{ar} \times \text{isol}) \\
& + (as \times \text{AparInt} \times \text{CTpar}) + (at \times \text{PambO}) + (au \times \text{APambO}) + (av \times \text{AbO})
\end{aligned}$$

Tabela 3 – Constantes da Equação 3

a	3.519,0619	m	-1.460,7816	y	-0,0272	ak	109,2535
b		n		z	40,8156	al	63,5351
c	-14,3895	o	17,1399	aa	1631,2619	am	6,2899
d	-2,3773152	p	-17,4787	ab	-965,5409	na	-74,6509
e	-134,9247	q	64,3714	ac	-21,6288	ao	-89,8677
f	1.905,8260	r		ad	-11,3058	ap	-14,2651
g	374,3660	s	61,6169	ae	43,1130	aq	66,7633
h	15.013,6748	t	44,0963	af	-44,4243	ar	
i	-934,7427	u	108,6003	ag	0,0332	as	-0,0022
j	-714,8608	v		ah	80,4137	at	1.010,6465
k	2.112,5740	w	84,7338	ai	63,1816	au	-58,4028
l		x	36,2855	aj		av	-441,3903

Equação 4 – Consumo relativo para aquecimento da ZB2

$$\begin{aligned}
 CA = & [(a) + (PD \cdot AU_{amb} \cdot b) + (CT_{baixa} \cdot c) + (pil \cdot AU_{amb} \cdot d) + (isol \cdot e) \\
 & + (PambS \cdot f) + (AparInt \cdot CT_{par} \cdot g) + ((Upar \cdot apar / CT_{par}) \cdot SomAparext \cdot h) \\
 & + (\alpha_{par} \cdot i) + ((U_{cob} \cdot \alpha_{cob} / CT_{cob}) \cdot AU_{amb} \cdot j) + (AAbN \cdot Fvent \cdot k) + (solo \cdot AU_{amb} \cdot l) + \\
 & (cob \cdot AU_{amb} \cdot m) + (U_{cob} \cdot \alpha_{cob} \cdot cob \cdot AU_{amb} \cdot n) + (AU_{amb} \cdot o) \\
 & + (AAbS \cdot Uvid \cdot p) + (Upar \cdot q) + (AAbL \cdot Uvid \cdot r) + (APambS \cdot s) \\
 & + (SomAparext \cdot CT_{par} \cdot t) + (AparInt \cdot u) + (APambN \cdot \alpha_{par} \cdot v) + (vid \cdot w) \\
 & + (CT_{cob} \cdot x) + (cob \cdot y) + (CT_{par} \cdot z) + (\alpha_{cob} \cdot aa) + (APambS \cdot \alpha_{par} \cdot ab) \\
 & + (AAbS \cdot ac) + (APambN \cdot Upar \cdot ad) + (APambS \cdot Upar \cdot ae) + (pil \cdot af) \\
 & + (PD / AU_{amb} \cdot ag) + (AAbO \cdot Fvent \cdot ah) + (AAbO \cdot Uvid \cdot ai) + (solo \cdot aj) \\
 & + (somb \cdot ak) + (SomAparext \cdot al) + (AAbN \cdot Uvid \cdot am) + (AAbN \cdot an) \\
 & + (APambS \cdot Upar \cdot \alpha_{par} \cdot ao) + (AAbL \cdot Fvent \cdot ap) + (APambN \cdot Upar \cdot \alpha_{par} \cdot aq) \\
 & + (APambN \cdot ar) + (CT_{alta} \cdot as) + (AAbO \cdot at) + (APambL \cdot \alpha_{par} \cdot au) \\
 & + (APambO \cdot \alpha_{par} \cdot av) + (AAbS \cdot somb \cdot aw) + (AAbS \cdot (1 - somb) \cdot ax)] / (AU_{amb} \cdot 1000)
 \end{aligned}$$

Tabela 4 – Constantes da Equação 4

a	243.205,281	n	-2,327	aa	-63.182,966	am	1.579,388
b	2.596,578	o	-4.948,355	ab	-914,099	an	-7.565,449
c	48.773,966	p	2.298,395	ac	5.547,583	ao	-1.763,732
d	4.579,321	q	-30.991,823	ad	2.189,335	ap	-7.381,679
e		r	1.937,799	ae	1.814,481	aq	-2.164,848
f	-9.454,813	s	-1.316,292	af	20.607,874	ar	-4.623,174
g	-162,450	t	-394,800	ag	-298.542,715	as	
h	3,664	u	594,611	ah	-10.004,110	at	-2.621,933
i	-55.376,626	v	-1.296,994	ai	1.830,807	au	-3.795,605
j	5,838	w	1.383,905	aj	11.788,638	av	-3.772,944
k	-9.966,523	x		ak		aw	
l	1.940,457	y	77.335,684	al	5.175,141	ax	-3.591,401
m	2.200,750	z					

Equação 5 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB3

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \alpha \text{cob}) + (d \times \text{somb}) + (e \times \text{solo} \times \text{AUamb}) \\ & + (f \times \alpha \text{par}) + (g \times \text{PD/AUamb}) + (h \times \text{CTeob}) + (i \times \text{AbS}) \\ & + (j \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha \text{par}) + (k \times \text{AparInt} \times \text{CTpar}) + (l \times \text{solo}) \\ & + (m \times \text{Ueob} \times \alpha \text{cob} \times \text{eob} \times \text{AUamb}) + (n \times \text{Fvent}) + (o \times \text{AUamb}) + (p \times \text{SomApar}) + \\ & (q \times \text{AAAbO} \times (1 - \text{somb})) + (r \times \text{AAAbL} \times \text{Fvent}) + (s \times \text{CTpar}) \\ & + (t \times \text{AAAbS} \times (1 - \text{somb})) + (u \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha \text{par}) + (v \times \text{pil}) \\ & + (w \times \text{PambO}) + (x \times \text{AAAbN} \times \text{somb}) + (y \times \text{AbN}) + (z \times \text{PambN}) \\ & + (aa \times \text{APambN}) + [ab \times (\text{Ueob} \times \alpha \text{cob} / \text{CTeob}) \times \text{AUamb}] + (ac \times \text{eob} \times \text{AUamb}) \\ & + (ad \times \text{CTalta}) + (ae \times \text{Ueob}) + (af \times \text{APambS} \times \text{Upar} \times \alpha \text{par}) + (ag \times \text{PambL}) \\ & + (ah \times \text{AparInt}) + (ai \times \text{PD} \times \text{AUamb}) + (aj \times \text{PambS}) + (ak \times \text{AAAbS} \times \text{Fvent}) \\ & + (al \times \text{AAAbO} \times \text{Fvent}) + (am \times \text{AAAbN} \times \text{Fvent}) + (an \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha \text{par}) \\ & + (ao \times \text{APambS}) + (ap \times \text{AAAbN} \times (1 - \text{somb})) \end{aligned}$$

Tabela 5 – Constantes da Equação 5

a	-59,0624	l		w	399,0021	ah	16,2740
b		m	51,6352	x		ai	-20,4181
c	1.248,7615	n	-830,6742	y	-379,5777	aj	126,6339
d		o	34,1620	z	738,1763	ak	51,1530
e	-7,9675	p	-3,3292	aa	-4,2304	al	55,4249
f	1.0076786	q	16,9856	ab	0,04822	am	79,2095
g	2.324,8467	r	70,1758	ac	-6,1829	an	15,3351
h		s		ad		ao	26,0925
i	-77,7838	t	-54,1796	ae		ap	-34,7777
j	26,3363	u	14,1195	af	3,8400		
k	-0,240	v		ag	431,9407		

Equação 6 – Consumo relativo para aquecimento da ZB3

$$\begin{aligned} \text{CA} = & [(a) + (b \times \text{CTpar}) + (c \times \text{AUamb}) + (d \times \text{PambS}) + (e \times \text{CTbaixa}) + (f \times \text{solo}) \\ & + (g \times \text{pil}) + (h \times \text{Ueob}) + (i \times \alpha \text{par}) + (j \times \text{CTeob}) + (k \times \text{SomApar}) + (l \times \text{AAAbS}) \\ & + (m \times \text{AbN}) + [n \times (\text{Ueob} \times \alpha \text{cob} / \text{CTeob}) \times \text{AUamb}] + (o \times \text{CTalta}) + (p \times \text{Upar}) \\ & + (q \times \text{Fvent}) + (r \times \text{cob}) + (s \times \alpha \text{cob}) + (t \times \text{PD}) + (u \times \text{SomAparExt} \times \text{CTpar}) \\ & + (v \times \text{APambN} \times \alpha \text{par}) + (w \times \text{APambS} \times \alpha \text{par}) + (x \times \text{PD/AUamb})] / 1000 \end{aligned}$$

Tabela 6 – Constantes da Equação 6

a	10.391,0326	g	2.479,9604	m	-543,4286	s	-3.315,0119
b	0,3717	h	807,7939	n	0,1211	t	
c	-122,4306	i	-2.521,9122	o		u	-0,0219
d	1.557,3444	j	-292,2640	p	990,0915	v	-75,9370
e	2.109,4866	k	65,4370	q	-1.111,1099	w	-80,3345
f	2.802,3931	l	131,7352	r	4.323,9241	x	-41.259,2237

Equação 7 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB4

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \text{acob}) + (d \times \text{somb}) + (e \times \text{CTeob}) \\ & + (f \times \text{PD/AUamb}) + (g \times \alpha_{\text{par}}) + (h \times \text{solo}) + (i \times \text{AAbs} \times (1 - \text{somb})) \\ & + (j \times \text{Ucob} \times \alpha_{\text{cob}} \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + [k \times (\text{Ucob} \times \alpha_{\text{cob}} / \text{CTeob}) \times \text{AUamb}] \\ & + (l \times \text{pil}) + (m \times \text{AparInt} \times \text{CTpar}) + (n \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) + (o \times \text{AbS}) \\ & + (p \times \text{Fvent}) + (q \times \text{SomApar}) + (r \times \text{AUamb}) + (s \times \text{CTpar}) \\ & + (t \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (u \times \text{AbN}) + (v \times \text{PambN}) + (w \times \text{APambN}) \\ & + (x \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) + (y \times \text{PambO}) + (z \times \text{AAbL}) + (aa \times \text{cob}) \\ & + (ab \times \text{Ucob}) + (ac \times \text{AAbs} \times \text{Fvent}) + (ad \times \text{PambS}) + (ae \times \text{PambL}) \\ & + (af \times \text{AparInt}) + (ag \times \text{PD} \times \text{AUamb}) + (ah \times \text{solo} \times \text{AUamb}) \\ & + [ai \times (\text{Upar} \times \alpha_{\text{par}} / \text{CTpar}) \times \text{SomApar}] + (aj \times \text{Upar}) + (ak \times \text{CTalta}) \\ & + (al \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (am \times \text{APambS}) + (an \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) \\ & + (ao \times \text{AAbL} \times (1 - \text{somb})) \end{aligned}$$

Tabela 7 – Constantes da Equação 7

a	-396,792	l		w	15,4759	ah	1,7323
b	748,0024	m	0,0600	x	42,9300	ai	0,0133
c	548,8264	n	33,3844	y	452,3534	aj	
d	-766,6239	o	-67,8611	z	15,6908	ak	101,9694
e		p	-428,7391	aa	738,0624	al	16,6898
f	4.098,8757	q	-10,4357	ab	-302,0291	am	26,9753
g	445,9668	r	15,6972	ac	38,3885	an	20,5553
h		s		ad	60,5649	ao	-13,3692
i	-56,0964	t	-13,1833	ae	289,4002		
j	29,0510	u	-214,2001	af	9,1604		
k	0,0564	v	457,9108	ag	-27,6075		

Equação 8 – Consumo relativo para aquecimento da ZB4

$$\begin{aligned} \text{CA} = & [(a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \text{AUamb}) + (d \times \text{somb}) + (e \times \text{APambS} \times \text{Upar}) \\ & + [f \times (\text{Ucob} \times \alpha_{\text{cob}} / \text{CTeob}) \times \text{AUamb}] + (g \times \text{pil}) + (h \times \alpha_{\text{par}}) + (i \times \text{cob} \times \text{AUamb}) \\ & + (j \times \text{CTalta}) + (k \times \text{Fvent}) + (l \times \text{CTeob}) + (m \times \text{cob}) + (n \times \alpha_{\text{cob}}) + (o \times \text{AAbs}) \\ & + (p \times \text{AbN}) + (q \times \text{SomApar}) + (r \times \text{solo}) + (s \times \text{Upar}) + (t \times \text{PambN}) + (u \times \text{Ucob}) \\ & + (v \times \text{SomAparExt} \times \text{CTpar}) + (w \times \text{PambS}) + (x \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) \\ & + (y \times \text{PD}) + (z \times \text{APambS} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) + (aa \times \text{PD} \times \text{AUamb})] / 1000 \end{aligned}$$

Tabela 8 – Constantes da Equação 8

a	-628,9069	h	-2.161,0869	o	40,9503	v	-0,0169
b	1.948,7618	i	12,1332	p	-272,8337	w	851,6260
c	223,8195	j		q	49,0402	x	-34,3625
d		k	-1.788,6294	r	434,3085	y	1.636,1082
e	2,6903	l		s	591,0911	z	-29,7849
f	0,0825	m	4.447,7162	t	-120,6000	aa	-104,0720
g	1.478,9254	n	-3.292,0955	u	-742,1948		

Equação 9 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB5 e da ZB8

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{somb}) + (c \times \alpha\text{cob}) + (d \times \alpha\text{par}) + (e \times \text{CTbaixa}) + (f \times \text{PambO}) \\ & + (g \times \text{sole} \times \text{AUamb}) + (h \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (i \times \text{PambN}) \\ & + (\text{j} \times \text{pil} \times \text{AUamb}) + (k \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) + (l \times \text{Fvent}) \\ & + (m \times \text{AAbS} \times (1 - \text{somb})) + (n \times \text{Ueob} \times \alpha\text{cob} \times \text{eob} \times \text{AUamb}) \\ & + (o \times \text{eob} \times \text{AUamb}) + (p \times \text{AbN}) + (q \times \text{APambN}) + (r \times \text{APambS}) \\ & + (s \times \text{PambL}) + (t \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (u \times \text{AbL}) + (v \times \text{PD/AUamb}) \\ & + (\text{w} \times \text{sole}) + (x \times \text{SomApar}) + (y \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (z \times \text{CTcob}) \\ & + (\text{aa} \times \text{CTalta}) + (\text{ab} \times \text{Ueob}) + (\text{ac} \times \text{APambL} \times \alpha\text{par}) + (\text{ad} \times \text{PambS}) + (\text{ae} \times \text{pil}) \\ & + (\text{af} \times \text{AAbL} \times (1 - \text{somb})) + (\text{ag} \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (\text{ah} \times \text{PD} \times \text{AUamb}) \\ & + (\text{ai} \times \text{AparInt}) + (\text{aj} \times \text{AUamb}) + (\text{ak} \times \text{AAbN} \times \text{Fvent}) + (\text{al} \times \text{AAbS} \times \text{Fvent}) \\ & + (\text{am} \times \text{AAbL} \times \text{Fvent}) + (\text{an} \times \text{AbS}) \end{aligned}$$

Tabela 9 – Constantes da Equação 5

a	3.114,3107	k	267,5110	u	-1.089,0840	ae	
b	-4.358,3120	l	-1.923,1450	v	4.861,2191	af	66,4689
c	3.875,5023	m	-135,5828	w		ag	-40,6794
d	4.833,6329	n	155,8576	x	-3,4004	ah	-78,9077
e	2.649,1399	o	-21,8897	y	136,4653	ai	59,9755
f	2.224,2664	p	-1.503,2234	z	-0,3847	aj	152,9115
g	-19,6341	q	-31,3561	aa		ak	98,2787
h	98,4268	r	106,7381	ab		al	112,5051
i	3.128,2421	s	1.524,3703	ac	91,9860	am	93,0504
j		t	101,8462	ad	340,0819	an	-586,4518

Equação 10 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB6

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (\text{b} \times \text{CTbaixa}) + (c \times \alpha\text{cob}) + (\text{d} \times \text{somb}) + (e \times \text{sole} \times \text{AUamb}) \\ & + (f \times \alpha\text{par}) + (\text{g} \times \text{CTalta}) + (h \times \text{PD/AUamb}) + (i \times \text{AbS}) + (j \times \text{SomApar}) \\ & + (\text{k} \times \text{sole}) + (\text{l} \times \text{CTeob}) + (m \times \text{Ueob} \times \alpha\text{cob} \times \text{eob} \times \text{AUamb}) + (n \times \text{PambL}) \\ & + (o \times \text{AAbS} \times (1 - \text{somb})) + (p \times \text{AUamb}) + (q \times \text{Fvent}) \\ & + [r \times (\text{Ueob} \times \alpha\text{cob/CTeob}) \times \text{AUamb}] + (s \times \text{AparInt}) + (t \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + \\ & (u \times \text{PambO}) + (v \times \text{PambN}) + (w \times \text{APambS} \times \text{Upar}) \\ & + (x \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (y \times \text{AAbL} \times \text{Fvent}) + (z \times \text{PambS}) \\ & + (\text{aa} \times \text{AparInt} \times \text{CTpar}) + (\text{ab} \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) + (\text{ac} \times \text{AAbN} \times \text{Fvent}) \\ & + (\text{ad} \times \text{AbN}) + (\text{ae} \times \text{PD} \times \text{AUamb}) + (\text{af} \times \text{AAbS} \times \text{Fvent}) \\ & + (\text{ag} \times \text{AAbO} \times \text{Fvent}) + (\text{ah} \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (\text{ai} \times \text{CTpar}) \\ & + (\text{aj} \times \text{AAbN}) + (\text{ak} \times \text{AAbO}) + (\text{al} \times \text{AAbS}) + (\text{am} \times \text{PD}) + (\text{an} \times \text{AAbL}) \\ & + (\text{ao} \times \text{APambN} \times \alpha\text{par}) + (\text{ap} \times \text{APambN} \times \text{Upar}) + (\text{aq} \times \text{APambN}) \\ & + (\text{ar} \times \text{APambO}) + (\text{as} \times \text{AbO}) \end{aligned}$$

Tabela 10 – Constantes da Equação 5

a	1.956,0883	m	101,9801	y	353,0820	ak	-158,3389
b		n	1.146,8746	z	825,5822	al	-141,7571
c	3.942,2575	o	-199,9633	aa	-1,170	am	
d		p	85,3725	ab	49,9509	na	-80,6792
e	-28,7788	q	-2.857,6711	ac	431,5161	ao	-636,1284
f	4.083,2765	r	0,1383	ad	-1.237,0229	ap	-505,5268
g		s	28,1849	ae	-126,7034	aq	375,6431
h	6.456,7851	t	838,4400	af	338,6679	ar	-67,2184
i	-513,1325	u	2.184,3602	ag	383,4189	as	-708,5751
j	-0,4197	v	2.581,4199	ah	105,9374		
k		w	39,2281	ai			
l		x	151,9087	aj	-156,2399		

Equação 11 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB7

$$\begin{aligned}
 \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{somb}) + (c \times \alpha_{\text{cob}}) + (d \times \text{CT}_{\text{baixa}}) + (e \times \alpha_{\text{par}}) \\
 & + (f \times \text{sole} \times \text{AU}_{\text{amb}}) + (g \times \text{AbS}) + (h \times \text{SomApar}) + (i \times \text{CT}_{\text{alta}}) + (j \times \text{sole}) \\
 & + (k \times \text{pil} \times \text{AU}_{\text{amb}}) + (l \times \text{AAbs} \times (1 - \text{somb})) + (m \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) \\
 & + (n \times \text{U}_{\text{cob}} \times \alpha_{\text{cob}} \times \text{eob} \times \text{AU}_{\text{amb}}) + (o \times \text{CT}_{\text{eob}}) + (p \times \text{PD} / \text{AU}_{\text{amb}}) \\
 & + (q \times \text{APambS}) + (r \times \text{Fvent}) + (s \times \text{AparInt} \times \text{CT}_{\text{par}}) + (t \times \text{AbN}) + (u \times \text{PambN}) \\
 & + (v \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) + (w \times \text{U}_{\text{cob}}) + (x \times \text{APambN}) + (y \times \text{AAbN} \times \text{Fvent}) + \\
 & (z \times \text{AAbN}) + (aa \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) \\
 & + [ab \times (\text{Upar} \times \alpha_{\text{par}} / \text{CT}_{\text{par}}) \times \text{SomApar}] + (ac \times \text{PambL}) + (ad \times \text{PambO}) \\
 & + (ae \times \text{AparInt}) + (af \times \text{PD}) + (ag \times \text{AAbO} \times \text{somb}) + (ah \times \text{eob} \times \text{AU}_{\text{amb}}) \\
 & + (ai \times \text{eob}) + (aj \times \text{APambO} \times \alpha_{\text{par}}) + (ak \times \text{CT}_{\text{par}}) + (al \times \text{SomAparExt} \times \text{CT}_{\text{par}}) \\
 & + (am \times \text{APambO} \times \text{Upar}) + (an \times \text{APambL})
 \end{aligned}$$

Tabela 11 – Constantes da Equação 5

a	100.643,5109	k		u	3.647,3308	ae	27,0537
b	-6.292,1885	l	-298,4915	v	469,8836	af	
c	5.145,0087	m	94,7187	w		ag	-99,1571
d		n	226,2398	x	-586,4147	ah	-30,1558
e	8.932,3248	o		y	416,5898	ai	
f	-52,7262	p	25.949,4330	z	-182,6811	aj	-868,5381
g	72,7154	q	-434,0247	aa	63,2490	ak	
h	520,0973	r	-2.302,3773	ab	-0,3462	al	-3,390
i		s	-0,1785	ac	2.421,0221	am	-279,5554
j		t	-1.806,5932	ad	3.114,1878	an	-540,0451

Referência Bibliográfica

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18**, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

Apêndice G – Equações simplificadas para o cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento e consumo relativo para aquecimento em unidade habitacional autônoma de edificação multifamiliar

As equações e tabelas 1 a 12 são reproduções do RTQ-R (INMETRO, 2012), entretanto apresentam demarcadas as simplificações realizadas conforme o método proposto por este trabalho. Variáveis e constantes simplificadas foram tachadas e as constantes que foram adaptadas (multiplicadas ao valor simplificado, resultando em uma nova constante) são destacadas em preenchimento cinza.

Equação 1 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB1

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \text{PD} / \text{AUamb}) + (\cancel{d \times \text{Ueob} \times \text{Aeob} \times \text{cob} \times \text{AUamb}}) \\ & + [\cancel{e \times (\text{Ueob} \times \text{Aeob} / \text{CTeob}) \times \text{AUamb}}] + (f \times \text{somb}) + (g \times \text{CTcob}) + (\cancel{h \times \text{Aeob}}) \\ & + (i \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) + (j \times \text{isol}) + (\cancel{k \times \text{solo}}) + (l \times \text{AbS}) \\ & + [m \times (\text{Upar} \times \alpha\text{par} / \text{CTpar}) \times \text{SomApar}] + (n \times \text{Fvent}) + (\cancel{o \times \text{CTpar}}) + (\cancel{p \times \text{pil}}) \\ & + (q \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (\cancel{r \times \text{vid}}) + (s \times \text{cob}) + (t \times \text{AbO}) \\ & + (u \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (v \times \text{AUamb}) + (\cancel{w \times \text{PD}}) + (\cancel{x \times \text{solo} \times \text{AUamb}}) \\ & + (y \times \text{AAbL} \times \text{Fvent}) + (z \times \text{APambN} \times \alpha\text{par}) + (aa \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) \\ & + (ab \times \text{APambL} \times \text{Upar}) + (ac \times \text{AAbS} \times \text{somb}) + (ad \times \text{AAbO} \times \text{somb}) \\ & + (ae \times \text{APambS} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (af \times \alpha\text{par}) + (\cancel{ag \times \text{CTalta}}) + (ah \times \text{Upar}) \\ & + (ai \times \text{AAbS} \times \text{Fvent}) + (aj \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (ak \times \text{APambO} \times \text{Upar}) \\ & + (al \times \text{PambN}) + (am \times \text{AbN}) \end{aligned}$$

Tabela 1 – Constantes da Equação 1

a	106,3042	k		u	5,4197	ae	0,4732
b	123,0188	l	-13,7824	v	-0,8241	af	15,3256
c	443,8209	m	0,0017	w		ag	
d		n	-35,9380	x		ah	-12,2883
e		o		y	5,4487	ai	2,6390
f	-66,6721	p		z	-0,1569	aj	1,7745
g	-0,0607	q	-0,9075	aa	2,4596	ak	2,4596
h		r		ab	-1,0187	al	22,1077
i	9,1358	s	50,8387	ac	2,2785	am	-15,7841
j	-32,8413	t	21,8479	ad	2,9537		

Equação 2 – Consumo relativo para aquecimento da ZB1

$$\begin{aligned} \text{CA} = & [(a) + (\text{PD} \cdot \text{AUamb} \cdot b) + (\text{pil} \cdot \text{AUamb} \cdot c) + (\cancel{\text{isol} \cdot d}) + (\text{AparInt} \cdot \text{CTpar} \cdot e) \\ & + (\cancel{\text{solo} \cdot \text{AUamb} \cdot f}) + ((\text{Upar} \cdot \alpha\text{par} / \text{CTpar}) \cdot \text{SomAparext} \cdot g) + (\cancel{\text{cob} \cdot \text{AUamb} \cdot h}) \\ & + (\text{AAbS} \cdot \text{Uvid} \cdot i) + (\cancel{\text{Ueob} \cdot \text{Aeob} \cdot \text{cob} \cdot \text{AUamb} \cdot j}) + (\alpha\text{par} \cdot k) + (\text{AAbL} \cdot \text{Uvid} \cdot l) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (\text{Upar} . m) + (\text{APambS} . n) + (\text{Fvent} . o) + (\text{CTbaixa} . p) + (\text{AparInt} . q) \\
& + (\text{SomAparext} . \text{CTpar} . r) + (\text{vid} . s) + ((\text{Ucob} . \alpha\text{cob} / \text{CTeob}) . \text{AUamb} . t) \\
& + (\text{SomAparext} . u) + (\text{APambN} . \alpha\text{par} . v) + (\text{PD} . w) + (\text{somb} . x) + \\
& (\text{APambS} . \alpha\text{par} . y) + (\text{Ucob} . z) + (\text{CTeob} . aa) + (\text{CTpar} . ab) + (\text{AAbS} . ac) \\
& + (\text{AAbN} . \text{Fvent} . ad) + (\text{APambN} . \text{Upar} . ae) + (\text{APambS} . \text{Upar} . af) \\
& + (\text{AAbO} . \text{Fvent} . ag) + (\text{cob} . ah) + (\alpha\text{cob} . ai) + (\text{AAbO} . \text{Uvid} . aj) \\
& + (\text{AAbN} . \text{Uvid} . ak) + (\text{APambO} . \alpha\text{par} . al) + (\text{APambL} . \alpha\text{par} . am) + (\text{APambN} . an) \\
& + (\text{AAbL} . \text{Fvent} . ao) + (\text{AAbS} . \text{Fvent} . ap) + (\text{solo} . aq) + (\text{pil} . ar) + (\text{AAbL} . as) \\
& + (\text{AAbO} . (1 - \text{somb}) . at) + (\text{APambN} . \text{Upar} . \alpha\text{par} . au) + (\text{APambS} . \text{Upar} . \alpha\text{par} . av) \\
& + (\text{AAbO} . aw) + (\text{AAbO} . \text{somb} . ax) + (\text{PambS} . ay) + (\text{AAbN} . (1 - \text{somb}) . az) \\
& + (\text{AAbN} . \text{somb} . ba) + (\text{AAbN} . bb)] / (\text{AUamb} . 1000)
\end{aligned}$$

Tabela 2 – Constantes da Equação 2

a	309.256,848	o	79.769,314	ac	20.177,453	ap	-47.868,104
b	620,640	p		ad	-43.565,157	aq	
c	8.314,496	q	6.372,943	ae	3.414,205	ar	27.238,852
d		r	-525,750	af	3.099,252	as	16.614,694
e	-179,100	s		ag	-48.984,907	at	-16.143,487
f		t		ah		au	-3.226,219
g	6,1596	u	17.709,262	ai		av	-2.820,982
h		v	-1.889,736	aj	3.541,891	aw	17.484,409
i	4.325,616	w	-75.954,953	ak	3.326,543	ax	
j		x		al	-9.946,801	ay	-17.090,252
k	-86.128,150	y	-1.593,427	am	-9.318,630	az	-14.060,875
l	3.777,324	z	4.000,912	na	-9.418,871	ba	
m	-57.706,666	aa		ao	-53.392,697	bb	11.212,923
n	-5.503,373	ab					

Equação 3 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB2

$$\begin{aligned}
\text{GHR} = & (a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \text{solo} \times \text{AUamb}) + (d \times \text{somb}) + (e \times \text{Ucob}) \\
& + (f \times \alpha\text{par}) + (g \times \text{Upar}) + (h \times \text{PD} / \text{AUamb}) + (i \times \text{CTalta}) + (j \times \text{AbS}) + (k \times \alpha\text{cob}) \\
& + (l \times \text{solo}) + (m \times \text{Fvent}) + (n \times \text{CTeob}) + (o \times \text{SomApar}) + (p \times \text{AUamb}) \\
& + (q \times \text{Ucob} \times \alpha\text{cob} \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (r \times \text{vid}) + (s \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) \\
& + (t \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (u \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (v \times \text{pil}) \\
& + (w \times \text{AAbL} \times (1 - \text{somb})) + (x \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) \\
& + [y \times (\text{Upar} \times \alpha\text{par} / \text{CTpar}) \times \text{SomApar}] + (z \times \text{APambS} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (aa \times \text{PambN}) \\
& + (ab \times \text{AbN}) + (ac \times \text{APambN}) + (ad \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (ae \times \text{AAbN} \times \text{Fvent}) + (af \times \\
& \text{APambN} \times \text{Upar}) + [ag \times (\text{Ucob} \times \alpha\text{cob} / \text{CTeob}) \times \text{AUamb}] \\
& + (ah \times \text{AAbL} \times \text{somb}) + (ai \times \text{AAbO}) + (aj \times \text{PD}) + (ak \times \text{AAbS} \times \text{somb}) \\
& + (al \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (am \times \text{AparInt}) + (an \times \text{APambN} \times \alpha\text{par}) + (ao \times \text{AAbS}) \\
& + (ap \times \text{APambS} \times \text{Upar}) + (aq \times \text{AAbS} \times \text{Fvent}) + (ar \times \text{isol}) \\
& + (as \times \text{AparInt} \times \text{CTpar}) + (at \times \text{PambO}) + (au \times \text{APambO}) + (av \times \text{AbO})
\end{aligned}$$

Tabela 3 – Constantes da Equação 3

a	5.272,7303	m	-1.460,7816	y	-0,0272	ak	109,2535
b		n		z	40,8156	al	63,5351
c		o	17,1399	aa	1.631,2619	am	6,2899
d	-2.377,3152	p	-17,4787	ab	-965,5409	na	-74,6509
e	-134,9247	q		ac	-21,6288	ao	-89,8677
f	1.905,8260	r		ad		ap	-14,2651
g	374,3660	s	61,6169	ae	43,1130	aq	66,7633
h	15.013,6748	t	44,0963	af	-44,4243	ar	
i	-934,7427	u	108,6003	ag	7,8959	as	-0,0022
j	-714,8608	v		ah	80,4137	at	1.010,6465
k	2.112,5740	w	84,7338	ai	63,1816	au	-58,4028
l		x	36,2855	aj		av	-441,3903

Equação 4 – Consumo relativo para aquecimento da ZB2

$$\begin{aligned}
 CA = & [(a) + (PD \cdot AU_{amb} \cdot b) + (CT_{baixa} \cdot c) + (pil \cdot AU_{amb} \cdot d) + (isol \cdot e) \\
 & + (PambS \cdot f) + (AparInt \cdot CT_{par} \cdot g) + ((Upar \cdot \alpha_{par} / CT_{par}) \cdot SomAparext \cdot h) \\
 & + (\alpha_{par} \cdot i) + ((U_{cob} \cdot \alpha_{cob} / CT_{cob}) \cdot AU_{amb} \cdot j) + (AAbN \cdot Fvent \cdot k) + (solo \cdot AU_{amb} \cdot l) + \\
 & (cob \cdot AU_{amb} \cdot m) + (U_{cob} \cdot \alpha_{cob} \cdot cob \cdot AU_{amb} \cdot n) + (AU_{amb} \cdot o) \\
 & + (AAbS \cdot Uvid \cdot p) + (Upar \cdot q) + (AAbL \cdot Uvid \cdot r) + (APambS \cdot s) \\
 & + (SomAparext \cdot CT_{par} \cdot t) + (AparInt \cdot u) + (APambN \cdot \alpha_{par} \cdot v) + (vid \cdot w) \\
 & + (CT_{cob} \cdot x) + (cob \cdot y) + (CT_{par} \cdot z) + (\alpha_{cob} \cdot aa) + (APambS \cdot \alpha_{par} \cdot ab) \\
 & + (AAbS \cdot ac) + (APambN \cdot Upar \cdot ad) + (APambS \cdot Upar \cdot ae) + (pil \cdot af) \\
 & + (PD / AU_{amb} \cdot ag) + (AAbO \cdot Fvent \cdot ah) + (AAbO \cdot Uvid \cdot ai) + (solo \cdot aj) \\
 & + (somb \cdot ak) + (SomAparext \cdot al) + (AAbN \cdot Uvid \cdot am) + (AAbN \cdot an) \\
 & + (APambS \cdot Upar \cdot \alpha_{par} \cdot ao) + (AAbL \cdot Fvent \cdot ap) + (APambN \cdot Upar \cdot \alpha_{par} \cdot aq) \\
 & + (APambN \cdot ar) + (CT_{alta} \cdot as) + (AAbO \cdot at) + (APambL \cdot \alpha_{par} \cdot au) \\
 & + (APambO \cdot \alpha_{par} \cdot av) + (AAbS \cdot somb \cdot aw) + (AAbS \cdot (1 - somb) \cdot ax)] / (AU_{amb} \cdot 1000)
 \end{aligned}$$

Tabela 4 – Constantes da Equação 4

a	250.609,398	n		aa	-63.182,966	am	1.579,388
b	2.596,578	o	-4.948,355	ab	-914,099	an	-7.565,449
c	48.773,966	p	2.298,395	ac	5.547,583	ao	-1.763,732
d	4.579,321	q	-30.991,823	ad	2.189,335	ap	-7.381,679
e		r	1.937,799	ae	1.814,481	aq	-2.164,848
f	-9.454,813	s	-1.316,292	af	20.607,874	ar	-4.623,174
g	-162,450	t	-394,800	ag	-298.542,715	as	
h	3,664	u	594,611	ah	-10.004,110	at	-2.621,933
i	-55.376,626	v	-1.296,994	ai	1.830,807	au	-3.795,605
j		w	1.383,905	aj	11.788,638	av	-3.772,944
k	-9.966,523	x		ak		aw	
l	1.940,457	y	77.335,684	al	5.175,141	ax	-3.591,401
m	2.200,750	z					

Equação 5 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB3

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \alpha \text{cob}) + (d \times \text{somb}) + (e \times \text{solo} \times \text{AUamb}) \\ & + (f \times \alpha \text{par}) + (g \times \text{PD/AUamb}) + (h \times \text{CTeob}) + (i \times \text{AbS}) \\ & + (j \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha \text{par}) + (k \times \text{AparInt} \times \text{CTpar}) + (l \times \text{solo}) \\ & + (m \times \text{Ucob} \times \alpha \text{cob} \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (n \times \text{Fvent}) + (o \times \text{AUamb}) + (p \times \text{SomApar}) + \\ & (q \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) + (r \times \text{AAbL} \times \text{Fvent}) + (s \times \text{CTpar}) \\ & + (t \times \text{AAbs} \times (1 - \text{somb})) + (u \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha \text{par}) + (v \times \text{pil}) \\ & + (w \times \text{PambO}) + (x \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (y \times \text{AbN}) + (z \times \text{PambN}) \\ & + (aa \times \text{APambN}) + [ab \times (\text{Ucob} \times \alpha \text{cob} / \text{CTeob}) \times \text{AUamb}] + (ac \times \text{cob} \times \text{AUamb}) \\ & + (ad \times \text{CTalta}) + (ae \times \text{Ucob}) + (af \times \text{APambS} \times \text{Upar} \times \alpha \text{par}) + (ag \times \text{PambL}) \\ & + (ah \times \text{AparInt}) + (ai \times \text{PD} \times \text{AUamb}) + (aj \times \text{PambS}) + (ak \times \text{AAbs} \times \text{Fvent}) \\ & + (al \times \text{AAbO} \times \text{Fvent}) + (am \times \text{AAbN} \times \text{Fvent}) + (an \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha \text{par}) \\ & + (ao \times \text{APambS}) + (ap \times \text{AAbN} \times (1 - \text{somb})) \end{aligned}$$

Tabela 5 – Constantes da Equação 5

a	829,7256	l		w	399,0021	ah	16,2740
b		m		x		ai	-20,4181
c		n	-830,6742	y	-379,5777	aj	126,6339
d		o	34,1620	z	738,1763	ak	51,1530
e		p	-3,3292	aa	-4,2304	al	55,4249
f	1.007,6786	q	16,9856	ab		am	79,2095
g	2.324,8467	r	70,1758	ac		an	15,3351
h		s		ad		ao	26,0925
i	-77,7838	t	-54,1796	ae		ap	-34,7777
j	26,3363	u	14,1195	af	3,8400		
k	-0,240	v		ag	431,9407		

Equação 6 – Consumo relativo para aquecimento da ZB3

$$\begin{aligned} \text{CA} = & [(a) + (b \times \text{CTpar}) + (c \times \text{AUamb}) + (d \times \text{PambS}) + (e \times \text{CTbaixa}) + (f \times \text{solo}) \\ & + (g \times \text{pil}) + (h \times \text{Ucob}) + (i \times \alpha \text{par}) + (j \times \text{CTeob}) + (k \times \text{SomApar}) + (l \times \text{AAbs}) \\ & + (m \times \text{AbN}) + [n \times (\text{Ucob} \times \alpha \text{cob} / \text{CTeob}) \times \text{AUamb}] + (o \times \text{CTalta}) + (p \times \text{Upar}) \\ & + (q \times \text{Fvent}) + (r \times \text{cob}) + (s \times \alpha \text{cob}) + (t \times \text{PD}) + (u \times \text{SomAparExt} \times \text{CTpar}) \\ & + (v \times \text{APambN} \times \alpha \text{par}) + (w \times \text{APambS} \times \alpha \text{par}) + (x \times \text{PD/AUamb})] / 1000 \end{aligned}$$

Tabela 6 – Constantes da Equação 6

a	6.981,8136	g	2.479,9604	m	-543,4286	s	-3.315,0119
b	0,3717	h		n		t	
c	-122,4306	i	-2.521,9122	o		u	-0,0219
d	1.557,3444	j		p	990,0915	v	-75,9370
e	2.109,4866	k	65,4370	q	-1.111,1099	w	-80,3345
f	2.802,3931	l	131,7352	r	4.323,9241	x	-41.259,2237

Equação 7 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB4

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \alpha\text{cob}) + (d \times \text{somb}) + (e \times \text{CTeob}) \\ & + (f \times \text{PD/AUamb}) + (g \times \alpha\text{par}) + (h \times \text{solo}) + (i \times \text{AAbs} \times (1 - \text{somb})) \\ & + (j \times \text{Ucob} \times \alpha\text{cob} \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + [k \times (\text{Ucob} \times \alpha\text{cob}/\text{CTeob}) \times \text{AUamb}] \\ & + (l \times \text{pil}) + (m \times \text{AparInt} \times \text{CTpar}) + (n \times \text{AAbo} \times (1 - \text{somb})) + (o \times \text{AbS}) \\ & + (p \times \text{Fvent}) + (q \times \text{SomApar}) + (r \times \text{AUamb}) + (s \times \text{CTpar}) \\ & + (t \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (u \times \text{AbN}) + (v \times \text{PambN}) + (w \times \text{APambN}) \\ & + (x \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (y \times \text{PambO}) + (z \times \text{AAbL}) + (aa \times \text{cob}) \\ & + (ab \times \text{Ucob}) + (ac \times \text{AAbs} \times \text{Fvent}) + (ad \times \text{PambS}) + (ae \times \text{PambL}) \\ & + (af \times \text{AparInt}) + (ag \times \text{PD} \times \text{AUamb}) + (ah \times \text{solo} \times \text{AUamb}) \\ & + [ai \times (\text{Upar} \times \alpha\text{par}/\text{CTpar}) \times \text{SomApar}] + (aj \times \text{Upar}) + (ak \times \text{CTalta}) \\ & + (al \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (am \times \text{APambS}) + (an \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) \\ & + (ao \times \text{AAbL} \times (1 - \text{somb})) \end{aligned}$$

Tabela 7 – Constantes da Equação 7

a	151,6389	l		w	15,4759	ah	
b	748,0024	m	0,0600	x	42,9300	ai	0,0133
c	548,8264	n	33,3844	y	452,3534	aj	
d	-766,6239	o	-67,8611	z	15,6908	ak	101,9694
e		p	-428,7391	aa	738,0624	al	16,6898
f	4.098,8757	q	-10,4357	ab	-302,0291	am	26,9753
g	445,9668	r	15,6972	ac	38,3885	an	20,5553
h		s		ad	60,5649	ao	-13,3692
i	-56,0964	t	-13,1833	ae	289,4002		
j	29,0510	u	-214,2001	af	9,1604		
k	13,4318	v	457,9108	ag	-276,075		

Equação 8 – Consumo relativo para aquecimento da ZB4

$$\begin{aligned} \text{CA} = & [(a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \text{AUamb}) + (d \times \text{somb}) + (e \times \text{APambS} \times \text{Upar}) \\ & + [f \times (\text{Ucob} \times \alpha\text{cob}/\text{CTeob}) \times \text{AUamb}] + (g \times \text{pil}) + (h \times \alpha\text{par}) + (i \times \text{cob} \times \text{AUamb}) \\ & + (j \times \text{CTalta}) + (k \times \text{Fvent}) + (l \times \text{CTeob}) + (m \times \text{cob}) + (n \times \alpha\text{cob}) + (o \times \text{AAbs}) \\ & + (p \times \text{AbN}) + (q \times \text{SomApar}) + (r \times \text{solo}) + (s \times \text{Upar}) + (t \times \text{PambN}) + (u \times \text{Ucob}) \\ & + (v \times \text{SomAparExt} \times \text{CTpar}) + (w \times \text{PambS}) + (x \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) \\ & + (y \times \text{PD}) + (z \times \text{APambS} \times \text{Upar} \times \alpha\text{par}) + (aa \times \text{PD} \times \text{AUamb})]/1000 \end{aligned}$$

Tabela 8 – Constantes da Equação 8

a	-384,1715	h	-2.161,0869	o	40,9503	v	-0,0169
b	1.948,7618	i	12,1332	p	-272,8337	w	851,6260
c	223,8195	j		q	49,0402	x	-34,3625
d		k	-1.788,6294	r	434,3085	y	1.636,1082
e	6,6181	l		s	591,0911	z	-29,7849
f	19,6424	m	4.447,7162	t	-120,6000	aa	-104,0720
g	1.478,9254	n	-3.292,0955	u	-742,1948		

Equação 9 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB5 e da ZB8

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{somb}) + (\cancel{e \times \alpha\text{cob}}) + (d \times \alpha\text{par}) + (e \times \text{CTbaixa}) + (f \times \text{PambO}) \\ & + (\cancel{g \times \text{solo} \times \text{AUamb}}) + (h \times \text{APambL} \times \cancel{\text{Upar}} \times \alpha\text{par}) + (i \times \text{PambN}) \\ & + (\cancel{j \times \text{pil} \times \text{AUamb}}) + (k \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) + (l \times \text{Fvent}) \\ & + (m \times \text{AAbS} \times (1 - \text{somb})) + (\cancel{n \times \text{Ucob} \times \alpha\text{cob} \times \text{cob} \times \text{AUamb}}) \\ & + (\cancel{o \times \text{cob} \times \text{AUamb}}) + (p \times \text{AbN}) + (q \times \text{APambN}) + (r \times \text{APambS}) \\ & + (s \times \text{PambL}) + (t \times \text{APambN} \times \cancel{\text{Upar}} \times \alpha\text{par}) + (u \times \text{AbL}) + (v \times \text{PD/AUamb}) \\ & + (\cancel{w \times \text{solo}}) + (x \times \text{SomApar}) + (y \times \text{APambO} \times \cancel{\text{Upar}} \times \alpha\text{par}) + (z \times \text{CTcob}) \\ & + (\cancel{aa \times \text{CTalta}}) + (\cancel{ab \times \text{Ucob}}) + (ac \times \text{APambL} \times \alpha\text{par}) + (ad \times \text{PambS}) + (\cancel{ae \times \text{pil}}) \\ & + (af \times \text{AAbL} \times (1 - \text{somb})) + (ag \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (ah \times \text{PD} \times \text{AUamb}) \\ & + (ai \times \text{AparInt}) + (aj \times \text{AUamb}) + (ak \times \text{AAbN} \times \text{Fvent}) + (al \times \text{AAbS} \times \text{Fvent}) \\ & + (am \times \text{AAbL} \times \text{Fvent}) + (an \times \text{AbS}) \end{aligned}$$

Tabela 9 – Constantes da Equação 5

a	4.957,7051	k	267,5110	u	-1.089,0840	ae	
b	-4.358,3120	l	-1.923,1450	v	4.861,2191	af	66,4689
e		m	-135,5828	w		ag	-40,6794
d	4.833,6329	n		x	-3,4004	ah	-78,9077
e	2.649,1399	o		y	136,4653	ai	59,9755
f	2.224,2664	p	-1.503,2234	z	-0,3847	aj	152,9115
g		q	-31,3561	aa		ak	98,287
h	98.4268	r	106,7381	ab		al	112,5051
i	3.128,2421	s	1.524,3703	ac	91,9860	am	93,0504
j		t	101,8462	ad	340,0819	an	-586,4518

Equação 10 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB6

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (\cancel{b \times \text{CTbaixa}}) + (c \times \alpha\text{cob}) + (\cancel{d \times \text{somb}}) + (\cancel{e \times \text{solo} \times \text{AUamb}}) \\ & + (f \times \alpha\text{par}) + (\cancel{g \times \text{CTalta}}) + (h \times \text{PD/AUamb}) + (i \times \text{AbS}) + (j \times \text{SomApar}) \\ & + (\cancel{k \times \text{solo}}) + (\cancel{l \times \text{CTcob}}) + (\cancel{m \times \text{Ucob} \times \alpha\text{cob} \times \text{cob} \times \text{AUamb}}) + (n \times \text{PambL}) \\ & + (o \times \text{AAbS} \times (1 - \text{somb})) + (p \times \text{AUamb}) + (q \times \text{Fvent}) \\ & + (\cancel{r \times (\text{Ucob} \times \alpha\text{cob}/\text{CTcob}) \times \text{AUamb}}) + (s \times \text{AparInt}) + (t \times \text{APambN} \times \cancel{\text{Upar}} \times \alpha\text{par}) + \\ & + (u \times \text{PambO}) + (v \times \text{PambN}) + (w \times \text{APambS} \times \cancel{\text{Upar}}) \\ & + (x \times \text{APambL} \times \cancel{\text{Upar}} \times \alpha\text{par}) + (y \times \text{AAbL} \times \text{Fvent}) + (z \times \text{PambS}) \\ & + (aa \times \text{AparInt} \times \cancel{\text{CTpar}}) + (ab \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) + (ac \times \text{AAbN} \times \text{Fvent}) \\ & + (ad \times \text{AbN}) + (ae \times \text{PD} \times \text{AUamb}) + (af \times \text{AAbS} \times \text{Fvent}) \\ & + (ag \times \text{AAbO} \times \text{Fvent}) + (ah \times \text{APambO} \times \cancel{\text{Upar}} \times \alpha\text{par}) + (\cancel{ai \times \text{CTpar}}) \\ & + (aj \times \text{AAbN}) + (ak \times \text{AAbO}) + (al \times \text{AAbS}) + (\cancel{am \times \text{PD}}) + (an \times \text{AAbL}) \\ & + (ao \times \text{APambN} \times \alpha\text{par}) + (ap \times \text{APambN} \times \cancel{\text{Upar}}) + (aq \times \text{APambN}) \\ & + (ar \times \text{APambO}) + (as \times \text{AbO}) \end{aligned}$$

Tabela 10 – Constantes da Equação 5

a	4.480,1392	m		y	353,0820	ak	-158,3389
b		n	1.146,8746	z	825,5822	al	-141,7571
c	3.942,2575	o	-199,9633	aa	-1,170	am	
d		p	85,3725	ab	49,9509	na	-80,6792
e		q	-2.857,6711	ac	431,5161	ao	-636,1284
f	4.083,2765	r		ad	-1.237,0229	ap	-5.055,268
g		s	28,1849	ae	-1.267,034	aq	375,6431
h	6.456,7851	t	838,4400	af	338,6679	ar	-67,2184
i	-513,1325	u	2.184,3602	ag	383,4189	as	-708,5751
j	-0,4197	v	2.581,4199	ah	1.059,374		
k		w	39,2281	ai			
l		x	151,9087	aj	-156,2399		

Equação 11 – Indicador de graus-hora para resfriamento da ZB7

$$\begin{aligned}
 \text{GHR} = & (a) + (b \times \text{somb}) + (c \times \alpha_{\text{cob}}) + (d \times \text{CT}_{\text{baixa}}) + (e \times \alpha_{\text{par}}) \\
 & + (f \times \text{solo} \times \text{AU}_{\text{amb}}) + (g \times \text{AbS}) + (h \times \text{SomApar}) + (i \times \text{CT}_{\text{alta}}) + (j \times \text{solo}) \\
 & + (k \times \text{pil} \times \text{AU}_{\text{amb}}) + (l \times \text{AAbs} \times (1 - \text{somb})) + (m \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) \\
 & + (n \times \text{Ucob} \times \alpha_{\text{cob}} \times \text{cob} \times \text{AU}_{\text{amb}}) + (o \times \text{CT}_{\text{cob}}) + (p \times \text{PD} / \text{AU}_{\text{amb}}) \\
 & + (q \times \text{APambS}) + (r \times \text{Fvent}) + (s \times \text{AparInt} \times \text{CT}_{\text{par}}) + (t \times \text{AbN}) + (u \times \text{PambN}) \\
 & + (v \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) + (w \times \text{Ucob}) + (x \times \text{APambN}) + (y \times \text{AAbN} \times \text{Fvent}) + \\
 & (z \times \text{AAbN}) + (aa \times \text{APambN} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) \\
 & + [ab \times (\text{Upar} \times \alpha_{\text{par}} / \text{CT}_{\text{par}}) \times \text{SomApar}] + (ac \times \text{PambL}) + (ad \times \text{PambO}) \\
 & + (ae \times \text{AparInt}) + (af \times \text{PD}) + (ag \times \text{AAbO} \times \text{somb}) + (ah \times \text{cob} \times \text{AU}_{\text{amb}}) \\
 & + (ai \times \text{cob}) + (aj \times \text{APambO} \times \alpha_{\text{par}}) + (ak \times \text{CT}_{\text{par}}) + (al \times \text{SomAparExt} \times \text{CT}_{\text{par}}) \\
 & + (am \times \text{APambO} \times \text{Upar}) + (an \times \text{APambL})
 \end{aligned}$$

Tabela 11 – Constantes da Equação 5

a	14.474,162	k		u	3.647,3308	ae	27,0537
b	-6.292,1885	l	-298,4915	v	469,8836	af	
c	5.145,0087	m	94,7187	w		ag	-99,1571
d		n		x	-586,4147	ah	
e	8.932,3248	o		y	416,5898	ai	
f		p	25.949,4330	z	-182,6811	aj	-868,5381
g	72,7154	q	-434,0247	aa	63,2490	ak	
h	520,0973	r	-2.302,3773	ab	-0,0346	al	-3,390
i		s	-1.785	ac	2.421,0221	am	-279,5554
j		t	-1.806,5932	ad	3.114,1878	an	-540,0451

Referência Bibliográfica

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18**, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

Apêndice H – Nível de eficiência energética obtido pelos os casos avaliados pelo método prescritivo atual e método prescritivo simplificado

Legenda: ■ Método simplificado ■ Método atual

Figura 1 – Zona Bioclimática 1

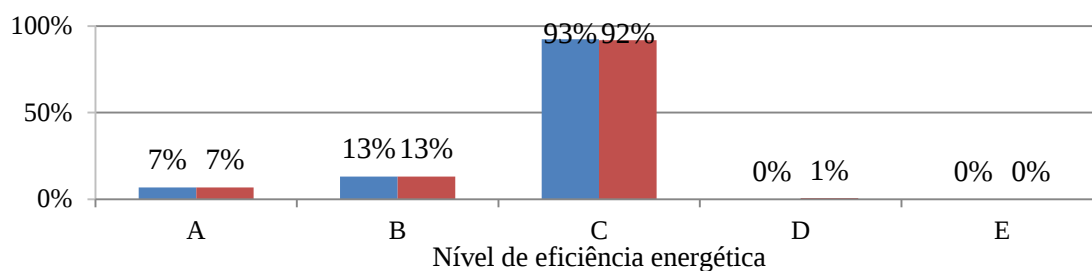


Figura 2 – Zona Bioclimática 2

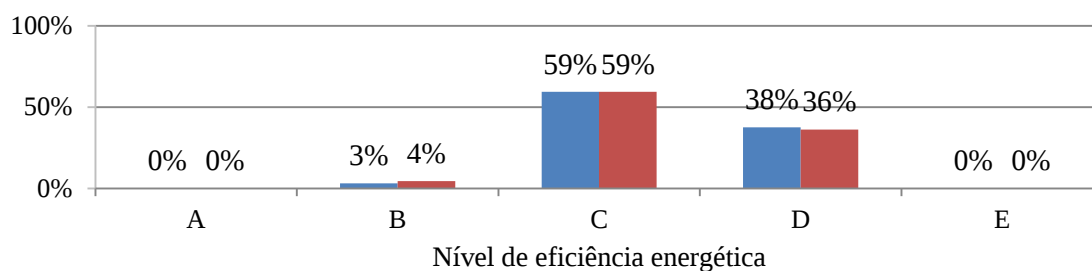


Figura 3 – Zona Bioclimática 3

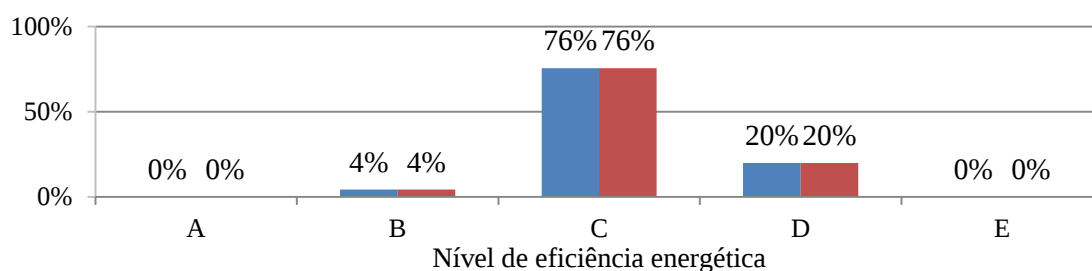


Figura 4 – Zona Bioclimática 4

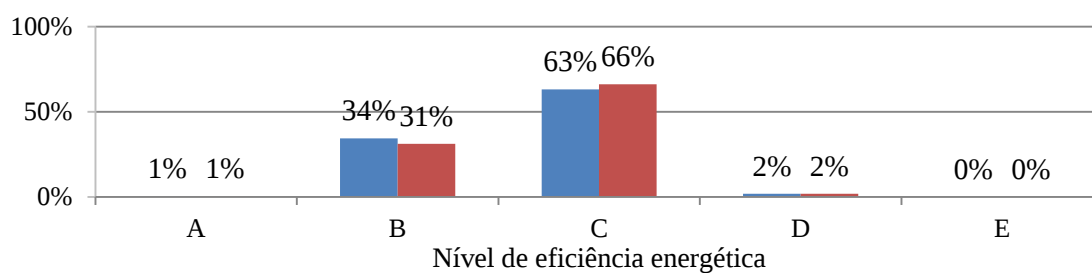


Figura 6 – Zona Bioclimática 6

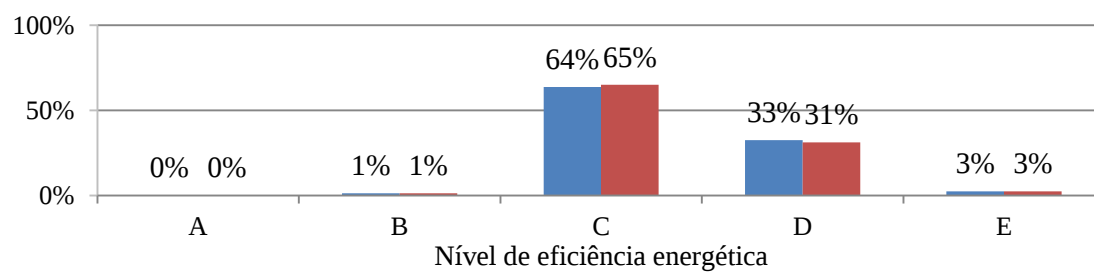


Figura 7 – Zona Bioclimática 7

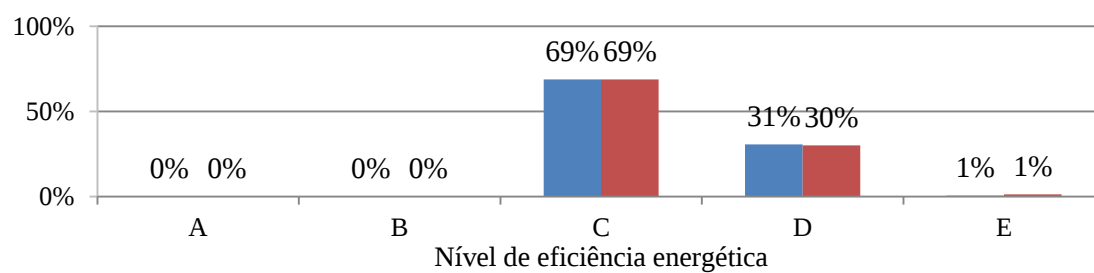
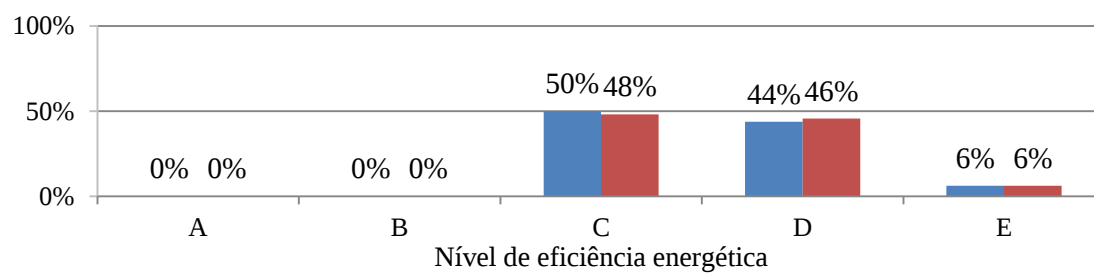


Figura 5 – Zonas Bioclimáticas 5 e 8



Apêndice I – EqNumEnv obtidos pelos casos avaliados pelo método prescritivo atual e método prescritivo simplificado

Legenda: + Proposta X Atual

Figura 1 – Zona Bioclimática 1

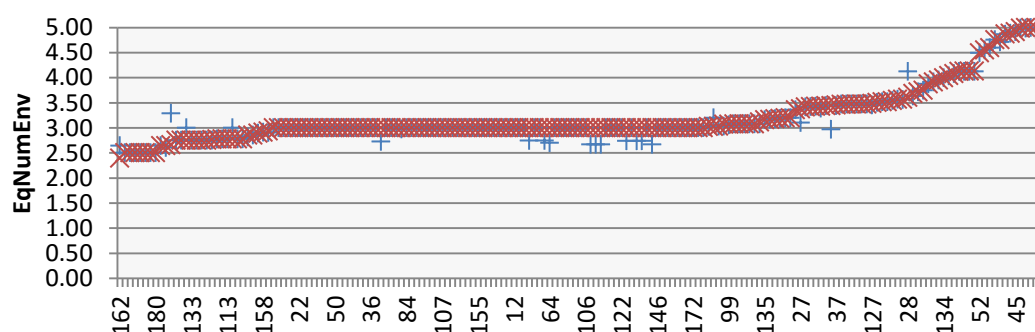


Figura 2 – Zona Bioclimática 2

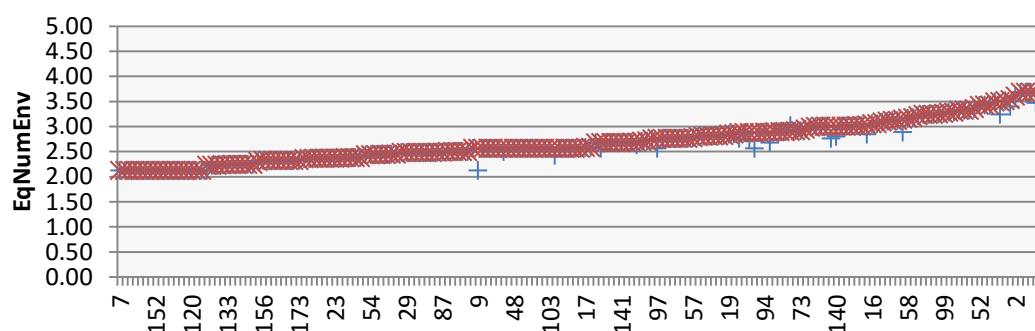


Figura 3 – Zona Bioclimática 3

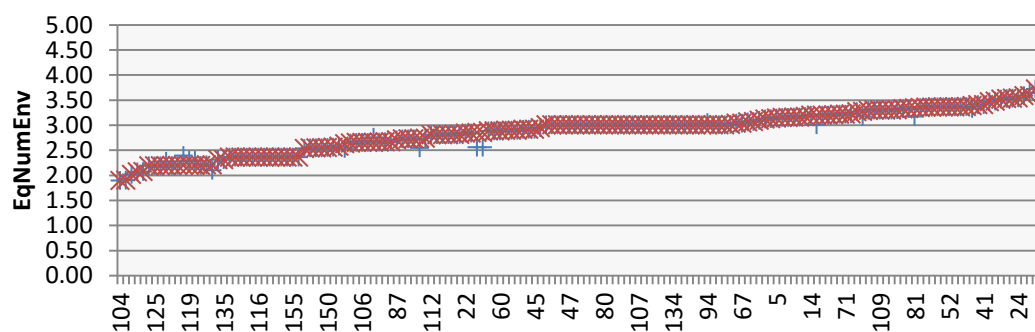


Figura 4 – Zona Bioclimática 4

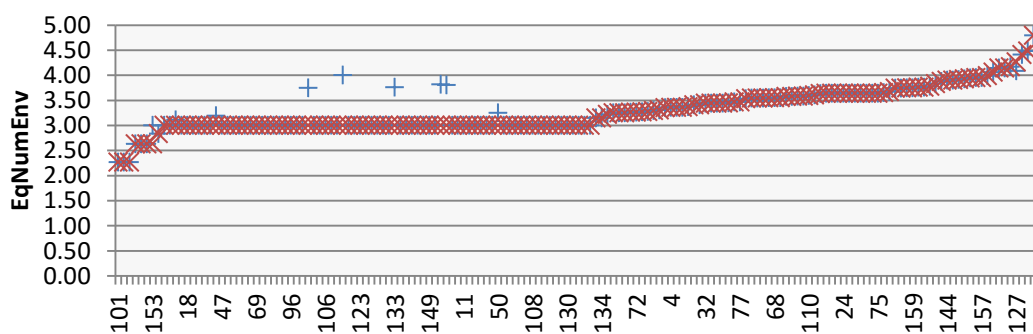


Figura 6 – Zona Bioclimática 6

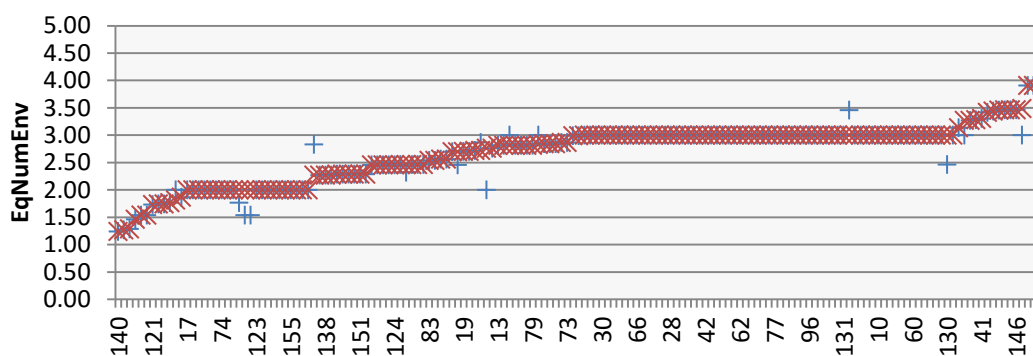


Figura 7 – Zona Bioclimática 7

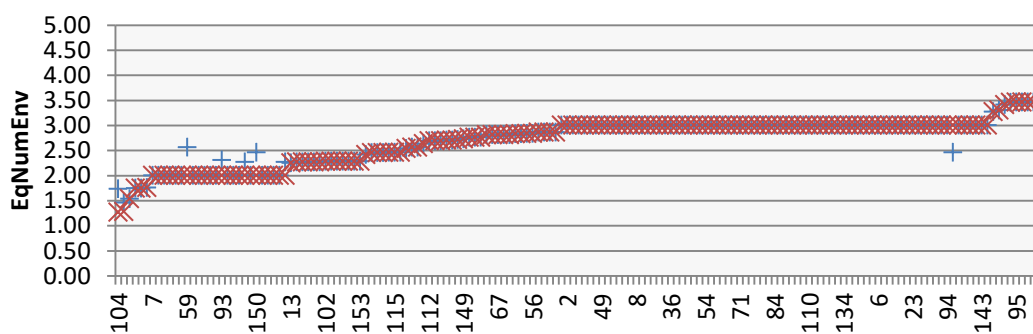
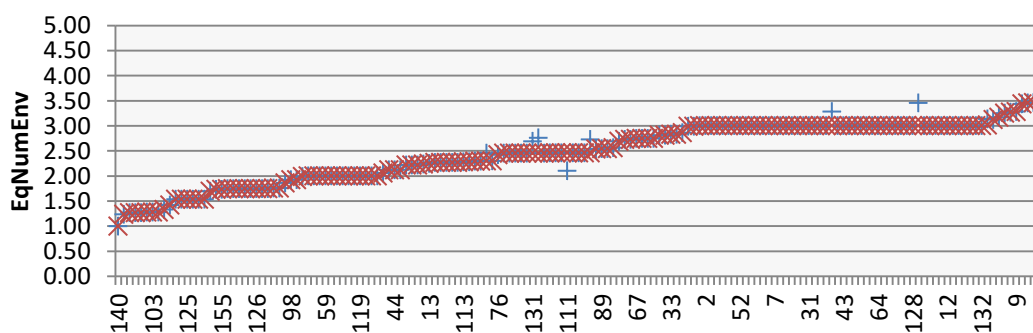


Figura 5 – Zonas Bioclimáticas 5 e 8



Apêndice J – Método simplificado proposto para dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água

*Adaptado de: INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18**, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

Dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água:

- 1) Calcular o volume do sistema de armazenamento, de acordo com a Equação 1.1 ou 1.2.

$$\frac{V_{\text{armaz}} = V_{\text{consumo}} \times (40 - T_{\text{ambiente}})}{(40 - T_{\text{ambiente}})}$$

Equação 1.1–
volume de armazenamento
para as regiões Centro-oeste,
Sudeste e Sul

$$\frac{V_{\text{armaz}} = V_{\text{consumo}} \times (40 - T_{\text{ambiente}})}{(40 - T_{\text{ambiente}})}$$

Equação 1.2–
volume de armazenamento
para as regiões Norte e Nordeste

Onde:

Varmaz: volume de armazenamento do sistema de aquecimento solar (litros).

Vconsumo: volume de consumo diário de água a ser aquecida (litros/dia). Deve-se considerar no mínimo 50 litros/pessoa/dia e a existência de duas pessoas por dormitório social e uma pessoa por dormitório de dependências de serviço;

Tambiente: temperatura ambiente média anual do ar externo do local de instalação (°C), de acordo com o Anexo D da NBR 15569 (ABNT, 2008).

Observação: em edificações multifamiliares, pode-se adotar um fator de ocupação para o cálculo do volume de consumo diário (Vconsumo), de acordo com a Tabela 3.46 do RTQ-R (INMETRO, 2012).

- 2) Calcular a demanda de energia útil considerando o valor de radiação solar média anual, de acordo com a Equação 2.1 ou 2.2.

$$DE_{\text{média}} = V_{\text{consumo}} \times (38 - T_{\text{ambiente}}) \times 3,538 \times 10^{-2}$$

Equação 2.1–
volume de armazenamento
para as regiões Centro-oeste,
Sudeste e Sul

$$DE_{\text{média}} = V_{\text{consumo}} \times (36 - T_{\text{ambiente}}) \times 3,538 \times 10^{-2}$$

Equação 2.2–

Onde:

$DE_{média}$: demanda de energia anual média (kWh/mês);

$V_{consumo}$: consumo diário de água quente à temperatura de referência T_{ACS} (litros/dia);

- 3) Calcular a fração solar média anual (ou porcentagem da demanda energética que é coberta pela instalação solar), através do procedimento descrito nos itens 3.1 a 3.6.

3.1) Calcular o parâmetro $D1$, de acordo com a Equação 3.

$$D1 = \frac{Sc \times FR(\tau\alpha)_n \times 27,816 \times H_{dia}}{DE_{média}}$$

Equação 3.1–
Parâmetro $D1$

Onde:

Sc : área total da superfície de absorção do coletor (m^2);

$FR(\tau\alpha)_n$: fator de eficiência óptica do coletor, obtido nas tabelas do PBE para coletores solares (adimensional);

H_{dia} : radiação solar média anual incidente no plano inclinado (kWh/(m x dia)), obtida em mapas solarimétricos, variável em função da região (disponível no sítio do CRESESB ou Radiasol para latitude e longitude do local);

$DE_{média}$: demanda de energia anual média (kWh/mês), calculada por meio da Equação 2.1 ou 2.2;

3.2) Calcular o parâmetro $D2$, de acordo com a Equação 3.44.

$$D2 = \frac{365 \times Sc \times F_R U_L \times (100 - T_{ambiente}) \times K1 \times K2 \times 9,5 \times 10^{-3}}{DE_{média}}$$

Equação 3.2–
Parâmetro $D1$

Onde:

Sc : superfície do coletor solar (m);

$F_R U_L$: coeficiente global de perdas do coletor, obtido nas tabelas do PBE para coletores solares (W/(m .K));

$T_{ambiente}$: temperatura média anual do local de instalação do coletor ($^{\circ}C$);

$K1$: fator de correção para armazenamento, calculado pela Equação 3.2.1;

$$K1 = \left[\frac{V}{75 \times Sc} \right]^{-0.25}$$

Equação 3.2.1–
Fator de correção

para armazenamento

Onde:

V: volume de acumulação solar (litros) (recomenda-se que o valor de V seja tal que obedeça a condição $50 < \sqrt{Sc} < 100$)

K2: fator de correção para o sistema de aquecimento solar que relaciona as diferentes temperaturas, calculado pela Equação 3.2.2;

$$K2 = \frac{64,7 - 0,46 \times T_{ambiente}}{(100 - T_{ambiente})}$$

Equação 3.2.2–
Fator de correção

3.3) Calcular a fração solar média anual FS , a partir dos valores de $D1$ e $D2$, utilizando a Equação 3.3.

$$FS = 1,029 D1 - 0,065 D2 - 0,245 (D1)^2 + 0,0018 (D2)^2 + 0,0215 (D1)^3$$

Equação 3.2.3–
Fração solar
média anual

Observação: a fração solar é função da área coletora Sc adotada. Caso a fração solar anual obtida não seja satisfatória, os cálculos devem ser repetidos, alterando-se a superfície de captação Sc , até que uma determinada condição estabelecida seja atendida.

Referências Bibliográficas

ABNT. **NBR 15569** - Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2008.

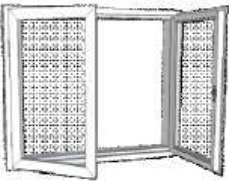
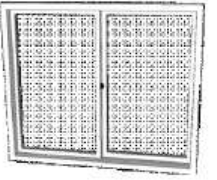
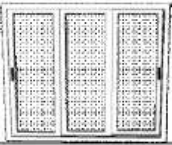
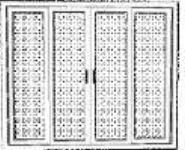
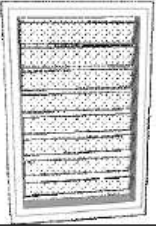
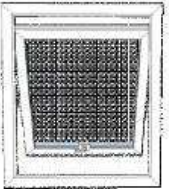
INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18**, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

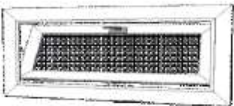
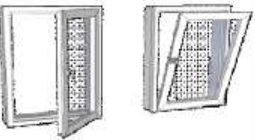
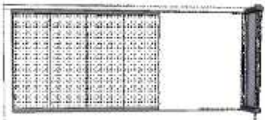
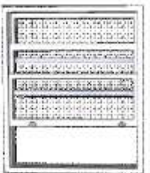
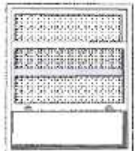
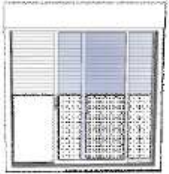
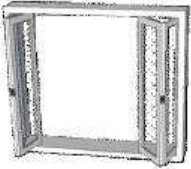
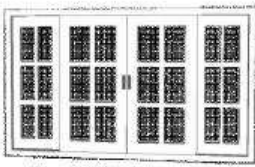
Anexo A – Tabela base para definição de valores de absorção solar de tintas

Tipo	Número	Cor	Nome	α	Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrilica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	46,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	15,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4		47		Pêssego	39,5
	09		Concreto	74,5	Acrilica Fosca	48		Alecrim	64,0
	10		Flamingo	49,5		49		Azul bali	48,9
	11		Jade	52,3		50		Branco Neve	10,2
	12		Marfim	33,6		51		Branco Gelo	29,7
	13		Palha	36,7		52		Camurça	55,8
	14		Pérola	33,0		53		Concreto	71,5
	15		Pêssego	42,8		54		Marfim	26,7
	16		Tabaco	78,1		55		Marrocos	54,7
	17		Terracota	64,6		56		Mel	41,8
Acrilica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7		57		Palha	27,2
	19		Amarelo Terra	68,6		58		Pérola	22,1
	20		Azul	79,9		59		Pêssego	35,0
	21		Branco Gelo	36,2		60		Telha	70,8
	22		Cinza	86,4		61		Vanila	23,9
	23		Cinza BR	61,1	Látex PVA Fosca	62		Amarelo Canário	25,2
	24		Crepúsculo	66,0		63		Areia	35,7
	25		Flamingo	47,3		64		Azul Profundo	76,0
	26		Marfim	33,9		65		Branco Neve	16,2
	27		Palha	39,6		66		Branco Gelo	28,1
	28		Pérola	33,9		67		Camurça	53,2
	29		Preto	97,1		68		Cerâmica	65,3
	30		Telha	69,6		69		Concreto	71,6
	31		Terracota	68,4		70		Flamingo	44,4
	32		Verde Quadra	75,5		71		Marfim	24,5
	33		Vermelho	64,2		72		Palha	26,4
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3		73		Pérola	22,9
	35		Amarelo Terra	61,4		74		Pêssego	29,8
	36		Areia	39,0		75		Preto	97,4
	37		Azul angra	32,3		76		Vanila	27,7
	38		Bianco Sereno	26,6		77		Verde Musgo	79,8
	39		Branco	11,1		78		Vermelho Cardinal	63,3

Fonte: DORNELLES, K. A. Absortancia solar de superficies opacas: metodos de determminação e base de dados para tintas latex acrilica e PVA. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

Anexo B – Tabela de modelos de esquadrias do RTQ-R

Nº	Tipo de janela	Ilustração	% abertura para iluminação natural	% abertura para ventilação natural
1	abrir 90º (ou de giro) 1 ou 2 folhas		90	90
2	de correr (ou deslizante) 2 folhas		80	45
3	de correr (ou deslizante) 3 folhas sendo 2 venezianas		45	45
4	de correr (ou deslizante) de 3 folhas móveis		75	60
5	de correr (ou deslizante) 4 folhas (2 fixas e 2 móveis)		70	40
6	Basculante		65	70 (i=45°) / 90 (i=90°)
7	Basculante sem esquadria		80	80
8	Maxim-ar (abertura 90º)		80	80

Nº	Tipo de janela	Ilustração	% abertura para iluminação natural	% abertura para ventilação natural
9	Tombar		90	60 ($i=45^\circ$) / 90 ($i=90^\circ$)
10	Oscilobatente (Tombar e abrir)		90	90
11	Cortina de vidro		95	95
12	Guilhotina tripla (2 folhas móveis e 1 fixa)		75	60
13	Guilhotina dupla (2 folhas móveis)		80	40
14	de correr (ou deslizante) com 2 folhas e persiana integrada		75	40
15	tipo camarão		90	90
16	Pinázio		60	40
17	Pivotante		90	90

Fonte: INMETRO. **Anexo da Portaria nº 18/2012:** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R. Rio de Janeiro, 2012.