



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

VALIDAÇÃO DE PROTÓTIPO DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA SIMULAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE VIDROS

Fabiola D. Arndt (1); Martin O. Mizgier (2); Fernando S. Westphal (3)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, fabiola@labcon.ufsc.br

(2) Dr. Eng., Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, martin.ordenes@ufsc.br

(3) Dr. Eng., Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, fernando.sw@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental em Edificações, CP 470, Telefone (48) 3721 9550, Florianópolis-SC

RESUMO

Este artigo apresenta a validação de um protótipo arquitetônico para realizar simulações computacionais com o intuito de classificar vidros de janelas de acordo com o seu desempenho térmico, para três climas brasileiros. Para isso foram definidos dois modelos para simulação computacional – um protótipo que representa um ambiente de uma residência e uma residência real. Posteriormente, foram selecionados e caracterizados 14 tipos de vidros para aplicação. No total, foram executadas 210 simulações no programa *EnergyPlus*. Foram extraídos o consumo anual de energia para aquecimento e resfriamento proporcionado pelo uso de cada vidro nas janelas dos modelos. Logo após, foi desenvolvida uma classificação da economia de energia proporcionada por cada vidro para aquecimento e resfriamento em um *ranking* de desempenho. Esta classificação foi elaborada para ambos os modelos de edificação e em seguida comparadas. Os gráficos gerados a partir desta comparação mostraram que no caso do consumo de energia para resfriamento a simulação do protótipo segue uma tendência em relação à edificação real, apresentando bons valores de R^2 (0,9397 para Salvador, 0,9919 para São Paulo e 0,9948 para Porto Alegre). No caso de aquecimento isto não acontece, os valores de R^2 apresentam-se mais baixos (0,7256 para Porto Alegre e 0,7356 para São Paulo). Em razão disso esta pesquisa seguirá e mais simulações e testes serão realizados para se chegar a um modelo ideal para este tipo de análise.

Palavras-chave: simulação computacional, desempenho térmico, janelas, esquadrias, vidros.

ABSTRACT

This article presents the validation of an architectural prototype to run computational simulations to classify window glazing systems according to their thermal performance, for three Brazilian climates. For this, two models were defined for computational simulation - a prototype that represents a room of a residence and a real residence. After that, 14 glass types were selected and characterized for simulation. In total, 210 simulations were performed in *EnergyPlus* software. The annual energy consumption for heating and cooling provided by each glass was extracted. Then a rating was developed of the energy savings provided by each glass for heating and cooling in a performance ranking. This classification was elaborated for both building models and then compared. The graphs showed that for cooling energy estimation the prototype follows a trend in relation to the real building, presenting good R^2 values (0.9397 for Salvador, 0.9919 for Sao Paulo and 0.9948 for Porto Alegre). In case of heating energy consumption this does not happen, R^2 values are lower (0.7256 for Porto Alegre and 0.7356 for São Paulo). Because of this the research will continue. More simulations and tests will be carried out to arrive at an ideal model.

Keywords: computer simulation, thermal performance, window, fenestration, glass, glazing.

1. INTRODUÇÃO

Através das janelas que os seres humanos obtêm a percepção do ambiente externo: as ações da vida ao ar livre, a passagem do tempo deduzido da mudança da posição do sol, a mudança do clima e assim por diante (MACCARI E ZINZI, 2001). Segundo Rousseau (1988) as janelas têm um papel fundamental para melhorar a qualidade de vida e o conforto dos residentes. Nos dias atuais é percebida uma grande preocupação em torno da qualidade das janelas, pois podem influenciar diretamente no desempenho energético, bem como no dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar e iluminação (LOPES, 2009).

Segundo Lee (2013), os edifícios são responsáveis por quase 40% do uso de energia elétrica no mundo. Dentro destes 40%, iluminação, aquecimento e resfriamento - que são influenciados principalmente pelas janelas - representam a maior parte.

Nesse cenário, diversos países estão apoiando programas destinados a investir em novas tecnologias de vidro para melhorar o desempenho térmico de janelas, a fim de reduzir o consumo de energia (JACKSON et al., 1995). O Brasil também está alinhado com os esforços em relação ao tema. A etiqueta de desempenho térmico introduzida na Norma Brasileira de Esquadrias para Edificações, NBR 10821 (ABNT, 2017) classifica o nível de conforto térmico proporcionado por cada tipo de janela em edificações residenciais ventiladas naturalmente. No entanto, esta etiqueta precisa ter alguns ajustes e incluir o conforto visual.

Segundo uma pesquisa feita pelo MME (2007), a grande maioria das janelas instaladas nas residências brasileiras (cerca de 90%) são compostas de vidros simples transparentes, sem nenhum tipo de controle solar. Sendo assim, o uso de janelas mais eficientes deve ser incentivado, e este incentivo pode ocorrer através de processos de certificação. A certificação é um mecanismo importante para regulação do desempenho de elementos da edificação. Os padrões brasileiros de eficiência energética para edifícios ainda estão em desenvolvimento e alguns esforços estão sendo feitos para estabelecer níveis mínimos de desempenho térmico e luminoso para sistemas e elementos de construção.

Um método para um sistema de classificação de janelas, segundo Maccari e Zinzi (2001), deveria ser desenvolvido em conformidade com os seguintes passos: a) definição dos índices de desempenho; b) estabelecimento dos parâmetros a serem considerados no desempenho do edifício; c) execução das simulações para as configurações de referência consideradas; d) análise para obter um algoritmo simplificado; e) redução dos dados de simulação computacional. A caracterização do desempenho dos vidros e das janelas requer a análise das propriedades dos mesmos. Por fim, de acordo com Duer et al. (2002), é necessária a definição dos dados climáticos referentes à zona bioclimática e de um edifício de referência.

Sun (2018) fez uma revisão dos métodos utilizados para prever o comportamento térmico e óptico de sistemas complexos de janelas, de métricas avançadas de avaliação de luz do dia e da última geração das abordagens integradas de simulação de edifícios. O autor concluiu que modelos integrados que buscam quantificar a contribuição de sistemas de janelas para o desempenho da edificação precisam incluir a caracterização de seu comportamento térmico, a identificação da transferência de radiação para quantificar o ganho solar e de iluminação, que ajustará a necessidade da iluminação artificial para o ambiente, em resposta à disponibilidade de luz do dia.

Além disso, foi concluído que a capacidade de importar caracterização térmica em ferramentas como o EnergyPlus, bem como a capacidade de conectar o programa a ferramentas de iluminação, como o RADIANCE, cria uma estrutura onde esses estudos podem ser realizados com assertividade.

Com base nos estudos e etiquetas já desenvolvidas e aplicadas em outros países - como Estados Unidos, Reino Unido, Austrália e Canadá - esta pesquisa visa desenvolver, por meio de simulações computacionais integradas, um padrão de etiquetagem que avalia o desempenho de janelas disponíveis no mercado brasileiro para edifícios residenciais. Com isso espera-se atualizar a forma de avaliação do sistema normativo brasileiro, e consequentemente colaborar para melhorar o uso de janelas e otimizar o uso de energia das edificações residenciais.

Este sistema de classificação visa informar quanto o vidro analisado é melhor que um vidro de referência em termos de economia de energia para aquecimento e resfriamento. Desta forma, pretende-se evitar uma classificação global do tipo "A, B, C", em razão de que o desempenho de um vidro em relação ao consumo de energia para resfriamento segue diferentes tendências quando analisado frente à necessidade de aquecimento. Além de que futuramente pretende-se incluir a economia de energia para iluminação, e um vidro (janela) com alto nível de desempenho térmico pode não ser a melhor opção para o aproveitamento da luz do dia.

O sistema de classificação a ser desenvolvido tem a intenção de fornecer informações sobre a quantidade de economia de energia que cada tipo de janela pode fornecer contra uma janela de referência (pior cenário). O propósito é informar a equipe de projeto quanto um vidro e sistema de perfis pode fornecer melhorias no desempenho energético de uma edificação.

Este artigo trata de uma das fases desta pesquisa, que é encontrar um protótipo arquitetônico representativo para ser utilizado nas simulações computacionais paramétricas. Para isto foram realizados estudos sobre as tipologias arquitetônicas mais comuns no Brasil e em seguida foi definido um protótipo representativo de um cômodo de um apartamento. Este protótipo está em desenvolvimento e sendo testado. No presente artigo é apresentado o método utilizado e os resultados do desempenho térmico de diferentes tipos de vidros aplicados na janela deste protótipo, em comparação com os resultados das simulações dos mesmos vidros aplicados nas janelas de uma habitação de interesse social. Entende-se por janela "esquadria, vertical ou inclinada, geralmente envidraçada, destinada a preencher um vão, em fachadas ou não. Entre outras, sua finalidade é permitir a iluminação e/ou ventilação de um recinto para outro" (ABNT, 2017).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é validar um protótipo arquitetônico para realizar simulações computacionais com o intuito de classificar vidros aplicados nas janelas de edificações residenciais de acordo com o seu desempenho térmico, para três climas brasileiros.

3. MÉTODO

A seguir está descrita como foi desenvolvida a definição das tipologias arquitetônicas simuladas, a seleção e a caracterização dos vidros simulados, a definição dos climas, as simulações paramétricas, a análise dos dados e a classificação de desempenho.

3.1. Definição das tipologias arquitetônicas a serem simuladas

Foram simulados dois modelos de edificação, um protótipo representativo de uma sala de estar de um apartamento (15m² - 1 zona térmica) e um modelo representativo de uma habitação de interesse social (45m² - 4 zonas térmicas). Ambos foram simulados com os materiais de construção mais comumente utilizados no Brasil – tijolos cerâmicos, reboco e concreto. As plantas baixas dos modelos estão representadas na Figura 1 e os materiais construtivos e a transmitância térmica das superfícies estão descritos na Tabela 1. A janela do PTP tem 2,0x1,2m e as janelas da sala e dormitórios do HIS tem 1,2x1,2m, da cozinha 0,4x1,2m e do BWC 0,4x0,4m.

No caso do PTP, apenas a fachada com a janela foi considerada em contato com o exterior. Todas as outras paredes, o teto e o piso foram considerados como superfícies adiabáticas. No caso da HIS o piso foi considerado em contato com o solo, as paredes externas e o telhado em contato com o ar e as paredes internas em contato com as superfícies adjacentes. A HIS foi simulada apenas para uma orientação solar, para representar o que acontece em uma edificação real e o PTP foi rotacionado para posicionar a janela em cada orientação geográfica, para prever o comportamento do vidro em todas as direções (Norte, Sul, Leste e Oeste).

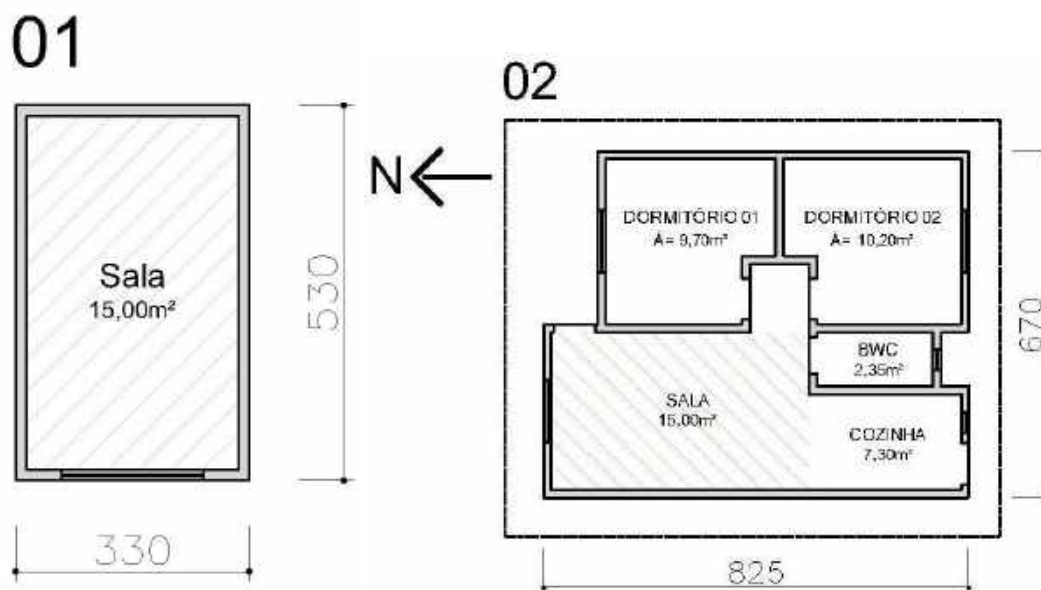


Figura 1 – Plantas baixas do Protótipo (01) e da Habitação de Interesse Social (02).

Tabela 1 – Materiais construtivos e transmitância térmica do Protótipo e da Habitação de Interesse Social.

Protótipo (PTP)		
Superfície	Material	U (W/m ² K)
Paredes Externas	Bloco cerâmico + Reboco	2,46
Telhado	Concreto + Reboco	3,75
Piso	Concreto + Reboco	3,75
Habitação de Interesse Social (HIS)		
Superfície	Material	U (W/m ² K)
Paredes Externas	Bloco cerâmico + Reboco	2,46
Paredes Internas	Bloco concreto + Reboco	2,78
Telhado	Telha cerâmica + Isolante + Laje concreto	1,52
Piso	Concreto + Reboco	3,75

3.2. Seleção e caracterização dos vidros simulados

O presente artigo considerou as propriedades apenas dos vidros para a análise, sem considerar o perfil, pois a principal porção do fluxo de calor através das janelas nos climas brasileiros é resultado da radiação solar que atravessa pelo vidro. Posteriormente, a pesquisa irá incluir na ferramenta de avaliação de esquadrias as características dos perfis.

Os vidros classificados foram definidos de acordo com parâmetros como Fator Solar (FS), Transmissão Visível (Tvis) e Transmitância Térmica (U), de forma que abrangesse uma faixa de diferentes valores de FS. Para isto foi utilizado o programa Window 6.3, que possui uma base de dados internacional com propriedades de vidros, IGBD (International Glazing Database), e permite calcular a Tvis e o FS do vidro de acordo com procedimentos normativos consagrados. Dentro de um padrão estabelecido visando esses parâmetros, foram selecionados produtos disponíveis no mercado brasileiro. Os vidros selecionados para análise e seus índices de desempenho térmico (FS, U e Tvis) são mostrados na Tabela 2. Os vidros foram numerados de acordo com o Fator Solar, sendo o vidro #1 o que possui maior FS e o #14 o que possui menor FS. A última coluna da tabela apresenta o Índice de Seletividade (IS), que corresponde à razão entre Transmissão Visível e Fator Solar.

Tabela 2 – Vidros selecionados para a análise.

Vidro	Composição	Nome	FS	U W/(m ² .K)	Tvis	IS
#1	monolítico	FS 86 TL 90	0,86	5,89	0,90	1,05
#2	monolítico	FS 61 TL 43	0,61	5,79	0,43	0,71
#3	laminado com incolor	FS 59 TL 72	0,59	5,63	0,72	1,21
#4	monolítico	FS 57 TL 52	0,57	5,56	0,52	0,91
#5	monolítico	FS 46 TL 37	0,46	5,57	0,37	0,80
#6	monolítico	FS 43 TL 76	0,43	3,23	0,76	1,76
#7	laminado com incolor	FS 39 TL 47	0,39	5,63	0,47	1,20
#8	monolítico	FS 35 TL 67	0,35	3,23	0,67	1,91
#9	laminado com incolor	FS 35 TL 39	0,35	5,63	0,39	1,12
#10	monolítico	FS 29 TL 55	0,29	3,14	0,55	1,90
#11	monolítico	FS 28 TL 20	0,28	4,88	0,20	0,71
#12	laminado com incolor	FS 27 TL 13	0,27	5,70	0,13	0,48
#13	laminado com verde	FS 26 TL 33	0,26	5,63	0,33	1,29
#14	monolítico	FS 22 TL 14	0,22	4,24	0,14	0,63

Para as simulações, as propriedades dos vidros foram inseridas no programa computacional *EnergyPlus* através do objeto “*WindowMaterial:Glazing*”. As simulações foram executadas com uso deste objeto, pois ele permite detalhar as propriedades ópticas dos vidros, as quais eram conhecidas por serem produtos existentes no mercado brasileiro. Estas informações são necessárias para este tipo de análise com atenção especial ao comportamento térmico dos vidros. As propriedades utilizadas no estudo são: transmissão solar (Tsol), reflexão solar pela face externa (Rsol1), reflexão solar pela face interna (Rsol2), reflexão visível pela face externa (Rvis1), reflexão visível pela face interna (Rvis2), emissividade infravermelha da face interna (Emis1) e emissividade infravermelha da face externa (Emis2). Os dados de cada vidro utilizado estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades dos vidros analisados.

Nº	Esp.(mm)	Tsol	Rsol1	Rsol2	Rvis1	Rvis2	Emis1	Emis2
#1	3,00	0,84	0,08	0,08	0,08	0,08	0,840	0,840
#2	6,00	0,46	0,05	0,05	0,05	0,05	0,837	0,837
#3	8,00	0,52	0,17	0,14	0,09	0,09	0,837	0,837
#4	6,00	0,48	0,13	0,16	0,17	0,17	0,837	0,784
#5	6,00	0,31	0,16	0,22	0,21	0,18	0,837	0,760
#6	6,00	0,38	0,29	0,43	0,06	0,04	0,837	0,037
#7	8,00	0,31	0,34	0,27	0,25	0,19	0,837	0,837
#8	6,00	0,29	0,33	0,50	0,12	0,11	0,837	0,037
#9	8,00	0,26	0,36	0,27	0,31	0,19	0,837	0,837
#10	6,00	0,23	0,36	0,52	0,15	0,18	0,837	0,013
#11	6,00	0,17	0,25	0,27	0,33	0,25	0,837	0,545
#12	8,00	0,11	0,24	0,31	0,28	0,38	0,840	0,840
#13	8,00	0,15	0,40	0,13	0,26	0,19	0,837	0,837
#14	6,00	0,12	0,29	0,42	0,32	0,4	0,837	0,337

3.3. Seleção dos climas

As simulações computacionais foram realizadas para três climas brasileiros. As cidades escolhidas foram Porto Alegre, São Paulo e Salvador. A seleção dos climas foi definida com base nos principais fatores climáticos que influenciam o desempenho de uma janela: a radiação solar incidente na fachada dos edifícios e a diferença entre a temperatura interna e externa do ar. Assim, as cidades representativas dos climas brasileiros foram escolhidas de acordo com sua latitude, disponibilidade de arquivo climático para simulação, radiação solar horizontal global e temperatura do ar externo ao longo do ano. Foram utilizados arquivos climáticos do tipo TRY disponibilizados pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

O clima de Porto Alegre é caracterizado por um verão quente e um inverno frio, que é classificado como subtropical úmido. A latitude da cidade é $-30^{\circ} 01' 59''$, longitude $-51^{\circ} 13' 48''$ e altitude de 3,00m. São Paulo também é classificado como subtropical úmido, porém apresenta um clima mais ameno. Sua latitude é $-23^{\circ} 32' 51''$, longitude $-46^{\circ} 38' 10''$ e altitude 760,00m. Salvador tem um clima predominantemente quente. É uma cidade litorânea e o clima é definido como atlântico tropical. Sua latitude é $-12^{\circ} 58' 16''$, longitude $-38^{\circ} 30' 39''$ e altitude 8,00m. As médias mensais da temperatura ao longo do ano e a média anual da radiação solar global diária brasileira das três cidades analisadas pode ser vista na Figura 2.

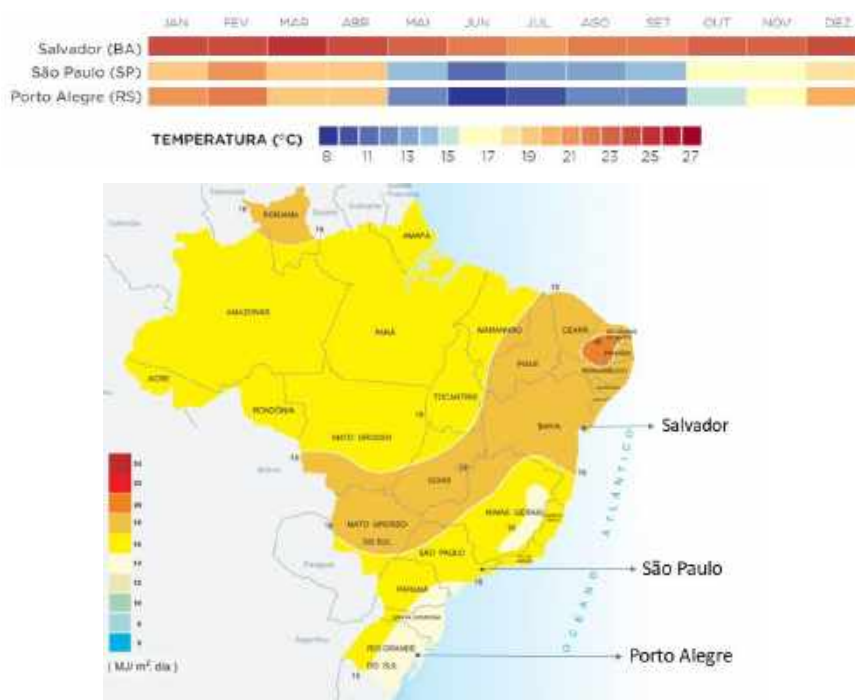


Figura 2 – Média mensal da temperatura ao longo do ano das três cidades analisadas e mapa solarimétrico com a média anual da radiação solar global diária brasileira (Departamento de Energia Nuclear, UFPE).

3.4 Simulação

Para as simulações computacionais foi utilizado o programa *EnergyPlus*. Foram executadas 14 simulações (1 para cada vidro) para cada clima (3 climas), totalizando 42 simulações para a HIS. No caso do PTP, também foram executadas 14 simulações (1 para cada vidro) para cada clima (3 climas), porém o modelo foi rotacionado para posicionar a janela em cada direção geográfica (Norte, Sul, Leste e Oeste), resultando em 168 execuções. Logo, foram executadas 210 simulações no total.

Os modelos foram condicionados artificialmente com o sistema de condicionamento de ar de expansão direta, representado no *EnergyPlus* com objetos do tipo PTHP (*Packaged Terminal Heat Pump*), equivalente ao uso de aparelhos *splits*. O sistema possui COP 3,0 W/W (*coefficient of performance*) e seu termostato foi configurado com *setpoint* de aquecimento em 20°C e de resfriamento em 24°C, conforme Tabela 4. Nesta configuração, o programa considera um sistema de condicionamento individual para cada zona térmica. No caso do PTP o sistema foi dimensionado para funcionar 24h por dia, todos os dias da semana. Como o HIS foi dimensionado para que se comporte como uma edificação real, o ar condicionado foi considerado apenas nos dormitórios e ligado à noite, das 24h às 7h, todos os dias da semana.

Tabela 4 – Características do Sistema de Condicionamento de Ar (Pinto, 2017).

Tipo	PTHP (<i>Packaged Terminal Heat Pump</i>), equivalente a um aparelho Split.
COP	3,0 W/W
Setpoints	Aquecimento: 20°C Resfriamento: 24°C
Capacidade	Definida pelo auto dimensionamento do <i>EnergyPlus</i> .
Renovação de ar	0,0075 m³/s por pessoa
Taxa de infiltração	0,3 trocas de ar por hora

3.5 Análise dos dados e classificação de desempenho

Foi extraído, dos dados de saída da simulação, o consumo anual de energia para aquecimento e resfriamento proporcionado por cada um dos 14 vidros nos dois modelos arquitetônicos. Depois disso, os dados foram tratados em planilhas eletrônicas. Este procedimento foi repetido para cada uma das três cidades. Logo após foi feita uma classificação da economia de energia proporcionada por cada vidro para aquecimento e resfriamento em um *ranking* de desempenho. Esta classificação de desempenho proposta no trabalho visa informar quanto (em %) o vidro analisado é melhor que o vidro de referência em termos de economia de energia para aquecimento e resfriamento. Para isto, a classificação foi desenvolvida da seguinte forma: primeiramente, foi identificado qual o vidro que proporcionou maior consumo para aquecimento e qual o que proporcionou maior consumo para resfriamento e estes foram utilizados como os vidros de referência. Na sequência, foi aplicada a Equação 1 para encontrar o percentual de economia de energia proporcionado por cada vidro em relação ao vidro de referência – em aquecimento e resfriamento separadamente.

$$P = [1 - (V_a/V_r)] \cdot 100$$

Equação 1

Onde:

P = percentual de economia de energia em relação ao vidro de referência, [%]

V_a = consumo anual do modelo com o vidro analisado [kWh]

V_r = consumo anual do modelo com o vidro de referência [kWh]

A mesma classificação de desempenho foi criada para o PTP e para a HIS e em seguida as duas classificações foram comparadas e analisadas. Para esta análise foi calculado e adotado o R², que é um Coeficiente de Determinação que compara os valores “y” estimados e reais e os intervalos no valor de 0 a 1. Se o resultado for 1, existe uma correlação perfeita no exemplo — não há diferença entre o valor “y” estimado e o valor “y” real. No outro extremo, se o coeficiente de determinação for 0, a equação de regressão não será útil na previsão de um valor “y”. Também foi calculada a média do consumo anual, o desvio e o erro padrão dos resultados apresentados através das simulações dos dois modelos. O erro padrão é uma medida da quantidade de erro na previsão de “y” para um “x” individual.

4. RESULTADOS

A comparação dos resultados do consumo anual e da economia de energia em resfriamento e aquecimento proporcionada por cada tipo de vidro analisado, podem ser vistas nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. São apresentados os dados obtidos com as simulações para cada cidade considerada. Os vidros de referência foram os que apresentaram maior consumo para resfriamento e aquecimento. No caso de resfriamento, o vidro FS 86 TL 90 (#1), que é o transparente comum e possui alto FS, foi utilizado como vidro de referência. No caso de aquecimento, o vidro FS 26 TL 33 (#13), que é um vidro de controle solar e possui baixo FS, foi utilizado como vidro de referência.

Observa-se que o vidro que proporcionou menor economia para aquecimento, foi um dos que apresentou maior economia para resfriamento, isso acontece, pois, o FS se comporta como um filtro do calor que entra para a edificação, indesejável na temporada de resfriamento e desejável na temporada de aquecimento, motivo pelo qual foi feita a classificação de vidros para resfriamento e aquecimento separadamente. Como Salvador tem um clima dominante de resfriamento, nenhum consumo de energia para aquecimento foi relatado. Ao analisar as Tabelas 5 e 6 é possível observar que existe um comportamento análogo entre o PTP e a HIS.

Tabela 5 – Comparação do consumo anual de energia (em kWh) em resfriamento e aquecimento de cada tipo de vidro nas três cidades simuladas.

Vidro	Porto Alegre		São Paulo		Salvador		Porto Alegre		São Paulo	
	Resfriamento kWh		Resfriamento kWh		Resfriamento kWh		Aquecimento kWh		Aquecimento kWh	
	HIS	PTP	HIS	PTP	HIS	PTP	HIS	PTP	HIS	PTP
#1	339	1138	155	1095	1089	2435	154	92	18	14
#2	319	847	139	775	1048	2064	162	129	21	22
#3	318	820	139	745	1047	2006	162	133	21	23
#4	318	818	138	744	1046	2005	162	131	21	23
#5	307	672	130	585	1024	1796	167	156	23	29
#6	306	653	130	595	1023	1610	164	103	22	17
#7	300	563	126	463	1009	1618	171	185	25	39
#8	299	547	124	477	1007	1458	168	124	23	22
#9	297	520	123	415	1002	1549	172	196	25	44
#10	293	474	121	398	996	1341	170	137	24	26
#11	295	519	122	425	998	1533	172	166	25	32
#12	294	532	121	428	995	1592	173	177	26	35
#13	289	432	118	321	986	1398	176	224	27	57
#14	289	462	118	367	986	1407	174	159	26	31

Tabela 6 – Comparação da economia de energia (em%) em resfriamento e aquecimento proporcionada por cada tipo de vidro nas três cidades simuladas.

Vidro	Porto Alegre		São Paulo		Salvador		Porto Alegre		São Paulo	
	Resfriamento %		Resfriamento %		Resfriamento %		Aquecimento %		Aquecimento %	
	HIS	PTP	HIS	PTP	HIS	PTP	HIS	PTP	HIS	PTP
#1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	59%	33%	75%
#2	6%	26%	10%	29%	4%	15%	8%	42%	21%	62%
#3	6%	28%	10%	32%	4%	18%	8%	40%	21%	59%
#4	6%	28%	11%	32%	4%	18%	8%	41%	21%	60%
#5	9%	41%	16%	47%	6%	26%	5%	30%	13%	50%
#6	10%	43%	16%	46%	6%	34%	7%	54%	19%	70%
#7	11%	51%	19%	58%	7%	34%	3%	17%	8%	30%
#8	12%	52%	20%	56%	7%	40%	5%	45%	14%	61%
#9	12%	54%	21%	62%	8%	36%	2%	12%	6%	22%
#10	13%	58%	22%	64%	9%	45%	3%	39%	10%	54%
#11	13%	54%	22%	61%	8%	37%	2%	26%	6%	43%
#12	13%	53%	22%	61%	9%	35%	2%	21%	3%	39%
#13	15%	62%	24%	71%	9%	43%	0%	0%	0%	0%
#14	15%	59%	24%	66%	9%	42%	1%	29%	3%	46%

Na Figura 3 estão apresentados gráficos da variação do consumo de energia anual em kWh proporcionado por cada vidro, para resfriamento e aquecimento, para a HIS e para o PTP, nas três cidades analisadas. Pode-se observar o comportamento análogo do consumo de energia anual em relação ao Fator Solar. Para resfriamento, quanto menor o Fator Solar do vidro, menor é o consumo de energia. Para aquecimento, esta tendência é inversa, quanto menor o Fator Solar do vidro, maior é o consumo de energia. Comparando a HIS e o PTP, pode ser observado que eles seguem a mesma tendência, apesar de apresentarem valores diferentes.

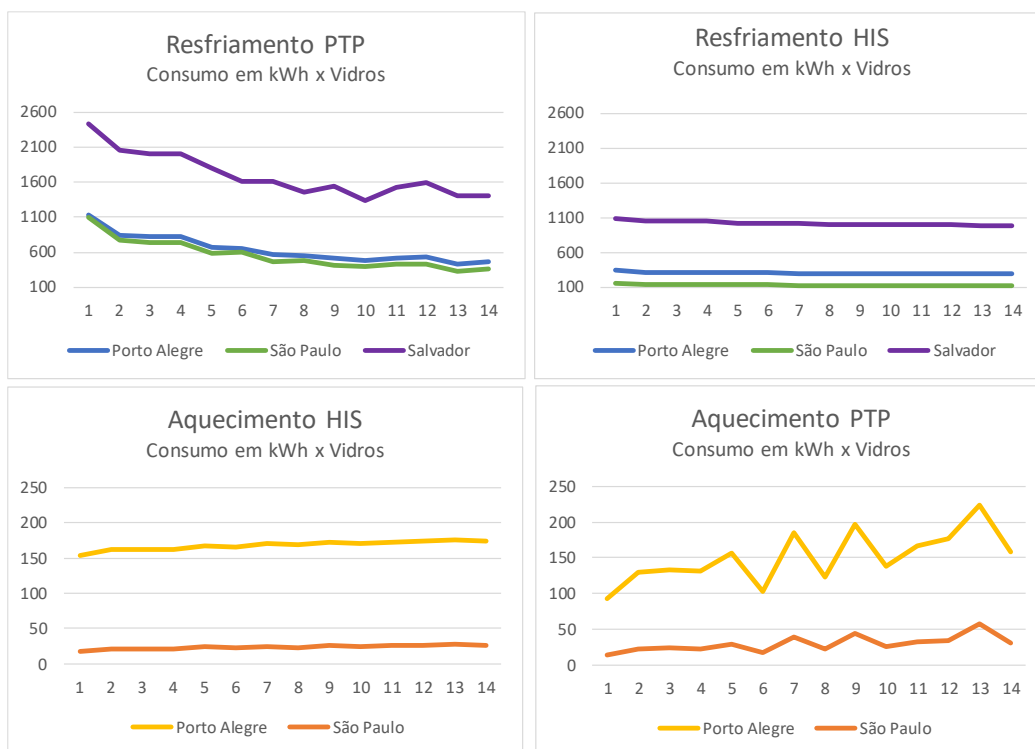


Figura 3: Variação do consumo de energia anual proporcionado por cada vidro.

Comparando os resultados de energia economizada por resfriamento para ambos os modelos, PTP e HIS, é possível observar que eles apresentam valores bem distintos, mas que seguem uma tendência nas três cidades, a qual pode-se ver mais claramente na Figura 4. A correlação entre os resultados dos dois modelos gerou valores de R^2 perto de 1: 0,9971 com erro médio de 0,60% para Porto Alegre, 0,9989 com erro médio de 0,63% para São Paulo e 0,9911 com erro médio de 0,68% para Salvador. O R^2 é o Coeficiente de Determinação, que compara os valores “y” estimados e reais e os intervalos no valor de 0 a 1. Se o resultado for 1, existe uma correlação perfeita no exemplo — não há diferença entre o valor “y” estimado e o valor “y” real. No outro extremo, se o coeficiente de determinação for 0, a equação de regressão não será útil na previsão de um valor “y”. Logo, obteve-se um bom R^2 nesta correlação.

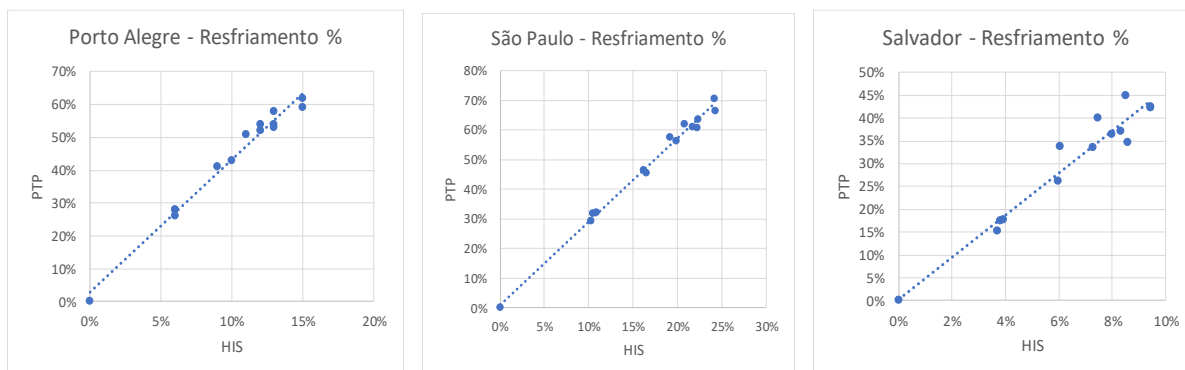


Figura 4 – Correlação entre os resultados de energia economizada por resfriamento obtidos através dos dois modelos de edificação para as três cidades analisadas.

Comparando o PTP e a HIS conforme os resultados de energia economizada por aquecimento obtidos, é possível observar que além de apresentarem valores diferentes, não seguem uma tendência linear como no caso do resfriamento. Pode ser observado mais claramente na Figura 5. A correlação resulta em um R² de 0,7256 para Porto Alegre e 0,7396 para São Paulo.

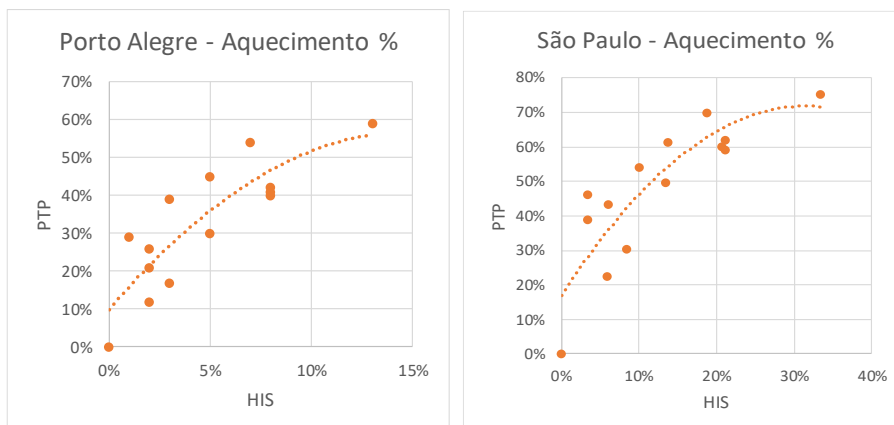


Figura 5 – Correlação entre os resultados de energia economizada por aquecimento obtidos através dos dois modelos de edificação para as cidades de Porto Alegre e São Paulo.

Supõem-se que estas diferenças se deram devido a diversos fatores, alguns deles são:

O sistema de condicionamento de ar foi modelado para funcionar apenas durante à noite no modelo HIS – quando há menos interferência do ganho de calor solar – e durante o dia inteiro no modelo PTP;

A influência dos vidros no caso da habitação de interesse social ser menor do que no protótipo pois a relação entre área de piso e área de janela é de aproximadamente 1/9 na HIS e de 1/6 no PTP;

A HIS possui beiral, que provoca proteção da radiação direta nas janelas e paredes externas, e logo fazer com que os mesmos tenham menor influência da radiação solar tanto na temporada de aquecimento quanto de resfriamento;

O PTP ter apenas uma parede em contato com o exterior, e as outras adiabáticas, provocando menos troca de calor com o ambiente externo ou com ambientes adjacentes. Enquanto que, as superfícies externas da HIS estão em contato com o ar, as internas em contato com as superfícies dos ambientes adjacentes e o piso em contato com o solo, fazendo com que haja troca de calor.

Além disso, foram calculados a média e o desvio padrão do consumo anual proporcionado por cada vidro para resfriamento e aquecimento nas três cidades. Os resultados estão apresentados na Tabela 7. Pode ser observado que o desvio padrão do modelo PTP é maior do que do modelo HIS.

Tabela 7 – Média e desvio padrão do consumo anual em resfriamento e aquecimento.

	Porto Alegre		São Paulo		Salvador		Porto Alegre		São Paulo	
	Resfriamento kWh	Resfriamento kWh	Resfriamento kWh	Resfriamento kWh	Resfriamento kWh	Resfriamento kWh	Aquecimento kWh	Aquecimento kWh	Aquecimento kWh	Aquecimento kWh
	HIS	PTP	HIS	PTP	HIS	PTP	HIS	PTP	HIS	PTP
Média (kWh)	305	643	129	559	1018	1701	168	151	24	29
Desvio Padrão (kWh)	14	199	11	214	30	317	6	37	3	11

Também é possível observar que o consumo anual por resfriamento e aquecimento proporcionado pelos diferentes tipos de vidro varia mais em relação à média no PTP do que na HIS. Sendo assim, é possível concluir que os tipos de vidro tem uma maior influência no consumo anual no PTP do que na HIS e isso provavelmente acontece pois uma grande parcela do consumo anual da HIS resulta das trocas térmicas que acontecem não apenas pelas paredes onde estão inseridas as janelas, mas também pelas outras superfícies (teto, piso, demais paredes...), fazendo com que a parcela do consumo anual de energia por aquecimento e resfriamento influenciada pelos vidros seja menor. No PTP a única parede que possui troca térmica com o exterior é a que está inserida a janela, as demais são consideradas adiabáticas, fazendo com que os vidros sejam responsáveis pela maior parcela do consumo de energia anual por resfriamento e aquecimento.

5. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta a primeira fase de um novo método de etiquetagem de desempenho de janelas para o setor residencial brasileiro. Três cidades foram selecionadas nesta primeira análise para representar as diferentes condições meteorológicas brasileiras, especialmente quanto à radiação solar, devido à variação de latitude.

No presente artigo uma classificação de desempenho de vidros foi gerada a partir de simulação paramétrica correlacionando o consumo de energia para aquecimento e resfriamento de um protótipo arquitetônico e de uma habitação de interesse social, como forma de verificar a utilização deste protótipo em todos os climas brasileiros.

Os gráficos gerados a partir desta comparação mostraram que no caso de resfriamento o protótipo está se comportando conforme uma tendência em relação a habitação de interesse social, apresentando bons valores de R^2 (0,9397, 0,9919 e 0,9948). No caso de aquecimento isto não acontece, os valores de R^2 se apresentaram mais baixos (0,7256 e 0,7356).

Logo, o protótipo não seguiu uma tendência linear em economia de energia por aquecimento, em razão disso esta pesquisa seguirá e mais simulações e testes serão realizados para se chegar a um modelo ideal para este tipo de análise.

Em pesquisas futuras pretende-se incluir o consumo de energia por iluminação. Visto que o vidro da janela pode reduzir drasticamente o ganho de calor solar, mas a transmissão de luz também pode ser reduzida para níveis indesejáveis para edificações residenciais. Assim, um bom sistema de etiquetagem para o Brasil deve favorecer as janelas que são capazes de controlar o ganho de calor, mantendo bons níveis de transmissão da luz do dia. Ainda pretende-se estabelecer a classificação de desempenho energético para uma quantidade maior de especificações de vidro e incluir as propriedades dos perfis das janelas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821: Esquadrias para edificações**. Rio de Janeiro, 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil**. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 28/01/2018.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2015**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 28/01/2018.
- DUER, K. et al. Energy labelling of glazing and windows in Denmark: calculated and measured values. **Solar Energy**, v.73, n.1, p. 23-31. 2002.
- LEE J.W.; JUNG H.J.; PARK J.Y.; LEE J.B.; YOON Y. Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. **Renewable Energy**, v. 50, p. 522-531, 2013.
- LOPES, M. et al. **O uso da simulação no processo de avaliação do nível de eficiência energética de edifícios comerciais**. XI CONBRAVA. São Paulo, 2009.
- MACCARI, A.; ZINZI, M. Simplified algorithms for the Italian energy rating scheme for fenestration in residential buildings. **Solar Energy**, v. 69, n. 6, p. 75-92, 2001.
- PINTO, M. P. **Desempenho energético de edifícios de escritórios com vidros insulados em climas brasileiros**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Arquitetura, UFSC, 2017.
- ROUSSEU, M. Z. **Windows: Overview of issues**. **Proceedings of Building Science Insight**, Canada, 1988.
- SUN Y.; WU Y.; WILSON R. A review of thermal and optical characterisation of complex window systems and their building performance prediction. **Applied Energy**, v. 222, p. 729-747, 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.