



COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL PELOS MÉTODOS PRESCRITIVO E SIMULAÇÃO DO RTQ-R

Arthur Santos Silva (1), Laiane Susan Silva Almeida (2), EneDir Ghisi (3)

(1) Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, arthurssilva07@gmail.com

(2) Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, laiane.almeida@posgrad.ufsc.br

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir@labeee.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx. Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-5184

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo comparar a eficiência energética da envoltória de habitações de interesse social pelos métodos de simulação e prescritivo, descritos no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Foram escolhidas cinco tipologias de habitações de interesse social de Florianópolis-SC para a análise, cujos dados foram obtidos por meio de auditoria. Foram aplicados o método Prescritivo (baseado em equações de regressão linear) e o método de Simulação com os arquivos climáticos TMY e TRY, sendo que foram comparados os níveis de eficiência de cada ambiente de cada tipologia. Os resultados mostraram que as classificações resultantes dos métodos não atingem os mesmos níveis na maior parte dos casos. Para os graus hora de resfriamento, a simulação com o arquivo TMY resultou em níveis de eficiência muito inferiores aos demais métodos. Para o consumo relativo com aquecimento, o método Prescritivo sempre apresentou níveis satisfatórios, enquanto as simulações apresentaram níveis ruins (nível D e E). Já para o consumo relativo com refrigeração, os níveis obtidos com os métodos foram próximos, mas não idênticos. No que diz respeito ao método Prescritivo, a regressão linear (por ser um método aproximado) pode não ter conseguido explicar a maior parte das simulações no desenvolvimento do método do RTQ-R, principalmente no caso da demanda com aquecimento. Com este trabalho espera-se contribuir para o relato de estudos de caso e experiências de aplicação do RTQ-R, bem como as consequências de se escolher um ou outro método para a avaliação.

Palavras-chave: eficiência energética, envoltória, simulação computacional, RTQ-R.

ABSTRACT

This study aims to compare the energy efficiency of the envelope of low-income houses by using the methods described in the Technical Quality Regulation for Energy Efficiency Level of Residential Buildings in Brazil (RTQ-R). Five typologies of low-income houses in Florianópolis-SC were chosen for the analysis, and data were collected through audit. Prescriptive (based on linear regression equations) and Simulation methods were applied with TMY and TRY weather files, and the efficiency levels of each room for each typology were compared. It is shown that the methods give different results in most cases. For the degree hour for cooling, the simulation with the TMY file resulted in efficiency levels much lower than the other methods. For energy consumption with heating, the Prescriptive method always reached satisfactory levels, while the simulations showed poor levels (Level D and E). As for the energy consumption with cooling, the results obtained with the three methods were similar, but not identical. As for the Prescriptive method, the linear regression (an approximate method) may have failed to explain the majority of simulations, in the development of the RTQ-R, especially in the case of heating demand. This study is a contribution as it reports case studies and application experiences of RTQ-R as well as the consequences of choosing one or another method for evaluation.

Keywords: energy efficiency, envelope, building simulation, RTQ-R.

1. INTRODUÇÃO

O ano de 2001 foi cenário de marco extremamente importante para a evolução da eficiência energética no Brasil. Além da crise no abastecimento das hidroelétricas, ocorreu neste ano a aprovação da Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001) (BRASIL, 2001) que tramitava no Congresso Nacional desde 1990 e que estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia.

O processo de etiquetagem de edificações no Brasil iniciou em 2009, quando o INMETRO publicou a primeira versão dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Em 2010 o RTQ-C foi revisado e também foi publicado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que será objeto deste estudo. Ambos os RTQs têm como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética das edificações (BRASIL, 2010; 2012). A classificação do nível de eficiência energética possibilita a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) concedida no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). A ENCE classifica a eficiência das edificações em faixas de A (mais eficiente) até E (menos eficiente).

O RTQ-R propõe dois métodos para determinação da eficiência energética: o método de simulação e o método prescritivo. No método de simulação, a eficiência energética da envoltória da unidade habitacional é definida por simulação computacional e deve ser avaliada em dois casos: com a habitação naturalmente ventilada e artificialmente condicionada. O Equivalente Numérico da envoltória é determinado através da comparação dos resultados (graus hora para resfriamento e consumo de energia para aquecimento e para refrigeração) com os valores de referência tabelados para cada nível de eficiência, disponibilizado no sítio eletrônico do PROCEL Info (BRASIL, 2012).

No método prescritivo, a eficiência da envoltória da unidade habitacional é determinada pelo seu Equivalente Numérico, estabelecido através de equações de regressão linear múltipla baseadas em mais de 150 mil casos simulados, equivalente a mais de três mil horas de simulação computacional (VERSAGE, 2011).

De acordo com Scalco *et al.* (2012), as regressões múltiplas possuem limitações causadas por incerteza e imprecisão associadas ao próprio método, referentes ao coeficiente de determinação e ao erro padrão. Está implícito que, sendo o método prescritivo elaborado para proporcionar uma forma mais acessível de avaliação da eficiência energética, o mesmo não é indicado para a formação de diretrizes de projeto.

Pouey, Brandalise e Silva (2012) realizaram uma comparação dos resultados obtidos a partir da aplicação dos dois métodos de avaliação da eficiência energética pelo RTQ-R. Os métodos de simulação e prescritivo foram aplicados para um projeto de residência unifamiliar, considerando apenas a ventilação natural para as características da cidade de Pelotas-RS. Os resultados obtidos pelos dois métodos não indicaram discordância em relação ao equivalente numérico da envoltória para aquecimento, porém, para resfriamento, os equivalentes numéricos resultantes da aplicação do método prescritivo obtiveram níveis muito inferiores aos dos obtidos pelo método de simulação. Como conclusão, os autores observaram a dificuldade da aplicação do método prescritivo para habitações que possuam em seus projetos, estratégias bioclimáticas avançadas, pois estas não são identificadas pelas equações do método prescritivo.

Visto que a regulamentação para edificações residenciais é relativamente recente, e ainda não há publicações suficientes sobre a comparação dos resultados entre os métodos estipulados pela mesma, logo, vê-se a necessidade de realização de mais estudos nessa área.

2. OBJETIVO

O trabalho tem por objetivo avaliar e comparar a classificação da eficiência energética da envoltória de cinco habitações de interesse social de Florianópolis-SC através da aplicação do método prescritivo e do método de simulação do RTQ-R.

3. MÉTODO

O método aplicado ao estudo se divide em quatro etapas: (1) descrição das habitações analisadas e obtenção dos seus dados; (2) descrição do método de simulação computacional do RTQ-R; (3) descrição do método prescritivo do RTQ-R e (4) descrição dos métodos de comparação dos resultados obtidos.

3.1. Tipologias avaliadas

As habitações escolhidas para este estudo apresentam tipologias distintas, e são oriundas de auditorias realizadas em diversas habitações de Florianópolis-SC.

As auditorias incluíram visitas às casas, das quais foram obtidas características geométricas e construtivas. Para as informações geométricas, foram medidas as dimensões dos ambientes internamente (comprimento, largura e altura), a largura do beiral do telhado, as áreas das aberturas para iluminação e para ventilação, bem como a área do vão da abertura. Os dados foram registrados em formas de croquis e tabelas, para facilitar a reconstrução do modelo computacional posteriormente. Para as informações construtivas, os moradores foram entrevistados a respeito da composição das paredes, piso e cobertura. Os dados também foram obtidos por observação para posteriormente serem calculadas as propriedades térmicas.

As paredes possuíam basicamente dois tipos de composição: (1) alvenaria de tijolos de 6 furos e (2) madeira. As coberturas tiveram maior variação de composição de materiais. Foram encontradas habitações com forro de gesso, de madeira ou sem forro; cobertura de fibrocimento, telha cerâmica ou laje de concreto.

As Tabelas 1 a 5 mostram as cinco tipologias avaliadas neste trabalho, bem como as propriedades térmicas e físicas da envoltória das edificações. A nomenclatura e abreviações utilizadas estão baseadas no RTQ-R:

AUamb	é a área útil dos ambientes;
cob	é um valor binário, onde 0 significa que não há contato da cobertura com o exterior, e 1 há.
solo	é um valor binário, onde 0 significa que o piso não possui contato com o solo, e 1 possui;
pil	é um valor binário, onde 0 significa que a edificação não está sobre pilotis, e 1 está;
ΣAAb	é o somatório das áreas de aberturas em cada ambiente;
Fvent	é o fator de ventilação equivalente das aberturas do ambiente;
Somb	é um valor binário, onde 0 significa que não há veneziana, e 1 há.
Ucob	é a transmitância térmica da cobertura;
CTcob	é a capacidade térmica da cobertura;
αcob	é a absorvância solar da cobertura;
Upar	é a transmitância térmica das paredes;
CTpar	é a capacidade térmica das paredes;
αpar	é a absorvância solar das paredes externas;
PD	é o pé direito médio dos ambientes.

Tabela 1 – Modelo da Tipologia 1 com definição de propriedades físicas, térmicas e geométricas.


Tipologia	Variável	Unidade	Dormitório1	Dormitório2	Dormitório3	Sala	Propriedades térmicas		
	AUamb	m ²	15,25	7,02	11,25	18,19	Ucob	W/m ² .K	2,20
	cob	adimensional	1	1	1	1	CTcob	kJ/m ² .K	21,2
	solo	binário	1	1	1	1	αcob	adimensional	0,60
	pil	binário	0	0	0	0	Upar	W/m ² .K	2,32
	ΣAAb	m ²	1,21	0,90	0,90	1,21	CTpar	kJ/m ² .K	98,5
	Fvent	adimensional	0,49	0,48	0,48	0,49	αpar	adimensional	0,34
	Somb	adimensional	1	1	1	0	PD	m	2,69

Tabela 2 – Modelo da Tipologia 2 com definição de propriedades físicas, térmicas e geométricas.

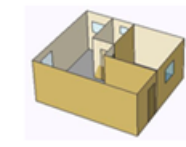
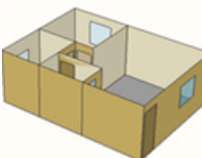
Tipologia	Variável	Unidade	Dormitório1	Sala-cozinha	Propriedades térmicas		
	AUamb	m ²	9,06	23,02	Ucob	W/m ² .K	3,74
	cob	adimensional	1	1	CTcob	kJ/m ² .K	240,0
	solo	binário	1	1	αcob	adimensional	0,60
	pil	binário	0	0	Upar	W/m ² .K	2,32
	ΣAAb	m ²	1,54	5,91	CTpar	kJ/m ² .K	98,5
	Fvent	adimensional	0,42	0,38	αpar	adimensional	0,43
	Somb	adimensional	0	0	PD	m	2,68

Tabela 3 – Modelo da Tipologia 3 com definição de propriedades físicas, térmicas e geométricas.

Tipologia	Variável	Unidade	Dormitório1	Dormitório2	Sala-cozinha	Propriedades térmicas		
	AUamb	m ²	7,19	4,61	19,04	Ucob	W/m ² .K	0
	cob	adimensional	0	0	0	CTcob	kJ/m ² .K	1
	solo	binário	1	1	1	αcob	adimensional	0
	pil	binário	0	0	0	Upar	W/m ² .K	2,32
	ΣAAb	m ²	1,37	1,32	1,66	CTpar	kJ/m ² .K	98,5
	Fvent	adimensional	0,43	0,44	0,43	αpar	adimensional	0,65
	Somb	adimensional	0	0	0	PD	m	2,45

Observações: a transmitância térmica e capacidade térmica da cobertura não entram na equação quando a variável “cob” é igual a 0. Por isso, Ucob é igual a 0 e CTcob é igual a 1 de acordo com instruções do RTQ-R (BRASIL, 2012).

Tabela 4 – Modelo da Tipologia 4 com definição de propriedades físicas, térmicas e geométricas.


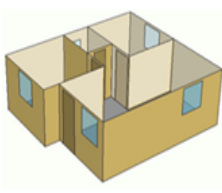
Tipologia	Variável	Unidade	Dormitório1	Dormitório2	Dormitório3	Sala-cozinha	Propriedades térmicas		
	AUamb	m ²	9,86	7,35	6,96	24,32	Ucob	W/m ² .K	2,00
	cob	adimensional	1	1	1	1	CTcob	kJ/m ² .K	19,1
	solo	binário	1	1	1	1	αcob	adimensional	0,70
	pil	binário	0	0	0	0	Upar	W/m ² .K	1,99
	ΣAAb	m ²	1,27	1,27	1,27	3,42	CTpar	kJ/m ² .K	40,2
	Fvent	adimensional	0,43	0,43	0,43	0,39	αpar	adimensional	0,58
	Somb	adimensional	1	1	1	1	PD	m	3,13

Tabela 5 – Modelo da Tipologia 5 com definição de propriedades físicas, térmicas e geométricas.

Tipologia	Variável	Unidade	Dormitório1	Dormitório2	Sala-cozinha	Propriedades térmicas		
	AUamb	m ²	8,70	7,35	18,83	Ucob	W/m ² .K	2,09
	cob	adimensional	1	1	1	CTcob	kJ/m ² .K	14,2
	solo	binário	0	0	0	αcob	adimensional	0,80
	pil	binário	1	1	1	Upar	W/m ² .K	1,99
	ΣAAb	m ²	1,00	1,00	2,00	CTpar	kJ/m ² .K	40,2
	Fvent	adimensional	0,37	0,37	0,37	αpar	adimensional	0,67
	Somb	adimensional	0	0	0	PD	m	2,20

3.2. Método de simulação do RTQ-R

Para a aplicação do método de simulação do RTQ-R deve ser utilizado um programa de simulação computacional que, entre outros requisitos, deve ser validado pelos testes da Standard 140 (ASHRAE, 2004); analisar o desempenho termoenergético de edificações em regime transiente, com o efeito da inércia térmica e a integração dos diversos sistemas; modelar multi-zonas térmicas; analisar diversas configurações de uso dos sistemas e ocupação das zonas.

Para o estudo foi utilizado o programa *EnergyPlus* versão 7.2, que atende todos os requisitos do RTQ-R para o programa de simulação.

3.2.1. Configurações das simulações

Os ambientes analisados foram os dormitórios, salas e salas com cozinhas conjugadas (sala-cozinha), sendo ambientes de permanência prolongada.

O RTQ-R apresenta valores pré-definidos para os padrões de ocupação, padrões de uso da iluminação e de uso dos equipamentos. Para a ocupação, a taxa de metabolismo foi de 81 W/pessoa nos dormitórios e 108 W/pessoa nas salas e sala/cozinha. A densidade de potência instalada com iluminação é de 6 W/m² nas salas e 5 W/m² nos dormitórios. A densidade de potência instalada com equipamentos é de 1,5 W/m² para os ambientes de permanência prolongada.

Para cada uma das cinco habitações foram criados dois modelos base: (1) modelo com ventilação natural e (2) modelo com condicionamento artificial durante a noite e ventilação natural durante o dia. O período de simulação compreendeu o ano completo dos arquivos climáticos (8760 horas).

Para o modelo base (1) foi definida a ventilação natural conforme o *AirFlowNetwork* do *EnergyPlus*, com as configurações de operação de aberturas e set point de operação de acordo com o RTQ-R.

Para o modelo base (2) foi definida ventilação natural diurna e condicionamento artificial noturno, conforme as rotinas do RTQ-R. O sistema de aquecimento tem COP de 2,75 W/W, e o sistema de refrigeração tem COP de 3,00 W/W. A taxa de fluxo de ar por pessoa é de 0,00944 m³/s, eficiência do motor de 0,90 e do ventilador de 0,70.

Para o cálculo da temperatura do solo foi utilizado o programa *Slab*, vinculado ao *EnergyPlus*. O programa calcula a temperatura do solo por meio de iterações, que depende da temperatura média mensal do ar interno da edificação.

3.2.2. Variáveis dependentes

Para o modelo base (1) as variáveis dependentes são as temperaturas operativas horárias de cada ambiente de permanência prolongada da habitação, para o cálculo dos graus hora de resfriamento (*GHRamb*) com a Equação 1.

$$GHR_{amb} = \begin{cases} se T_i > 26^{\circ}C, & \sum_{i=0}^{8760} T_i - 26^{\circ}C \\ se T_i \leq 26^{\circ}C, & 0 \end{cases} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

GHR_{amb} são os graus hora de resfriamento de cada ambiente de permanência prolongada ($^{\circ}\text{Ch}$);

T_i são as temperaturas operativas em cada uma das 8760 horas do ano ($^{\circ}\text{C}$);

i são as horas do ano (horas).

Para o modelo base (2) as variáveis dependentes são os consumos de energia anuais com aquecimento e refrigeração dos dormitórios, e o consumo de energia com aquecimento das salas. Os consumos relativos são calculados com as Equações 2 e 3, e não refletem o consumo real das edificações pesquisadas.

$$CA_{amb} = \frac{CA_{amb_{anual}}}{AU_{amb}} \quad \text{Equação 2}$$

$$CR_{amb} = \frac{CR_{amb_{anual}}}{AU_{amb}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$CA_{amb_{anual}}$ é o consumo anual de energia elétrica com aquecimento noturno de cada ambiente de permanência prolongada (kWh/ano);

$CR_{amb_{anual}}$ é consumo anual de energia elétrica com refrigeração noturna de cada dormitório (kWh/ano);

CA_{amb} é o consumo relativo com aquecimento de cada ambiente de permanência prolongada (kWh/m².ano);

CR_{amb} é o consumo relativo com refrigeração de cada dormitório (kWh/m².ano);

AU_{amb} é a área útil de cada ambiente de permanência prolongada (m²).

3.2.3. Clima de Florianópolis

A cidade de Florianópolis apresenta dois arquivos climáticos publicados por instituições de reconhecida capacidade técnica: o arquivo TMY do *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) disponível no sítio eletrônico do Departamento de Energia Norte Americano (<http://apps1.eere.energy.gov>), e o arquivo TRY determinado por Goulart, Lamberts e Firmino (1998) disponível em < <http://labeee.ufsc.br/> >.

Tendo em vista que a versão atual do RTQ-R permite utilizar qualquer um dos dois arquivos climáticos, todas as análises por simulação deste trabalho foram feitas para ambos os arquivos climáticos TMY e TRY como intuito comparativo.

O clima de Florianópolis pode ser caracterizado como quente e úmido, com estações bem definidas. A Figura 1 apresenta os dados horários de Temperatura de Bulbo Seco e Umidade Relativa para o arquivo climático TMY SWERA de Florianópolis, em cada mês do ano. A Figura 2 apresenta os mesmos dados para o arquivo TRY.

Para o arquivo TMY, a menor temperatura horária alcançada foi de 5,4 $^{\circ}\text{C}$ e a maior, 33,7 $^{\circ}\text{C}$. Para o TRY, foi de 5,3 $^{\circ}\text{C}$ e 31,8 $^{\circ}\text{C}$. Para a umidade relativa, no TMY o menor valor horário alcançado foi de 26,2% e no TRY foi de 22,4 %. A umidade relativa média anual é de 81,4% no TMY e de 74,5% no TRY; a temperatura de bulbo seco média anual é de 20,7 $^{\circ}\text{C}$ no TMY e de 20,9 $^{\circ}\text{C}$. As diferenças aparentam ser pequenas, mas a questão da umidade relativa pode apontar diferentes resultados, visto que os dados horários variam bastante. Como serão vistos, os resultados deste trabalho comprovam as diferenças entre os dois arquivos climáticos, o que gera diferenças no nível de eficiência energética obtido por cada arquivo, sendo uma incompatibilidade do método do RTQ-R.

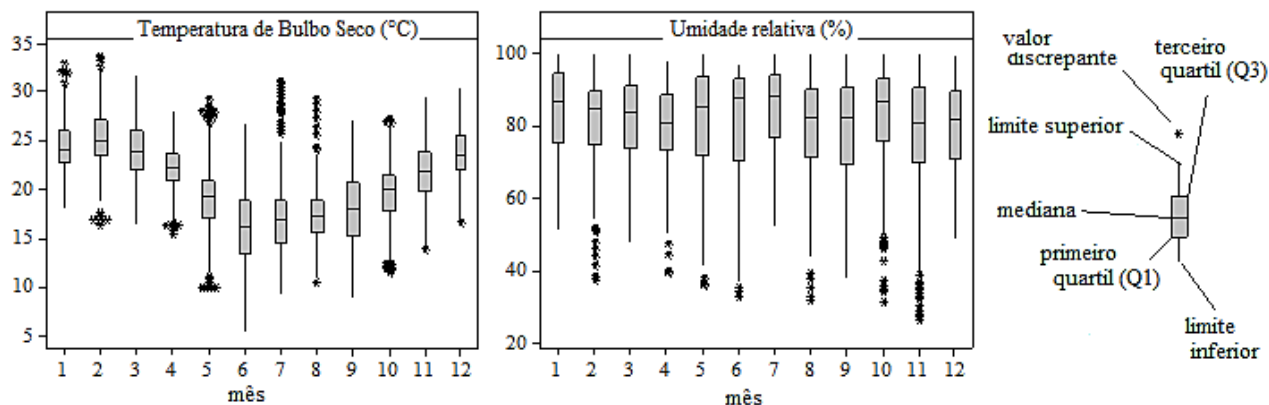


Figura 1 – Temperatura de bulbo seco e umidade relativa horária para os meses do ano, para o clima de Florianópolis-SC (arquivo TMY SWERA).

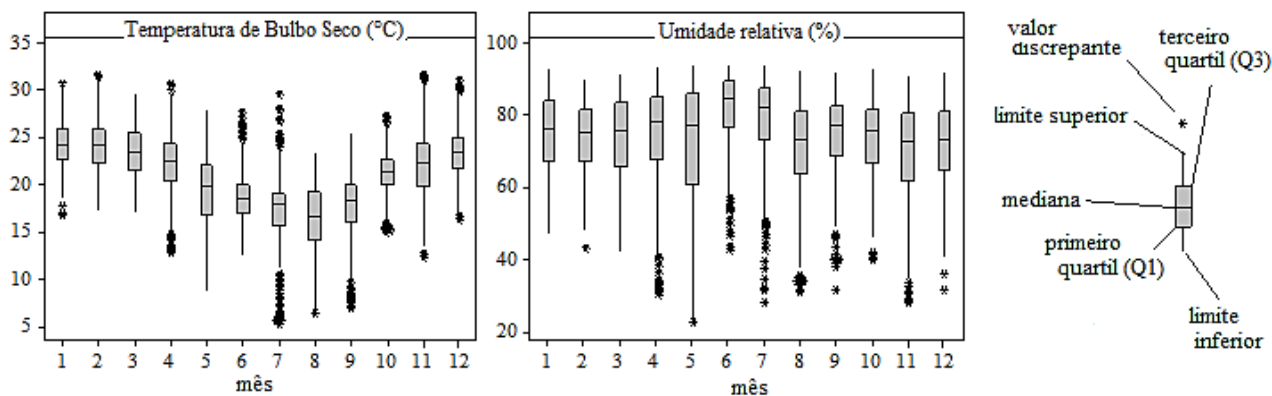


Figura 2 – Temperatura de bulbo seco e umidade relativa horária para os meses do ano, para o clima de Florianópolis-SC (arquivo TRY).

3.3. Método prescritivo do RTQ-R

O método prescritivo do RTQ-R é uma simplificação do método de simulação. O objetivo de sua criação foi promover uma avaliação mais simples da eficiência energética das habitações através da aplicação de equações de regressão linear múltipla (SCALCO *et al.*, 2012).

Para a formulação das equações, muitas características foram generalizadas: a primeira é o próprio clima, onde o método de simulação considera o arquivo climático próprio da cidade, enquanto o prescritivo generaliza o clima para cada Zona Bioclimática inteira, definidas na NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

A segunda é o coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto da variância da amostra pode ser explicada linearmente pela equação de regressão.

As variáveis independentes da equação podem ser divididas em quatro grupos, para a Zona Bioclimática 3:

- Variáveis geométricas: área útil dos ambientes, áreas de paredes externas por orientação solar, áreas de paredes internas, pé direito;
- Variáveis termofísicas: transmitância e capacidade térmica das paredes e coberturas, absorvância solar das paredes externas e cobertura;
- Situação do piso e cobertura: se o piso tem contato com o solo ou se está sobre pilotis, e se a cobertura tem contato com o exterior ou não;
- Aberturas: áreas de aberturas, fator de ventilação, sombreamento de aberturas.

A partir da quantificação dessas variáveis no projeto de cada tipologia, são calculados os índices GHR, CA e CR por meio das equações de regressão do RTQ-R.

3.4. Comparação dos métodos

Foi comparado o Equivalente Numérico de cada ambiente para o resfriamento, aquecimento e refrigeração em cada um dos métodos: (1) simulação com o arquivo TMY, (2) simulação com o arquivo TRY e (3) prescritivo.

As Tabelas 6 e 7 apresentam os critérios de classificação das variáveis dependentes em relação ao nível de eficiência energética e o Equivalente Numérico. A Tabela 6 é válida para o arquivo TMY SWERA e a Tabela 7, para o arquivo TRY e o método prescritivo.

Com as Tabelas e o valor numérico das variáveis dependentes, calculam-se os Equivalentes Numéricos para cada ambiente:

- Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento;
- Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento;
- Equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração.

Tabela 6 – Classificação do nível de eficiência de acordo com o Método de Simulação com o arquivo TMY SWERA (Fonte: < www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios >).

Nível	EqNum	Graus hora de resfriamento	Consumo (kWh/m ² .ano)			
			Refrigeração		Aquecimento	
A	5	GHR ≤ 910	CR ≤ 6,582	CA ≤ 6,240		
B	4	910 < GHR ≤ 1905	6,582 < CR ≤ 11,526	6,240 < CA ≤ 12,686		
C	3	1905 < GHR ≤ 2870	11,526 < CR ≤ 15,687	12,686 < CA ≤ 18,988		
D	2	2870 < GHR ≤ 3905	15,687 < CR ≤ 18,038	18,988 < CA ≤ 21,856		
E	1	3905 < GHR	18,038 < CR	21,856 < CA		

Tabela 7 – Classificação do nível de eficiência de acordo com o Método Prescritivo e por Simulação com o arquivo TRY (Fonte: RTQ-R (BRASIL, 2012).

Nível	EqNum	Graus hora de resfriamento		Consumo (kWh/m ² .ano)					
				Refrigeração			Aquecimento		
A	5	GHR ≤	822	CR ≤	6,890	CA ≤	6,429		
B	4	822 < GHR ≤	1643	6,890 < CR ≤	12,284	6,429 < CA ≤	12,858		
C	3	1643 < GHR ≤	2465	12,284 < CR ≤	17,677	12,858 < CA ≤	19,287		
D	2	2465 < GHR ≤	3286	17,677 < CR ≤	23,071	19,287 < CA ≤	25,716		
E	1	3286 < GHR		23,071 < CR		25,716 < CA			

4. RESULTADOS

Neste item são mostrados os resultados das comparações entre as variáveis dependentes e os equivalentes numéricos.

4.1. Comparação entre as variáveis dependentes

Os resultados dos graus hora de resfriamento estão na Figura 3, do consumo relativo com aquecimento estão na Figura 4, e do consumo relativo com refrigeração estão na Figura 5.

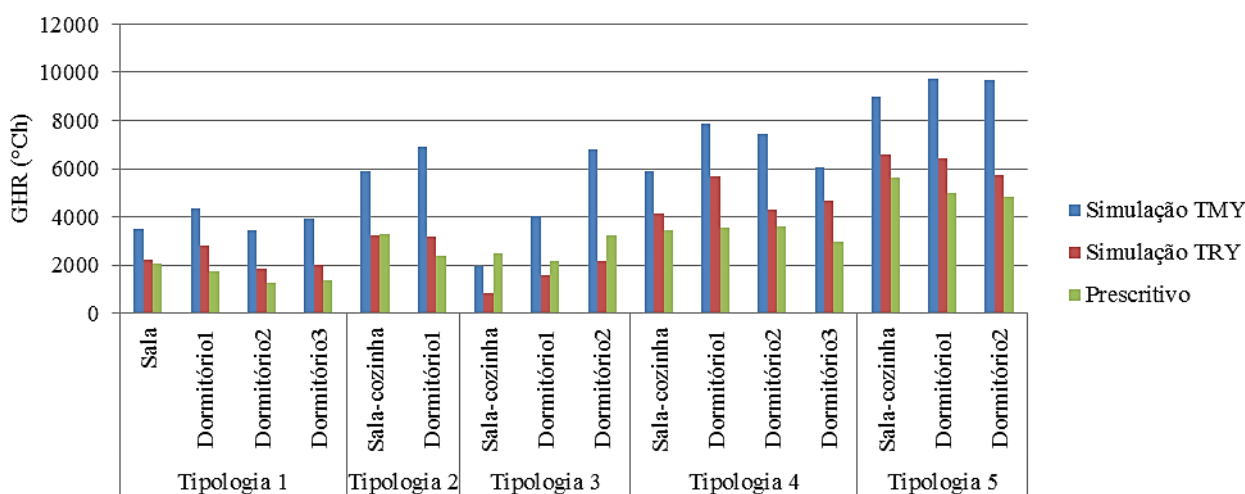


Figura 3 – Resultados dos graus hora de resfriamento (GHR) para os ambientes de cada tipologia.

Ressalta-se que o objetivo não é comparar o valor absoluto de cada variável dependente entre o método de simulação TMY com o prescritivo e a simulação TRY, tendo em vista que o intervalo para a classificação é diferente (como mostra as Tabelas 6 e 7).

Na Figura 3, percebe-se nas Tipologias 2 e 5 mais acentuadamente, algumas diferenças entre as classificações dos ambientes: na Tipologia 2, a sala-cozinha tem GHR maior que o Dormitório 1 no prescritivo, enquanto pelas simulações é obtido o contrário, o Dormitório 1 tem valor de GHR maior.

Para a Tipologia 5, a sala-cozinha apresentou o menor valor para os GHR na simulação com o TMY, mas o maior valor pelo prescritivo e pela simulação com o TRY. Esta tipologia também apresentou os maiores valores de GHR do que as demais tipologias, em todas as comparações. Observando suas características pela Tabela 5, percebe-se que a capacidade térmica das paredes e da cobertura é baixa, a transmitância térmica da cobertura é alta, bem como as absorvâncias solares. Pode-se verificar a influência combinada desses parâmetros no desempenho final da habitação.

Percebe-se que as simulações com o TMY sempre geraram graus hora de resfriamento maiores que nos demais métodos, e nem sempre segue o mesmo padrão. Esse fato representa uma inconsistência de método, onde um avaliador poderia escolher o arquivo climático que apontasse melhores resultados para sua habitação, no caso de avaliações por simulação de acordo com o RTQ-R.

No caso do aquecimento da Figura 4, o comportamento foi semelhante entre os métodos. Nas tipologias, o ambiente que alcança o maior valor de consumo com aquecimento nas simulações é o mesmo que no prescritivo, exceto nos dormitórios da tipologia 3 para a simulação TRY. Percebe-se que o consumo relativo com aquecimento obtido na simulação é bem maior do que o obtido no prescritivo, mesmo para a simulação com o TRY, que tem a mesma ordem de grandeza do Prescritivo.

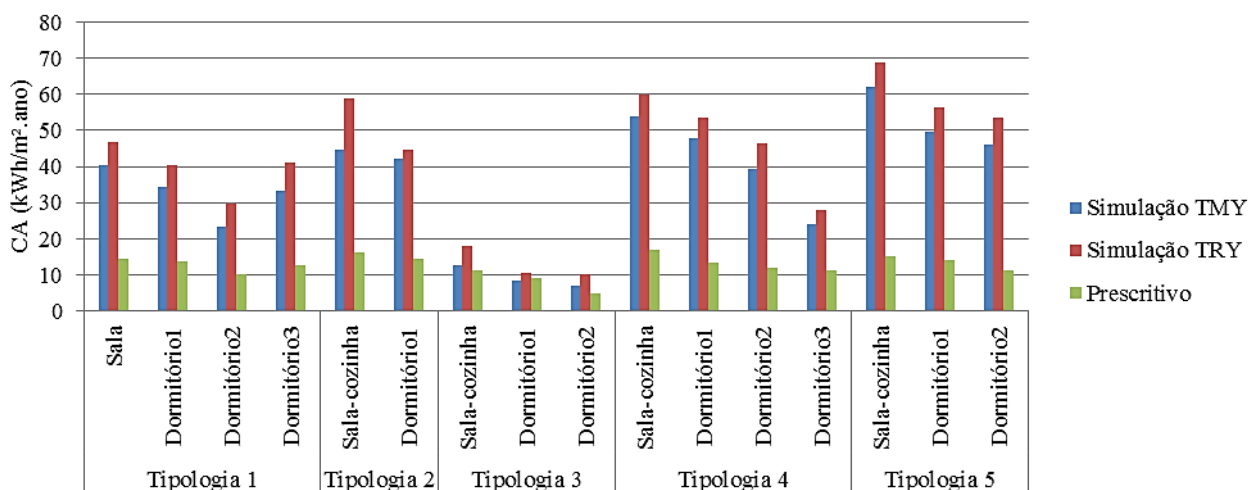


Figura 4 – Resultados do consumo relativo com aquecimento (CA) para os ambientes de cada tipologia.

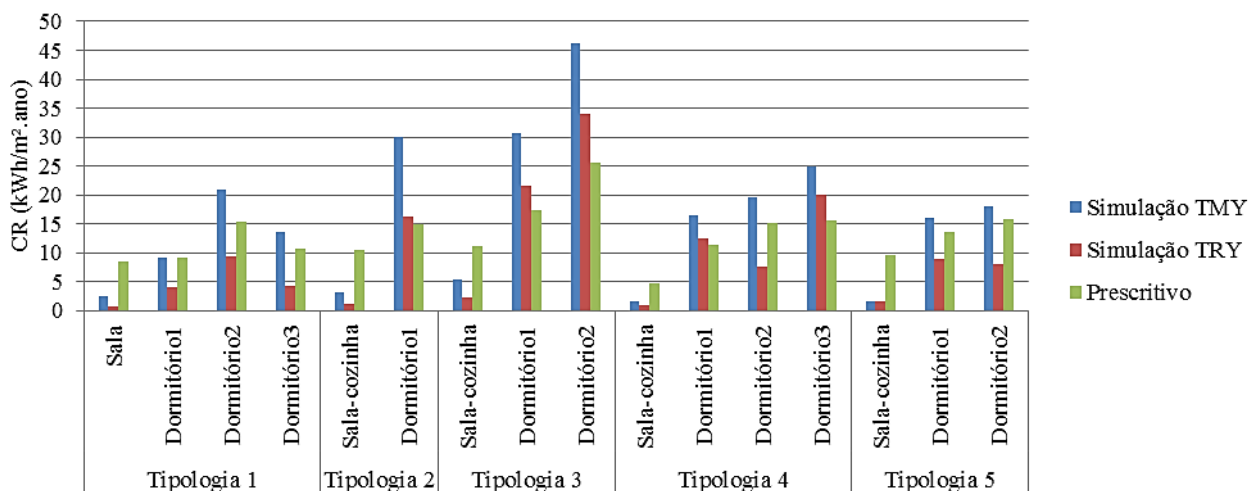


Figura 5 – Resultados do consumo relativo com refrigeração (CR) para os ambientes de cada tipologia.

Para o consumo relativo com refrigeração da Figura 5, percebe-se que o mesmo comportamento do aquecimento foi observado, exceto nos dormitórios da Tipologia 4 pela simulação com o TRY. Nesse caso, o consumo de energia com refrigeração pelo prescritivo é superior ao das simulações na avaliação das salas e salas/cozinha. Isso pode ser explicado pela grande volumetria dos ambientes, demandando menor consumo com refrigeração noturna do que nos quartos.

Foram percebidas as seguintes diferenças entre as simulações com o TMY e o TRY: para os graus hora de resfriamento, a diferença média foi de 42% (valor individual mínimo e máximo de 23% e 68%, respectivamente); para o consumo relativo com aquecimento a diferença média foi de -21% (valor individual mínimo e máximo de -45% e -5%, respectivamente); para o consumo relativo com refrigeração a diferença média foi de 108% (valor individual mínimo e máximo de -4% e 268%, respectivamente).

4.2. Comparação entre os Equivalentes Numéricos

As Tabelas 8 a 10 apresentam a comparação entre os Equivalentes Numéricos, para os graus hora de resfriamento (GHR), consumo relativo com aquecimento (CA) e consumo relativo com refrigeração (CR), respectivamente.

No caso dos graus hora de resfriamento, da Tabela 8, percebe-se que, nas tipologias 4 e 5 os métodos apresentaram níveis de eficiência iguais, sendo nível E. Já para os demais níveis de eficiência (A a D), nenhum ambiente apresentou o mesmo nível entre os métodos, exceto a sala da Tipologia 1 e a sala-cozinha da Tipologia 2, entre o método prescritivo e a simulação TRY.

Os casos com a simulação TMY sempre foram mais rigorosos, e atingiram predominantemente níveis D e E. Esse fato pode ter duas causas: (1) o arquivo TMY pode apresentar valores incoerentes das variáveis climáticas, acarretando diferenças nas simulações, ou (2) a própria tabela de classificação do método de simulação do RTQ-R pode estar equivocada, apresentando limites que não condizem com os resultados possíveis da simulação.

Tabela 8 – Comparação do nível de eficiência dos GHR para os métodos avaliados.

Método	Nível de eficiência para cada ambiente de cada tipologia															
	Tipologia 1				Tipologia 2		Tipologia 3			Tipologia 4			Tipologia 5			
	Sala	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3	Sala-cozinha	Dormitório 1	Sala-cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala-cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3	Sala-cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2
Simulação TMY	D	E	D	E	E	E	C	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Simulação TRY	C	D	C	C	D	D	B	B	C	E	E	E	E	E	E	E
Prescritivo	C	C	B	B	D	C	D	C	D	E	E	E	D	E	E	E

De acordo com a Tabela 9, as simulações apontaram predominantemente nível E para o consumo com aquecimento em todas as tipologias, exceto na tipologia 3. O método prescritivo, por ser uma simplificação das simulações, aponta erroneamente bons níveis de eficiência nesses casos. Os casos mais divergentes foram quando o prescritivo aponta nível B e as simulações apontam nível E.

Tabela 9 – Comparação do nível de eficiência do CA para o método de simulação e prescritivo.

Método	Nível de eficiência para cada ambiente de cada tipologia															
	Tipologia 1				Tipologia 2		Tipologia 3			Tipologia 4			Tipologia 5			
	Sala	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3	Sala-cozinha	Dormitório 1	Sala-cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala-cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3	Sala-cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2
Simulação TMY	E	E	E	E	E	E	B	B	B	E	E	E	E	E	E	E
Simulação TRY	E	E	E	E	E	E	C	B	B	E	E	E	E	E	E	E
Prescritivo	C	C	B	B	C	C	B	B	A	C	C	B	B	C	C	B

Os casos mais próximos aconteceram apenas na Tipologia 3, que não apresenta contato da cobertura com o exterior. Percebe-se que a falta de contato da cobertura com o exterior ocasiona melhor semelhança entre os métodos, por dois possíveis motivos:

(1) o contato da cobertura com o exterior pode ser um dos parâmetros mais importantes da edificação, o que fez que as demais edificações com cobertura exposta perdessem considerável quantidade de calor durante a noite, alcançando elevado consumo com aquecimento e baixos níveis de eficiência, ou;

(2) a equação de regressão linear não conseguiu representar bem os casos simulados, tendo em vista que o contato com o exterior é definido por uma variável binária (0 ou 1), tornando difícil uma equação de regressão que gere boa aderência aos dados.

Tabela 10 – Comparação do nível de eficiência do CR para o método de simulação e prescritivo.

Método	Nível de eficiência para cada ambiente de cada tipologia															
	Tipologia 1				Tipologia 2		Tipologia 3			Tipologia 4			Tipologia 5			
	Sala	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3	Sala-cozinha	Dormitório 1	Sala-cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala-cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2	Dormitório 3	Sala-cozinha	Dormitório 1	Dormitório 2
Simulação TMY	A	B	E	C	A	E	A	E	E	A	D	E	E	A	D	E
Simulação TRY	A	A	B	A	A	C	A	D	E	A	C	B	D	A	B	B
Prescritivo	B	B	C	B	B	C	B	C	E	A	B	C	C	B	C	C

De acordo com a Tabela 10, o consumo com refrigeração apresentou boa concordância entre os métodos, com resultados semelhantes. Na maior parte dos casos, a diferença foi de apenas um nível de eficiência. Mesmo assim há casos diferentes, e percebe-se que as simulações com o arquivo TMY apresentaram menores níveis de eficiência, além de consumos maiores que os demais. Já o prescritivo aponta níveis medianos de eficiência e a simulação TRY sempre aponta os maiores níveis (menos rigorosa).

5. CONCLUSÃO

Este trabalho comparou a eficiência energética de cinco habitações de Florianópolis de acordo com os métodos de simulação e prescritivo do RTQ-R.

Percebe-se que os métodos conduzem a níveis de eficiência diferentes. As simulações com o arquivo TMY apresentaram sempre piores níveis de eficiência e maiores valores para as variáveis dependentes. Pode haver certa discordância entre a própria tabela de classificação da eficiência energética para este arquivo

climático, ou pode ser que haja erros inclusos nos próprios dados do clima, que prejudicam as avaliações. O método prescritivo e simulação com o TRY foram os que apresentaram menos discordâncias entre si.

Para os graus hora de resfriamento, todas as tipologias apresentaram níveis ruins. O método prescritivo e simulação TRY concordaram em alguns casos, e a simulação TMY apresentou resultados bem diferentes. No consumo com aquecimento, as simulações apontaram níveis baixos de eficiência, enquanto o prescritivo apontou níveis altos. No consumo com refrigeração, os modelos apresentaram resultados semelhantes.

A diferença do método prescritivo pode ser explicada pela própria equação de regressão, que não conseguiu representar bem a população de habitações simulada, principalmente no caso do contato da cobertura com o exterior, observado neste trabalho.

Conclui-se que os três métodos apresentam resultados diferentes, exceto nos casos específicos apontados neste trabalho.

O estudo espera ter contribuído para relatar experiências na aplicação do RTQ-R e a comparação entre os diversos métodos apresentados.

REFERÊNCIAS

- ASHRAE. ANSI/ASHRAE **Standard 90.1-2004**: Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. USA, Atlanta, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3 - **Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.
- BRASIL. **Lei nº 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. In: Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2001.
- _____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. Portaria n.º 372, de 17 de Setembro de 2010. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345 p.
- POUEY, J.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. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.
- SCALCO, V.A.; FOSSATI, M.; VERSAGE, R.S.; SORGATO, M.J.; LAMBERTS, R.; MORISHITA, C. Innovations in the Brazilian regulations for energy efficiency of residential buildings. **Architectural Science Review**, v. 55, n.1, p. 71-81, 2012.
- VERSAGE, R.S. **Equações prescritivas para o regulamento de etiquetagem de eficiência energética de edificações residenciais**. Relatório técnico: RT_Labeee-2011/03, Florianópolis, 2011.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), ao CNPq e à CAPES pela bolsa de estudos do programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.