

Análise da carga térmica de resfriamento e aquecimento por meio de simulação computacional em dois sistemas construtivos: *Light Steel Frame* e alvenaria de blocos cerâmicos

Analysis of the cooling and heating load by computer simulation in two construction systems: Light Steel Frame and ceramic block masonry

Análisis de la carga térmica de refrigeración y calefacción por medio de simulación computacional en dos sistemas constructivos: Light Steel Frame y mampostería de bloques cerámicos

Recebido: 17/11/2020 | Revisado: 18/11/2020 | Aceito: 21/11/2020 | Publicado: 26/11/2020

Nuria Perez Gallardo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7941-7367>

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil

E-mail: nuria_perez@unifesspa.edu.br

Lygia Maria Policarpio Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8956-3963>

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil

E-mail: lpolicarpio@unifesspa.edu.br

Tamara Daiane de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6849-5877>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: tamara.souza@ufop.br

Múcio André dos Santos Alves Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8051-7805>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: mucioandre@gmail.com

Mauricio Sanches Duarte Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1354-7198>

Universidade de São Paulo, Brasil

E-mail: msan80@gmail.com

Alan Monteiro Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1412-961X>

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil

E-mail: alan@unifesspa.edu.br

Resumo

A otimização de recursos é imperativa na construção civil, cuja finalidade está diretamente relacionada à redução de perdas nos processos e consequente aumento na produtividade. Estes fatores estão diretamente relacionados a eficiência do ambiente construído, onde se destaca o comportamento térmico. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a carga térmica de resfriamento e aquecimento de quatro modelos construtivos por meio de simulação computacional, sendo: um modelo construído com sistema de alvenaria de blocos cerâmicos e três modelos em Light Steel Frame (LSF), utilizando diferentes combinações de materiais. A simulação, usando o software Autodesk Revit® 2020, foi realizada sob condições climáticas da cidade de Marabá-PA. Os resultados obtidos mostram um melhor comportamento térmico no método LSF com telha termoacústica, o qual seria capaz de proporcionar melhor conforto térmico aos usuários e potencializar a eficiência energética da edificação.

Palavras-chave: Comportamento térmico; Light Steel Frame; Alvenaria de blocos cerâmicos; Simulação térmica; Autodesk Revit.

Abstract

The optimization of resources is imperative in civil construction, whose purpose it is related to the reduction of losses during the process, and the consequent increase in productivity. These factors are related to the efficiency of the built environment, where it highlights the thermal behavior. The present work aims to evaluate the thermal load of cooling and heating of four constructive models by means of computer simulation: one model built with masonry system of ceramic blocks and three models in Light Steel Frame (LSF), using different combinations of materials. The simulation, using Autodesk Revit® 2020 software, was carried out under climatic conditions in the city of Marabá-PA. The results obtained show a better thermal behavior in the LSF method with thermoacoustic tile, which would be able to provide better thermal comfort to users and enhance the energy efficiency of the building.

Keywords: Thermal behavior; Light Steel Frame; Masonry of ceramic blocks; Thermal simulation; Autodesk Revit.

Resumen

La optimización de recursos es imperativa en la construcción civil, cuya finalidad está directamente relacionada con la reducción de pérdidas en los procesos y consecuentemente en el aumento de la productividad. Estos son factores fuertemente relacionados a la eficiencia del ambiente construido y el comportamiento térmico. Este trabajo, tiene como objetivo evaluar la carga térmica de refrigeración e calefacción de cuatro modelos por medio de simulación, siendo un modelo construido mediante el sistema de mampostería de bloques cerámicos y tres modelos en Light Steel Frame (LSF), en los cuales fueron utilizados diferentes materiales. La simulación, realizada mediante el software Autodesk Revit® 2020, fue desarrollada bajo condiciones climáticas de la ciudad de Marabá-PA. Los resultados obtenidos muestran un mejor comportamiento térmico en el método de LSF con teja termoacústica, el cual fue capaz de proporcionar mejor confort térmico para los usuarios, así como potencializar la eficiencia energética de la edificación.

Palabras clave: Comportamiento térmico; Light Steel Frame; Mampostería de bloques cerámicos; Simulación térmica; Autodesk Revit.

1. Introdução

O desenvolvimento das cidades e as mudanças na sociedade no decorrer da história foram responsáveis pela expansão do ambiente urbano. Nesse contexto, a construção civil integra um ramo de atividade impulsionado pelas novas demandas da coletividade. Queiróz (2016) aponta que é atribuído a esse setor a responsabilidade de ser o ponto inicial para uma nova organização espacial, estruturada em variadas etapas, que por sua vez, maximizam os resultados positivos.

Na construção civil, o comportamento térmico caracteriza a maneira como uma edificação responde fisicamente quando submetida a diferentes variáveis climáticas (Queiróz, 2016). Assim, entende-se como o conforto térmico, segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), a satisfação térmica do indivíduo com relação às mesmas variáveis climáticas do ambiente no qual está inserido. Ambas as características, comportamento e conforto térmico, devem ser consideradas ainda na fase de projeto, visto que, tanto as propriedades térmicas dos materiais como suas características construtivas irão influenciar no comportamento térmico da edificação. Tal abordagem faz com que a edificação atenda às exigências de conforto térmico dos usuários em relação às condições climáticas da região de implantação da obra.

O comportamento térmico de uma edificação representa como esta reage fisicamente quando submetida ao conjunto de algumas variáveis, sendo elas, as climáticas (ventilação, temperatura, umidade etc.), as de geração interna (pessoas, iluminação, equipamentos etc.), as de uso (manipulação de esquadrias, acionamento dos sistemas artificiais de iluminação e condicionamento etc.) e por fim, as características de suas superfícies externas (coberturas, parede, piso, janelas etc.). A partir de dados obtidos dessa reação, se torna possível verificar se tal comportamento satisfaz as exigências dos usuários (Queiróz, 2016). Lamberts, Xavier, Goulart & Vecchi (2016) afirmam que a forma como se comporta uma edificação é afetada significativamente pelos materiais e componentes construtivos selecionados em sua execução, onde conseqüentemente torna-se comum a padronização de certos materiais para determinadas condições.

O sistema construtivo mais utilizado atualmente no Brasil é o sistema de alvenaria de blocos cerâmicos aliado ao concreto armado, junção essa que já tem dominado o mercado da construção civil por décadas (Souza, 2013). Os materiais cerâmicos se caracterizam pela durabilidade e a resistência a agentes agressivos externos. Esse sistema construtivo apresenta diversas vantagens quando comparado a outros sistemas, com destaque para o baixo custo, grande aceitação no mercado da construção civil e a facilidade de acesso aos insumos. Entre suas desvantagens destacam-se o maior tempo de execução, o elevado peso próprio e uma grande geração de resíduos e desperdício de material (Miranda & Zamboni, 2016).

O Light Steel Frame (LSF), por sua vez, surgiu em meio a busca por sistemas construtivos alternativos mais eficientes, e embora tenha sido comumente empregado em países como Estados Unidos, Inglaterra, Japão e Austrália há quase 50 anos, foi apenas no início da década de 90 que seu uso foi intensificado, favorecendo a industrialização do setor e apresentando preços mais competitivos (Vivan & Aliari, 2012). O LSF pode ser definido como um conjunto de métodos construtivos a seco e racionalizados, nos quais se utilizam perfis metálicos de aço galvanizado conformados a frio, compondo todo o corpo da edificação, tanto estrutural, como também dando suporte aos painéis de vedação (Santiago, 2012).

Este sistema possui diversas vantagens em comparação ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos devido ao seu elevado nível de industrialização. Dentre estas vantagens destacam-se: leveza, baixo custo, execução 30% mais rápida que os sistemas convencionais, reciclagem e reaproveitamento do aço, entre outras. Entretanto, ainda são incipientes os estudos que tratam sob a perspectiva do comportamento e conforto térmico das construções em LSF.

Com o avanço das novas tecnologias têm sido desenvolvidas inúmeras ferramentas computacionais de simulação, mediante as quais é possível obter uma representação fiel da

realidade das edificações, que além de permitir o conhecimento do comportamento de cada elemento construtivo, também torna possível prognosticar o seu desempenho, facilitando um diagnóstico de desempenho mais eficientes antes da execução do projeto. Tudo isto, combinado com as estratégias bioclimáticas, gera soluções alternativas de construções mais eficientes (Lamberts, Dutra & Pereira, 2014).

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), o estudo de desempenho térmico em edificações deve ser fundamentado em métodos adequados e capazes de representar de forma objetiva a realidade. Desta forma, menciona que o trabalho deve ser realizado por profissionais com domínio no tema e um vasto conhecimento científico sobre todos os conceitos relacionados com a edificação. Esta avaliação pode ser realizada tanto nas fases iniciais do projeto, como através de simulação computacional usando medições in loco das variáveis representativas de desempenho após a construção (ABNT, 2005).

Neste contexto, o presente trabalho objetiva simular e comparar a carga térmica para resfriamento de uma sala de aula situada na região amazônica. Considerou-se cinco diferentes materiais para parede de fechamento e três tipos de coberturas.

2. Metodologia

A definição do tema, assim como os métodos adotados, foi definida por meio de vasta pesquisa bibliográfica. Este tipo de pesquisa é definido como uma gama de procedimentos cujo objetivo é a busca por soluções de estudos em diversas áreas e, portanto, deve ser realizada de forma estruturada (Lima & Mioto, 2007).

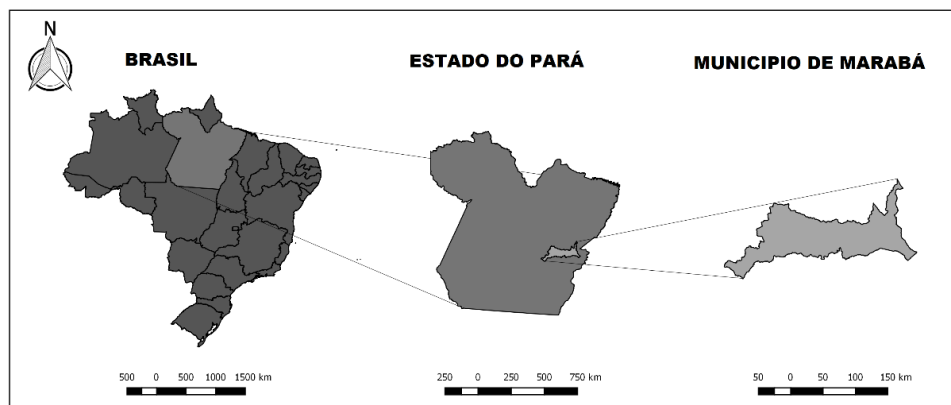
O trabalho foi realizado mediante simulação computacional, a partir do uso do software Autodesk Revit®, com a utilização do banco de dados contido no próprio software. Por mensurar e analisar diferentes variáveis, assim como justificar os valores encontrados, pode-se caracterizar esta pesquisa como quali-quantitativa (Pereira, Shitsuka, Parreira & Shitsuka, 2018). A discussão dos resultados foi embasada nos trabalhos publicados por: Queiróz (2016), Spannenberg (2006) e Souza (2013).

O trabalho foi estruturado em 3 etapas principais: Caracterização da área, estabelecimento dos parâmetros para simulação computacional e determinação das propriedades térmicas dos materiais constituintes do ambiente avaliado, os quais estão descritos a seguir.

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Município de Marabá, situado a sudeste do estado do Pará, região norte do Brasil, região amazônica, conforme apresentado na Figura 1. A região possui hidrografia densa, sendo verificado a confluência dos rios Itacaiunas e Tocantins na cidade. O rio Itacaiúnas e seus afluentes banham toda a área municipal, com densidade demográfica de 15,45 hab/km² e Índice de desenvolvimento humano de 0,668 (IBGE, 2010). Marabá está situada uma altitude de aproximada 117 metros em relação ao nível do mar e ocupa uma área de extensão de 15.128,058 km² (Raiol, 2010).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2020).

O clima da região é caracterizado segundo classificação de Köppen (1931) como tropical, quente e úmido (Aw), apresentando índice pluviométrico relativamente elevado, com nítido período seco e temperaturas médias acima de 25°C em seus meses mais frios (INMET, 2020).

Segundo dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), o município registra uma temperatura média anual de 27,3°C, segundo sua normal climatológica de 1981 a 2010, e uma temperatura média máxima anual de 35,5 °C. Os valores de umidade relativa do ar são elevados, em torno de 80%, porém na estação seca (junho a setembro), conhecida como "verão amazônico", os valores diminuem, devido à escassez de chuvas e registro das temperaturas mais elevadas. O índice pluviométrico médio é de 1900 mm anuais, sendo concentrado entre os meses de dezembro a abril, meses que compreendem a estação chuvosa do ano.

2.2 Simulação térmica computacional

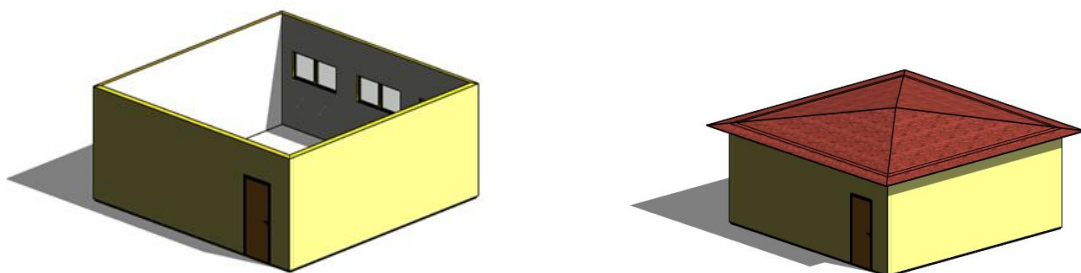
A simulação computacional foi realizada com o auxílio do software Autodesk Revit® 2020 como ferramenta de simulação térmica de edificações. O mesmo é um software com aplicação dos conceitos de BIM (*Building Information Model* ou Modelo da Informação da Construção) para engenharia, arquitetura e urbanismo, sendo amplamente utilizado no mercado atual tanto para projetar, como para planejar, construir e gerenciar edifícios e infraestruturas (Queiróz, 2016).

A simulação iniciou-se pela modelagem computacional de uma sala de aula que serviu como modelo de edificação padrão na simulação. Foram desenhados quatro modelos, sendo que em cada simulação foi utilizada uma combinação de diferentes materiais nos elementos de fechamento da sala (paredes, piso e cobertura). O modelo de sala de aula, independente da combinação utilizada, possui aproximadamente 49 m² de área útil, conforme representado na Figura 2.

Para a criação dos modelos digitais, foram inseridos no programa os seguintes dados de entrada:

- Dimensões em planta e volumetria;
- Cinco diferentes materiais para parede de fechamento: Alvenaria de blocos cerâmicos; Painéis OSB (Oriented Strand Board ou chapa de tiras de madeira orientadas); Painéis EPS (Poliestireno Expandido); Painéis de gesso acartonado e Placas cimentícias;
- Três tipos de cobertura: Cobertura inclinada com telha cerâmica; Cobertura inclinada com telhas termoacústicas e Cobertura plana modelo Steel Deck.

Figura 2 - Modelo da área de estudo.



Fonte: Autores (2020).

2.3 Definição da localização geográfica da edificação para simulação

Para definir a localização geográfica do modelo computacional da sala de aula, a ferramenta de Serviço de Mapeamento na Internet disponibilizado pelo Revit® 2020 foi utilizada. Tal ferramenta permite acesso a dados de estações climáticas virtuais do ano real e estações climáticas anuais típicas, baseadas em uma média de 30 anos de dados climáticos disponíveis em formatos de arquivos como o *Test Meteorological Year* (TMY2) (Queiróz, 2016).

Foi inserida a localização geográfica do projeto para a cidade de Marabá e selecionada a estação climática, a qual fornece as informações sobre o clima local empregadas na simulação e que afetam diretamente nas condições em que a edificação está inserida.

Faz-se importante ressaltar que todos os modelos foram submetidos às mesmas condições atmosféricas de temperatura, umidade relativa, entre outras variáveis climáticas. Os dados utilizados foram os referentes ao mês de novembro de 2019.

2.4 Dados sobre a tipologia de construção para a simulação

Além dos dados inseridos anteriormente, o software ainda necessita de informações a respeito do tipo de construção, fator esse que, segundo Queiróz (2016) tem influência nas cargas térmicas devido ao número de ocupantes e padrões de uso e ocupação internos. O software disponibiliza uma gama de opções relacionadas ao tipo de uso do ambiente, neste caso, foi selecionada Escola ou Universidade, que é condizente o estudo de caso proposto.

A opção já vem com informações pré-definidas baseadas nos dados ASHRAE 90.1-2010, ASHRAE 90.2-2010, ASHRAE 62.1, CBECS e em outros levantamentos de construção (AUTODESK, 2019). Tais informações são utilizadas na simulação térmica da estrutura e são utilizando visando fornecer estimativas mais razoáveis de uso, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Predefinições do tipo de construção: Escola ou Universidade.

Tabela de ocupação	Escola ou Universidade
Pessoas/100 m ²	21.7
Ganho de calor sensível a pessoas	73.3
Ganho de calor latente a pessoas	58.6
Densidade de carga de iluminação	10.7
Densidade de carga de equipamento	10.8
Fluxo de infiltração	0.4
Ar externo (ar de ventilação), Fluxo por pessoa (L/s)	NULO
Ar externo (ar de ventilação), Fluxo por área (m ³ /h m ²)	7.3

Fonte: Autores (2020).

2.5 Propriedades térmicas dos materiais

Faz-se necessário a inserção de alguns dados térmicos para uma simulação mais condizente com a realidade, embora o software já traga um banco de dados com algumas informações a respeito dos materiais. Neste trabalho foram alterados os dados relacionados a condutividade térmica, o calor específico e a densidade de cada um dos materiais selecionados, que são os dados mais relevantes para a análise. Tais dados são utilizados para calcular a resistência e a massa térmica dos elementos. As propriedades térmicas dos materiais utilizados nas paredes externas e nas coberturas de cada sistema construtivo foram obtidas na norma NBR 15220- 2 (ABNT, 2005).

Neste estudo foram simuladas quatro diferentes combinações de materiais utilizando o modelo-base de sala de aula anteriormente citado. As características de todos os materiais utilizados em cada um dos modelos são descritas a seguir.

- Modelo 1: baseado no sistema de alvenaria de blocos cerâmico, utilizando paredes compostas do bloco cerâmico e reboco, piso em laje de concreto e cobertura com telhas cerâmicas com inclinação de 15%, cujas propriedades estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações dos materiais do Modelo 01.

Material	Espessura (cm)	Densidade (kg/m ³)	Condutividade Térmica (W/(m·K))	Calor específico (kJ/(kg°C))
Tijolo cerâmico	9	1150	0,7	0,92
Argamassa de revestimento	3	1950	1,15	1
Vidro janelas	0,03	2500	1	0,84
Madeira Portas	3,5	600	0,15	1,34
Laje Piso	10	2300	1,7	1
Telha cerâmica	0,015	1700	1	0,92

Fonte: Autores (2020).

- Modelo 2: baseia-se no sistema LSF e nele foram adotados painéis OSB para vedação externa e painéis de gesso acartonado para vedação interna. Também foi adicionada lã de rocha entre os painéis visando incrementar o isolamento térmico. O piso segue em laje de concreto e a cobertura selecionada foi a que utiliza telhas termo acústicas com 15% de caimento, cujas propriedades estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações dos materiais do Modelo 02.

Material	Espessura (cm)	Densidade (kg/m ³)	Condutividade Térmica (W/(m·K))	Calor específico (kJ/(kg°C))
Placas OBS	1,1	7000	0,17	2,3
Lã de rocha	7,5	112	0,045	0,75
Placa de gesso acartonado	1,25	850	0,35	0,84
Telha termoacústica	5,1	20	0,03	1,67
Vidro janelas	0,03	2500	1	0,84
Madeira Portas	3,5	600	0,15	1,34
Laje Piso	10	2300	1,7	1

Fonte: Autores (2020).

- Modelo 3: painéis EPS ficam responsáveis pela vedação externa juntamente com painéis de gesso acartonado para vedação interna, o isolante térmico entre eles foi a lã de vidro. O piso em laje de concreto, padrão do sistema LSF e a cobertura deste modelo

foi a inclinada com o uso de telhas cerâmicas. As propriedades estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificações dos materiais do Modelo 03.

Material	Espessura (cm)	Densidade (kg/m ³)	Condutividade Térmica (W/(m·K))	Calor específico (kJ/(kg°C))
Placas EPS	1,15	20	0,03	1,67
Lã de vidro	7,5	72	0,045	0,7
Placa de gesso acartonado	1,25	850	0,35	0,84
Vidro janelas	0,03	2500	1	0,84
Madeira Portas	3,5	600	0,15	1,34
Laje Piso	10	2300	1,7	1
Telha cerâmica	0,015	1700	1	0,92

Fonte: Autores (2020).

- Modelo 4: na vedação externa foram adotadas placas cimentícias aliadas aos painéis de gesso acartonado, responsáveis pela vedação interna e lã de rocha como o isolante entre as duas placas de vedação. O piso permanece em laje de concreto e a cobertura escolhida foi a inclinada com o uso de telhas termoacústicas. As propriedades estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Especificações dos materiais do Modelo 04.

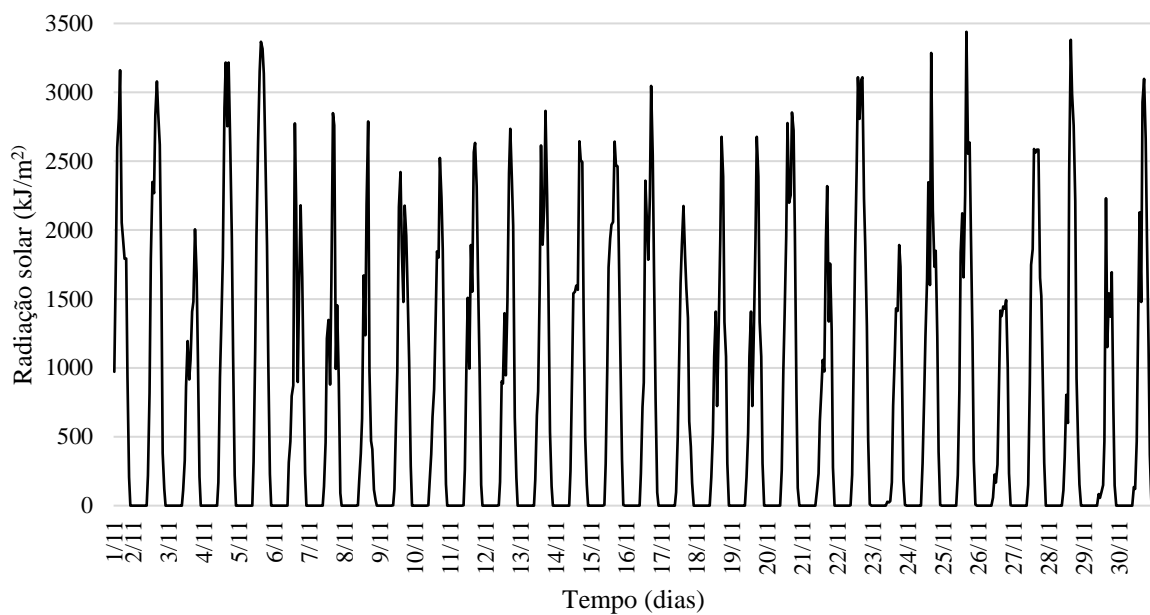
MATERIAL	Espessura (cm)	Densidade (kg/m ³)	Condutividade Térmica (W/m·K)	Calor específico (kJ/(kg°C))
Placas cimentícias	1	1700	0,65	0,84
Lã de rocha	7,5	112	0,045	0,75
Placa de gesso acartonado	1,25	850	0,35	0,84
Laje Steel Deck	1	1860	1,7	1
Vidro janelas	0,03	2500	1	0,84
Madeira Portas	3,5	600	0,15	1,34
Laje Piso	10	2300	1,7	1
Telha termoacústica	5,1	20	0,03	1,67

Fonte: Autores (2020).

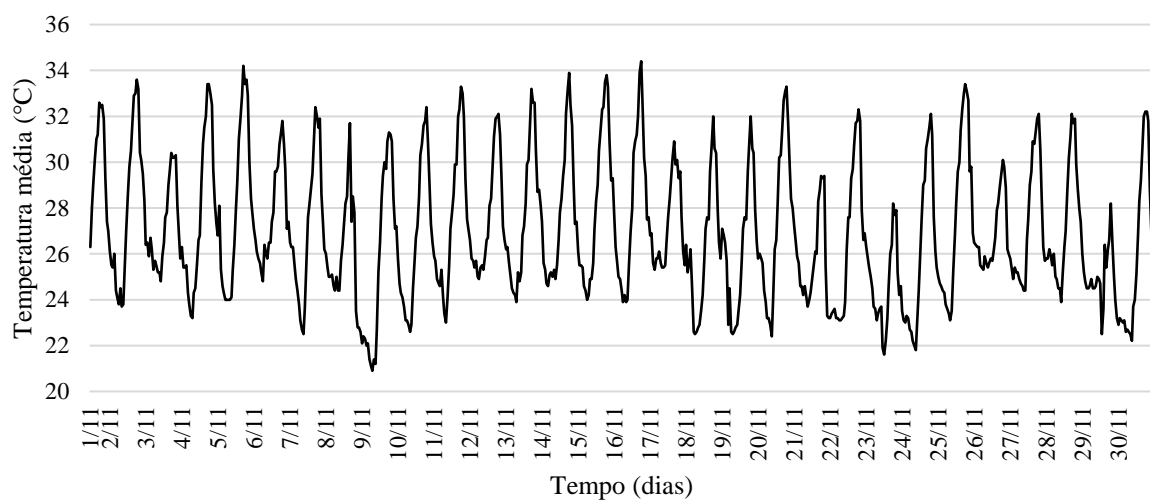
3. Resultados e Discussão

No período de simulação, não foi verificado valores significativos de precipitação. As principais variáveis climáticas monitoradas apresentaram os seguintes valores: temperatura média máxima de 26,6°C, radiação solar de 1252,8 kJ/m² e uma umidade relativa do ar de 76,35%.

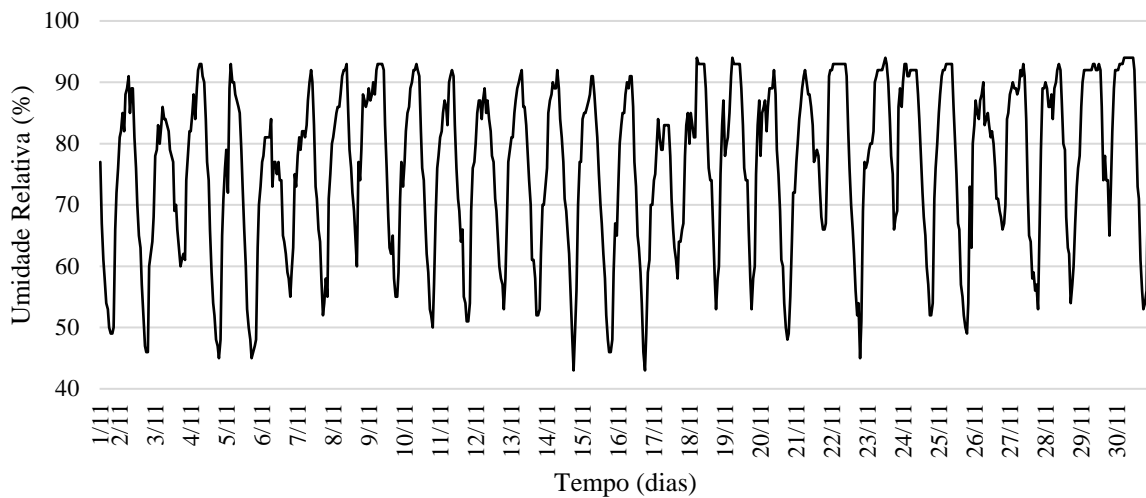
Figura 3 - Variáveis climáticas (a) Radiação Solar, (b) Temperatura e (c) Umidade registradas no mês de estudo.



(a)



(b)

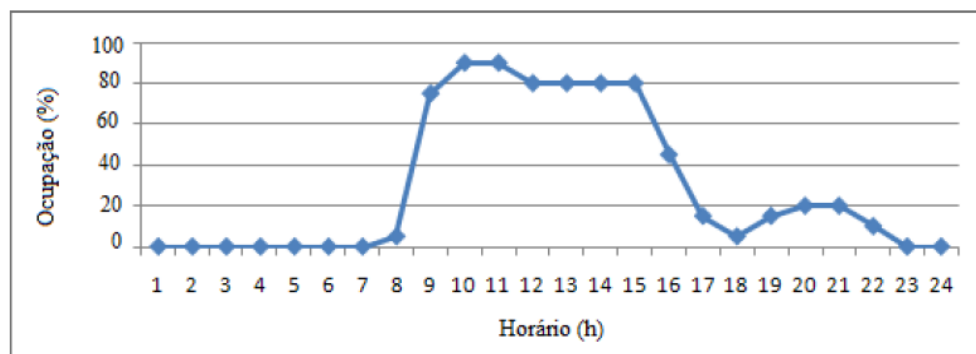


(c)

Fonte: Autores (2020).

A distribuição de ocupação para o local de estudo está representada na Figura 4. Nota-se que as maiores taxas de ocupação ocorrem nos períodos de maior radiação solar incidente, fato que corrobora a necessidade de investimentos em estratégias estruturais de ambiência. Nota-se ainda que a curva se assemelha com uma distribuição normal ou distribuição de Gauss, onde a taxa de ocupação é baixa nos primeiros horários, aumenta nos horários intermediários e volta a diminuir nos horários finais, apresentando um gráfico no formato da curva de Gauss ou de curva em forma de sino.

Figura 4 – Taxa de ocupação no tipo de construção Escola ou Universidade.



Fonte: Autores (2020).

Foram realizadas simulações térmicas com o intuito de se obter as cargas térmicas de resfriamento para os modelos propostos. As cargas térmicas representam a quantidade de energia necessária para o resfriamento do espaço, sendo dadas em Watts (W). Desta forma, foi obtido para os quatro modelos simulados, segmentados em cargas advindas das paredes, janelas e telhado, assim cargas procedentes do calor gerado pelos ocupantes e os processos geradores de calor desenvolvidos no interior do ambiente (luzes e alimentação).

Os valores de carga de resfriamento obtidos representam a quantidade de energia que deve ser retirada do ambiente para se atingir uma temperatura pré-estabelecida.

Os valores de carga de resfriamento obtidos por meio da simulação dos modelos, para as condições climáticas do mês de novembro, estão apresentados na Tabela 6.

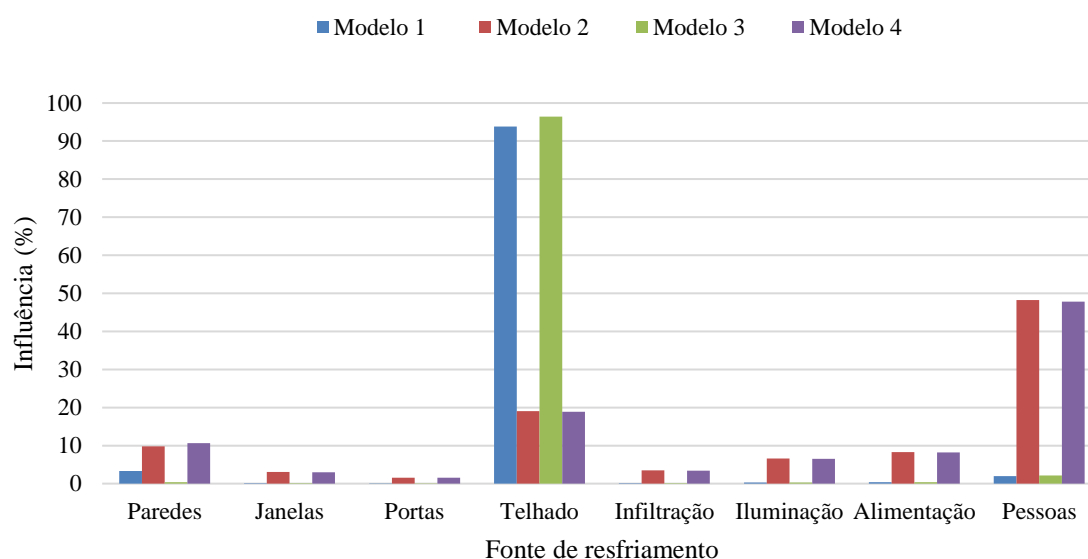
Tabela 6 – Carga de resfriamento.

	Modelo 1 ^(a)		Modelo 2 ^(b)		Modelo 3 ^(c)		Modelo 4 ^(d)	
	Carga (W)	%	Carga (W)	%	Carga (W)	%	Carga (W)	%
Paredes	5.823	3,31	740	9,80	670	0,40	811	10,64
Janelas	196	0,11	228	3,02	228	0,13	228	2,99
Portas	123	0,07	119	1,57	116	0,07	116	1,53
Telhado	165.256	93,81	1.437	19,04	162.907	96,43	1.438	18,87
Infiltração	255	0,14	260	3,45	257	0,15	260	3,42
Iluminação	472	0,27	499	6,61	499	0,30	499	6,55
Alimentação	590	0,34	624	8,27	624	0,37	624	8,19
Pessoas	3.441	1,95	3.642	48,24	3.642	2,16	3.642	47,80
Carga total	176.156		7.549		168.943		7.618	

(a) Modelo 1 – Blocos cerâmicos + Telha cerâmica; (b) Modelo 2 – OSB + Telha termoacustica; (c) Modelo 3 – EPS + Telha cerâmica; (d) Modelo 4 – Placa cimentícia + Telha termoacustica.
Fonte: Autores (2020).

Para melhor visualização, as distribuições de influência de cada elemento na carga de resfriamento, está apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Proporção de influência de cada elemento na carga de resfriamento.



Fonte: Autores (2020).

Os resultados demonstram a grande influência da cobertura no âmbito do comportamento térmico, nota-se que nos modelos 1 e 3, nos quais são utilizadas telhas cerâmicas, os valores de cargas de resfriamento chegam a representar mais de 90% do total de carga necessária para resfriar o ambiente, como evidenciado na Figura 5.

Outro ponto importante é a disparidade entre a carga requisitada pelas paredes no sistema de alvenaria de blocos cerâmicos e nos três modelos de Light Steel Frame simulados, que independentemente do tipo de painéis utilizados, sejam eles painéis OBS (Oriented Strand Board), EPS (Poliestireno Expandido) ou Placas cimentícias, ainda apresentam comportamento muito superior a alvenaria utilizando blocos cerâmicos, chegando a apresentar comportamentos 700% superiores.

Nas combinações do sistema LSF nas quais foram adotadas telhas termoacústicas, o comportamento dos elementos de vedação foi tão positivo que as pessoas do ambiente passariam a representar o maior índice de necessidade de resfriamento, chegando a valores de 48,24%. Em comparação ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos, o valor se torna ainda mais discrepante, visto que no sistema esse mesmo valor é de apenas 1,95%. Vale ressaltar que tais percentuais não possuem um valor ideal, apenas expressam a eficiência do isolamento térmico através do bloqueio da penetração de calor externo, tornando as pessoas a principal fonte de aquecimento do local.

Já com relação as cargas de aquecimento dos modelos, os valores se encontram na Tabela 7.

Tabela 7 – Carga de aquecimento.

	Modelo 1 ^(a)		Modelo 2 ^(b)		Modelo 3 ^(c)		Modelo 4 ^(d)	
	Carga (W)	%	Carga (W)	%	Carga (W)	%	Carga (W)	%
Paredes	-565	11,26	-58	40,57	-49	1,11	-61	41,64
Janelas	-13	0,25	-13	8,77	-13	0,28	-13	8,61
Portas	-9	0,18	-9	6,42	-9	0,21	-9	6,30
Telhado	-4.404	87,82	-38	26,77	-4.341	97,84	-38	26,29
Infiltração	-24	0,49	-25	17,47	-25	0,56	-25	17,15
Carga Total	-5.015		-143		-4.434		-146	

(a) Modelo 1 – Blocos cerâmicos + Telha cerâmica; (b) Modelo 2 – OSB + Telha termoacustica; (c) Modelo 3 – EPS + Telha cerâmica; (d) Modelo 4 – Placa cimentícia + Telha termoacustica.

Fonte: Autores (2020).

As cargas de aquecimento do ambiente representam a quantidade de energia que deve ser fornecida para se aquecer e alcançar uma determinada temperatura, seus valores são dados de forma negativa. Por se tratar de uma região tropical, com altos valores de temperatura, umidade e radiação solar, constata-se que os resultados obtidos em todos os modelos apresentam quantitativos muito inferiores às cargas de resfriamento.

Ainda assim, os modelos em que foram adotadas coberturas que utilizam telhas cerâmicas continuam detendo os maiores valores de carga, reforçando a superioridade da telha termoacústica em termo de comportamento térmico. O sistema LSF neste quesito também se mantém a frente do sistema de alvenaria de blocos, demonstrando um comportamento superior em todos os três modelos, não importando o painel utilizado.

O principal propósito de uma edificação é atender, de maneira eficiente, as necessidades dos indivíduos que a utilizam, garantindo as condições para seu devido conforto. Segundo Spannenberg (2006) só existe conforto quando há um mínimo de esforço fisiológico em relação ao calor, som, luz e à ventilação para a realização de uma determinada tarefa. Existem algumas variáveis que podem influenciar no conforto térmico de cada indivíduo, dentre elas destacam-se as características das vestimentas utilizadas e as do metabolismo de cada um, sendo que o sexo, idade, raça, atividade exercida, entre outros fatores, são capazes de alterar significativamente a preferência térmica de cada indivíduo (Souza, 2013).

Para alcançar tal conforto, o gasto energético tem aumentado progressivamente nas últimas décadas. De acordo com Ministério de Minas e Energia, estima-se que o consumo de energia elétrica devido aos condicionadores de ar no setor residencial tenha mais que triplicado

nos últimos 12 anos, alcançando 18,7 TWh em 2017 (MME, 2018). O levantamento apontou que a aquisição de equipamentos nas residências aumentou 9,0% ao ano entre 2005 e 2017. As edificações públicas, como a sala estudada neste trabalho, consumiram 8% da energia elétrica do país em 2017 (MME, 2018).

Assim, aspectos construtivos que proporcionem redução do consumo de energia elétrica são essenciais no atual cenário e estão em consonância com a Agenda 2030 e os objetivos do desenvolvimento sustentável. Conforme mostrado, o sistema Light Steel Frame é capaz de otimizar o desempenho energético e comportamento térmico das edificações quando associado a outros elementos, propiciando altos níveis de conforto para os usuários (Santos, Gervásio, Da Silva & Lopes, 2011). Além disso, o sistema LSF apresenta vantagens em comparação com a construção tradicional em alvenaria, como rapidez, geração de resíduos, leveza, dentre diversos outros (Craveiro, Gameiro, Santos & Silva, 2013). Cabe ressaltar que a combinação entre sistemas construtivos e estratégias bioclimáticas devem ser levadas em consideração de maneira combinada, tais como ventilação cruzada e tamanho dos beirais de acordo com a NBR15575 (ABNT, 2013).

4. Considerações Finais

Representar a complexidade da natureza é uma atividade extremamente útil no desenvolvimento de técnicas construtivas mais eficientes, eficazes e condizentes com os novos paradigmas de sustentabilidade. Neste sentido, a simulação computacional é uma ferramenta de fácil utilização, com excelentes resultados tornando mais simples a análise e compreensão térmica de uma edificação. A partir da simulação, observou-se um melhor comportamento térmico no sistema Light Steel Frame quando comparado ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos, o que implica na adequada manutenção das condições que proporcionam um melhor conforto térmico aos seus usuários. A simulação também apontou que a combinação dos materiais de cobertura e fechamento associados ao sistema LSF impactam expressivamente na dinâmica das cargas térmicas e, conseqüentemente, na eficiência energética da edificação.

Como sugestão para futuras pesquisas indica-se a validação em campo dos resultados encontrados bem como a análise de diferentes tipologias de construções para esta região, tais como edificações residenciais e comerciais.

Referências

ABNT (2013). NBR 15.575: Edificações habitacionais: Desempenho: parte 1: Requisitos gerais. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro

ABNT (2005). NBR 15.220-2: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Rio de Janeiro.

ABNT (2005). NBR 15.220-3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Rio de Janeiro.

Castelo, J. L. D. C. (2008). *Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Craveiro, A., Gameiro Lopes, A., Santos, P., Silva, L. (2013). Natural ventilation potential on thermal comfort of a light-steel-framing residential building. *Green Design, Materials and Manufacturing Processes*, 387. <https://doi.org/10.1201/b15002-75>.

Fanger, P. O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *Occupational and Environmental Medicine*, 30(4), 313-324. <https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313>.

Goulart, S. V. G. (1993). *Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis*. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina.

Instituto Nacional de Meteorologia Do Brasil – INMET (2020). Normas climatológicas (1961/1990). Brasília – DF.

Köppen, W. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

Lamberts, R., Dutra, L., Pereira, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. (3a ed.), Rio de Janeiro, 2014. Recuperado de http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf

Lamberts, R., Xavier, A. A., Goulart, S., Vecchi, R. D. Desempenho térmico em edificações. LabEEE - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2016. Recuperado de: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf

MME. Ministério de Minas e Energia (2018) Nota Técnica EPE 030/2018: Uso de Ar-Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética, 43p.

Miranda, D., Zamboni, L. R. (2016). *Estudo comparativo entre o sistema construtivo light steel frame e o sistema de alvenaria convencional em casas populares*. Monografia de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil - Universidade Tuiuti do Paraná. Tuiuti.

Queiróz, G. R. (2016). *Análise da interoperabilidade entre os programas computacionais Autodesk Revit e Energyplus para a simulação térmica de edificações*. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

Raiol, J. A. (2009). *Perspectivas para o meio ambiente urbano*. Belém: PNUMA, 140p.

Sabbatini, F. H. (1989). *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo. São Paulo.

Spannenberg, M. G. (2006). *Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social: estudos de caso em Marau-RS*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Santiago, A. K., Freitas, A, M. S., Crasto, R. C. M. (2012). “Steel Framing”: Arquitetura. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia, Centro Brasileiro da Construção em Aço.

Santos, P., Gervásio, H., Da Silva, L. S., Lopes, A. G. (2011) Influence of climate change on the energy efficiency of light-weight steel residential buildings. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 28(4), 325-352. <https://doi.org/10.1080/10286608.2011.637624>

Souza, L. G. (2013). Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame. *Revista Especialize*. 20p. Florianópolis.

Vivan, A. L., Paliari, J. C. (2012). Design for Assembly aplicado ao projeto de habitações em Light Steel Frame. *Ambiente Construído*, 12(4), 101-115. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212012000400008>.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Nuria Pérez Gallardo – 16,66%

Lygia Maria Policarpio Ferreira – 16,66%

Tamara Daiane de Souza – 16,66%

Múcio André dos Santos Alves Mendes – 16,66%

Mauricio Sanches Duarte Silva – 16,66%

Alan Monteiro Borges – 16,66%