



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

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS PARA O PROJETO DE READEQUAÇÃO DE UMA BIBLIOTECA ESCOLAR NA CIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS

Clarissa Sartori Ziebell (1); Roberta Bertoletti (2)

(1) Dra., Professora do Departamento de Design e Expressão Gráfica, clarissa.ziebell@ufrgs.br

(2) Me., Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Design, robertabertoletti@yahoo.com.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Design e Expressão Gráfica, Porto Alegre–RS, 90050-170, Tel.: (51) 3308 4260

RESUMO

Uma biblioteca escolar deve proporcionar condições de conforto ambiental (térmico, luminoso, acústico e ergonômico) que gerem um espaço de incentivo à leitura. Este trabalho teve como objetivo definir uma solução arquitetônica para remodelação da biblioteca da Escola Estadual Dante Marcucci, localizada em Caxias do Sul, e o seu impacto no desempenho térmico do ambiente. Como principal condicionante de projeto tinha-se o baixo recurso financeiro. Logo, todas as propostas deveriam ser pensadas de forma a minimizar os custos. O desempenho térmico foi definido através de simulações computacionais com o software *EnergyPlus*. Para tanto, foram comparadas a porcentagem do número de horas em conforto térmico encontradas no ambiente da biblioteca para cada situação avaliada e para a situação atual. Ainda, foram analisadas as trocas térmicas que ocorrem através das superfícies que envolvem a biblioteca. A partir destas análises foi possível chegar a uma alternativa de projeto onde o conforto térmico foi ampliado em 5% quando comparado com a situação da edificação atual. Apesar de esta ser uma pequena diferença, quando a proposta final é comparada com a proposta inicial, o aumento passa a 12%. Destaca-se ainda que o sistema de análise de fluxos de calor foi muito importante para se encontrar a melhor solução de projeto, visto que através dele pôde-se melhor verificar de que forma cada uma das alternativas afetava o desempenho térmico do ambiente. Com isso, conclui-se que, utilizar-se apenas da análise final do conforto térmico pode não ser suficiente para se chegar a um resultado satisfatório

Palavras-chave: simulação computacional, estratégias bioclimáticas, desempenho térmico.

ABSTRACT

A library school should provide condition of environmental comfort (thermal, luminous, acoustic and ergonomic) that generate a space to encourage the reading activity. This work aimed to define a new architectural solution for the library of the Dante Marcucci State School, located in Caxias do Sul, and evaluate its impact on the thermal performance of the environment. The main condition of the project was the low level of financial resources. Therefore, all proposals should be designed in a way that minimize costs. Thermal performance was defined through computational simulations with the software *EnergyPlus*. For that, were compared the percentage of the number of hours in thermal comfort found in the library environment for each situation evaluated and for the current situation. Moreover, the thermal exchanges that occur through the surfaces surrounding the library were analysed. From these analyses it was possible to reach a design alternative where thermal comfort was increased by 5% when compared to the current building situation. Although this is a small difference, when the final proposal is compared with the initial proposal, the increase reaches 12%. Could be also worthwhile to observe that the heat flux analysis system was very important to find the best design solution, since this analysis turned possible to verify how each of the alternatives affected the thermal performance of the environment. With this, the authors can conclude that using only the final analysis of the thermal comfort may not be enough to reach a satisfactory result.

Keywords: computer simulation, bioclimatic strategies, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

A relação da arquitetura escolar com o aprendizado dos estudantes é amplamente debatida na literatura. Kowaltowski (2011), por exemplo, explica que o conforto ambiental está diretamente conectado à arquitetura escolar e à satisfação do usuário em relação à qualidade do ambiente. Em escolas, ambientes que não oferecem conforto ambiental adequados podem gerar problemas de saúde que afetam diretamente a concentração e a memória (BURGOS et al., 2015). Segundo Ochoa et al. (2012) para que seja possível obter um desempenho ambiental satisfatório deve-se ter um correto planejamento arquitetônico que passe pelas diferentes condições climáticas que influenciarão nas condições térmicas, acústicas e luminosas, entre outros requisitos. Sendo assim, torna-se importante incluir todos estes aspectos em uma Avaliação Pós-Ocupação (APO) de um ambiente escolar.

Em 2013, foi realizada uma pesquisa que consistia em realizar uma APO da biblioteca da Escola Estadual Dante Marcucci, localizada em Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul (ZIEBELL e BERTOLETTI, 2015). Levando em consideração as declarações do parágrafo anterior, a APO avaliou o conforto térmico, acústico e luminoso através de medições, questionários e simulações computacionais. Ainda, foram realizadas avaliações através de visitas exploratórias, do Poema dos Desejos⁷ e da Constelação de atributos.

No que tange ao conforto térmico, foi observado que apenas 20% dos entrevistados consideravam a temperatura no interior da biblioteca como confortável na maior parte do ano. No verão, 68% consideravam que a biblioteca era quente ou muito quente, enquanto que 23% consideraram a biblioteca confortável. Já no inverno 89% consideraram a biblioteca fria ou muito fria e apenas 11% a consideraram confortável. Com isto, foi constatado que seriam necessárias mudanças na biblioteca para melhorar as condições de conforto térmico durante todo o ano, especialmente no inverno. Um resultado semelhante foi também encontrado através de simulações com o *software EnergyPlus*. Outros resultados da pesquisa podem ser encontrados em Ziebell e Bertoletti (2015).

Toda esta análise serviu posteriormente como base para um estudo de remodelação da biblioteca, visando melhorar as condições de estudo dos alunos da escola. Neste trabalho é apresentado o projeto final de remodelação da biblioteca, com foco nas soluções encontradas para minimizar o desconforto térmico. Inicialmente, diversas alternativas são testadas e avaliadas. Tais análises serviram para embasar o projeto final.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo foi definir uma solução arquitetônica para remodelação da biblioteca da Escola Estadual Dante Marcucci e avaliar o seu impacto no desempenho térmico do ambiente.

3. MÉTODO

O método deste trabalho consiste em avaliar, por simulação computacional realizadas no programa *EnergyPlus* (ENERGYPLUS, 2019), diferentes soluções bioclimáticas para uma biblioteca existente e analisar os impactos destas mudanças no desempenho térmico da edificação. Em seguida, são estudados os resultados referentes à temperatura e ao fluxo de calor através das superfícies opacas e transparentes. Como parâmetro de análise do conforto térmico, é utilizada a metodologia de Dear e Brager (2002), onde a temperatura de conforto é definida através da equação 1:

$$T_{\text{conf}} = (0,31 \times T_{\text{ext}}) + 17,8$$

Equação 1

Onde:

T_{conf} é a temperatura de conforto [°C];

T_{ext} é a temperatura externa de bulbo seco média [°C].

Para encontrar faixas de temperatura aceitáveis para 90% de aceitabilidade geral, é necessário adicionar ou subtrair 2,5 ° C da temperatura de conforto para edifícios naturalmente ventilados. Se o objetivo

⁷ O Poema dos Desejos consiste em uma atividade onde os entrevistados revelam o que sentem e o que desejam com relação ao ambiente em estudo através de pequenos textos ou desenhos.

é alcançar a faixa de 80% de aceitabilidade geral, é necessário adicionar ou subtrair 3,5 ° C. Para averiguar se um ambiente encontra-se em conforto térmico, deve-se comparar a temperatura operativa interna do ambiente em questão com a temperatura de conforto encontrada na Equação 1 e verificar se ela se enquadra na faixa de 80% ou 90% (DEAR e BRAGER, 2002).

Neste presente trabalho é adotada a faixa de 90% de aceitabilidade. Sendo assim, após a simulação com o *software EnergyPlus*, onde são obtidas as temperaturas operativas horárias, torna-se possível verificar qual a porcentagem do tempo em que a biblioteca permanece em conforto térmico.

3.1. Descrição da biblioteca

A Escola Estadual Dante Marcucci localiza-se em Caxias do Sul, cidade da Serra Gaúcha. O seu projeto consiste em dois blocos paralelos com as maiores fachadas orientadas na direção leste-oeste. O bloco menor, voltado a leste, possui um pavimento e localiza-se na porção mais alta do terreno. Já o segundo bloco possui dois pavimentos e se conecta com o outro bloco através do primeiro pavimento. A biblioteca localiza-se no bloco menor e possui área de fachada voltada a leste, oeste e sul. A parede sul é a única que não possui aberturas). As paredes externas são pintadas na cor verde e a cobertura é formada por uma laje de concreto coberta por um telhado com estrutura de madeira e telhas de fibrocimento (Figura 1 e Figura 2).



Figura 1 - Localização da Escola com a posição da biblioteca.



Figura 2 – Fachada oeste da biblioteca.

Existem quatro janelas do tipo basculante, tanto na fachada leste, quanto na oeste. Internamente, as paredes são pintadas de verde e a laje de branco. O piso é revestido com parquet de madeira.

3.2. Proposta de readequação da biblioteca

Uma das primeiras solicitações vindas da diretoria da escola para o novo projeto, no que se refere ao espaço, foi a necessidade de ampliação. Para tanto, foi proposto um aumento do comprimento da biblioteca de forma a alinhar os dois blocos. Porém, como este aumento de área ainda não seria suficiente para as necessidades da escola, foi preciso criar um novo anexo, a ser construído com estrutura metálica e cobertura translúcida. Este novo espaço foi pensado como uma área de leitura (Figura 3). Internamente, a setorização da biblioteca foi alterada, tendo sido criada uma área com terminais de consulta, uma nova área de recepção e acervo, uma nova área de estudos e uma área de atividades livre (tais como teatro e leitura mediada). Esta última área também foi uma das primeiras solicitações da escola (Figura 4).

Como principal condicionante de projeto tinha-se o baixo recurso financeiro. Logo, todas as propostas deveriam ser pensadas de forma a minimizar os custos. Por essa razão, optou-se por aproveitar o piso e muitos dos mobiliários existentes. Pelo mesmo motivo, as fachadas não poderiam ser alteradas. Assim, foram mantidas as esquadrias existentes. Para que a fachada da biblioteca não perdesse a unidade, foi definido que as esquadrias da ampliação seriam iguais às existentes.

Para melhor adaptar a biblioteca às condições climáticas, foi consultada a norma NBR 15220 (ABNT, 2005b), onde são descritas as estratégias bioclimática para cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras. Para a Zona 1, zona de Caxias do Sul, as estratégias recomendadas são aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas. O sol deve ser permitido durante o período frio. As paredes devem ter transmitância térmica de no máximo 3 W/m²K, atraso térmico de 4,3 horas e fator solar de no máximo 5%. A cobertura, por sua vez, deve ter transmitância térmica de no máximo 2 W/m²K, atraso térmico de 3,3 horas e fator solar de no máximo 6,5%. Comparando esses dados com aqueles calculados para a escola

(Tabela 1), observa-se que as paredes cumprem os requisitos mínimos, enquanto que a cobertura tem uma transmitância térmica e um fator solar um pouco maior do que o desejado.



----- ÁREA DE AMPLIAÇÃO

Figura 3 - Área de ampliação da biblioteca.



Figura 4 - Nova planta baixa da biblioteca. A área de atividades ao ar livre e a área anexada à biblioteca correspondem a ampliação.

Tabela 1 – Transmitância Térmica, Atraso Térmico e Fator Solar das superfícies

Material	Transmitância Térmica [W/ m ² .K]	Atraso Térmico (h)	Fator Solar (%)
Parede Externa	2,04	7,56	1,8
Cobertura	2,08	5,17	6,65

A impossibilidade de modificar o aspecto da fachada minimizou as possibilidades de estratégias bioclimáticas para atingir conforto térmico, já que não eram possíveis ajustes de dimensionamento de esquadrias e inserção de sombreamentos adequados. Com base nas características das superfícies externas recém descritas e com as estratégias bioclimáticas recomendadas, foram selecionadas as seguintes estratégias para estudo:

- Modificação da cobertura, de forma a diminuir a transmitância térmica e o atraso térmico;
- Fechamento parcial do anexo com vidro, a fim de gerar uma área de coleta de calor durante os dias frios. As esquadrias só serão abertas quando a temperatura do interior da zona for maior que a externa e igual ou maior do que a temperatura de *setpoint*. O centro do anexo manteve-se aberto
- Fechamento total do anexo criado com vidro, também com esquadrias móveis.

3.3. Definição dos modelos no *EnergyPlus*

A geometria do modelo de simulação da escola foi elaborada no *SketchUp* 2016 (TRIMBLE, 2019), com o *plugin Euclid* 0.9.3. (BIGLADDER SOFTWARE, 2019). Em seguida, os dados da característica do terreno, da temperatura do solo, dos materiais de construção das superfícies, do padrão de ocupação e de iluminação, e dos condicionantes de abertura das esquadrias foram definidos no *EnergyPlus* versão 8.7.

3.3.1. Dados climáticos do terreno e da localização

No *EnergyPlus*, o terreno foi considerado como Urbano. Os dados de latitude, longitude e elevação informados referem-se à cidade de Caxias do Sul. Porém, como não há um arquivo climático desta cidade, foi adotado o arquivo de Bento Gonçalves, cidade localizada a aproximadamente 44 km de distância. O arquivo de nome “BRA_RS_Bento.Goncalves.869790_INMET.epw” foi obtido em LabEEE (2019). A temperatura do solo foi definida conforme dados disponíveis neste arquivo para uma profundidade de 50 cm.

3.3.2. Geometria da edificação

Inicialmente foi modelada no *SketchUp* a geometria da escola na situação atual. Este modelo incluiu apenas o bloco onde encontra-se a biblioteca. Para simular o efeito de sombra que o segundo bloco exerce sobre o primeiro, foram inseridos elementos de sombreamento, conforme pode ser observado na Figura 5. O mesmo vale para a cobertura que faz a conexão entre os blocos. No total, o modelo é formado por dez zonas térmicas, sendo elas cinco salas, dois banheiros, corredor, cobertura e biblioteca. Para a nova proposta, a

biblioteca teve a área ampliada, conforme mostrado no item 3.2. A área externa, anexada à biblioteca também foi inserida através de uma zona térmica, conforme Figura 6. A Figura 7 apresenta o modelo com a área de coleta de calor solar ampliada.

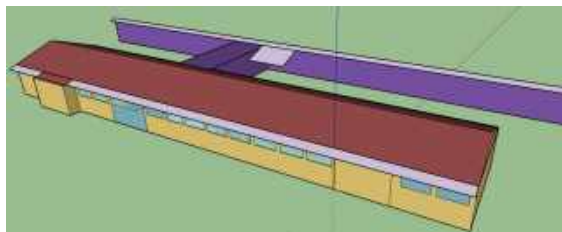


Figura 5 – Modelo da Escola (situação atual)

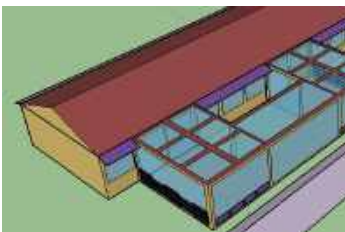


Figura 6 - Modelo de simulação para a nova proposta da escola

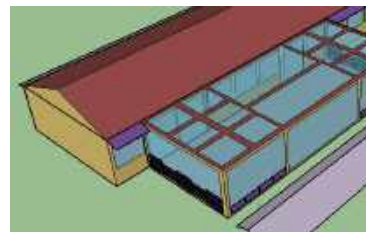


Figura 7 - Modelo de simulação para a nova proposta da escola, com ampliação da área de aquecimento solar

3.3.3. Propriedades térmicas dos materiais

As propriedades térmicas dos materiais utilizados nos modelos de simulação são descritas na Tabela 4. As esquadrias comuns são formadas por uma camada de vidro claro, com 3 mm de espessura. As esquadrias de fechamento do anexo, por sua vez, são formadas por duas camadas de vidro claro com 3 mm de espessura, distanciadas por um espaço de ar de 13 mm. A cobertura transparente do anexo é de policarbonato. Para a cobertura modificada, a telha de fibrocimento foi substituída por uma telha metálica com núcleo em poliuretano, resultando em uma transmitância térmica de 0,55 W/m²K e um fator solar de 1,76%. Os dados da telha são apresentados na Tabela 4.

Os dados foram obtidos da norma NBR 15220 (ABNT, 2005a). Em seguida, na Tabela 3, são apresentadas as camadas de construção das superfícies dos modelos. As esquadrias comuns são formadas por uma camada de vidro claro, com 3 mm de espessura. As esquadrias de fechamento do anexo, por sua vez, são formadas por duas camadas de vidro claro com 3 mm de espessura, distanciadas por um espaço de ar de 13 mm. A cobertura transparente do anexo é de policarbonato. Para a cobertura modificada, a telha de fibrocimento foi substituída por uma telha metálica com núcleo em poliuretano, resultando em uma transmitância térmica de 0,55 W/m²K e um fator solar de 1,76%. Os dados da telha são apresentados na Tabela 4.

Tabela 2 – Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância
Tijolo cerâmico	0,90	1500	920	Não definida
Argamassa reboco da edificação original	1,15	2000	1000	0,40
Argamassa reboco na nova proposta	1,15	2000	1000	0,221
Argamassa	1,15	2000	1000	Não definida
Concreto	1,75	2300	1000	Não definida
Telha de fibrocimento	0,95	2000	840	0,80
Madeira	0,15	600	1340	0,70
Solo	1,00	1200	1200	0,20

Tabela 3 – Construção das Superfícies.

Parede Externa	Parede Interna	Cobertura	Forro	Piso
Reboco 3 cm	Reboco 1,75 cm	Telha de fibrocimento 5 mm	Concreto 10 cm	Solo 37,5 cm
Tijolo cerâmico 24 cm	Tijolo cerâmico 11,5 cm			Concreto 10 cm
Reboco 3 cm	Reboco 1,75 cm			Argamassa 1 cm
				Madeira 1,5 cm

Tabela 4 – Camadas da telha com núcleo em poliuretano

Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância
Aço	0,01	55	7800	460	0,80
Poliuretano	0,04	0,003	35	1670	Não definida
Aço	0,01	55	7800	460	0,80

3.3.4. Ganhos internos

Os ganhos internos foram determinados apenas para a zona térmica da biblioteca, que é o objeto de interesse deste trabalho. Para a iluminação, foram consideradas lâmpadas fluorescentes com fração de retorno do ar igual a 0,00, fração radiante igual a 0,42 e fração visível igual a 0,18. A agenda de uso é apresentada na Tabela 5. Como ocupação foi definida uma atividade metabólica de 70 W por pessoa. A ocupação máxima é de 20 pessoas, e varia conforme a Tabela 6. Todas as agendas foram obtidas no banco de dados do *EnergyPlus* e destinam-se para a atividade de uma escola.

Tabela 5 – Agenda de uso da iluminação

Hora	Dias da semana	Hora	Sábados	Hora	Domingos e feriados
7:00	0,02	7:00	0,02	8:00	0,02
8:00	0,3	8:00	0,05	16:00	0,05
9:00	0,85	13:00	0,15	24:00	0,02
11:00	0,95	16:00	0,05		
15:00	0,8	24:00	0,02		
16:00	0,7				
18:00	0,5				
21:00	0,35				
22:00	0,30				
24:00	0,02				

Tabela 6 – Agenda de ocupação

Hora	Dias da semana	Hora	Sábados	Hora	Domingos e feriados
7:00	0,00	8:00	0,0	24:00	0,0
8:00	0,05	13:00	0,1		
9:00	0,75	24:00	0,0		
11:00	0,90				
15:00	0,8				
16:00	0,45				
17:00	0,15				
18:00	0,05				
19:00	0,15				
21:00	0,20				
22:00	0,10				
24:00	0,10				

3.3.5. Ventilação natural

A ventilação natural foi simulada através do objeto “*Airflow Network*”, que permite simular o fluxo de ar direcionado pelo vento (Gu, 2007). O modelo consiste em uma série de nós conectados através de ligações a componentes de fluxos de ar (U.S. Department of Energy, 2016a). Sendo assim, assume-se que o ar flui de um nó para o outro (Gu, 2007). Com relação aos dados de entrada, foi estabelecido que os coeficientes de pressão são calculados pelo programa. Isso é possível devido ao formato retangular da edificação (U.S. Department of Energy, 2016b). O controle da ventilação ocorre através da temperatura. Para que as aberturas sejam acionadas, a temperatura do interior da zona deve maior que a temperatura externa e igual ou maior do que a temperatura de *setpoint*. No trabalho de Martins et al. (2009), verificou-se que quando a temperatura interna estava em torno de 25°C, o PMV calculado pelo *EnergyPlus* tendia a zero. Apesar de que neste trabalho o PMV não está sendo utilizado como parâmetro de conforto, optou-se por adotar esta mesma temperatura de *setpoint* definida por Martins et al. (2009) (25°C). Outro condicionante para a abertura das janelas foi o horário (elas só podem ser abertas entre 7h e 18h). Por fim, os coeficientes de fluxo de ar e o fluxo de ar através das frestas para as portas e as janelas foram definidos segundo o RTQ-R (INMETRO, 2012), sendo eles 0,65 e 0,001 kg/s.m, respectivamente.

Para a zona de do anexo à biblioteca, em um primeiro momento, as janelas laterais são simuladas como sempre abertas, para testar o modelo com o anexo totalmente aberto. Na rodada seguinte, onde deseja-se que o anexo atue como uma zona de coleta de calor durante o período frio, as aberturas laterais são acionadas com os mesmos condicionantes das demais janelas da escola. Todas as simulações foram rodadas considerando o período de um ano.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos através das simulações com o *software EnergyPlus*. Inicialmente, analisa-se o conforto térmico da biblioteca na situação atual e com a nova proposta de ampliação. Esta primeira análise é importante para verificar se as alterações propostas interferem no conforto térmico, e se sim, se de maneira positiva ou negativa. Em seguida, esses resultados são comparados com cada uma das estratégias bioclimáticas propostas. Por fim, para melhor entender os resultados, são analisados os fluxos térmicos da edificação.

4.1. Conforto Térmico

As análises a seguir focam na porcentagem de desconforto térmico por frio, desconforto térmico por calor e conforto térmico para cada um dos casos analisados, considerando apenas o período de maior ocupação da biblioteca (entre 7h e 18h) (Figura 8). A situação atual gera desconforto por frio em 42% deste período, enquanto que o desconforto por calor ocorre em apenas 9% do tempo. Assim, a biblioteca gera conforto

térmico em 49% das horas de maior ocupação do ano. Com o projeto inicialmente proposto (ampliação da área), o desconforto térmico por frio aumentou em 7%, enquanto que o desconforto por calor permaneceu aproximadamente igual. Como resultado, o conforto térmico diminuiu em 6%. Em seguida, foi testada a alteração na composição da cobertura, estratégia que não alteraria de forma significativa o aspecto da fachada. Neste caso o desconforto térmico por frio sofreu um novo aumento (aumento de 14%), enquanto que o desconforto térmico por calor diminuiu para 1%. Como resultado, novamente foi obtido conforto térmico em 43% do tempo. Em seguida, foi testado o efeito de fechar o anexo com esquadrias quando a temperatura externa fosse menor do que a interna e igual ou superior a 25°C (mesma condicionante para as demais aberturas). Neste caso, o desconforto térmico por frio passou para 41% e ocorreu um aumento de 1% no desconforto térmico por calor, o que gerou uma situação de conforto térmico igual à original. Por fim, com a ampliação da área de coleta de calor, pôde-se diminuir em 4% o desconforto por frio, porém com um aumento de 4% do desconforto térmico por calor, gerando 49% de conforto térmico.

A partir destes resultados, observa-se que a criação do anexo diminuiu de forma considerável as condições de conforto térmico. A estratégia de fechar o anexo com vidro permitiu retomar as condições de conforto original, apesar de não conseguir melhorá-la. A seguir, analisa-se os fluxos de calor e a variação da temperatura interna da edificação de forma a se definir uma solução final de projeto.

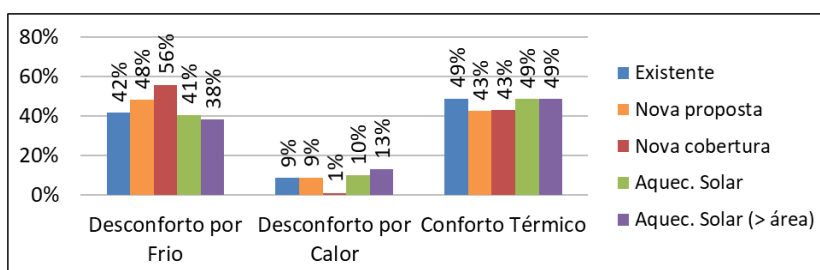


Figura 8 – Porcentagem do tempo em desconforto térmico por frio, desconforto térmico por calor e conforto térmico (considerando apenas o período de uso da biblioteca – 7h às 18h)

4.2. Fluxo de calor pelas superfícies

As análises de fluxos de calor apresentadas a seguir focam no solstício de inverno (21 de junho, como representativo de dias de frio) e no solstício de verão (21 de dezembro, como representativo de dias de calor). Inicialmente, analisa-se as temperaturas operativas internas (Figura 9). Em seguida, verifica-se o fluxo de calor através das diferentes superfícies, trocas de calor através da infiltração de ar e o fluxo de calor através das superfícies opacas da parede leste (onde foi colocado o anexo).

Observa-se que no inverno a solução que apresenta maior temperatura durante o solstício de inverno é a original. No momento em que foi colocado o anexo as temperaturas internas diminuíram. A nova cobertura acaba diminuindo os ganhos térmicos, o que também prejudica a temperatura. Com o fechamento do anexo, pôde-se aumentar as temperaturas, o que refletiu nos resultados apresentados na Figura 9. Durante o verão, contudo, a nova cobertura pôde minimizar as temperaturas, melhorando a sensação de conforto. Para os demais casos, as temperaturas foram semelhantes.

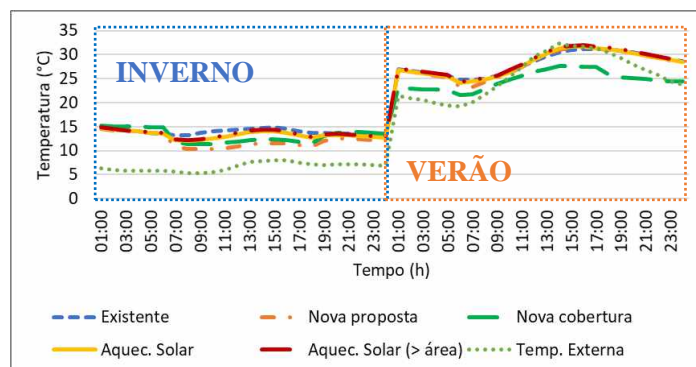


Figura 9 – Variação da temperatura interna durante o solstício de inverno e de verão.

Ao analisar o fluxo de calor pelas superfícies opacas, observa-se que, em ambos os períodos avaliados, o modelo com a nova cobertura foi o que mais sofreu trocas térmicas. Ao comparar este modelo com o seu equivalente (chamado aqui de nova proposta), observa-se que no inverno, em função da laje perder menos calor, os ganhos térmicos acabam sendo maiores. No verão, por outro lado, a cobertura de fibrocimento recebe mais calor do que a cobertura isolada. Como consequência, o modelo da nova proposta perde menos

calor do que o modelo da nova cobertura. Neste sentido, o uso da nova cobertura é benéfico. Contudo, ele ainda não é suficiente para aumentar as condições de conforto térmico. Quando o uso de aquecimento solar é avaliado, observa-se que ambas as soluções estão bastante próximas entre si, apesar de que a maior zona de aquecimento acaba gerando mais perdas de calor pelas superfícies opacas durante o período de ocupação. No inverno, o modelo que mais perdeu calor pelas superfícies opacas foi o existente. No verão, durante a maior parte do período de ocupação, ele foi o modelo que menos perdeu calor (Figura 10). Quando o fluxo de calor apenas pelas superfícies opacas da fachada leste é analisado (Figura 11), observa-se que existe uma redução das perdas de calor nas alternativas de projeto avaliadas, quando comparadas com a situação existente. Durante o verão, os ganhos de calor são reduzidos nestas novas alternativas.

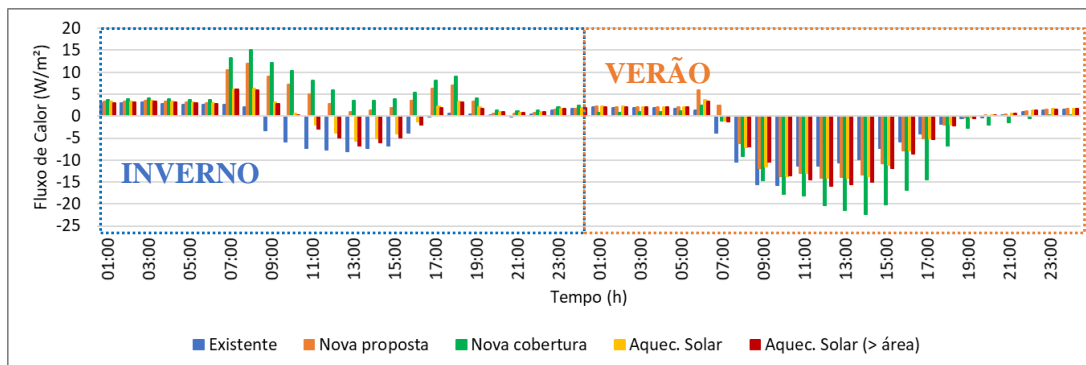


Figura 10 - Variação do fluxo de calor por condução pelas superfícies opacas durante o solstício de inverno e de verão

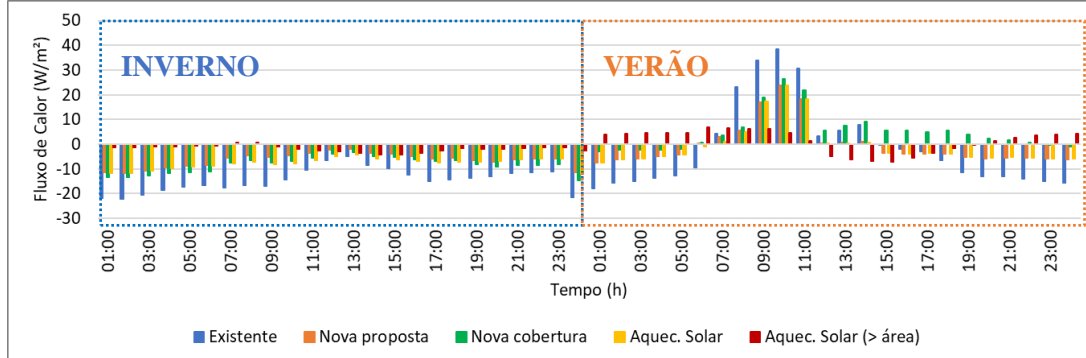


Figura 11 - Variação do fluxo de calor pela fachada leste durante o solstício de inverno e de verão

Comparando a Figura 12 com a Figura 13, chama a atenção que, apesar da temperatura operativa interna do modelo com a cobertura isolada ser maior do que no modelo com a cobertura original, o desconforto térmico por frio é maior no primeiro. Ainda, na Figura 10 observa-se que o ganho de calor pelas superfícies opacas também é maior no modelo com a cobertura isolada. Para melhor compreender o porquê do resultado de desconforto térmico, fez-se necessário, portanto, analisar a temperatura interna dos dois modelos durante todo o período de inverno (Figura 12). Neste caso, observa-se que ao longo de todo este período as temperaturas internas no modelo com a cobertura de fibrocimento são maiores. Isto possivelmente se deve ao menor ganho de calor pela cobertura isolada e explica o porquê do resultado do desconforto térmico ser maior neste caso.

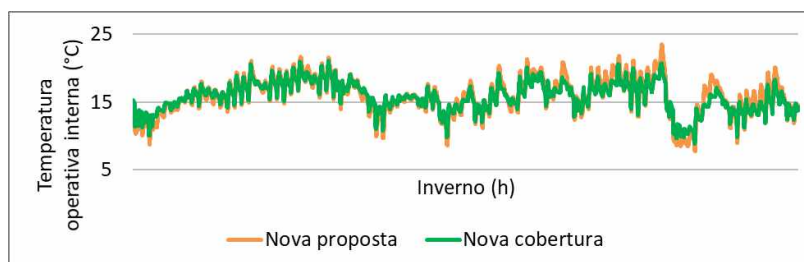


Figura 12 - Variação da temperatura operativa interna durante o inverno

Quando as trocas de calor por condução pelas superfícies transparentes são avaliadas, observa-se que no verão as taxas são bem maiores do que no inverno. Isso devido ao maior aquecimento das superfícies transparentes. O modelo da biblioteca original é o que mais realiza trocas, especialmente no verão. Por outro lado, o modelo com a maior área de captação solar é o que menos troca calor por condução. Isto ocorre

devido ao maior sombreamento da fachada leste (Figura 13). A mesma observação pode ser feita pelo ganho de calor através da radiação solar. Neste caso, os valores são iguais para a nova proposta de projeto, para a nova cobertura e para o uso do aquecimento solar, já que as áreas de vidros e de sombreamento são as mesmas (Figura 14).

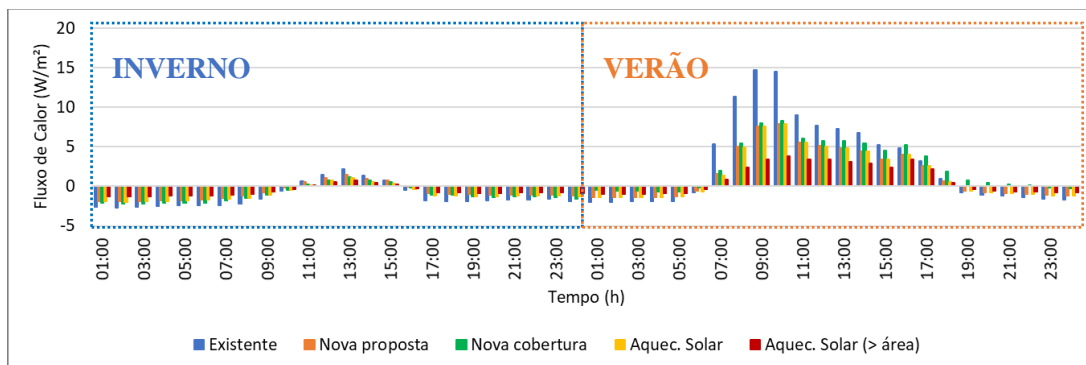


Figura 13 - Variação do fluxo de calor por condução pelas superfícies transparentes durante o solstício de inverno e de verão

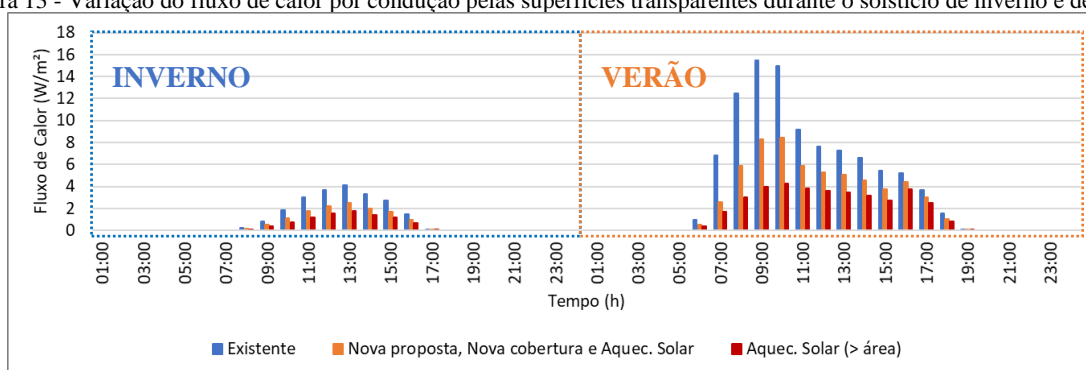


Figura 14 - Variação do ganho de calor através da radiação solar durante o solstício de inverno e de verão

A troca de calor por infiltração de ar está diretamente relacionada com a temperatura interna, já que os vidros só são abertos quando a temperatura interna do ar é maior do que 25°C. Por esta razão, no inverno, a taxa de trocas de calor por infiltração de ar é muito baixa. Já no verão, o modelo com a maior zona de aquecimento solar, em função de gerar altas temperaturas no verão, acaba sendo o modelo que mais remove calor através da ventilação. O modelo com a cobertura isolada, por outro lado, remove menos calor (Figura 15).

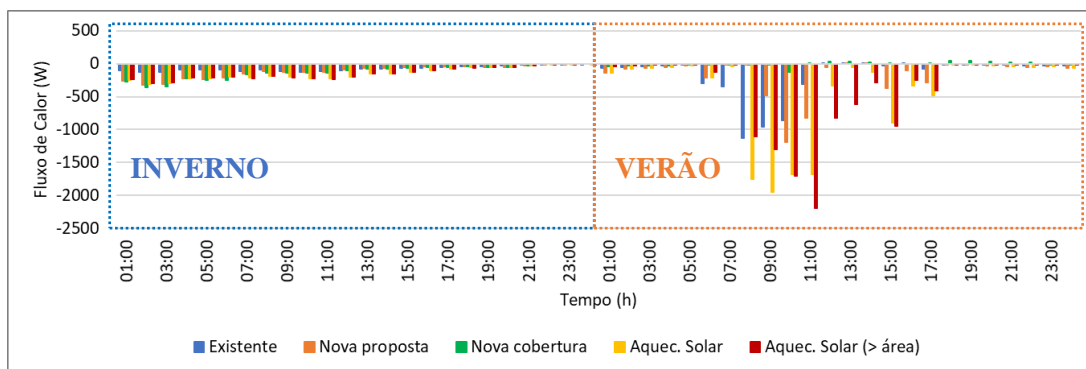


Figura 15 - Variação do ganho de calor através da infiltração de ar durante o solstício de inverno e de verão

4.3. Apresentação e análise da solução final

A partir das análises anteriores, foi verificado que a adoção do anexo compromete o conforto térmico em função de que o ganho de calor por condução pelas superfícies transparentes é reduzido, ao mesmo tempo que as perdas de calor por infiltração são intensificadas. A adoção da cobertura isolada melhorou o desempenho térmico, apesar de ele ainda ter sido inferior a situação existente. Quando apenas o fluxo de calor pelas superfícies opacas é avaliado, contudo, este modelo parece ser vantajoso em função de que no inverno, em função da laje perder menos calor, os ganhos térmicos foram mais elevados do que nos demais modelos, ao mesmo tempo que no verão as perdas térmicas foram menores. Com relação a adoção de uma área de aquecimento solar, foi constatado que a maior área foi a que levou a melhores resultados. Sendo assim, como proposta de modelo final, sugere-se a adoção da maior área de aquecimento solar (com

possibilidade de abertura das esquadrias laterais nos períodos quentes) e da cobertura isolada. A simulação com o *EnergyPlus* demonstrou que esta alternativa gera um desconforto térmico por frio de 42%, um desconforto térmico por calor de 3% e um conforto térmico de 55%, ou seja, aumentou o conforto térmico em 5%, quando comparado com a situação existente. Apesar desta ser uma pequena diferença, quando a proposta final é comparada com a proposta inicial, o aumento passa a ser de 12%, com diminuição do desconforto térmico por frio de 6%.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou diferentes alternativas de proposta de ampliação da biblioteca de uma escola pública localizada em Caxias do Sul. Em um primeiro momento, observou-se que a alternativa inicial proposta acabava prejudicando o desempenho térmico da biblioteca, gerando mais desconforto térmico, especialmente para o frio. Análises de conforto térmico e de fluxos de calor de diferentes alternativas permitiram chegar a uma proposta onde, além de atingir o objetivo de ampliar a área da biblioteca (sem gerar a necessidade de alterar a fachada da escola), o conforto térmico também pudesse ser melhorado. O sistema de análise de fluxos foi muito importante para este processo de encontrar a melhor solução de projeto, visto que foi através dele que foi possível verificar melhor de que forma cada uma das alternativas afetava o desempenho térmico do ambiente. Ou seja, apenas a análise final do conforto térmico pode não ser suficiente para se chegar a um melhor resultado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- BIGLADDER SOFTWARE. Euclid. Disponível em: < <https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/>>. Acesso em julho de 2019.
- BURGOS, E. G. ; GRIGOLETTI, G. de C.; PAIXÃO, D. X. da. Otimização do conforto ambiental no espaço escolar: uma visão sustentável. **Cinergis**, Santa Cruz do Sul, v. 16, n. 1, jul. 2015.
- DEAR, Richard de; BRAGER, Gail. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55**, Energy and Buildings, v. 34, pp. 549-561, 2002.
- EnergyPlus, 2016a. **EnergyPlus Input and Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus**. Version 8.7., Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.
- _____, 2016b. **Getting Started with EnergyPlus – Everything You Need to Know about Running EnergyPlus**, Version 8.7., Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.
- ENERGYPLUS. EnergyPlus. Disponível em: < <https://energyplus.net/>>. Acesso em julho de 2019.
- GU, L. **Airflow Network Modeling in EnergyPlus**. 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition. Pequim, setembro de 2007.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria nº18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**. Brasília, DF, 2012.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura Escolar – o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Downloads – Arquivos Climáticos**. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>>. Acesso em abril de 2019.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- MARTINS, D. J.; RAU, S. L.; RECKZIEGEL, S.; FERRUGEM, A. P.; SILVA, A. C. S. B. da. **Ensaio sobre a Automação de Aberturas na Simulação de Desempenho Térmico de Edificações**. Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 16 a 18 de setembro de 2009.
- OCHOA, J. H.; ARAÚJO, D. L.; SATTTLER, M. A. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 91-114, jan./mar. 2012.
- TRIMBLE. SketchUp. Disponível em: < <https://www.sketchup.com/pt-BR>>. Acesso em julho de 2019.
- ZIEBELL, Clarissa S.; BERTOLETTI, Roberta. **Avaliação pós-ocupação da Escola Estadual Dante Marcucci**. Anais do XIII Encontro Nacional de conforto do Ambiente Construído e IX Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Campinas, 15 a 17 de outubro de 2015.