

AVALIAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR FIXOS E AUTOMATIZADOS PARA EDIFÍCIO RESIDENCIAL

ASSESSMENT OF FIXED AND AUTOMATED SOLAR PROTECTION DEVICES FOR RESIDENTIAL BUILDING

Rodrigo Karini Leitzke¹

Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil, rodrigokarinileitzke@gmail.com

Eduardo Grala da Cunha²

Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil, eduardogralacunha@yahoo.com.br

Oberdan Mendonça da Silva³

Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil, oberdan_ms@hotmail.com

Antonio César Silveira Baptista da Silva⁴

Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil, antoniocesar.sbs@gmail.com

Carolina Machado Beltrame⁵

Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil, carolinabeltrame.arquiteta@gmail.com

Resumo

Os sistemas de proteção solar cumprem um importante papel no controle seletivo de radiação solar no ambiente interior, interferindo, portanto, no desempenho luminoso, térmico e energético das edificações. Este artigo tem como objetivo realizar um estudo comparativo do desempenho de sistemas de proteção solar (fixos e móveis mecanizados) de uma edificação com elevado nível de isolamento térmico utilizando para isso a ferramenta *Energy Management System (EMS)* do *software Energy Plus*. As estratégias metodológicas propostas envolvem a análise da configuração de oito diferentes sistemas de proteção solar para os fechamentos transparentes, modelagem dos *brise-soleils* fixos, implementação do EMS para *brise-soleils* mecanizados e por fim, análise dos resultados das simulações realizadas. Foram avaliados os percentuais de conforto térmico e de consumo de energia elétrica considerando as zonas bioclimáticas brasileiras 1 e 8. Dentre os casos testados, o modelo com a utilização de persianas externas automatizadas pelo sistema EMS nos fechamentos transparentes apresentou os maiores percentuais de conforto térmico e o menor consumo de energia elétrica nas duas zonas bioclimáticas brasileiras analisadas.

Palavras-chave: Proteção Solar. Energy Management System. EnergyPlus. Simulação Computacional.

Abstract

Solar protection systems play a significant role in the selective control of solar radiation in the interior space interfering, therefore, on the lighting, thermal and energy performance of buildings. This paper aims to conduct a comparative study of the performance of a solar protection system (fixed and automated mobile) of a building with a high level of thermal insulation using the Energy Management System (EMS) tool of the Energy Plus software. The methodological strategies proposed to involve the analysis of the configuration of eight different solar protection systems for the transparent closures, fixed brise-soleils, EMS implementation and, finally, analysis of the results of the simulations. The percentages of thermal comfort and electric energy consumption were evaluated considering the Brazilian bioclimatic zones 1 and 8. Among the cases tested, the model with external blinds automated by the EMS system at the windows presented the highest percentage of thermal comfort, and the lowest consumption of electric energy in the two analyzed Brazilian bioclimatic zones..

Keywords: Solar protection. Energy Management System. Energy Plus. Computer Simulation.

How to cite this article:

LEITZKE, Rodrigo Karini et al. Avaliação de dispositivos de proteção solar fixos e automatizados para edifício residencial. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 59-72, mar. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em:

<<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649657>>. Acesso em: 09 set. 2017.

doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i1.8649657>.

Introdução

Nos últimos anos tivemos alguns avanços significativos no âmbito do desempenho termoenergético das edificações residenciais no Brasil com a publicação da NBR 15220 em 2005 (ABNT, 2005) e NBR 15575 em 2008 (ABNT, 2008, 2013). Diversos estudos como Ferreira, Souza e Assis (2017), Soares (2014), Soares e Silva (2017), Oliveira (2012), Chvatal (2014) analisaram os limites das normas de desempenho e indicaram a necessidade de revisão desses valores. Verifica-se que envelopes mais isolados e, até certo limite, mais pesados, permitem um melhor desempenho térmico de edificações residenciais. Nesse contexto Dalbem et al (2017) analisou as possibilidades de utilização de edificações com elevado isolamento térmico no envelope nas Zonas Bioclimáticas mais frias do país. Observou as possibilidades de adaptação do padrão Passive House ao contexto do sul do Brasil verificando as transmitâncias térmicas mínimas em edificação residencial com vistas a aumentar o desempenho termoenergético e minimizar os problemas de sobreaquecimento.

Uma edificação com elevado nível de isolamento térmico pode ter problemas de sobreaquecimento caso tenha fontes internas que gerem muito calor (caso dos edifícios de escritórios com elevada densidade de carga interna) ou que ganhem muito calor (por condução e/ou radiação solar direta do contexto exterior). No estudo de Dalbem et al (2017) a edificação residencial analisada apresentou taxas de sobreaquecimento (considerando como temperatura limite superior 26°C) entre 8,58% e 14,36%. Para minimizar os efeitos de sobreaquecimento em uma edificação com elevado nível de isolamento térmico no contexto das Zonas Bioclimáticas mais frias do país (1, 2 e 3) deve-se possuir um controle de radiação solar seletivo e eficiente, possibilitando o aproveitamento da radiação solar no período de inverno, e bloqueando-a em boa parte do ano. No caso das Zonas Bioclimáticas sem período frio, os sistemas de proteção solar devem proteger o ambiente interior ao longo do ano. Este trabalho se insere no âmbito da discussão da eficiência de sistemas de controle de radiação solar observando as potencialidades de dispositivos mecanizados em comparação aos sistemas tradicionais implementados em edificação de elevado nível de isolamento térmico. No próximo item – Fundamentação, discutem-se inicialmente conceitos básicos sobre dispositivos de proteção solar, e posteriormente apresentam-se os resultados de alguns estudos desenvolvidos em diferentes climas e locais no globo.

Fundamentação

Pode-se reduzir o consumo de energia de uma edificação através da incorporação de práticas de racionalização

desde o início do projeto até a execução. Uma possibilidade de obter esta eficiência na arquitetura é utilizar as recomendações bioclimáticas para o local em que o edifício está inserido (OLGYAY; OLGAY, 1963), analisando as possibilidades que visam o tratamento da envoltória adequado à região climática, melhorando as trocas térmicas para a melhoria do conforto térmico dos usuários (GIVONI, 1998). As edificações são responsáveis por 51% do consumo de energia elétrica no Brasil (EPE, 2016) e, neste sentido, com o objetivo de promover a eficiência energética dos edifícios, uma das possibilidades a ser discutida é a otimização de dispositivos de sombreamento. O *brise-soleil* é um dispositivo de controle de radiação solar que auxilia no desempenho termoenergético das edificações e pode ser projetado de variadas formas. Sua influência pode ser diretamente em parte do envoltório da edificação ou por inteiro na própria fachada, na difusão e no controle da entrada de luz visível e como controlador dos ganhos de radiação (ondas curtas) para atenuar o efeito estufa dos ambientes internos, diminuindo a dependência dos controladores artificiais de ar. Assim, segundo Bittencourt (1988), a solução correta de um *brise-soleil* é fruto da combinação adequada dos seguintes fatores: eficiência ambiental, plasticidade, privacidade, luminosidade, visibilidade, ventilação, durabilidade, custos de implantação e manutenção. Isso contribui diretamente para o desempenho térmico e luminoso dos ambientes com soluções passivas.

A eficiência energética é medida e associada com a busca pelo máximo nível de desempenho térmico e luminoso dos ambientes, com o menor consumo de energia. Nesse sentido, o *brise-soleil* encaixa-se como elemento arquitetônico que pode maximizar o nível de eficiência energética das edificações. Todavia, para um bom dimensionamento do dispositivo, considerando as Zonas Bioclimáticas mais frias do país, leva-se em conta o ano inteiro, de forma a manter a temperatura interna da edificação entre 18°C a 29°C para países em desenvolvimento. No caso de temperaturas acima de 20°C, é necessário o uso do sombreamento, ou seja, o conforto térmico só é possível quando há bloqueio da radiação direta sobre as pessoas (GIVONI, 1998). Concomitante a isso, pelo método de Olgyay e Olgyay (1963), o conforto térmico só é possível próximo aos 29°C se as pessoas estiverem na sombra. Assim, um aspecto de grande importância para o uso de proteções solares é seu dimensionamento adequado. Utilizar o mesmo ângulo de sombreamento para todas as orientações não é o mais indicado para avaliar o aproveitamento de luz natural, devido às variações geométricas da trajetória aparente do sol ao longo do dia. Cada orientação demanda um tipo de proteção específica, seja fixa ou móvel.

Diversos trabalhos já realizados investigaram a redução no consumo de energia elétrica a partir do uso de proteções solares. Em um estudo desenvolvido por Datta (2001), diferentes comprimentos e inclinações de brises fixos externos foram testados para quatro cidades da Itália. O dimensionamento dos dispositivos foi avaliado considerando as cargas de energia primária ao longo do ano, buscando identificar o melhor projeto de acordo com as condições climáticas do local. Os resultados demonstraram que, para Milão, 70% dos ganhos são cortados no verão, enquanto que apenas 40% é cortado no inverno usando o sombreamento ótimo, o que é desejável. Gratia (2007) apresentou estratégias de sombreamento para fachadas de dupla face, afirmando que proteções solares externas são mais eficazes do que dispositivos de sombreamento internos e, no caso da fachada de dupla face, as persianas podem ser inseridas em sua cavidade. Seu trabalho buscou avaliar a influência da posição e da cor das persianas sobre o consumo de resfriamento do ar condicionado de um edifício de escritórios. Uma economia de 23,2% no consumo de resfriamento foi alcançada com o melhor posicionamento das persianas na fachada, motivando a utilização de um dispositivo de sombreamento entre vidros para este trabalho. Já Kim et al. (2012), a fim de reduzir o impacto da radiação solar, propôs a configuração experimental de um dispositivo de sombreamento externo em apartamentos na Coreia do Sul. A avaliação do dispositivo considerou a economia de energia para aquecimento e arrefecimento comparando com dispositivos convencionais de sombreamento para iluminação natural. A configuração experimental apresentou os menores índices de consumo de energia para aquecimento e o melhor percentual de conforto térmico entre os casos.

Ainda sobre avaliações de dispositivos de sombreamento em residências, Moeseke (2005) considerou o uso de dispositivos móveis de sombreamento externo em edifícios residenciais na Bélgica. Os resultados das otimizações nos dispositivos de sombreamento apresentaram melhoras significativas no desempenho da edificação, salientando a importância de uma discussão aprofundada sobre o uso de dispositivos de sombreamento dimensionados para o oeste europeu. Quanto ao comportamento dos dispositivos de sombreamento ao longo do tempo, Haldi (2009) observou durante seis anos os parâmetros térmicos, visuais e de ocupação, a fim de definir um modelo preciso de sombreamento para prédios de escritórios. Os valores obtidos durante o período de observação basearam-se nos valores de iluminância interna e externa obtidos, buscando precisão preditiva nas simulações. Os dados obtidos foram aplicados em um modelo computacional que comprovou a relevância da modelagem precisa para o sombreamento. Trazendo a discussão para o contexto climático brasileiro, em um

caso-base de um escritório de Florianópolis, com brises verticais e horizontais, registrou-se até 11,6% de redução no consumo de energia (SIGNOR, 1999).

O objetivo deste trabalho é avaliar e comparar o nível de conforto térmico e o consumo de energia elétrica de uma edificação com elevado nível de isolamento térmico com oito diferentes sistemas de proteção solar em duas condições climáticas distintas (Zona Bioclimática Brasileira 1, que possui um inverno bem definido, com temperaturas mais baixas; e a Zona Bioclimática Brasileira 8, que apresenta temperaturas mais elevadas por boa parte do ano). Otimizando o sistema de proteção solar com aplicação de persianas com diferentes agendas de uso, brises fixos e automatização em persianas, caracterizando oito propostas (Quadro 1), a contribuição do trabalho será enfatizar as diferentes possibilidades de dispositivos de sombreamento nos dois contextos climáticos, com ênfase na automação de sistemas de controle solar.

Método

O desenvolvimento da pesquisa seguiu quatro etapas para sua execução. Na primeira etapa foram definidas as alterações propostas pelo trabalho, descritas no Quadro 1. Em seguida, iniciou-se a etapa de modelagem dos brises fixos, considerando o sombreamento definido neste trabalho pelo tópico “Dimensionamento dos Dispositivos de proteção solar fixos – *Brise-Soleil*”. Para a terceira etapa foram desenvolvidas as alterações que envolviam aplicação do EMS (*Energy Management System*) no software *EnergyPlus*. A aplicação da ferramenta buscou automatizar o processo de abertura e fechamento da persiana, discutidos no item de “Configuração do Energy Management System (EMS)”. Por último, foram realizadas as simulações dos casos e a análise dos dados obtidos.

Para a realização das simulações foi utilizado o software *EnergyPlus*, versão 8.4.0. A modelagem da edificação foi desenvolvida pela interface gráfica do SketchUp 2015, utilizando o plug-in Legacy OpenStudio 1.0.14. Os arquivos climáticos utilizados para a simulação foram os de Curitiba-PR, com latitude 25° 25' 40" Sul, Zona Bioclimática Brasileira 1, e Manaus-AM, com latitude 03° 06' 07" Sul, Zona Bioclimática Brasileira 8, disponíveis em LABEEE (2017).

No caso da Zona Bioclimática 1, foi feito o dimensionamento das proteções solares e do *brise* fixo, de modo a permitir a entrada da radiação solar direta durante o inverno e bloqueá-la no verão. Já para Zona Bioclimática 8, o dimensionamento das proteções solares e *brise-soleil* fixo, se deu de modo a bloquear a radiação solar durante os períodos mais quentes do ano. A forma foi confeccionada com base no estudo realizado nas cartas solares, croquis e posteriormente analisada no Programa

SUN TOOL da empresa *Autodesk*. Dessa forma, foram testados e apurados oito casos, descritos no Quadro 1, com suas respectivas variações de proteção solar nos fechamentos transparentes.

Quadro 1 – Descrição dos modelos estudados

Modelos	Descrição
Caso 01	Modelo com persianas internas automatizadas (EMS);
Caso 02	Modelo com persianas externas automatizadas (EMS);
Caso 03	Modelo com persianas automatizadas entre os vidros (EMS);
Caso 04	Modelo com brises fixos horizontais;
Caso 05	Modelo com persianas internas convencionais com agenda anual;
Caso 06	Modelo com persianas internas convencionais com agenda semestral;
Caso 07	Modelo com persianas internas convencionais com agenda quadrimestral;
Caso 08	Modelo sem dispositivos de sombreamento.

Fonte: Os autores

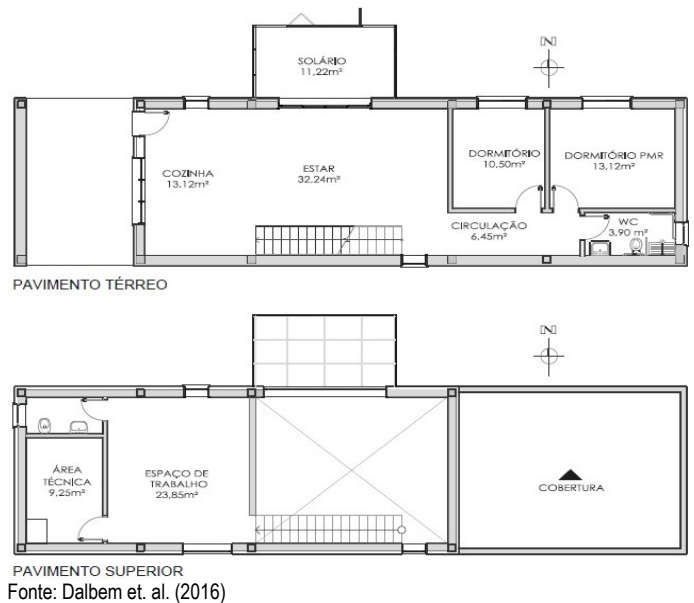
Descrição do edifício e modelagem

O projeto arquitetônico utilizado como referência é uma residência unifamiliar adaptada ao padrão Alemão *Passive House*, desenvolvida na pesquisa “CASA BIOCLIMÁTICA NZEB E QUALIDADE DO LUGAR: Entrelaçado experiências entre Portugal e Rio Grande do Sul/Brasil” (DALBEM, et al. 2016). Foi feito o dimensionamento das proteções solares de modo a permitir a entrada de radiação solar direta durante o inverno e bloquear no verão. O projeto foi desenvolvido com base em estratégias passivas de condicionamento térmico e seguindo critérios exigidos pela *Standard Passive House* (DALBEM, et al. 2016).

A residência possui 126,45 m² e foi projetada com dois pavimentos (Figura 1), sendo que no térreo estão a cozinha e sala de estar integrados, solário, dois dormitórios e banheiro, e no pavimento superior com área de trabalho, área técnica e lavabo. O projeto ainda contempla garagem e um solário localizado na orientação norte com cobertura e paredes translúcidas, com proteção solar na cobertura que permite aproveitar os ganhos de radiação solar para aquecimento passivo no inverno e bloquear no verão. Também poderá ser aberto para permitir a ventilação natural, durante o verão (DALBEM, et al. 2016). O projeto foi orientado sobre o eixo leste/oeste, maximizando a fachada norte, aumentando assim os ganhos de radiação solar no inverno e reduzindo os ganhos indesejáveis no verão. A área envidraçada corresponde a 24% da área opaca do edifício. O percentual de abertura na fachada

norte é de 24,95%, sul 5,93%, leste 1,97% e oeste 5,91% (DALBEM, et al. 2016).

Figura 1 – Projeto arquitetônico, plantas baixas com pavimento térreo e superior



Fonte: Dalbem et. al. (2016)

Configurações gerais do modelo

Para configuração das simulações, e considerando como estratégia simular um edifício ocupado, foram utilizados os valores padrões apresentados no RTQ-R (INMETRO, 2012), para ocupação, iluminação e uso de equipamentos. O padrão mínimo de ocupação adotado é de duas pessoas por dormitório e, na sala, a soma de todos os usuários. As rotinas de ocupação foram configuradas separadamente para os dias de semana e para os finais de semana, conforme INMETRO (2012). A taxa de metabolismo utilizada foi de 81 W/pessoa nos dormitórios e de 108 W/pessoa na sala/cozinha, conforme recomendado pelo RTQ-R (INMETRO, 2012). Já a densidade de potência instalada de iluminação foi de 6 W/m² na sala e de 5 W/m² nos dormitórios. As agendas de iluminação foram configuradas separadamente, para os dias de semana e para os finais de semana, com os valores estabelecidos pelo regulamento. A densidade de carga interna com equipamentos recomendada é de 1,5 W/m² para a sala, consideradas no período de 24 horas, durante todo o período da simulação. A temperatura média do solo foi calculada com o programa *Slab* vinculado ao *Energy Plus*, com base nos valores médios das temperaturas internas da edificação. O modelo de ventilação natural foi definido conforme o *AirFlowNetwork* do *EnergyPlus*, com as configurações de operação de aberturas e *setpoint* de operação de acordo com o RTQ-R (INMETRO, 2012), que recomenda a temperatura de termostato de 20°C. Ou seja, na configuração da abertura de janelas foi definido que, quando a temperatura interna alcançar o valor de 20°C e a

temperatura externa estiver entre 18 e 20°C, a janela é aberta.

Na configuração dos controles da ventilação natural observando o cálculo dos coeficientes de pressão foi definido o campo *SurfaceAverageCalculation* caracterizando que os coeficientes de pressão fossem calculados automaticamente. Cabe-se ressaltar que a configuração escolhida não é sensível às mudanças dos coeficientes de pressão em decorrência da presença de dispositivos de proteção solar nas esquadrias, os quais alterariam os coeficientes de pressão na fachada, o que caracteriza uma limitação do presente trabalho. Ainda referente à configuração do sistema de ventilação natural, foi definido para portas e janelas um coeficiente de descarga de 0,6 e uma área efetiva de ventilação de 0,9, observando que as janelas e portas são de abrir.

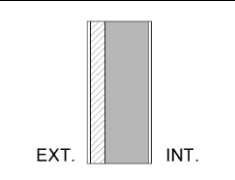
Para a análise da ventilação natural foi definido que o edifício seria ventilado naturalmente 24 horas por dia. Para

a análise do consumo da edificação, ou seja, edifício climatizado artificialmente, foi considerando um sistema de climatização artificial funcionando no período noturno entre 21h00min e 9h00min, e ventilado naturalmente entre 9h00min e 21h00min. Os dados de configuração do sistema são apresentados no Quadro 6.

Configuração da envolvente opaca

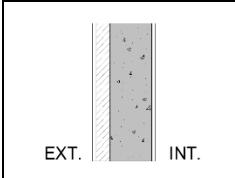
Os elementos construtivos da edificação foram adotados de modo a atender aos requisitos da *Standard Passive House*, observando à adaptação para climas quentes, onde a transmitância térmica deve ser próxima a 0,30 [W/(m².K)], para todos os elementos da envolvente opaca. Os quadros 2, 3 e 4 apresentam as propriedades térmicas dos materiais utilizados, e a transmitância térmica (U) do elemento de construção, considerando as resistências superficiais interna e externa, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Quadro 2 – Composição das paredes externas (ABNT, 2005)

	PAREDES EXTERNAS			Rsi= 0,13	Rse= 0,04
	Constituição	e (m)	λ (W/(mK))	R (m ² /(WK))	U (W/(m ² K))
	Reboco interno	0,02	1,15	0,02	0,31
	Tijolo Térmico Weber	0,24	0,22	1,07	
	Isolamento térmico - EPS	0,08	0,04	2,00	
	Reboco externo	0,02	1,15	0,02	

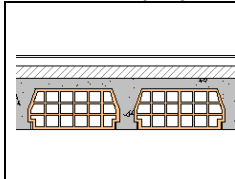
Legenda: e = espessura, λ = condutividade térmica, R= resistência térmica, U= transmitância térmica
Fonte: Dalbem et al. (2016)

Quadro 3 – Composição das paredes externas – tratamento das pontes térmicas (ABNT, 2005)

	PONTES TÉRMICAS			Rsi= 0,13	Rse= 0,04
	Constituição	e (m)	λ (W/(mK))	R (m ² /(WK))	U (W/(m ² K))
	Reboco interno	0,02	1,15	0,02	0,43
	Pilar/Vigas de concreto	0,24	1,75	0,14	
	Isolamento térmico - EPS	0,08	0,04	2,00	
	Reboco externo	0,02	1,15	0,02	

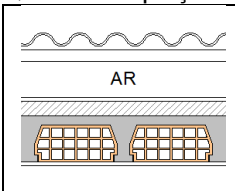
Legenda: e = espessura, λ = condutividade térmica, R= resistência térmica, U= transmitância térmica
Fonte: Dalbem et al. (2016)

Quadro 4 – Composição da laje de piso (ABNT, 2005)

	LAJE DE PISO			Rsi= 0,17	Rse= 0,17
	Constituição	e (m)	λ (W/(mK))	R (m ² /(WK))	U (W/(m ² K))
	Revestimento cerâmico	0,01	0,90	0,01	0,40
	Argamassa de assentam.	0,04	1,15	0,02	
	Isolamento Térmico	0,08	0,04	2,00	
	Laje pré-moldada	0,25	-	0,19	

Legenda: e = espessura, λ = condutividade térmica, R= resistência térmica, U= transmitância térmica
Fonte: Dalbem et al. (2016)

Quadro 5 – Composição da cobertura (ABNT, 2005)

	COBERTURA			Rsi= 0,10	Rse= 0,04
	Constituição	e (m)	λ (W/(mK))	R (m ² /(WK))	U (W/(m ² K))
	Reboco interno	0,02	1,15	0,02	0,41
	Laje pré-moldada	0,25	-	0,19	
	Isolamento térmico - EPS	0,08	0,04	2,00	
	Reboco externo	0,02	1,15	0,02	

Legenda: e = espessura, λ = condutividade térmica, R= resistência térmica, U= transmitância térmica
Fonte: Dalbem et al. (2016)

Quadro 6 – Parâmetros utilizados na simulação

Parâmetros	Valores Adotados			
	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala de Estar / Cozinha	Escritório
Padrão de uso - Ocupação (pessoa/m ²)	0,13	0,18	0,07	0,07
Padrão de uso - Iluminação (W/m ²)	5	5	6	6
Padrão de uso – Equipamentos (W/m ²)	Desligado	Desligado	1,50	1,50
Setpoint de aquecimento (°C)	22°			
Setpoint de resfriamento (°C)	24°			
Coeficiente de Performance do sistema de ar - (COP) W/W	Aquecimento		Resfriamento	
	2,75		3,00	

Fonte: adaptado do RTQ-R, INMETRO (2012) Configuração dos fechamentos transparentes

As esquadrias adotadas são compostas por vidros duplos com vidro Planitherm Ultra N de 6 mm, camada de ar de 14 mm e vidro Planilux de 6 mm, apresentando fator solar (FS) de 0,57 e transmitância térmica (U_{vidro}) de 1,5 [W/(m².K)]. A caixilharia é em PVC, na cor branca, com transmitância térmica ($U_{\text{caixilharia}}$) de 1,5 [W/(m².K)] (DALBEM, et. al. 2016).

Configuração do Energy Management System (EMS)

O EMS é um recurso do *EnergyPlus* que permite realizar rotinas de execução automatizadas para os modelos desenvolvidos pela ferramenta. Utilizando suas funcionalidades é possível realizar operações complexas para supervisionar o comportamento da edificação, bem como definir critérios para obter informações específicas durante o processo de simulação. Para isso, uma série de rotinas precisam ser definidas, onde as funcionalidades desejadas são implementadas e acionadas para o processo de simulação. Neste trabalho, a aplicação do EMS voltou-se ao uso de dispositivos de bloqueio solar nas aberturas (controle automatizado da persiana).

As funcionalidades do EMS baseiam-se na linguagem de programação funcional *Erlang*. Suas implementações possuem uma sintaxe simples e comandos básicos de programação computacional, facilitando o processo de desenvolvimento (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2016). Para o processo de desenvolvimento do algoritmo aplicado no *EnergyPlus* utilizado na chamada do EMS (ativação da configuração), foram convencionados dois limites de temperaturas para estimar o período em que as alterações sejam realizadas. Para atuá-la de acordo com a temperatura externa, os valores estipulados como limites foram 18°C e 29°C, de acordo com Givoni (1998). O dispositivo atuará parcialmente entre essas temperaturas, todavia, abaixo de 18°C o dispositivo é desativado, e acima de 29°C o dispositivo é acionado, configurando um bloqueio total. O comportamento do EMS varia ao longo do ano de maneira parcial. Quando o valor for 1, o dispositivo de sombreamento se encontra totalmente ativado. Quando o valor for 0, o dispositivo está inativo, já

para valores intermediários (de 0 a 1), o comportamento do dispositivo ocorre de maneira parcial.

Para a aplicação estudada, a utilização do EMS baseou-se no fato de que o dispositivo apresenta a possibilidade de automatização da persiana de maneira parcial entre os valores de temperatura estipulados. Isto é, os resultados obtidos durante a simulação, apresentam valores entre 0 e 1 (diferente de uma agenda de sombreamento convencional do *EnergyPlus*, onde apenas valores fixos podem ser atribuídos para o sombreamento da edificação).

Dimensionamento dos Dispositivos de proteção solar fixos – *Brise-Soleil*

Inicialmente, foi definido na carta solar os meses do ano e as horas do dia com eficiência total do protetor solar. Nesse momento entraram questões de projeto onde foram considerados o tipo de clima local (os horários de maior intensidade solar e temperatura para cada orientação), a atividade do ambiente e o propósito de otimização que se quer chegar.

Para o caso da ZB1 o tempo estimado de sombreamento da orientação norte funcionou das 10h00min às 14h00min de 23 de outubro a 21 de fevereiro. Nesta orientação o dispositivo de proteção, placa horizontal, contempla as aberturas dos dormitórios e sala de estar. Os *brises* ficaram com 1,5 m de largura para todas as aberturas e 4,96 m de comprimento para os dormitórios. No caso da ZB8 o sombreamento é total durante todo o ano. A análise da eficiência dos *brises* foi realizada no *software SUN TOLL* da *Autodesk*. De acordo com o *software*, percebe-se 100% da eficiência do protetor nos períodos mais críticos da fachada norte, em que se vê a maior altura solar, solstício de verão às 12h00min, e na menor altura, em 21 de fevereiro até as 16h00min conforme estipulado no cálculo de sombreamento.

Simulação Termoenergética

Após a modelagem da edificação, configuração e dimensionamento do sistema de proteção solar, o próximo passo foi a simulação termoenergética. Cada ambiente da

residência foi tratado como uma Zona Térmica. De acordo com o RTQ-R (INMETRO, 2012) são avaliados apenas os ambientes de permanência prolongada da residência. Neste caso, os ambientes analisados foram os dois dormitórios, sala de estar conjugada com cozinha e com o mezanino. A proposta de utilizar o RTQ-R como parâmetro para configuração das simulações reside no fato de considerarmos a edificação em operação, ou seja, ocupada.

Análise de conforto térmico e do consumo de energia elétrica

Embora caracterizado de forma sucinta no item Condições Gerais do Modelo, ressalta-se ainda que foram definidas duas situações para a edificação quanto à climatização: naturalmente ventilada (VN) e climatizada artificialmente (CA). Para o caso da edificação VN foi considerada a ventilação natural durante as 24 horas do dia com a abertura de janelas vinculadas ao *setpoint* de 20°C. No caso do edifício CA foi considerado um sistema de expansão direta ligado das 21h00min às 09h00min. O método utilizado para a avaliação do conforto térmico do ambiente foi o modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2010). Para a realização da análise, primeiramente, foram coletados a partir das simulações os dados de saída de temperatura operativa interna. Esses foram inseridos no software Microsoft Excel® e, com os dados de temperatura externa presentes no arquivo climático, foi calculada a temperatura neutra de conforto térmico mês a mês e o intervalo de conforto térmico com 80% de aceitabilidade.

A partir da definição da zona de conforto térmico e considerando a temperatura operativa do ambiente foi analisado ao longo de 8760 horas o percentual de horas em conforto e desconforto térmico. Para o desconforto por calor foi considerado os valores acima do limite de aceitabilidade e o desconforto por frio abaixo do limite. Essa metodologia foi aplicada para os oito casos, descritos anteriormente. Foram obtidas assim as horas de conforto térmico do ambiente com cada estratégia, conseqüentemente, como também a estratégia mais adequada para o ambiente em termos de conforto térmico segundo o modelo adaptativo.

O Modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 é válido somente para ambientes climatizados naturalmente. Esse modelo relaciona as temperaturas internas e externas do ambiente. Através da temperatura externa o modelo determina a temperatura operativa de conforto através da Equação 1:

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255 t_{ext} \quad \text{Equação 1}$$

Fonte: (ASHRAE 55, 2010)

Onde:

T_{oc} = Temperatura operativa de conforto;

T_{ext} = Temperatura média mensal externa.

Uma oscilação da temperatura operativa interna em relação à temperatura operativa de conforto entre +2,5 °C e -2,2°C estabelece uma aceitabilidade de 90%, e entre +3,5°C e -3,2°C uma aceitabilidade de 80% (ASHRAE 55, 2010). Sendo que a temperatura operativa interna pode ser calculada com base na realização de simulações termodinâmicas.

Resultados e discussão

Resultados considerando o conforto térmico

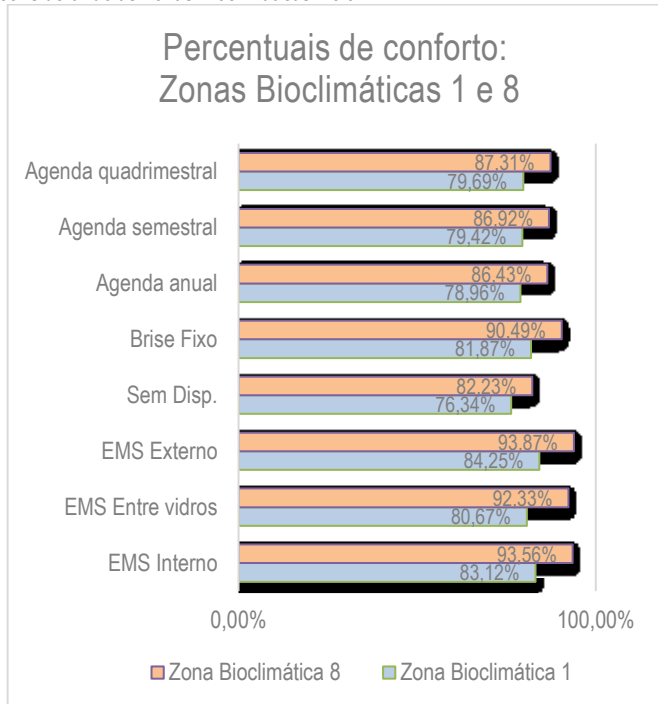
Inicialmente, destaca-se que o edifício ventilado naturalmente as 24 horas do dia apresentou elevados níveis de conforto térmico, tanto na Zona Bioclimática 1 quanto na Zona Bioclimática 8, independentemente da presença ou ausência de sistema de controle de radiação solar. Cabe-se ressaltar ainda que o edifício com elevado nível de isolamento térmico sem dispositivos de controle de radiação solar, tanto para a Zona Bioclimática 1, quanto para 8, apresenta o menor nível de conforto térmico, dentre as configurações analisadas, embora o nível de conforto térmico ainda seja elevado para ambas as zonas, 76,34% e 82,23% respectivamente. No caso da Zona Bioclimática mais quente, a 8, a diferença entre o nível de conforto térmico da edificação sem dispositivos de proteção solar e a edificação com proteção externa automatizada foi de 14,15%. Para a Zona Bioclimática mais fria, a 1, a diferença ficou em 10,30%. Os resultados evidenciaram, inicialmente, o bom desempenho térmico da edificação com elevado nível de isolamento térmico, como também a importância do controle de radiação solar direta em edificação isolada com vistas a evitar o sobreaquecimento.

Conforme o gráfico apresentado na figura 2, observa-se que o comportamento da residência unifamiliar com elevado isolamento térmico, considerando todas as horas do ano, apresentou um maior percentual de conforto térmico nos modelos testados para Zona Bioclimática 8 quando comparado com a Zona Bioclimática 1. Dois dos modelos que utilizam os recursos de automatização do dispositivo de sombreamento com EMS (EMS para persiana externa e para persiana interna) apresentaram os melhores percentuais de conforto térmico nos dois contextos climáticos, além disso, o caso sem nenhum dispositivo de sombreamento apresentou o pior desempenho entre os modelos, também entre as duas Zonas Bioclimáticas estudadas. Observando-se os resultados apresentados na Figura 2 fica claro a eficiência do protetor solar externo à janela dinamizado pelos controles definidos na ferramenta do *Energy Plus EMS*.

Considerando apenas os três casos com persiana convencional variando a agenda (anual, semestral e

quadrimestral), observamos que as diferenças dos percentuais entre os modelos variam em torno de 1%, sendo o caso com agenda quadrimestral o que apresentou o melhor percentual de conforto térmico para as duas Zonas Bioclimáticas, seguido pela agenda semestral e anual, respectivamente.

Figura 2 – Percentuais de conforto térmico para os dispositivos estudados, considerando as Zonas Bioclimáticas 1 e 8

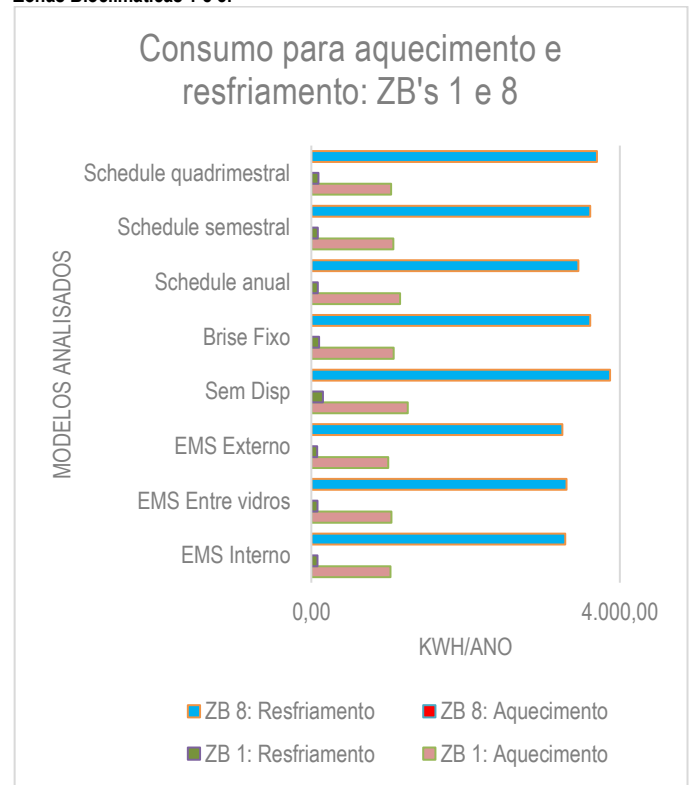


Fonte: Os autores

Resultados considerando o consumo de energia elétrica

Analisando os dados de consumo de energia elétrica para aquecimento e resfriamento considerando as duas Zonas Bioclimáticas discutidas neste trabalho (Figura 3), para Zona Bioclimática 8, os valores de consumo de energia elétrica para resfriamento foram superiores a 3.200 kWh/ano em todos os casos simulados. O maior consumo foi observado no modelo sem dispositivos de sombreamento, assumindo 3.873,71 kWh/ano, já o menor consumo foi registrado no modelo que utilizou EMS nas persianas externas, com 3.252,89 kWh/ano. Considerando o consumo para a Zona Bioclimática 1, todos os valores obtidos para aquecimento foram inferiores a 1250 kWh/ano, sendo o modelo sem nenhum dispositivo de sombreamento, aquele que apresentou maior consumo, 1.249,64 kWh/ano, já o menor consumo foi registrado no modelo que utiliza o EMS nas persianas externas, com 996,14 kWh/ano.

Figura 3 – Consumo total em kWh/ano para aquecimento e resfriamento analisando os modelos com os dispositivos de sombreamento estudados para as Zonas Bioclimáticas 1 e 8.



Fonte: Os autores

Discussão sobre os resultados do EMS

Os modelos que utilizam EMS para automação dos dispositivos de sombreamento, em geral, apresentaram melhor desempenho do que as demais estratégias propostas. Apenas na análise de conforto térmico para Zona Bioclimática 1, o caso com *brises* fixos (81,87%) no fechamento transparente apresentou um desempenho melhor do que a automação do EMS com persiana em vidros (80,67%). Outro aspecto relevante quanto aos resultados pode ser observado enfatizando as diferenças entre as agendas utilizadas nas simulações: anual, semestral e quadrimestral. As agendas programadas de 4 em 4 meses controlam a entrada de radiação solar direta na edificação nas Zonas Bioclimáticas 1 e 8 de forma mais eficiente do que as programadas de 6 em 6 meses ou anualmente.

Análise dos Fluxos Térmicos

Aprofundando a discussão quanto ao comportamento da edificação, foram analisados os fluxos térmicos observando as fontes internas e externas de calor no balanço térmico da edificação considerando ocupação, iluminação, equipamentos, condução por superfícies opacas e principalmente, transmissão e condução pelas esquadrias. Os dados apresentados nas figuras 4 e 5 representam o caso com EMS externo nas persianas (melhor percentual de conforto térmico e menor consumo

de energia elétrica dentre os casos) e o caso sem nenhum dispositivo de sombreamento (menor conforto térmico e maior consumo de energia elétrica dentre os casos), considerando o dia mais frio do ano segundo o arquivo climático de Curitiba para Zona Bioclimática 1. Já as figuras 6 e 7 consideram o dia mais quente do ano segundo arquivo climático de Manaus para Zona Bioclimática 8.

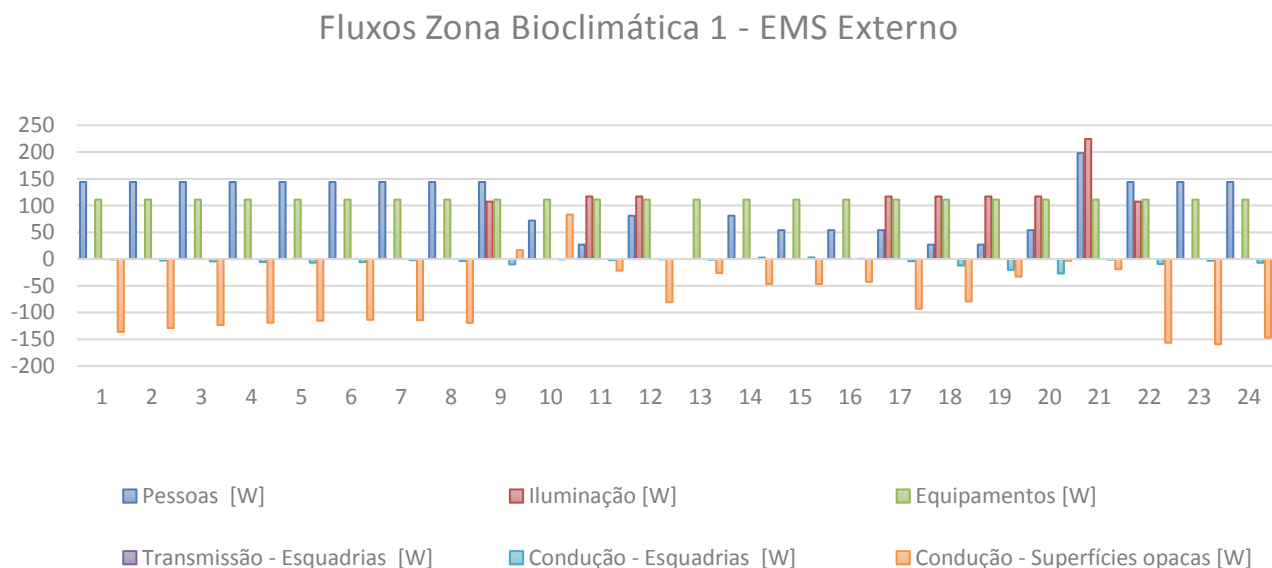
Os resultados presentes na figura 4, no período das 17h00min às 09h00min, caracterizam que a edificação perdeu calor por condução pelas esquadrias. Porém, quando comparamos o impacto da perda por condução das esquadrias com os ganhos de calor com pessoas, iluminação e equipamentos ao longo do dia, observamos que às 21h00min, por exemplo, foram registrados os maiores valores de ganho de calor, 198 W, 224,33 W e 111,06 W, respectivamente. Estes valores apresentam um impacto maior e mais significativo do que a perda de calor pelas esquadrias utilizando a automação com EMS externo nas persianas.

Analisando a figura 5, observa-se que os dados referentes à perda de calor por condução pelas esquadrias foram registrados no período das 17h00min às 12h00min, sendo às 05h00min a perda de 56,78 W. Quando comparamos os resultados da figura 4 com os da figura 5, percebemos que a proposta de uma automação nas persianas externas utilizando EMS, no período em que as perdas por condução nas esquadrias foram identificadas na primeira estratégia (17h00min às 09h00min), representou uma perda menor quanto comparada a estratégia sem nenhum

dispositivo de sombreamento, principalmente no período das 22h00min às 09h00min, onde durante toda a noite, as perdas de calor por condução das esquadrias do modelo sem dispositivos de sombreamento apresentaram valores mais significativos do que a estratégia que utilizou EMS externo nas persianas. Para análise das figuras 6 e 7, que representam o comportamento da edificação quanto ao dia com temperaturas mais elevadas no ano de simulação, considerando o município de Manaus – Zona Bioclimática 8 (RORIZ, 2012), podemos comparar a relação dos resultados de ganhos e perdas de calor pelos fechamentos transparentes por transmissão e condução nas duas propostas de sombreamento para o modelo.

Na figura 6, é possível perceber que os ganhos por transmissão direta da radiação solar e condução nas esquadrias ocorrem no período das 7h00min às 17h00min, com ponto alto de 453,45 W por transmissão direta da radiação solar e 545,84 W de condução às 13h00min. Já as perdas de calor ocorrem das 19h00min às 06h00min, com ápice à 01h00min, onde a perda de calor por condução alcançou 158,32 W. A figura 7 mostra que os ganhos por condução e transmissão direta da radiação solar nas esquadrias ocorreram das 7h00min às 17h00min, atingindo 600,45 W por transmissão direta da radiação solar e 645,84 W por condução as 13h00min. Quanto às perdas de calor por condução, ocorreram no período das 19h00min às 6h00min, com a maior perda de 28,97 W, registrada às 2h00min.

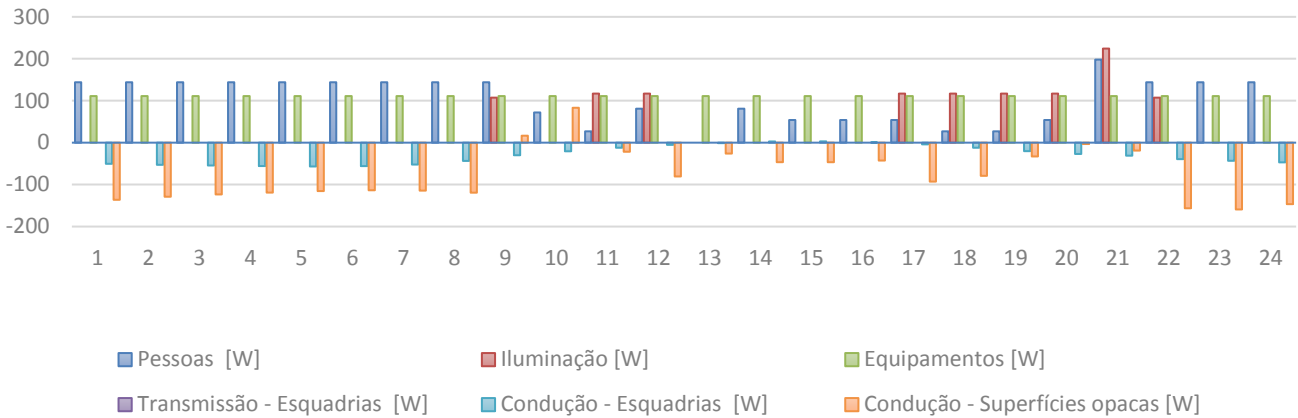
Figura 4 – Fluxos térmicos considerando o dia mais frio do ano de simulação para Zona Bioclimática 1 utilizando o modelo com EMS externo nas persianas.



Fonte: Os autores

Figura 5 – Fluxos térmicos considerando o dia mais frio do ano de simulação para zona bioclimática 1 utilizando o modelo sem dispositivos de sombreamento.

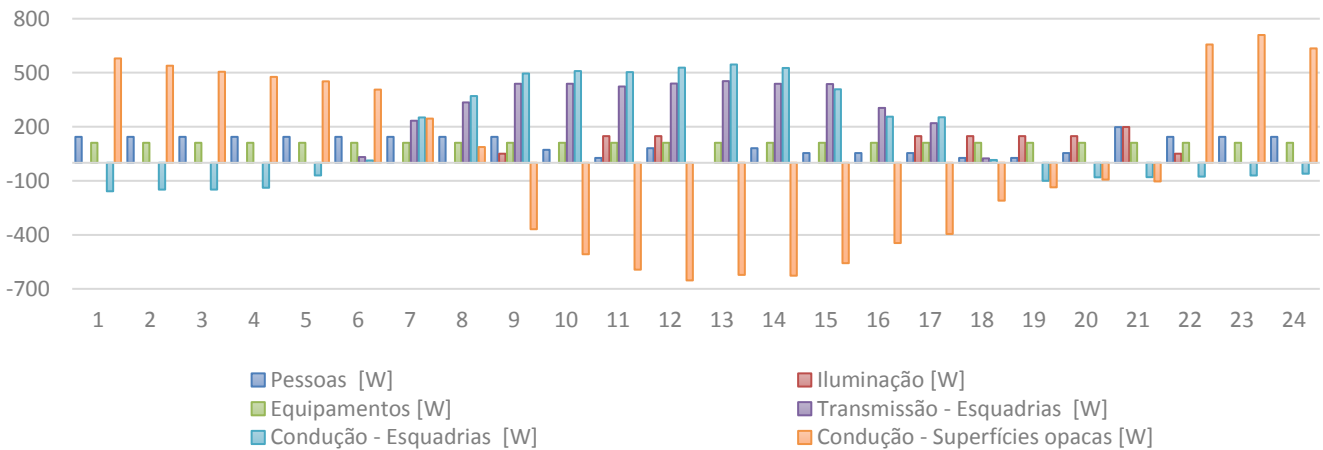
Fluxos Zona Bioclimática 1 - Sem disp. de sombreamento



Fonte: Os autores

Figura 6 – Fluxos térmicos considerando o dia com temperaturas mais elevadas do ano de simulação para zona bioclimática 8 utilizando o modelo EMS externo.

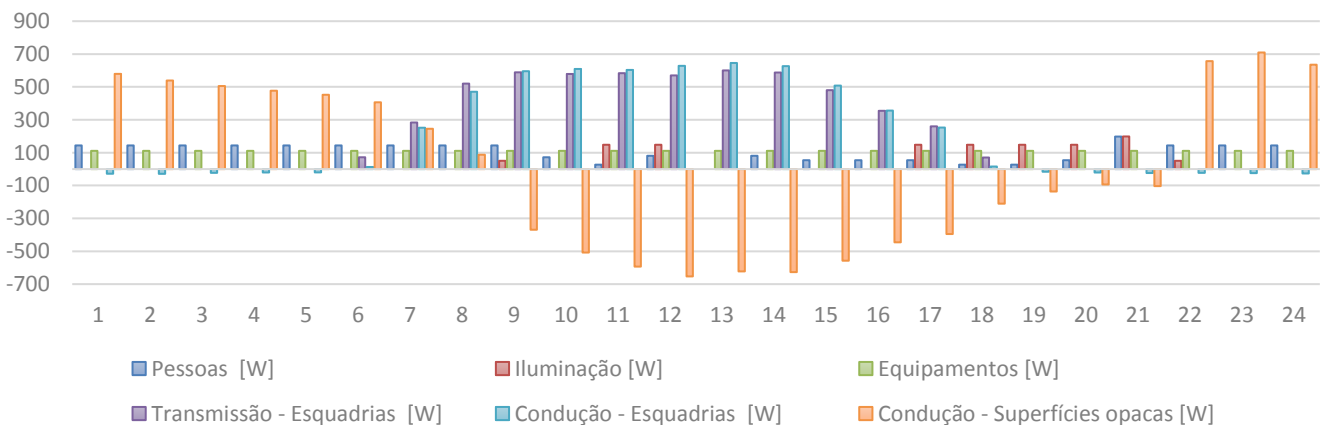
Fluxos Zona Bioclimática 8 - EMS Externo



Font e: Os autores

Figura 7 – Fluxos térmicos considerando o dia com temperaturas mais elevadas do ano de simulação para Zona Bioclimática 8 utilizando o modelo sem dispositivo de sombreamento.

Fluxos Zona Bioclimática 8 - Sem disp. de sombreamento



Fonte: Os autores

Comparando os resultados das figuras 6 e 7 quanto ao ganho de calor, no mesmo período para ambos os casos (7h00min às 17h00min), os valores tanto de condução quanto transmissão direta da radiação solar considerando as esquadrias foram menores no modelo que utilizou EMS externo nas persianas. Já considerando a perda de calor por condução nas esquadrias no mesmo período para os dois casos (19h00min às 06h00min), o modelo com automação utilizando EMS externo nas persianas apresentou maior perda de calor, especialmente no período das 22h00min às 06h00min. Nas figuras 8 e 9 observa-se a temperatura operativa da edificação considerando três situações quanto ao sombreamento: a) persianas com EMS; b) brise fixo; e c) sem dispositivo de proteção solar. Principalmente na Zona Bioclimática 8, observa-se o problema do sobreaquecimento quando da ausência de sistema de proteção solar. A temperatura operativa esteve superior à da edificação sem proteção solar às 14h00min em 9°C. A temperatura operativa da edificação sem o sistema de proteção solar às 14h00min esteve em 39°C, enquanto a temperatura operativa da edificação com a persiana com controle EMS esteve em torno de 30°C. Na Zona Bioclimática 1, a diferença esteve em torno de 6°C entre as situações extremas (EMS x ausência de proteção solar

Tanto na figura 8 quanto na 9 observa-se à direita uma escala variando de “0” a “1”, na qual o valor “0” caracteriza as persianas abertas, e “1” as persianas fechadas. É possível observar o fechamento e a abertura das persianas ao longo do dia. Verifica-se que as persianas, no caso da Zona Bioclimática 8, são fechadas a partir das 07h00min da manhã. Na Zona Bioclimática 1, em decorrência da temperatura não estar acima dos 29°C por boa parte do dia, a persiana esteve parcialmente fechada.

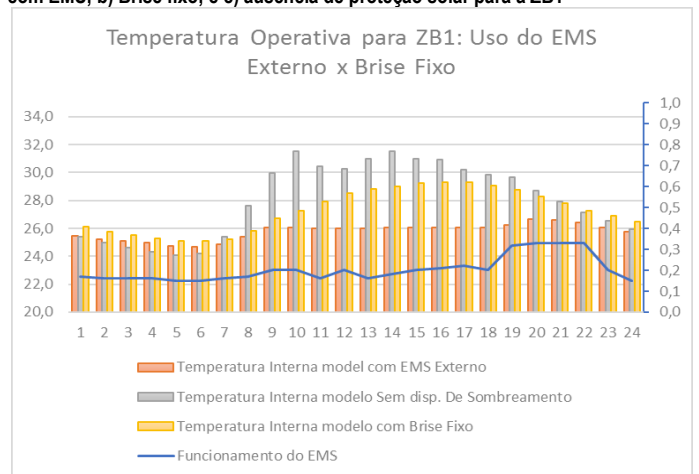
Com relação às temperaturas operativas, observando as Figuras 8 e 9, dos dias típicos de verão, percebe-se mais claramente o efeito do EMS e do brise fixo no controle da temperatura interna. Na Zona Bioclimática 1 (Figura 8), tanto o brise fixo externo, quanto a persiana externa controlada pelo EMS, mantiveram a temperatura operativa dentro dos limites estabelecidos, com vantagem deste último em cerca de 3°C na pior situação, enquanto o modelo sem brise diversas vezes ultrapassou os 29°C. Na Zona Bioclimática 8 o brise fixo externo chegou a reduzir cerca de 6°C em relação ao modelo sem brise, enquanto o EMS reduziu 8°C (Figura 9).

Conclusões

O trabalho apresentado evidenciou o elevado nível de conforto térmico de uma edificação residencial com elevado nível de isolamento térmico, considerando que o controle de radiação solar é fundamental para maximizar o nível de conforto térmico do edifício com envelope

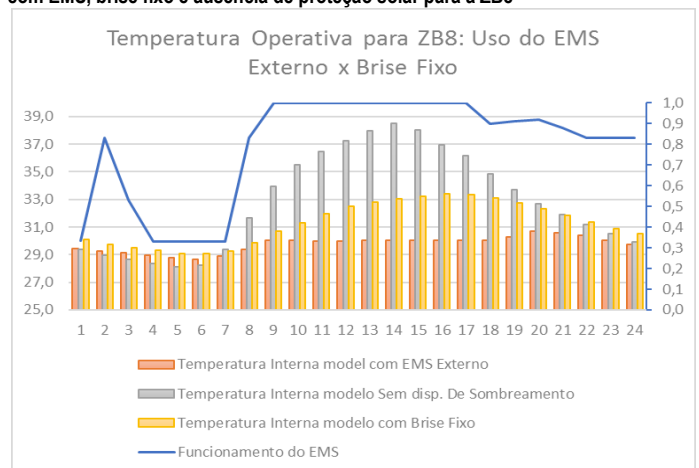
isolado, com vistas a evitar o sobreaquecimento, com ênfase à Zona Bioclimática 8.

Figura 8 – Temperatura operativa da edificação considerando: a) uso da persiana com EMS; b) Brise fixo; e c) ausência de proteção solar para a ZB1



Fonte: Os autores

Figura 9 – Temperatura operativa da edificação considerando o uso da persiana com EMS, brise fixo e ausência de proteção solar para a ZB8



Fonte: Os autores

Considerando os oito casos propostos e seus respectivos resultados, simulados para as Zonas Bioclimáticas 1 e 8, observou-se que o melhor resultado de conforto térmico através do sombreamento foi utilizando o recurso de otimização do *Energy Management System* (EMS) externo à esquadria, ou seja considerando o sistema de proteção solar automatizado, para os dois contextos climáticos. O modelo com *brises* fixos horizontais apresentou resultados muito próximos aos modelos que utilizaram dispositivos automatizados para realização do sombreamento do edifício, o que amplia a relevância na discussão envolvendo um melhor dimensionamento dos *brises* como uma estratégia eficiente de sombreamento. Ressalta-se também que os impactos dos sistemas de proteção solar na iluminação natural não foram investigados, o que de certa forma pode apresentar uma vantagem ao modelo automatizado considerando a possibilidade de ajuste e de

barrar apenas a radiação solar direta, permitindo a entrada da radiação solar difusa.

A respeito do EMS, foi possível observar que não é preciso configurar uma programação do comportamento do dispositivo de proteção solar. O próprio sistema EMS do *EnergyPlus* possui a automatização em que os resultados de abertura e fechamento do bloqueador solar vão depender das variáveis de parâmetro da análise, assim como o intervalo de temperaturas utilizados neste trabalho ou outros dados pré-estipulados pelas configurações padrão do dispositivo. Assim, podemos concluir que o comportamento dos dispositivos de automação para proteção solar, dependem da simulação que o próprio sistema faz de acordo com as características presentes no modelo e questões climáticas da simulação. Logo, percebe-se que os resultados das simulações que utilizaram este recurso apresentaram um maior índice de conforto térmico sobre as demais estratégias propostas por este trabalho. Isto se deve ao fato de que a automatização proposta pelo EMS, inserida com parâmetros adequados para o modelo estudado, pode resultar em dispositivos de sombreamento eficientes, capazes de melhorar o desempenho térmico e energético da edificação adequando-se às alterações diárias e sazonais das variáveis climáticas.

Entre ter um dispositivo externo controlado por EMS e não ter qualquer dispositivo, a diferença de consumo para a Zona Bioclimática 8 foi de cerca de 16% e na Zona Bioclimática 1 de cerca 20%. Quanto ao percentual de conforto térmico, a diferença foi de 11,64% para a Zona Bioclimática 8 e de 7,91% para a Zona Bioclimática 1.

Salienta-se porém, que as diferenças de desempenho só não são maiores porque o projeto arquitetônico apresenta algumas características determinantes para o bom desempenho da edificação residencial. Dentre as qualidades do projeto analisado neste trabalho, salienta-se: (1) a implantação da edificação, com as maiores faces voltadas para as orientações norte e sul; (2) o zoneamento de usos que priorizam os ambientes de permanência prolongada, avaliados em seus desempenhos; (3) o dimensionamento diferenciado das aberturas para cada uma das orientações, sendo o percentual de abertura na fachada norte cerca de 5 vezes maior do que nas demais, beneficiando-se do sol de inverno e protegendo-se do sol de verão. Estas características minimizam os problemas decorrentes da insolação de verão e a influência do tipo, do acionamento e da própria existência ou não de um dispositivo de sombreamento. A partir disso, um envelope altamente isolado passa a contribuir com a redução das trocas de calor já definidas pelo projeto arquitetônico e pelo uso residencial de baixa densidade de carga interna. A mesma edificação altamente isolada, sob outras condições de implantação e/ou dimensionamento de aberturas apresentaria resultados completamente diferentes.

Conclui-se que uma edificação altamente isolada necessita de controle de ganhos solares para evitar o sobreaquecimento. Porém, os altos índices de conforto de todos os modelos estudados comprovam que este controle inicia pela implantação do edifício, orientação e dimensionamento das aberturas.

Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220**: Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575: Edifícios Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5 - Edifícios habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2008.
- BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. Maceió: Editora da Universidade Federal de Alagoas, 1988
- CHVATAL, Karin Maria Soares. Evaluation of NBR 15575 simplified procedure for determining the thermal performance level of dwellings. **Ambient. constr.** [online]. 2014, vol.14, n.4, pp.119-134. ISSN 1678-8621. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212014000400009>..
- DALBEM, R. et al.. Verification of the Passive House Concept to the South of Brazil Climate. **Journal of Civil Engineering and Architecture**. v. 10, p. 937-945, 2016.

DALBEM, R. et al. Discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R. **Ambient. constr.** [online]. 2017, vol.17, n.1, p. 201-222. ISSN 1415-8876. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100132>.

DATTA, G. Effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS simulation. **Renewable Energy** v. 23, p. 497-507, 2001.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Balço Energético Nacional 2016**. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf. Acesso em: 20 de maio de 2017.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, 244, 1972.

FERREIRA, Camila Carvalho; SOUZA, Henor Artur de; ASSIS, Eleonora Sad de. Discussion of the limits of the thermal properties of building envelopes according to Brazilian thermal performance standards. **Ambient. constr.** [online]. 2017, vol.17, n.1, pp.183-200. ISSN 1415-8876. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100131>.

GIVONI, B. Man, **Climate and Architecture**. London: Applied, 1998.

GRATIA, E; HERDE, A. de. The most efficient position of shading devices in a double-skin facade. **Energy and Buildings** v. 39 issue 3, p. 364-373, 2007.

HALDI, F.; ROBINSON, D. Adaptive actions on shading devices in response to local visual stimuli. **Journal of Building Performance Simulation**. v. 3 issue 2, p. 135-153, 2010.

KIM, G. et al.. Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings. **Energy and Buildings** v. 46, p. 105-111, mar. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.040>

LABEEE - LABORATÓRIO DE CONFORTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. Disponíveis em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

MOESEKE, G. V.; BRUYERE, I; HERDE, A. de. Impact of control rules on the efficiency of shading devices and free cooling for office buildings. **Building and Environment** v. 42, n. 2, p. 784-793, fev. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.09.015>

OLIVEIRA, L. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da Zona Bioclimática 2**. 2012. 168f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP. 2012. Disponível em: <http://roriz.dominiotemporario.com/doc/Sobre_os_arquivos_EPW.pdf> Acesso em: set. 2017

SIGNOR, R. **Análise de Regressão do Consumo de Energia Elétrica Frente a Variáveis Arquitetônicas Par Edifícios Comerciais Climatizados em 14 Capitais Brasileiras**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

SOARES, M. M. **Avaliação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR15575/2013: habitações de interesse social na zona bioclimática 2**. 2014. 160. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

SOARES, Maicon Motta; SILVA, Antônio César Silveira Baptista da. Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2. **Ambient. constr.** [online]. 2017, vol.17, n.1, pp.305-327. ISSN 1415-8876. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100137>.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, **Application Guide for EMS, EnergyPlus Documentation**. 2016. Disponível em: https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.6.0/EMSApplicationGuide.pdf. Acesso em: 20 de maio de 2017.

OLGYAY, V.; OLGAYAY, A.. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New and expanded edition, Princeton University Press, 1963.

¹ **Rodrigo Karini Leitzke**

Estudante de Graduação em Ciências da Computação. Rua Benjamim Constant, 1359, Centro, Pelotas, RS, Brasil, CEP: 96010-020.

² **Eduardo Grala da Cunha**

Arquiteto, Doutor. Rua Benjamim Constant, 1359, Centro, Pelotas, RS, Brasil, CEP: 96010-020.

³ **Oberdan Mendonça da Silva**

Arquiteto. Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, PROGRAU. Rua Benjamim Constant, 1359, Centro, Pelotas, RS, Brasil, CEP: 96010-020.

⁴ **Antonio César Silveira Baptista da Silva**

Arquiteto, Doutor. Rua Benjamim Constant, 1359, Centro, Pelotas, RS, Brasil, CEP: 96010-020.

⁵ **Carolina Machado Beltrame**

Arquiteta. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, PROGRAU. Rua Benjamim Constant, 1359, Centro, Pelotas, RS, Brasil, CEP: 96010-020.