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 CONFORTO TÉRMICO EM UMA EDIFICAÇÃO CERTIFICADA COM O SELO LEED V.4 LOCALIZADA EM GOVERNADOR VALADARES-MG

Bruno Aun Mourão (1); Ana Carolina de O. Veloso (2); Roberta Vieira G. de Souza (3)
(1) Eng. Mecânico, Consultor em Eficiência Energética e Sustentabilidade, bruno.aunmourao@gmail.com
(2) Dra., Pós-doutoranda em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável UFMG, acoveloso@gmail.com
(3) Dra., Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, roberta@arq.ufmg.br

RESUMO
Diversas estratégias bioclimáticas são utilizadas com o objetivo de extrair o máximo potencial de uso dos recursos naturais disponíveis no local em que se insere um projeto arquitetônico. Uma das principais formas de avaliar o desempenho de cada estratégia no projeto é através das simulações térmicas, luminosas e energéticas. Com o auxílio de softwares de simulação termo energéticos, é possível testar diversas soluções com rapidez e baixo custo, se comparado aos métodos experimentais, obtendo-se assim, a melhor relação entre a eficiência energética da edificação e o conforto térmico do usuário. Com o intuito de mensurar os ganhos obtidos com a aplicação dessas estratégias, este artigo investiga a influência dos elementos de sombreamento – brises, venezianas e cobogós – e a presença de ventilação natural na temperatura interna dos ambientes, para uma edificação comercial denominada "Espaço LarVerdeLar", construída na cidade de Governador Valadares-MG. Além disso, o trabalho confronta o consumo energético obtido através da simulação com os dados reais do edifício em operação. Utilizando o programa EnergyPlus versão 8.9.0, criou-se um modelo computacional para o "Espaço LarVerdeLar", simulado com um arquivo climático local. Para cada estratégia adotada – brises, venezianas, cobogós e ventilação natural – foram comparados os valores de temperatura operativa interna dos ambientes. Os resultados mostraram que o uso das estratégias de ventilação natural e proteções solares melhoraram o conforto do usuário na edificação.
Palavras-chave: simulação computacional, desempenho energético, desempenho térmico, ventilação natural.

ABSTRACT
Several bioclimatic strategies are used in order to extract the maximum natural resources potential available at the site of an architectural project. One of the main ways to evaluate the performance of each strategy in the project is the use of thermal, light and energy simulations. Using these simulation softwares, it is possible to quickly and inexpensively evaluate several solutions, when compared to the experimental methods, obtaining, thus, the best solution regarding both the energy efficiency of the building and the user thermal comfort. In order to measure the gains obtained from the application of these strategies, this article investigates the influence of the shading elements – *brises*, shutters and *cobogós* – and the presence of natural ventilation at the internal rooms temperatures, for a commercial building called "Espaço LarVerdeLar ", built in the city of Governador Valadares-MG. In addition, the paper confronts the energy consumption obtained through simulation and real data of the building in operation. Using EnergyPlus software, version 8.9.0, a computational model was created for the "Espaço LarVerdeLar", which was simulated with a local climate file. For each adopted strategy – *brises*, blinds, *cobogós* and natural ventilation – the values of internal rooms operative temperatures were compared. The results showed that the use of natural ventilation and sun protection strategies improved the thermal comfort in the building.
Keywords: computer simulation, energy performance, thermal performance, natural ventilation.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética de edificações tem um papel fundamental no desenvolvimento social, econômico e ambiental de uma sociedade. Atualmente, quase 50% da energia elétrica consumida no Brasil é destinada às edificações (EPE, 2019). Por esse motivo, diversas medidas políticas e econômicas vêm sendo tomadas para reduzir esse consumo e tornar as edificações mais energeticamente eficientes. Aliado a isso, o desenvolvimento tecnológico abre portas para diversas possibilidades de utilização de recursos renováveis ao projetar edifícios sustentáveis, eficientes e confortáveis (Lamberts et al., 2004).

Nesse contexto e visando reduzir o desperdício otimizando o desempenho térmico, visual e energético, os softwares de simulação se apresentam como uma das principais ferramentas para tomada de decisão em projeto. Com seu auxílio, é possível prever situações, avaliar diversas possibilidades, estimar o consumo de energia e propor variadas soluções ainda na fase de concepção, com rapidez e baixo custo, se comparado aos métodos experimentais. Os resultados gerados por essa ferramenta permitem identificar as melhores alternativas para atender o conforto dos usuários, aliada à eficiência energética da edificação (MENDES et al, 2015). Simulações deste tipo foram usadas, por exemplo, por Alves et al (2017) para verificar o potencial de *retrofit* de edificações existentes e por Veloso, Souza e Koury (2015) para verificar o impacto de decisões de projeto no consumo de energia de uma edificação comercial ventilada em modo misto.

O LEED *v.4* é um sistema de sistema desenvolvido para certificar edificações através da colocação de quesitos relativos à sustentabilidade e à redução do impacto ambiental das construções que adotam práticas ambientalmente responsáveis (USGBC, 2018). Nascimento e Nanya (2017) descrevem o sistema e apontam suas vantagens para o mercado brasileiro.

O clima de Governador Valadares é quente e as altas temperaturas permanecem ao longo de todo o ano, gerando desconforto por calor em 41% do tempo ao longo do ano. As principais estratégias bioclimáticas para mitigação dos efeitos de temperatura são a ventilação natural, que promovem a retirada do calor dos ambientes e a renovação do ar; a inercia térmica para aquecimento, que proporciona a diminuição das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor gerando uma defasagem em relação ao ambiente externo; e o sombreamento, que reduz os ganhos solares através do envelope da edificação nos períodos mais quentes, do dia e do ano, sem obstruí-los no inverno e sem prejudicar a iluminação natural através das aberturas (ProjetEEE, 2019).

2. OBJETIVO

Esse artigo tem um caráter investigativo e tem o objetivo de verificar o conforto térmico dos usuários com a inserção de proteções solares na edificação Edifício Espaço LarVerdeLar em Governador Valadares/MG bem como comparar o consumo de energia simulada em relação aos dados medidos.

3. MÉTODO

Primeiramente, o artigo investiga a influência dos elementos de sombreamento na edificação e, em seguida, faz uma correlação entre os resultados obtidos na simulação e os dados reais de consumo de energia do empreendimento e o conforto térmico dos usuários. A metodologia é então composta da descrição do estudo de caso, das etapas de modelagem do edifício, da inserção do projeto no Energy Plus, da definição do período de simulação, da definição dos índices de conforto térmico, da especificação dos equipamentos e do tratamento de dados.

3.1. Estudo de caso

O empreendimento usado como estudo de caso foi o primeiro do Brasil a receber o selo de certificação LEED v.4. (ver figura 1).



Figura 1 – Vista lateral direita e esquerda do Espaço LarVerdeLar e seu entorno.

O estudo analisa apenas os ambientes de permanência prolongada, incluindo a cozinha, visto que são os locais em que o gasto energético para climatização ou ventilação forçada podem ser maiores em caso de desconforto térmico dos usuários. No primeiro pavimento, os ambientes analisados foram: Escritório (zona 1), Cozinha (zona 2) e Sala de Gerência (zona 3). Já no segundo pavimento: Área de Descanso (zona 6) e Sala de Reuniões (zona 7). A figura 2 mostra a planta baixa e a nomenclatura de cada ambiente.

As lajes de cobertura possuem quatro tipos de composição na edificação, mostrado nas figuras 3 e 4.

O edifício possui telhados verdes (figura 4), localizados sobre as zonas 1, 6, 7 e sobre a garagem. Todas as coberturas vegetais, exceto aquela da garagem, foram consideradas na simulação termo energética pois estão sobre ambientes de permanência prolongada e, possuem influência na inércia térmica e na manutenção da temperatura interna dos ambientes.

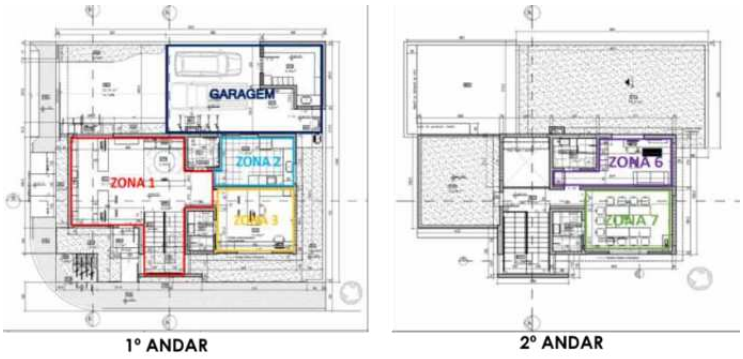


Figura 2 – Planta baixa da edificação e localização dos ambientes propostos para estudo.

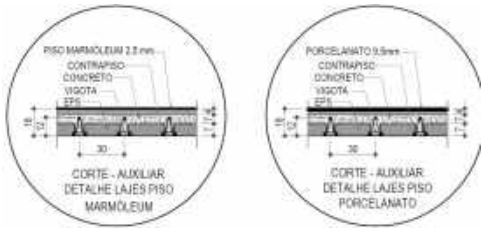


Figura 3 – Corte das lajes entre os andares. À esquerda, laje com piso Marmóleum de 2,5mm e à direita, piso porcelanato.

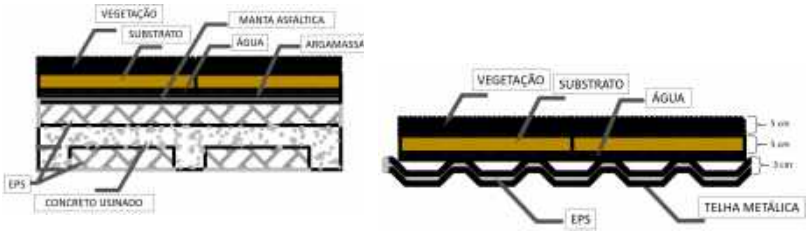


Figura 4 – Vista em corte das lajes de cobertura que sustentam os telhados verdes sobre os ambientes (à esquerda) e garagem (à direita).

A realização das simulações e obtenção dos resultados seguiram algumas etapas para elaboração do material que compõe esse artigo. Primeiramente, o edifício foi modelado no *SketchUp* com o plug-in *OpenStudio* e, em seguida, os dados de localização, arquivo climático, materiais, aberturas, sombreamentos, rotinas de ocupação, entre outros, foram inseridos no *EnergyPlus*. Feito isso, o *Microsoft Excel* foi utilizado como ferramenta de geração dos gráficos e tratamento dos dados.

3.2. Modelagem do edifício no SketchUp com o plug-in OpenStudio

A correta modelagem no software *SketchUp* é de fundamental importância para as etapas seguintes, visto que cada ambiente deve ser analisado como uma zona térmica. Cada zona térmica possui comportamento distinto de acordo com sua orientação, geometria, tamanho de aberturas, exposição ao sol, elementos de proteção solar, quantidade de equipamentos elétricos e atividade metabólica dos usuários.

Após a modelagem, a correspondência das superfícies e aberturas foi analisada a fim de garantir que cada zona térmica estivesse corretamente posicionada no espaço e em interface com seu entorno. A não conformidade dessa etapa impossibilita a simulação térmica no software *EnergyPlus.* A figura 5, mostra a modelagem tridimensional do edifício Espaço LarVerdeLar.

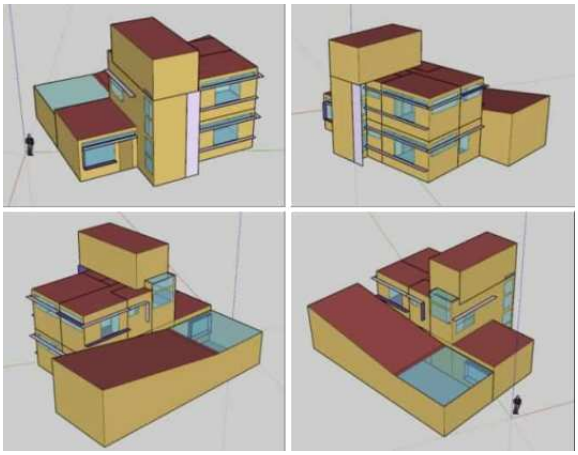


Figura 5 – Vistas em perspectiva do modelo tridimensional utilizado para a simulação.

3.3. Inserção dos dados no software EnergyPlus

Essa etapa consiste em inserir todos os parâmetros da simulação, tais como, especificação dos materiais, composição dos componentes construtivos, orientação do edifício e período de simulação.

Com relação ao método construtivo, foi utilizado bloco de concreto celular autoclavado de 15cm de espessura, exceto por uma parede da "zona 6", em que foram utilizados blocos de 20cm, conforme utilizado no projeto. As características dos materiais, como condutividade, calor específico e densidade, foram obtidos junto aos documentos de especificações técnicas e a norma NBR 15.220 (ABNT, 2005a). O piso do edifício está sobre uma camada de 50cm de entulho e a caracterização desse material foi feita com base em uma média dos principais componentes, como brita, ar, concreto e cerâmica.

Para definição das absortâncias dos materiais, foi utilizada como referência o trabalho de Dornelles (2008), "Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e pva".

A temperatura de solo foi inserida a partir do arquivo climático local. Além disso, as aberturas foram caracterizadas com vidros simples de 5 mm e os elementos de sombreamento associados às respectivas janelas.

Os cobogós, encontrados na fachada lateral do edifício, foram modelados como janelas que permanecem sempre abertas. Para bloquear a entrada de luz e aproximar o modelo da realidade, brises horizontais, com dimensões próximas ao formato dos cobogós, foram posicionados à frente de cada uma das aberturas que os representa. A figura 6 mostra os cobogós da fachada (à esquerda) e a consideração feita no modelo do *SketchUp* (à direita).



Figura 6 – Cobogós na fachada da edificação (à esquerda) e janelas que os representa no modelo do SketchUp (à direita).

Já a rotina de ocupação e utilização de equipamentos e iluminação foram inseridas a partir de entrevistas com os usuários do empreendimento para aproximar a simulação da realidade.

É importante citar que a janela do modelo do *SketchUp* se mantém sempre aberta e os brises horizontais e verticais, modelados no *EnergyPlus,* limitam a entrada de ar conforme dimensões do modelo real.

3.4. Simulação e investigação da qualidade dos dados do arquivo climático "INMET" disponível para Governador Valadares/MG

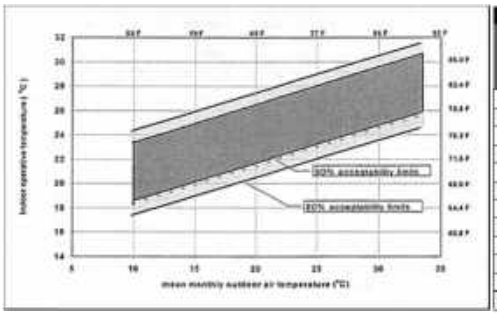
No intuito de assegurar que a simulação feita a partir do arquivo climático de Governador Valadares-MG fosse confiável, fez-se necessária a realização de uma simulação prévia. Para isso, considerou-se apenas um curto período de tempo - janeiro a fevereiro - com o objetivo de avaliar se os dados de temperatura estavam coerentes com a realidade.

Após essa investigação e validação, as simulações anuais começaram a ser feitas para coletar os resultados, apresentados em quatro etapas, visto que é objetivo do trabalho avaliar a influência da adição de elementos de sombreamento na temperatura interna dos ambientes. As etapas são: 1 – edificação sem elementos de proteção solar; 2 – adição de brises e venezianas; 3 – adição de cobogós; 4 – adição de ventilação natural. Aqui, faz-se pertinente observar que todas as simulações foram realizadas em dois períodos completos, ou seja, dois anos de simulação. Isso se deve ao fato do primeiro ano servir apenas como um período de estabilização para a simulação, compilação dos dados e inércia térmica de componentes, enquanto os dados que de fato foram analisados são os correspondentes aos do segundo ano. É importante frisar que foi considerado o horário de verão no período do terceiro domingo de outubro até o segundo domingo de fevereiro.

Para inserir a ventilação natural no modelo na 4ª etapa, fez-se necessário definir um *setpoint* de temperatura de operação das portas e janelas. Este foi definido como 20°C e a partir desta temperatura o usuário é capaz de operar as aberturas a fim de regular a temperatura interna para atingir o conforto térmico. Ressalta-se que o projeto arquitetônico previu duas aberturas por ambiente para favorecer a ventilação cruzada e para promover o efeito chaminé na zona 1, com aberturas na parte superior do volume central.

3.5. Índices de conforto térmico

Após validação dos dados do arquivo climático, foi possível definir os limites de conforto térmico para o local do empreendimento. A partir das médias mensais de temperatura de bulbo seco, encontradas no arquivo climático local, foi possível obter as temperaturas operativas mensais máximas e mínimas de conforto térmico seguindo a metodologia de conforto adaptativo da Ashrae 55-2010, mostrada na figura 7.



TEMPERATURAS ZONA DE CONFORTO			
MÊS	ARQUIVO CLIMÁTICO	GRÁFICO ASHRAE	
	DRY BULB TEMP (AVG MONTHLY)	MIN TEMP CONFORTO (INDOOR OPERATIVE TEMP - 80%)	MAX TEMP CONFORTO (INDOOR OPERATIVE TEMP - 80%)
JAN	24.8	22.0	28.9
FEV	26.3	22.5	29.4
MAR	26.2	22.5	29.4
ABR	23.8	21.8	28.6
MAI	21.8	21.1	28.0
JUN	21.1	20.9	27.9
JUL	21.0	20.8	27.8
AGO	22.2	21.2	28.2
SET	24.9	22.1	29.0
OUT	25.3	22.2	29.1
NOV	26.2	22.5	29.5
DEZ	25.4	22.2	29.2

Figura 7 – Gráfico da metodologia Ashrae 55-2010 e tabela para definição dos limites máximos e mínimos de temperaturas operativas de conforto térmico em função das temperaturas médias ambientes, para Governador Valadares.

Os índices de aceitação, 90% e 80% mostrados na figura, representam a variação aceitável de temperatura para que o usuário se mantenha em conforto térmico. O limite de 90% é mais restritivo e normalmente utilizado em hospitais ou locais que não permitam grandes variações de temperatura. Para ambientes típicos, como o do caso em estudo, os limites de trabalhos aceitáveis estão em 80%, visto que o usuário pode se adaptar alterando vestimentas ou operando janelas e portas.

3.6. Especificação dos equipamentos para estimar o consumo de energia elétrica

Para estimar o consumo de energia elétrica dos equipamentos em uso na edificação, foram utilizados dados tabelados como inputs no software *EnergyPlus*. Esses valores podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Equipamentos elétricos do edifício

EQUIPAMENTO	LOCAL	MODELO	FABRICANTE	POTÊNCIA (W)	FREQUENCIA (Hz)	TENSÃO (V)
Bomba de recalque de água de chuva	Garagem	BC-91S	Schneider	240	60	127
2 Bombas de Irrigação	Garagem	PB-088JA	WILO	120	60	127
Motor do portão eletrônico	Garagem	KDZ Price	Garen	150	50/60	220
Ventilador de teto SEM luminária	Escritório e Sala de Reunião	Spirit 200	Spirit	90	60	127
Ventilador de teto COM luminária	Área de descanso e Sala de Gerência	Spirit 202	Spirit	90	60	127

O chuveiro não foi considerado, pois seu uso é restrito a pouquíssimos dias no ano no clima de Governador Valadares. Isso se deve ao fato da edificação possuir um sistema de aquecimento solar, aliado ao fato dos índices de insolação na região serem altos.

3.7. Tratamento de dados

Por fim, a partir do resultado das simulações, foi possível tratar os dados no Microsoft Excel e gerar gráficos de temperatura operativa por período do ano, bem como consumo de energia elétrica dos equipamentos durante o mesmo período.

4. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa. Conforme explicado na metodologia, quatro simulações anuais foram realizadas e a influência da adição dos elementos de sombreamento foi analisada.

4.1. Simulação #1: Edificação sem os brises e sem as venezianas das janelas

Nesta 1ª etapa somente as proteções solares da fachada externa de alvenaria, foram consideradas, conforme mostrado na figura 8. Todas as janelas foram simuladas fechadas, ou seja, não há ventilação natural na edificação. Essa condição foi considerada apenas para fins de comparação do comportamento térmico da edificação na pior condição de operação.



Figura 8 – Elementos de proteção solar de alvenaria que foram considerados na simulação #1.

A figura 9 mostra a média das temperaturas operativas de cada zona ao longo do ano para a condição proposta na simulação #1. As curvas na cor vermelho e azul representam as máximas e mínimas temperaturas de conforto obtidas através da metodologia de conforto adaptativo da Ashrae 55-2010.

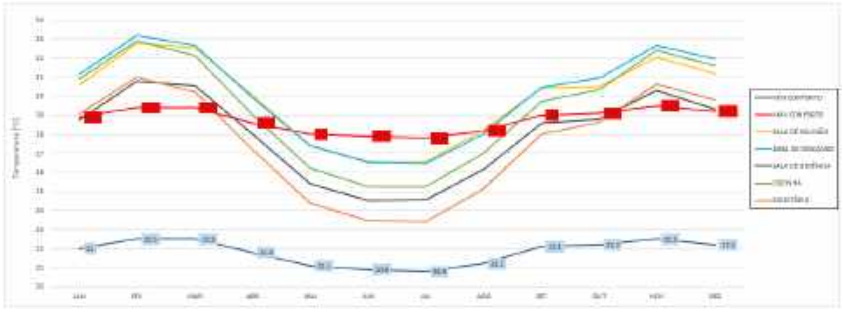


Figura 9 – Temperatura operativa média de cada zona ao longo do ano para a simulação #1.

A partir dos dados horários coletados através da simulação, foi possível calcular o percentual de horas em conforto térmico (POC), aprensentado na figura 10.

PERCENTUAL ANUAL DE HORAS EM CONFORTO TÉRMICO (POC)					
AMBIENTE	ESCRITÓRIO	COZINHA	SALA DE GERÊNCIA	ÁREA DE DESCANSO	SALA DE REUNIÕES
% CONFORTO	64.8%	40.6%	61.4%	30.2%	32.6%
% DESCONFORTO POR FRIO	1.3%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%
% DESCONFORTO POR CALOR	33.89%	59.36%	38.41%	69.84%	67.35%

Figura 10 – Percentual de horas em conforto térmico durante para o período de um ano para a simulação #1.

Nesse caso, como as janelas estão sempre fechadas, os ambientes funcionam como estufas. Dessa forma, o desconforto por calor é percebido em todos os ambientes nos períodos de janeiro a março e setembro a dezembro.

4.2. Simulação #2: Edificação com os brises e as venezianas das janelas

Simulação da edificação com os brises nas janelas das zonas 3, 6 e 7 e venezianas na janela da zona 1, conforme mostra a figura 11. Todas as janelas continuam fechadas e ainda não há ventilação natural na edificação.



Figura 11 – Brises e venezianas das aberturas das zonas 1, 3, 6 e 7 que foram consideradas na simulação #2.

A figura 12 mostra a média das temperaturas operativas de cada zona ao longo do ano para a condição proposta na simulação #2.

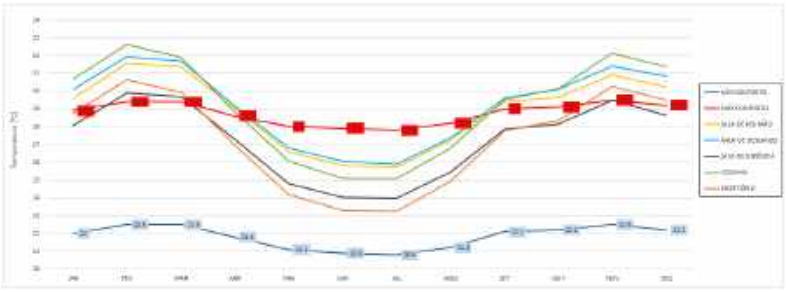


Figura 12 – Temperatura operativa média de cada zona ao longo do ano para a simulação #2.

A partir dos dados horários coletados através da simulação, foi possível calcular o percentual de horas em conforto térmico (POC), aprensentado na figura 13.

PERCENTUAL ANUAL DE HORAS EM CONFORTO TÉRMICO (POC)					
AMBIENTE	ESCRITÓRIO	COZINHA	SALA DE GERÊNCIA	ÁREA DE DESCANSO	SALA DE REUNIÕES
% CONFORTO	67.9%	43.1%	72.0%	40.2%	45.7%
% DESCONFORTO POR FRIO	1.5%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%
% DESCONFORTO POR CALOR	30.61%	56.89%	27.65%	59.83%	54.35%

Figura 13 – Percentual de horas em conforto térmico durante para o período de um ano para a simulação #2.

O ganho de calor do ambiente continua significativo, mas a temperatura média operativa das zonas diminuiu, ou seja, o comportamento da curva no gráfico se aproximou do limite máximo de conforto em comparação aos resultados da simulação #1. Além disso, é possível observar que o percentual de desconforto por calor diminuiu em todas os ambientes se comparado aos resultados da simulação #1. Ainda se tem o efeito de estufa pela falta de ventilação natural mas é evidente o efeito de sombreamento dos brises e venezianas na temperatura interna da edificação.

4.3. Simulação #3: Modelagem dos cobogós.

Nesta etapa foram introduzidos na simulação computacional da edificação brises horizontais, modelados no *EnergyPlus*, simulando os cobogós para proteção da entrada de calor. Nessa condição, também com objetivo investigativo, as janelas foram mantidas fechadas e ainda não há ventilação natural na edificação. Essa simulação contém todas as características e proteções solares das simulações anteriores. A figura 14 mostra essa condição.



Figura 14 – Brises horizontais modeladas no EnergyPlus que simulam os cobogós.

A figura 15 mostra a média das temperatura operativa de cada zona ao longo do ano para a condição proposta na simulação #3, enquanto a figura 16 apresenta o percentual de horas em conforto térmico (POC)



Figura 15 – Temperatura operativa média de cada zona ao longo do ano para a simulação #3.

PERCENTUAL ANUAL DE HORAS EM CONFORTO TÉRMICO (POC)					
AMBIENTE	ESCRITÓRIO	COZINHA	SALA DE GERÊNCIA	ÁREA DE DESCANSO	SALA DE REUNIÕES
% CONFORTO	71.9%	43.9%	72.7%	41.6%	46.7%
% DESCONFORTO POR FRIO	1.7%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%
% DESCONFORTO POR CALOR	26.40%	56.13%	26.87%	58.40%	53.28%

Figura 16 – Percentual de horas em conforto térmico durante para o período de um ano para a simulação #3.

A modelagem dos cobogós gerou um desempenho ligeiramente superior em relação ao comportamento térmico dos ambientes se comparado às simulações #1 e #2. Tal era de se esperar visto que eles representam uma barreira física ao vidro das janelas, evitando o ganho de calor por radiação solar direta em relação às janelas sem cobogós.

4.4. Simulação #4: Edificação com ventilação natural

Simulação da edificação com todos os elementos de sombreamento anteriores e a presença de ventilação natural, capaz de contribuir significativamente para a retirada da carga térmica dos ambientes. A figura 17 retrata o comportamento térmico da edificação com todas as modificações propostas e a figura 18 apresenta o percentual de horas em conforto térmico (POC) obtido.



Figura 17 – Temperatura operativa média de cada zona ao longo do ano para a simulação #4.

PERCENTUAL ANUAL DE HORAS EM CONFORTO TÉRMICO (POC)					
AMBIENTE	ESCRITÓRIO	COZINHA	SALA DE GERÊNCIA	ÁREA DE DESCANSO	SALA DE REUNIÕES
% CONFORTO	70.9%	73.3%	72.7%	76.2%	74.4%
% DESCONFORTO POR FRIO	18.2%	14.3%	17.9%	14.1%	14.4%
% DESCONFORTO POR CALOR	10.86%	12.35%	9.39%	9.67%	11.28%

Figura 18 – Percentual de horas em conforto térmico durante para o período de um ano para a simulação #4.

A simulação #4 mostra um comportamento bem mais adequado ao conforto térmico. Isso porque, além da ventilação natural contribuir para a retirada da carga térmica interna, o usuário também atua na regulagem e manutenção da temperatura. Além disso, pode-se notar que as médias de temperatura ao longo de todo o ano se encontram dentro dos limites de conforto. Ainda assim, as médias não excluem o fato de serem encontrados picos de temperatura fora da zona de conforto. Tal é referendado pelos valores de POC apresentados na figura 18. Nele, pode-se observar que os ambientes de análise têm em torno de 70% de horas em conforto e não 100% como poder-se-ia inferir a partir da figura 17.

4.5. Consumo energético da edificação

A figura 19 mostra o consumo de energia da iluminação e dos equipamentos elétricos ao longo do ano. Conforme dito anteriormente, o chuveiro não foi modelado. Além disso, a edificação real não faz uso do ar condicionado, visto que foram utilizados ventiladores de teto e há possibilidade de obtenção de conforto adaptativo pelos usuários, através das estratégias bioclimáticas inseridas na edificação: ventilação cruzada, efeito chaminé, prateleiras de luz e elementos de sombreamento.

As colunas empilhadas da figura 19 representam o consumo simulado dos equipamentos e de iluminação do empreendimento. Já a linha preta mostra o consumo real da edificação a partir dos dados obtidos na conta de luz da Cemig. Os valores reais e simulados apresentam divergências percentuais entre 15 e 40%. Credita-se que tal se deva aos erros na definição de *schedule* de utilização, diferenças na potência real de equipamentos em relação ao modelo simulado, fiação elétrica do empreendimento, tarifas horárias, entre outros.

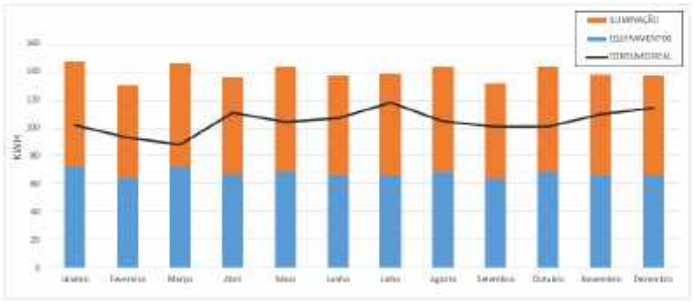


Figura 19 – Consumo de energia dos equipamentos ao longo do ano.

5. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados das simulações, pode-se observar como os elementos de sombreamento, a ventilação cruzada e o efeito chaminé são funcionais quando bem dimensionados e, principalmente, quando previstos na fase de concepção do projeto. Nessa etapa, a simulação se torna uma excelente ferramenta de decisão de projeto, promovendo a análise de diversas soluções e evitando desperdícios de tempo e material.

O trabalho mostrou que as temperaturas operativas médias dos ambientes, obtidas pela simulação #4, geraram um percentual de conforto térmico acima de 70% ao longo do ano. Para que os usuários possam atuar na promoção de um maior conforto térmico, as venezianas podem ser abertas quando não houver incidência de insolação na fachada e os ventiladores de teto podem ser acionados quando os mesmos sentirem desconforto por calor. O clima de Governador Valadares-MG é quente e considera-se que os recursos bioclimáticos utilizados favorecem o bem-estar dos usuários, aumentando a produtividade e ainda contribuindo para a economia de recursos naturais.

A simulação não se alinhou com o modelo real em relação ao consumo energético, e esse é um ponto que deve ser aprimorado, visto que a simulação é dotada de fontes de erro, tais como divergências no *schedule* de utilização do aparelho, diferenças na potência dos equipamentos em relação ao modelo simulado, fiação elétrica do empreendimento, tarifas horárias, entre outros. De toda forma, o trabalho conseguiu investigar a influência das proteções solares, brises e venezianas, bem como o efeito da ventilação natural combinada ao efeito chaminé na promoção do conforto dos usuários.

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.

ALVES, T.; MACHADO, L.; SOUZA, R. G.; WILDE, P. **Assessing the energy potential of an existing high-rise office building stock**. Energy & Buildings, vol 17, pp 547-561, Elsevier, 2017.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 55-2010, **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** p. 30.12. Atlanta, 2010.

DORNELLES, KELEN ALMEIDA. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA /** Kelen Almeida Dornelles - Campinas, SP: [s.n.], 2008.

EPE 2018. **Balanço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf.> Acesso em: 03 de maio de 2019.

FROTA, ANÉSIA BARROS. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo /** Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer – 8 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2013.

LabEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Simulação Termo-energética de Edificações**. Santa Catarina: LabEEE, 2018. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/simulacao-termo-energetica-de-edificacoes> Acesso em: 03 de maio de 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. **Uso de Instrumentos Computacionais para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68, out./dez. 2005.

NASCIMETO, R. M, NANYA, L. M, **Certificação LEED para o projeto de arquitetura**. Revista científica, v1, n1, União das faculdades dos Grandes Lagos, 2017.

ProjetEEE - PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES. **Estratégias Bioblimáticas.** Disponível em: < http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/> Acesso em: 12 de julho de 2019.

UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **LEED v4 para projeto e construção de edifícios (Building design and construction).** Disponível em: <http://www..usgbc.org/sites/default/files/LEED_v4_ BDC_10_01_14_PT_3_24_17.pdf>. Acesso em: jun. 2018.

VELOSO, A.C. O; SOUZA, R.V.G; KOURY, R. N. N. **Evaluation of electric power consumption of non-residential buildings in the city of Belo Horizonte – correlation with design decisions in a study case of a hybrid building**. Energy procedia, vol 8, pp 747-752, Elsevier, 2015.

AGRADECIMENTOS

À LarVerdeLar Projetos Sustentáveis e Consultoria Ambiental e Toca Arquitetura por fornecer os projetos arquitetônicos, dados de operação do edifício, entrevistas com os usuários e conhecimento técnico. À Kamila Bhering por compartilhar conhecimento e revisão bibliográfica.