



ANÁLISE DO PROJETO DE UM EDIFÍCIO EDUCACIONAL COM BASE NAS DIRETRIZES CONSTRUTIVAS DA ABNT NBR 15220:2005

Mayara Costa de Lima (1); Ed Carlo Rosa Paiva (2)

(1) Discente, Engenheira Civil, mayaracostalima.arq@gmail.com, Universidade Federal de Catalão, Rua 02, quadra 01, lote 10, 75684-006, Caldas Novas - Goiás, 64 99285-5869

(2) Docente, Dr. Em Engenharia Civil, edcarlopaiva@yahoo.com.br, Universidade Federal de Catalão, Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120 Vila Chaud - CEP: 75704-020, 64 9311-2012

RESUMO

O projeto de uma edificação deve utilizar diretrizes construtivas recomendadas para o clima local em que será implantado, utilizando materiais construtivos que contribuam para o melhor desempenho térmico do edifício, com a finalidade de atender os critérios de conforto térmico e eficiência energética. O presente trabalho teve como objetivo analisar se o projeto do Edifício das Engenharias da Universidade Federal de Catalão, a ser construído na cidade de Catalão, Goiás, quanto ao seu enquadramento nas diretrizes propostas na NBR 15220 (2005), assim como, avaliar seu desempenho térmico. Para elaboração da pesquisa, inicialmente foi identificado o clima da cidade de Catalão, que está localizada na Zona Bioclimática 6, sendo identificadas as diretrizes construtivas recomendadas para esse clima. Detectou-se que as estratégias bioclimáticas mais eficientes a serem empregadas nesse projeto são: ventilação natural e sombreamento. Após estudos da carta solar, foi proposto uma proteção em brises horizontais para as fachadas voltadas ao poente e a redução das áreas das aberturas, para se adequar as recomendações da NBR 15220 (2005). Foram desenvolvidos seis modelos de projetos, com diferentes soluções de materiais construtivos para as envoltórias e tamanhos de aberturas. Em seguida, foram realizadas simulações através do software Energyplus, para verificar o desempenho térmico da edificação atual e das soluções concebidas. Constatou-se que a melhor opção de projeto resultou numa redução interna de 2,44 °C no horário mais quente do dia, no período mais quente do ano, em relação ao projeto atual. Por fim, foi simulado o consumo de energia elétrica, e verificou-se que para a melhor solução projetual, a economia anual de energia elétrica do sistema de resfriamento variou de 17,16% a 41,35%.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Conforto térmico. Eficiência energética.

ABSTRACT

The design of a building must use constructive guidelines recommended for the local climate that will be implemented, using constructive materials that contribute to the best thermal performance of the building, to meet the criteria of thermal comfort and energy efficiency. This study aimed to analyze whether the design of the Engineering Building of the Federal University of Catalão, built in the city of Catalão, Goiás, fits the guidelines proposed in NBR 15220 (2005), as well as to evaluate its thermal performance. For the elaboration of this research, the climate of the city of Catalão was initially identified, which is in Bioclimatic Zone 6, identifying the constructive guidelines recommended for this climate. It was identified that the most efficient bioclimatic strategies to be employed in this project are natural ventilation and shading. After reviewing the solar chart, a proposal was made to add horizontal blade louvers as a protection for the facade facing the west and to reduce the areas of the openings, to adapt to the recommendations of NBR 15220 (2005). Six project models were developed, with different constructive material solutions for the wrapping and opening sizes. Then, simulations were carried out using the Energyplus software, to verify the thermal performance of the current building and the proposed solutions. It was found that the best design option resulted in an internal reduction of 2.44 °C in the hottest time of day, in the hottest period of the year, in relation to the current design. Finally, the consumption of electricity was simulated, and it was found that for the best design solution, the annual savings of electricity in the cooling system ranged from 17.16% to 41.35%.

Key words: Thermal performance. Thermal comfort. Energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a ABNT/NBR 15220:2005 - Norma Brasileira de Desempenho Térmico para Edificações, a avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser realizada na fase de projeto ou após a construção. Na fase projetual, a edificação pode ser avaliada por meio de simulação computacional, ou por meio de verificação do cumprimento de diretrizes construtivas. Enquanto na edificação construída, a avaliação pode ser realizada mediante medições in loco das variáveis que representam o desempenho térmico.

A NBR 15220-3 (2005) define o zoneamento bioclimático brasileiro, apresenta recomendações de diretrizes construtivas e detalha as estratégias de condicionamento térmico passivo a serem aplicadas em projetos de habitações unifamiliares com até três pavimentos. Para cada zoneamento há um conjunto de recomendações adequadas ao clima, que visam proporcionar melhorias no desempenho térmico da edificação. Mesmo trazendo estratégias bioclimáticas voltadas para edifícios destinados à moradia, tais recomendações podem ser utilizadas em outros tipos de edificações, pois as estratégias são benéficas independente da tipologia a que se destina. Como não existe outra normativa que regulamente categorias diversas, a NBR 15220-3 (2005) será utilizada como referência projetual.

De acordo com a EPE (2019) os edifícios utilizaram, no ano de 2017, cerca de 51% da energia elétrica consumida em todo país, tendo o setor público gasto 8%. Entre os anos de 2005 e 2018 o consumo de energia elétrica aumentou em 2% ao ano. Ainda segundo a EPE (2019), o setor residencial utiliza 46% de eletricidade, 26% de GLP e 24% de lenha, enquanto o setor comercial e público utiliza 96% de eletricidade como principal fonte de energia. Nessa mesma pesquisa foi verificado que no setor de serviços, caracterizado por comercial e público, os principais usos finais de energia são destinados ao sistema de iluminação e refrigeração.

Com isso, para reduzir o consumo gerados pelos sistemas que mais consomem energia elétrica no setor de serviço é necessário prever soluções em conforto térmico e explorar a iluminação natural. As soluções são variadas, dentre elas: escolha de revestimentos claros, utilização de brises e cobogós para proteção de aberturas, exploração da ventilação natural cruzada, telhado verde, dentre outros.

A maioria do território brasileiro apresenta altas temperaturas durante as estações do ano, sendo agravadas durante verão, contribuindo para o aumento do uso dos condicionadores de ar. Entretanto, a utilização do sistema de climatização pode ser minimizado ao projetar edifícios que levam em consideração os aspectos bioclimáticos inerentes a cada região. Projetar edificações que aplicam as estratégias bioclimáticas adequadas, resulta numa melhoria do desempenho térmico da edificação, refletindo na sensação de conforto térmico do usuário, assim como uma redução no consumo de energia elétrica.

No desenvolvimento da pesquisa, inicialmente foi realizado o estudo detalhado das características climáticas da cidade de Catalão-GO, assim como o levantamento das estratégias bioclimáticas mais adequadas para a região. Em seguida estudou-se o projeto do edifício da FENG (Faculdade de Engenharia), do campus 2 da Universidade Federal de Catalão, sendo verificada a necessidade de adequações no projeto. Com isso foi proposto alterações, para que se adequasse as diretrizes projetuais da Zona Bioclimática 6. Após a adaptação da edificação, foram executadas simulações computacionais para verificar o desempenho térmico do projeto edificação atual e das edificações com as alterações propostas. Por fim, mais simulações foram geradas com o intuito de verificar o consumo de energia elétrica, e qual economia as alterações propostas iriam promover.

2. OBJETIVO

Analisar o desempenho térmico e o consumo de energia de propostas arquitetônicas para um edifício educacional no clima de Catalão/GO, considerando a NBR 15220 (2005). Como objetivos específicos, verificou-se o projeto quanto a sua adequação às estratégias bioclimáticas recomendadas pela NRB 15220 (2005); proposição de alterações no projeto com base nas diretrizes construtivas e recomendações para a Zona bioclimática 6, e por fim execução de simulações do projeto original e das modificações/adequações propostas, através do EnergyPlus, com a finalidade de verificar o desempenho térmico e energético da edificação.

3. MÉTODO

A metodologia desenvolvida na pesquisa é dividida nas seguintes etapas:

1. Caracterização do clima da cidade de Catalão – GO;
2. Identificação das diretrizes construtivas e estratégias bioclimáticas indicadas para o clima local, de acordo com a NBR 15220 (2005);
3. Análise do projeto atual;
4. Proposição de alterações no projeto;

5. Simulações de desempenho térmico, com base nas recomendações da NBR 15575 (2021), do projeto atual e dos projetos com as alterações e, ou adequações propostas.

3.1. Análise do clima da cidade de Catalão

O Brasil, por sua vasta extensão, possui um clima variado, assim foi desenvolvida uma norma que dividiu o país em oito zonas bioclimáticas. A NBR 15220 (2005) define essas áreas e estabelece diretrizes construtivas para cada zona, indicando parâmetros de aberturas para ventilação, sombreamento das aberturas, tipos de vedações externas e cobertura da edificação, além de indicar estratégias para condicionamento térmico passivo, com a finalidade de otimizar o desempenho térmico das edificações.

A cidade de Catalão, encontra-se na zona bioclimática 6, e segundo a NBR 15220 (2005) as diretrizes construtivas indicadas para essa zona são: utilização de aberturas médias para ventilação, sombreamento das aberturas, vedações com alta inércia térmicas e cobertura leve. Através da carta bioclimática da cidade de Catalão, gerada através do software Analysis Bio, foi identificado que a zona de conforto térmico é obtida quando a umidade do ar se encontra numa faixa entre 20 e 80%, e temperatura entre 18 °C e 29 °C. O conforto térmico nessa região está relacionado a baixas umidades do ar, sendo assim é necessário que sejam empregados métodos para renovar o ar dos ambientes constantemente para manter a umidade dentro da faixa aceitável. Foi possível verificar nas recomendações da carta, que uma das estratégias a ser utilizada para atingir o conforto térmico é a ventilação. De acordo com Lamberts (2016), a ventilação é a segunda estratégia passiva mais importante para o Brasil, sendo o sombreamento a primeira. No entanto, ela só é recomendada para intervalos de temperatura entre 20 °C e 32 °C, e se o ambiente interno possuir menores temperaturas que o ar externo, pois se esse apresentar maiores temperaturas que o interno, haverá um ganho térmico por convecção que resultará em aquecimento para o ambiente. Entre o intervalo de 27 °C a 32 °C a ventilação só será eficiente se a umidade relativa do ar estiver entre 15% e 75%.

Para pensar no projeto de arquitetura, além de considerar as variáveis climáticas do local onde será inserida a edificação, é essencial identificar as necessidades de conforto térmico referente a cada atividade e ambiente. Os elementos das variáveis climáticas são: incidência solar, temperatura, ventos, umidade, chuvas e nuvens (LAMBERTS, 2014).

Caso o projetista não possa realizar uma análise de campo para verificar as variações climáticas no local desejado, é possível verificar os dados climáticos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), onde há informações sobre diversas cidades brasileiras. No site da Projeteee (Projetando Edificações Energeticamente Eficientes)¹ é possível encontrar gráficos obtidos a partir dos dados climáticos disponibilizados pelo INMET. No gráfico de temperatura e zona de conforto do ano de 2016, a menor temperatura média mensal foi obtida no mês de julho, apresentando 20,11 °C, sendo a temperatura máxima de 25,91 °C e a mínima de 14,94 °C.

Já a maior temperatura média mensal ocorreu no mês de outubro, apresentando 24,96 °C, sendo a temperatura máxima de 30,76 °C e a mínima de 20,06 °C. A temperatura máxima de conforto térmico para esse mês é de 29,04 °C. O gráfico da zona de conforto foi definido levando em consideração as observações de Givoni (1992), que observou que o ser humano é capaz de se adaptar ao ambiente, quando interage com fatores físicos e psicológicos.

Como mencionado, para a zona bioclimática 6, a sensação de conforto está ligada à umidade, pois a temperatura de conforto térmico varia com a umidade relativa do ar. Percebe-se que, a média mensal de umidade relativa do ar é mais baixa nos meses de setembro e outubro, e com isso, as temperaturas para se obter o conforto térmico são mais elevadas.

3.2 Análise do projeto

A edificação será construída no campus 2 da Universidade Federal de Catalão, em Catalão, Goiás, e situada na Rua Terezinha Margon Vaz, a aproximadamente 1km do campus 1. O edifício será implantado em uma área livre próximo a uma grande densidade vegetal, e possui um entorno que não sofre influência de edifícios altos. O projeto (Figura 1) ocupa uma área de 693,64m², sendo composto pelo pavimento térreo e pavimento superior. O pavimento térreo abriga ambientes de salas de aula, auditório, laboratórios e banheiros. No pavimento superior encontra-se salas de estudo, salas de administração, sala dos professores, copa, salas de reunião e banheiros.

A entrada principal está voltada para a fachada nordeste (Figura 2), que contém um grande pano de vidro e brises metálicos que protegem as aberturas das salas de aula. A fachada noroeste contém somente janelas das

¹ <http://www.mme.gov.br/projeteee>

salas de aula, protegidas com brises horizontais. As fachadas sudoeste e sudeste possuem apenas aberturas sem proteções. As paredes externas são compostas por tijolos cerâmicos com 14 cm de espessura, enquanto as alvenarias internas dos banheiros são em tijolo cerâmico com 9 cm de espessura. As divisórias internas dos ambientes são em gesso acartonado. A marquise na entrada principal possui forro em PVC e a cobertura da edificação é em telha isotérmica.

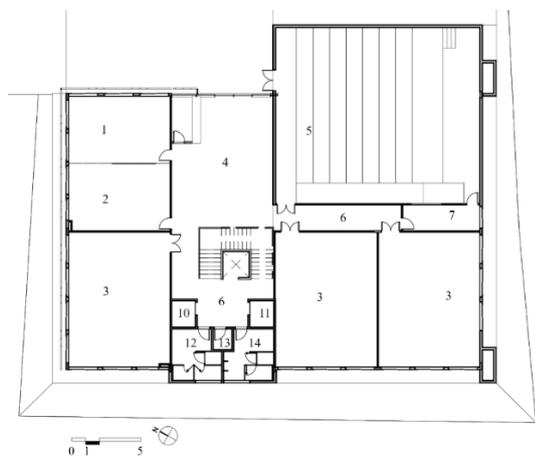


Figura 1 - Planta baixa, pavimento térreo.



Figura 2 - Fachada principal do projeto.

Para entender o movimento aparente do sol ao longo do ano, e como a radiação solar incide nas fachadas, é necessário realizar um estudo de insolação. Essa análise pode ser realizada com ajuda da carta solar, plotada através do software Sol-ar. Foi possível verificar que na fachada nordeste há incidência solar durante todo o ano no período da manhã. Na fachada sudeste recebe sol somente no período da manhã, e em alguns meses do ano não há incidência solar.

A fachada sudoeste recebe insolação durante o ano todo na parte da tarde. No dia 22 do mês de dezembro, o sol começa a incidir por volta das 12:15h até aproximadamente às 18:40h, quando o sol começa a se por. Durante o mês de junho há uma menor incidência de raios solares, no dia 22 se inicia por volta das 13:45h, e encerra por volta das 17:30h. No dia 23 do mês de setembro, a fachada recebe os raios solares por volta das 12:45h, e vai até aproximadamente às 18:00h. Os raios solares começam a incidir na fachada noroeste no período da manhã a partir do dia 22 do mês de fevereiro, em que inicia por volta das 11:45h. À medida que os meses avançam, os raios solares começam a incidir cada vez mais cedo. No dia 22 de março, a incidência começa a partir das 10:45h. No dia 22 do mês de abril, os raios solares começam a incidir a partir das 09:15h, no dia 22 de maio se inicia por volta das 08:30h, no dia 22 de julho se inicia as 08:15h. A partir do mês de julho, a incidência solar começa a declinar, iniciando um pouco mais tarde a cada mês. Com isso, é possível perceber que a fachada que apresenta melhor panorama de insolação é a sudeste, pois recebe apenas o sol da manhã em curtos períodos de tempo. No entanto, foi verificado que a fachada noroeste recebe maior insolação.

Outro fator analisado no projeto foram as proporções das aberturas. É necessário controlar a entrada de ar através das janelas, para que o calor do ambiente externo não entre nos ambientes. A NBR 15220 (2005) recomenda que as aberturas para ventilação possuam área entre 15% e 25% da área do piso. Ao realizar o levantamento de área das aberturas do projeto atual, foi possível verificar que alguns ambientes não se enquadram nas recomendações da norma, estando maiores ou menores que a faixa estabelecida. Os ambientes que possuem área de abertura maiores tendem a ter maior temperatura interna nos horários mais quentes do dia, fazendo-se necessário reduzi-las.

Sendo assim, percebe-se que o projeto não se adequa a zona bioclimática 6, e por isso, não atende aos requisitos para apresentar bom desempenho térmico. A consequência desse problema reflete em maior desconforto térmico para os usuários, principalmente nos ambientes voltados para a fachada noroeste e sudoeste.

3.3 Proposições para o novo projeto

Como estudado na carta solar, verificou-se a necessidade de proteger as fachadas sudoeste e noroeste. Com isso, foram realizados estudos para propor uma solução de proteção para essas fachadas. Foi proposto uma grande projeção da cobertura com 5 metros de largura, para gerar sombra durante o período da tarde. Essa proteção de sombreamento se faz necessária nas fachadas voltadas para o poente, no entanto, por questões de estética e escolha de projeto, a mesma projeção da cobertura foi aplicada nas demais fachadas, para que a

edificação pudesse apresentar uma mesma leitura arquitetônica. No entanto, apenas o elemento da cobertura não é suficiente, sendo necessário a criação de uma barreira formada por elementos como brises ou cobogós. Após a realização de diversos estudos, chegou-se a solução de proteção com brises horizontais em concreto para a fachada noroeste e sudoeste (Figura 4).

Além da proteção promovida pelo sombreamento, foi proposto utilizar a estratégia bioclimática de resfriamento evaporativo ao implantar árvores no entorno da edificação. Além de promover um microclima local, a vegetação proporciona mais sombreamento nas fachadas. Outro elemento inserido no projeto foi a abertura zenital do tipo átrio, sendo o melhor tipo para edificações de vários pavimentos (Figura 6). Esse tipo de abertura permite a constante renovação do ar, além de favorecer a iluminação natural para os ambientes que estão no centro da edificação e que não possuem aberturas para a área externa. O ar quente, por ser menos denso, tende a subir, e com isso, sairá pelas aberturas do átrio.

Foram realizados diversos estudos de sombreamento com auxílio do software Sketchup, para definir a melhor angulação, largura e espaçamento dos brises. A intenção era projetar um elemento de fácil execução, sendo o mais eficiente possível, capaz de proteger totalmente as fachadas noroeste e sudoeste nas horas mais quentes do dia, principalmente no mês mais quente do ano. Essa proteção foi possível ao utilizar os brises, que possuem 60cm de largura, com angulação de 30°, e espaçamento de 1,00m entre as peças. Com a disposição escolhida para o elemento, é possível garantir passagem do fluxo de ar e iluminação para os ambientes.

Outro elemento alterado na edificação é a área das aberturas, pois alguns ambientes que possuem aberturas nas fachadas, não se adequam a norma, sendo assim, foi adotada para essa solução, a área mínima recomendada de 15% da área do piso. Para que as janelas possam apresentar um eficiente controle de ventilação tanto nos dias frios como nos dias quentes, é necessário escolher o tipo ideal de esquadria para essa situação, pois as esquadrias do tipo de correr, normalmente só permitem a abertura de 50% da sua área. Sendo assim, para esse projeto, será escolhido as janelas do tipo camarão, que permitem maior controle de abertura, e possibilitam abrir até 100% do vão da janela. Ou seja, as janelas podem ser abertas 100% para a entrada de ar, o que não é possível de conseguir com janelas do tipo de correr. Ao se utilizar aberturas com controle de ventilação, impede-se que o ar externo com temperatura superior adentre no ambiente, reduzindo a possibilidade de um ganho interno de temperatura.



Figura 3 - Fachada principal, projeto proposto.



Figura 4 - Fachada noroeste e sudoeste, projeto proposto.



Figura 5 - Fachada nordeste e sudeste, projeto proposto.

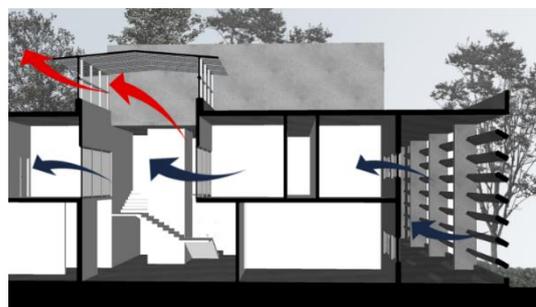


Figura 6 - Corte esquemático, com átrio.

4. RESULTADOS

4.1 Simulações de desempenho térmico

Para escolha do ambiente a ser simulado, foram seguidas as recomendações da NBR 15575 (2021), que indica que seja simulado o ambiente com maior quantidade de paredes externas expostas ao sol, sendo ele do último pavimento. A sala de estudo individual 1, que está no pavimento superior, apresenta pior cenário de conforto

térmico, por estar simultaneamente nas fachadas noroeste e sudoeste, e por não possuir cobertura com telha isotérmica, apresentando a laje plana impermeabilizada exposta ao sol. O ambiente não atende as recomendações da NBR 15220 (2005) relacionado a área de aberturas, devido a isso, foi adotada uma opção de estudo com duas janelas de 2,50x1,10 m, totalizando 5,50 m² de área. A norma recomenda que seja simulado o dia mais quente e o mais frio do ano climático (*design day*) (Figura 8).

A cidade de Catalão apresenta grandes amplitudes térmicas ao longo do dia, com diferenças de temperatura maiores que 10 °C, e para que esses picos de temperaturas não sejam percebidos interiormente, é necessário utilizar uma envoltória com alta inércia térmica. Com isso, foram propostas três opções de envoltória. Cada opção possui duas variações, uma considerando a área atual de abertura para ventilação natural de 10,83 m² (área de abertura do projeto original) e outra com 5,50 m², totalizando seis opções para realização das simulações térmicas. Todas as simulações foram realizadas com a proteção solar de brises proposta. A lista com as variações é encontrada na Tabela 1. As opções 1 e 2 utilizam a mesma envoltória que a especificada no projeto atual.

Inicialmente foi realizada a modelagem da edificação com o auxílio do plug-in Eulcid, instalado no software Sketchup. Em seguida, a modelagem foi exportada para o EnergyPlus, onde foram feitas as programações com características da edificação (Figuras 7, 8, 9 e 10). Cada opção de envoltória foi programada em um arquivo individual, e assim geradas as simulações. Para a simulação de desempenho térmico, não foram adicionadas cargas de pessoas, pois deseja-se entender o desempenho térmico de cada opção desenvolvida.

Tabela 1 - Lista das opções para simulação térmica.

Opção 1	Argamassa interna de 2.5cm Bloco cerâmico 9x14x24cm argamassa externa 2.5cm	Janelas conforme o projeto atual
Opção 2		Janelas menores
Opção 3	Argamassa interna de 2.5cm Bloco cerâmico 9x14x24cm Câmara de ar 4cm Bloco cerâmico 9x14x24cm argamassa externa 2.5cm	Janelas conforme o projeto atual
Opção 4		Janelas menores
Opção 5	Argamassa interna de 2.5cm Bloco cerâmico 9x14x24cm argamassa externa 2.5cm Poliestireno expandido 8cm Placa de alumínio	Janelas conforme o projeto atual
Opção 6		Janelas menores

Field	Units	Obj1
Name		Novo
North Axis	deg	-60
Terrain		Urban
Loads Convergence Tolerance Value	W	0,04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0,4
Solar Distribution		FullInteriorAndExteri
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		6

Figura 7 – Configurações de Building.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		CATALAO	CATALAO2
Month		10	6
Day of Month		15	28
Day Type		WinterDesignDay	WinterDesignDay
Maximum Dry-Bulb Temperature	C	13,1	13,1
Daily Dry-Bulb Temperature Range	deltaC	0	0
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type		DefaultMultipliers	DefaultMultipliers
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule Name			
Humidity Condition Type		Wetbulb	Wetbulb
Wetbulb or DewPoint at Maximum Dry-Bulb	C	13,1	13,1
Humidity Condition Day Schedule Name			
Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb	kgWater/kgDryA		
Enthalpy at Maximum Dry-Bulb	J/kg		
Daily Wet-Bulb Temperature Range	deltaC		
Barometric Pressure	Pa	99158	99158
Wind Speed	m/s	2,7	2,7
Wind Direction	deg	180	180
Rain Indicator		No	No
Snow Indicator		No	No
Daylight Saving Time Indicator		No	No
Solar Model Indicator		ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky
Beam.Solar.Day.Schedule.Name			

Figura 8 – Configuração do Design Day

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Name		Alvenaria com isolar	Alvenaria dupla	Interior Wall	Alvenaria simples	Exterior Floor	Interior Floor	Interior Ceiling	Exterior Window	Interior Window	Exterior Door	Interior Door	Exterior Roof
Outside Layer		Aluminio	Argamassa Pintura	GessoAcartonado	Argamassa Pintura	Radier Concrete 10cm	Radier Concrete 10cm	Argamassa Media	Clear 3mm	Clear 3mm	Madeira	Madeira	AcoGalvanizado
Layer 2		Poliestireno8cm	Argamassa Media	F04 Wall air space resistance	Argamassa Media	Argamassa Media	Argamassa Media	Radier Concrete 10					Poliestireno
Layer 3		Argamassa Media	Tijolo 14cm	GessoAcartonado	Tijolo 14cm		Piso Ceramico 1cm	Argamassa Media					AcoGalvanizado
Layer 4		Tijolo 14cm	F04 Wall air space r		Argamassa Media								
Layer 5		F04 Wall air space r	Tijolo 14cm		Argamassa Pintura								
Layer 6		Tijolo 14cm	Argamassa Media										
Layer 7		Argamassa Media	Argamassa Pintura										
Layer 8		Argamassa Pintura											

Figura 9 - Configuração dos elementos construtivos

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Tijolo 14cm	Argamassa Media	Poliestireno8cm	Argamassa Pintura	Aluminio	GessoAcartonado	AcoGalvanizado	Radier Concrete 10	Piso Ceramico 1cm	Madeira
Roughness		Rough	MediumSmooth	Smooth	Smooth	VerySmooth	Smooth	Smooth	Rough	Smooth	MediumSmooth
Thickness	m	0,07	0,025	0,08	0,002	0,01	0,02	0,002	0,1	0,01	0,035
Conductivity	W/m-K	0,9	1,15	0,04	0,7	230	0,35	55	1,75	0,9	0,12
Density	kg/m3	1600	1600	15	1200	2700	750	7800	2400	1600	608
Specific Heat	J/kg-K	920	920	1420	840	880	840	460	1000	920	230
Thermal Absorptance		0,95	0,9	0,1	0,2	0,9	0,1	0,25	0,8	0,3	
Solar Absorptance		0,8	0,4	0,1	0,01	0,7	0,1	0,7	0,7	0,4	
Visible Absorptance		0,8	0,4	0,1	0,7	0,7	0,1	0,7	0,7	0,4	

Figura 10 – Propriedades térmicas dos materiais.

A sala escolhida para simulação foi configurada no software como sendo ocupada das 08 às 22h, de segunda a sexta. O Timestep foi de 15 minutos. Na Figura 9 pode ser visto a composição dos elementos contrutivos. Na Figura 10 vê-se as suas propriedades térmicas, como condutividade térmica, densidade e calor específico, assim como consta a espessura de cada componente. Os dados foram obtidos na NBR 15220-2 (2005) e na base de dados do site da Projeteee. O arquivo climático utilizado foi obtido no site da Labeee², disponibilizados pelo INMET (2016). A Figura 11 consta os dados de saída escolhidos, sendo eles a temperatura interna do ambiente e do ar externo. Na Figura 12 está a configuração de abertura das janelas do tipo de correr, que são abertas apenas em 50% da sua área total.

Realizou-se um estudo dos dados obtidos com as simulações geradas. Na Figura 13 é possível verificar a comparação do desempenho térmico das opções, no dia mais quente do ano simulado. As simulações 03 e 05, possuem comportamento semelhante a simulação 01, sendo que a simulação 03 obteve o melhor desempenho. E as simulações 04 e 06, possuem comportamento semelhante a simulação 02. Percebe-se que as opções de projeto que utilizam elementos construtivos com elevada inércia térmica permitem que haja um atraso térmico nos horários mais quentes do dia, e libera calor para o ambiente interno apenas nos horários mais frios, onde há maior necessidade de aquecimento. Ao comparar as opções definidas com a envoltória do projeto atual, percebe-se que o ele possui maior amplitude térmica entre a hora mais fria e mais quente do dia. Possuindo como característica, menores temperaturas internas nas horas mais frias e maiores temperaturas internas nas horas mais quentes.

A proteção solar desenvolvida para o projeto implica numa diminuição da velocidade do ar no ambiente interno, fazendo com que haja menor resfriamento nas horas mais frias do dia, resultando num aumento de temperatura em relação ao projeto sem proteção solar. No entanto todas as opções simuladas possuem melhor desempenho térmico nos horários mais quentes, e permitem que haja uma menor amplitude térmica dentro do ambiente. Para o horário das 16:00h a opção que apresentou melhor desempenho foi a envoltória da parede dupla com área reduzida de janelas. Enquanto a temperatura interna do projeto atual chega a 29,88 °C, a da opção citada chega a 27,36 °C, sendo uma diferença de 2,51 °C. Ao comparar com a temperatura externa do ar, tem-se uma diferença de 5,63 °C. Porém, as opções de parede em alvenaria comum com janelas menores e parede com isolante térmica e janelas menores, também possuem semelhante desempenho térmico, e conseguem manter uma temperatura interna em torno de 27,4 °C.

Dentre as opções simuladas, as que possuíram menor desempenho foram os três modelos com janelas maiores. Esse resultado era esperado, pois a NBR 15220 (2005) indica que para obter o conforto térmico na zona bioclimática 6, deve haver controle na entrada da ventilação natural, pois nos horários mais quentes do ano, a temperatura externa está superior a interna. É importante verificar que, em todas as opções propostas, as temperaturas internas não ultrapassaram a temperatura máxima definida para o conforto térmico. Pois a temperatura máxima atingida para a sala vazia foi de 28 °C. Ou seja, para uma situação em que haja poucos ocupantes no ambiente, não haveria necessidade de acionar o sistema de refrigeração ao longo do dia.

Ao analisar o desempenho térmico da edificação no dia mais frio do ano simulado (Figura 14), percebe-se que as envoltórias, por possuem alta inércia térmica, funcionaram como uma bateria, mantendo o ambiente interno sempre aquecido com temperaturas superiores ao ambiente externo. As opções das simulações 01 e 02, que utilizam a mesma envoltória do projeto atual, possuem um alto desempenho térmico, o que indica que a envoltória convencional composta de argamassa interna e externa com 2,5 cm, tijolo cerâmico de 14 cm de espessura, já é satisfatória para a região. A simulação 03 e 04 possuem comportamento semelhante, assim como comportamento da simulação 05 se assemelha a 06.

Field	Units	Obj1	Obj2
Key Value		*	*
Variable Name		Zone Mean Air Tem	Site Outdoor Air Dry
Reporting Frequency		Timestep	Timestep

Figura 11 – Dados de saída (temperatura interna do ar do ambiente e temperatura externa do ar).

Field	Units	Obj1
Name		Vent Natural
Schedule Type Limits Name		Fraction
Field 1	varies	Through:12/31
Field 2	varies	For: AllDays
Field 3	varies	UNTIL: 24:00
Field 4	varies	.5

Figura 12 – Configuração da abertura das janelas do tipo correr.

No entanto, percebe-se o impacto gerado pela proteção solar desenvolvida, pois a diminuição da velocidade do ar que entra no ambiente interno nas horas mais frias do dia, provoca um aumento na temperatura interna, se comparado ao projeto atual. Porém, esse aumento de temperatura não resulta em problemas que podem gerar desconforto térmico nos usuários, pois o ambiente permanece com temperaturas inferiores a 24

² <https://labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/arquivos-climaticos>

°C, estando dentro da zona de conforto térmico estabelecida para a cidade. Todas as opções simuladas permitem que a temperatura interna permaneça quase constante ao longo do dia. Entre o projeto atual e a simulação 03, há uma diferença de 2,63 °C. Verifica-se que o projeto atual oferece desconforto térmico por frio das 08:00h às 12:00h, enquanto nas opções propostas, esse desconforto não seria sentido.

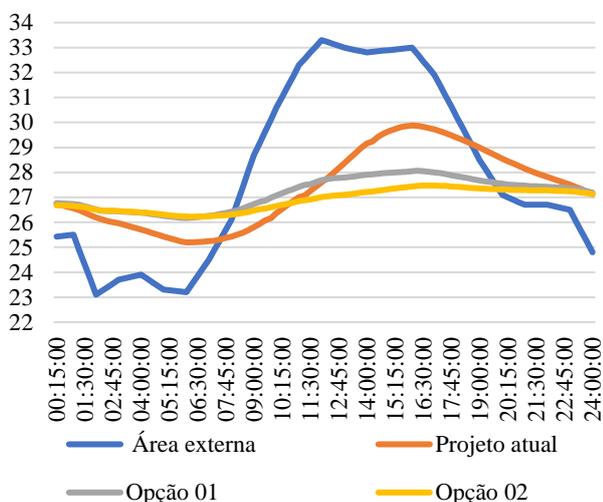


Figura 13 - Comparação da temperatura interna e externa do ar, no dia 15/10.

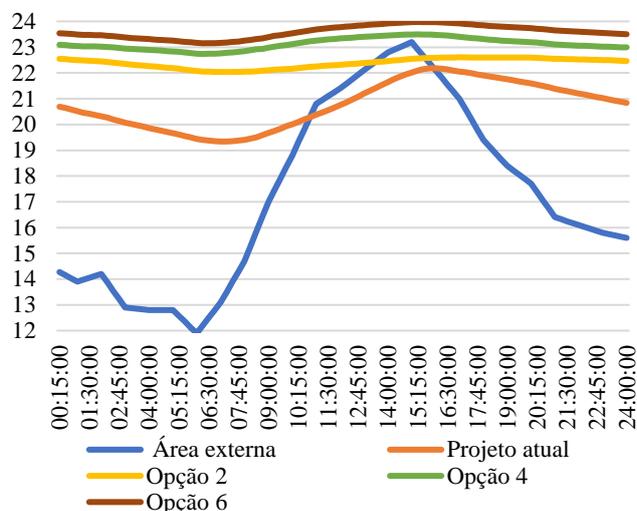


Figura 14 - Comparação da temperatura interna e externa do ar, no dia 10/07.

4.2 Simulações de consumo de energia elétrica

Para realização das simulações de consumo de energia elétrica, foram inseridos nos arquivos do EnergyPlus as cargas de pessoas, equipamentos e iluminação. A sala de estudo individual tem capacidade para 21 alunos sentados, e através do projeto elétrico disponibilizado pela Secretaria de Infraestrutura da universidade, foi possível identificar que a sala possui 6 luminárias de sobrepôr, com 2 lâmpadas tubulares LED T8, com 18W de potência cada. Para a programação da simulação, foi levado em consideração que o ambiente estaria permanentemente ocupado com 50% de sua capacidade, das 08:00h às 22:00h. Para as cargas de equipamentos, foi considerado que cada aluno utilizaria um computador pessoal.

Com a finalidade de realizar uma comparação direta de consumo energético entre os meses do ano, levando em consideração que há meses mais frios e mais quentes, a programação para a simulação previu que todos os dias do ano teriam atividade, exceto finais de semana e feriados.

No projeto atual, foi possível verificar que, sem as cargas inseridas, o ambiente interno apresenta temperatura de 29,88 °C. Ao inserir todas as cargas de ocupação no modelo do projeto atual, foi verificado que há um aumento interno de temperatura de mais de 3 °C, resultando em temperaturas mais altas que as do ar externo em algumas horas do dia. Enquanto o ambiente interno com cargas inseridas apresenta temperatura de 33,20 °C no horário das 16:00h, o ar do ambiente externo apresenta temperatura de 33 °C.

A temperatura de conforto térmico para a cidade de Catalão pode chegar até 29,00 °C no mês de outubro. Nos demais meses a temperatura de conforto térmico está na faixa dos 28,00 °C. Com isso, para programação do termostato no EnergyPlus, foi considerado que o sistema de resfriamento deveria ser acionado quando a temperatura interna do ambiente atingisse 28,00 °C.

Os resultados das simulações podem ser encontrados na Figura 15. Como visto nos resultados das simulações anteriores, a envoltória com isolante térmico, apresentou resultados que indica ser uma opção menos eficiente, pois mesmo ao apresentar eficiência térmica nos horários mais quentes, em relação ao projeto atual, ela não apresenta eficiência energética desejada nos horários em que as temperaturas são mais baixas. Nos horários mais frios do dia a envoltória libera mais calor para dentro do ambiente, e quando são adicionadas as cargas térmicas, a temperatura interna eleva-se ainda mais, o que, conseqüentemente, iria refletir numa maior utilização do sistema de resfriamento.

Pode-se perceber que a opção que utiliza alvenaria comum com janelas menores, dentre as simulações, foi a que obteve melhor eficiência energética em todos os meses. É possível verificar que as opções que possuem envoltória com alta inércia térmica, apresentaram um aumento do consumo de energia elétrica nos meses mais frios. Verifica-se que no mês de abril as temperaturas sobem, e voltam a cair nos meses de maio, junho e julho. Em seguida há um aumento gradativo de utilização do sistema de climatização, chegando ao

pico de consumo no mês de outubro. Ao comparar o projeto atual com a simulação 02, opção que obteve melhor desempenho, é possível verificar que houve uma economia no consumo de energia elétrica de 17,16%.

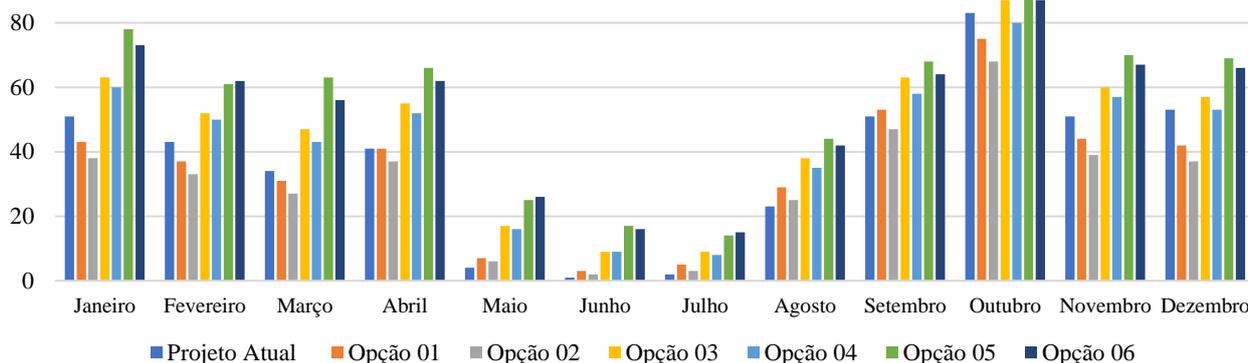


Figura 15 - Consumo de energia elétrica anual em KWh do sistema de resfriamento de ar, para o ambiente simulado, com termostato regulado a 28 °C.

Ao analisar a carta bioclimática de Catalão, é possível verificar que para os meses em que a temperatura de conforto é até os 29,00 °C é recomendado que sejam utilizadas estratégias de ventilação e resfriamento evaporativo. Com isso, é possível reduzir ainda mais o uso do sistema de refrigeração se forem aplicadas estratégias como a ventilação mecânica por meio de ventiladores e técnicas de inércia térmica para resfriamento.

Sendo assim, se regularmos o termostato do sistema de refrigeração para ser acionado apenas quando a temperatura interna chegar aos 29,00 °C, constata-se por meio de uma nova simulação que, ao retardar o acionamento do sistema de climatização em apenas 1 °C, há um grande ganho na economia de energia elétrica (Figura 16). A simulação 02 apresenta uma economia de 41,35%, em relação ao projeto original.

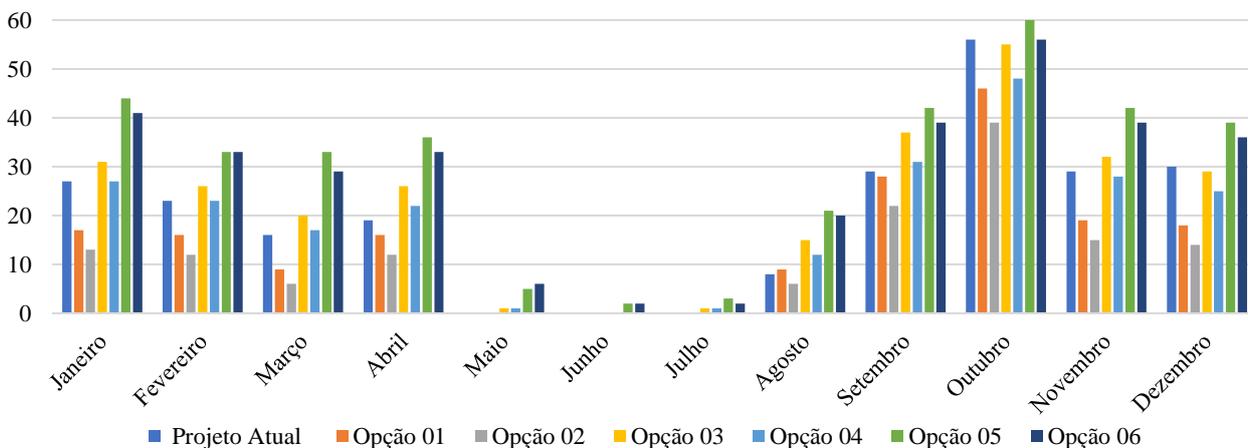


Figura 16 - Consumo de energia elétrica anual em KWh do sistema de resfriamento de ar, para o ambiente simulado, com termostato regulado a 29 °C.

As simulações comprovaram que as edificações com aberturas de áreas menores apresentam melhor desempenho térmico e que o elemento construtivo já utilizado no projeto atual, constituído por alvenaria com tijolo de 14 cm de espessura é o que apresenta melhor desempenho energético, não sendo necessária sua substituição. As envoltórias com alta inércia térmica são eficientes quando aplicadas em locais com baixas temperaturas, que possuem grandes amplitudes térmicas durante o dia, proporcionando assim conforto térmico também nas horas frias. Pois a envoltória mantém o ambiente interno em temperaturas, aproximadamente, constantes. Como visto nas simulações, em todas as opções propostas as temperaturas internas foram minimizadas nos períodos mais quentes, no entanto, nos períodos mais frios as temperaturas se elevaram, o que ocasionou um aumento do consumo de energia elétrica nesses períodos.

5. CONCLUSÕES

Através das análises realizadas no objeto de estudo, foi possível perceber que o mesmo não se enquadra nas recomendações da NBR 15220 (2005) para as edificações situadas da zona bioclimática 6. As fachadas

voltadas para a orientação noroeste e sudoeste necessitam de sombreamento para que, nas horas mais quentes do dia, os ambientes possam apresentar temperaturas menores. Verificou-se que o tamanho das aberturas e a quantidade de ar que entra nos ambientes influencia no ganho térmico, sendo necessário a substituição do tipo de esquadrias utilizadas e diminuição da área das aberturas em determinados ambientes.

Para solucionar os problemas referentes ao conforto, desempenho térmico e para que o projeto se enquadrasse nos requisitos da zona bioclimática 6, foram propostas algumas alterações projetuais, como a implantação de uma grande projeção da cobertura e brises, para gerar sombreamento nas janelas e redução da área das janelas. A partir dessas alterações, verificou-se por meio de simulações térmicas que houve uma redução de 2,44 °C no dia mais quente do ano, no horário das 16h, entre o projeto atual e o projeto proposto (opção 02). As simulações comprovaram que as edificações com aberturas de áreas menores apresentam melhor desempenho térmico e que o elemento construtivo, já utilizado no projeto atual, constituído por alvenaria com tijolo de 14 cm de espessura apresenta desempenho energético satisfatório, não sendo necessária sua substituição.

A tipologia da edificação e o modo de ocupação do ambiente também influenciam na escolha ideal da envoltória, pois as cargas térmicas dos ocupantes, do sistema de iluminação e dos equipamentos adicionados ao ambiente simulado, aumentam a temperatura interna do ambiente. Os componentes construtivos, compostos por parede dupla ou alvenaria com isolamento térmico, são mais eficientes quando utilizados em residências por exemplo, quando seu desempenho térmico para aquecimento é mais bem aproveitado durante as horas mais frias do dia, ou seja, reduzindo o desconforto térmico ocasionado pelo frio no período da noite. Esse tipo de envoltória reduz a amplitude térmica da edificação, mantendo sempre os ambientes numa faixa de temperatura agradável em qualquer horário.

Ao analisar o consumo final de energia elétrica para o ambiente simulado, percebeu-se que as alterações projetuais estudadas podem apresentar uma economia de 17,16% a 41,35%. Na opção 02, com o termostato regulado em 28 °C, houve um consumo anual de 362 kWh, enquanto o projeto atual consome 437 kWh. Já na opção em que o termostato foi regulado a 29 °C, enquanto o projeto atual consome 237 kWh anuais, o projeto proposto consome apenas 139 kWh. Assim, é possível obter o resultado esperado de desempenho térmico e eficiência energética ao analisar e adequar a edificação ao clima local utilizando estratégias capazes de atingir o objetivo proposto e que sejam passíveis de execução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-1:2005**. Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro 2005.
- _____. **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, 2005.
- _____. **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.
- _____. **NBR-15575**: Edifícios Habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ARQUIVOS CLIMÁTICOS INMET 2016, disponível em <www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>, 04/2020.
- BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 1994.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. M. **Classificação climática de köppen-geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal**. ACTA Geográfica, Boa Vista, v.8, n.16, jan./mar. de 2014. pp.40-55. 2014
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas de Eficiência Energética**. Brasil, 2019. Disponível em <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-461/Atlas%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20do%20Brasil%20\(002\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-461/Atlas%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20do%20Brasil%20(002).pdf)> 03/2022.
- GIVONI, B. Comfort, climate and analysis and building design guidelines. **Energy and building**, v.18. Julho, 1992.
- HOLANDA, A. **Roteiro para construir no Nordeste**. Universidade Federal de Pernambuco. Mestrado de desenvolvimento urbano. Recife, 1976.
- HUMPHREYS, M. A. The variation of comfortable temperatures. 1979. **Int. J. Energy Res.**, 3: 13-18. doi:10.1002/er.4440030103
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L. P. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. Eletrobras Procel, 2014.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L.; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D. L.; NARANJO, A.; DUARTE, V. C. **P. Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016b.