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

DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE ÁTRIO EM CLIMA TROPICAL: UM ESTUDO DE CASO NO RIO DE JANEIRO

Rita de Cássia Pereira da Silva (1); Virgínia Maria Nogueira de Vasconcellos (2)
(1) Mestranda em Arquitetura, Programa de Pós-graduação em Arquitetura, arqrita.rio@gmail.com
(2) Professora Doutora, Programa de Pós-graduação em Arquitetura, virginia.vasconcellos@gmail.com
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

RESUMO
Em clima tropical, o impacto do condicionamento térmico e da iluminação artificial no consumo de energia elétrica, leva os arquitetos a buscarem soluções e materiais que garantam a eficiência no desempenho térmico e energético dos edifícios. O uso do átrio na arquitetura reduz o consumo em iluminação artificial através da translucidez da cobertura permitindo a entrada da radiação solar no ambiente. No entanto, em clima tropical a entrada de radiação solar deve ser cuidadosamente controlada de modo a evitar o superaquecimento e a sobrecarga de energia voltada ao resfriamento dos ambientes. O objetivo desse artigo é avaliar o desempenho térmico e a eficiência energética do átrio central do Colégio Erich Walter Heine, localizado em Santa Cruz, Rio de Janeiro, cidade de clima tropical quente e úmido. A metodologia aplicada consiste em levantamentos bibliográficos e de campo, com a busca de dados ambientais e medições por instrumentos das variáveis climáticas, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção predominante dos ventos e radiação solar direta. Para efeito de comparação foram medidos nove pontos em áreas cobertas e descobertas, na mesma escola. Foram realizadas, ainda, simulações computacionais, utilizando o Programa Design Builder, onde foram analisados os efeitos da configuração e dos materiais do átrio no conforto higrotérmico do Colégio. Como principal resultado, observou-se um superaquecimento no átrio (concentração de calor), com temperaturas mais elevadas que nas áreas externas, mesmo aquelas em sol pleno. Ratifica-se, com isso, a importância da ventilação e do sombreamento nos espaços construídos em clima tropical, para prevenir e/ou minimizar os problemas que geram desconforto higrotérmico aos usuários.
Palavras-chave: átrio, conforto higrotérmico, desempenho energético, desempenho térmico.

ABSTRACT
In tropical climate, the impact of thermal conditioning and artificial lighting on the consumption of electric energy, leads the architects to seek solutions and materials that guarantee the efficiency in the thermal and energetic performance of the buildings. The use of the atrium in the architecture reduces the consumption in artificial lighting through the translucency of the cover allowing the entrance of the solar radiation in the environment. However, in tropical climates, the input of solar radiation must be carefully controlled in order to avoid overheating and overloading of energy to cool the environments. The objective of this article is to evaluate the thermal performance and energy efficiency of the central atrium of the Erich Walter Heine College, located in Santa Cruz, Rio de Janeiro, a city with a hot and humid tropical climate. The applied methodology consists of bibliographical and field surveys, with the search for environmental data and instrument measurements of climatic variables, air temperature and relative humidity, velocity and predominant direction of the winds and direct solar radiation. For comparison purposes, nine points were measured in covered and uncovered areas, in the same school. Computational simulations were also carried out using the Design Builder Program, where the effects of the configuration and the materials of the atrium were analyzed in the hygrothermal comfort of the College. As a main result, there was an overheating in the atrium (heat concentration), with higher temperatures than in the external areas, even those in full sun. This ratifies the importance of ventilation and shading in the spaces constructed in a tropical climate, in order to prevent and / or minimize the problems that generate hygrothermal discomfort to users.
Keywords: atrium, thermal comfort, energy performance, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

O uso de estratégias passivas de resposta ao clima pode controlar eficazmente as condições de conforto higrotérmico e lumínico, tirando partido de alguns elementos climáticos favoráveis como o vento e a radiação solar (CHI ET AL., 2019). A arquitetura adaptada ao clima é eficaz na mitigação do impacto do ambiente externo no interno, o que é útil para a extensão do tempo de conforto e eficiência energética do ambiente construído.

O átrio na arquitetura tem o propósito de permitir a entrada de luz solar no interior da edificação. Sua tipologia caracterizada por um espaço envolto lateralmente pelo próprio edifício e fechado no topo com cobertura translúcida, promove a percepção temporal e permite a passagem de luz natural, no entanto a ventilação natural pode ficar comprometida. (BAKER, FANCHIOTTI e STEEMERS, 2013).

A luz do dia é reconhecida como uma alternativa gratuita de energia para projetos de construção sustentável. Pela iluminação natural, é possível atingir uma qualidade visual maior, com excelente reprodução de cores e uma resposta visual humana melhor que a luz de fonte artificial, promovendo ambientes mais agradáveis, atraentes, saudáveis e produtivos (YU e SU, 2015). Porém, em clima tropical o controle da radiação solar e o favorecimento da ventilação natural, são as principais estratégias de conforto térmico no ambiente construído. (CORBELLA e YANNAS, 2003)

Estudos voltados à mitigação dos efeitos do átrio no conforto higrotérmico em climas tropicais vêm sendo desenvolvidos para minimizar o dispêndio em climatização ocasionado pelo superaquecimento de átrios em clima tropical. Estratégias de resfriamento passivo e híbrido, como brises solares internos de alto nível, spray de água, chaminé de pilha térmica, ventilação cruzada e parede de água foram testados e analisados quanto a eficiência no conforto higrotérmico (ABDULLAH ET AL., 2009; MOOSAVI, MAHYUDDIN E GHAFAR, 2015; PRIETO ET AL., 2018). Como resposta à problemática energética do superaquecimento que acarreta sobrecarga em resfriamento de átrios em climas quentes, foi desenvolvido um estudo com o objetivo de descobrir um método de estimativa de cargas de resfriamento para tipos de átrios em climas quentes e úmidos através de simulações (PAN ET AL., 2010).

Diversos fatores contribuem para o desempenho térmico e energético do átrio: o microclima, a forma geométrica, a altura do átrio, o formato da claraboia, o percentual de envidraçamento, o material de cobertura e até a angularidade das paredes internas do átrio (ALDAWOUD, 2013; ALDAWOUD E CLARK, 2008; FINI E MOOSAVI, 2016; KUMAR ET AL, 2018; LAOUADI, ATIF E GALASIU, 2002)

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho térmico e a eficiência energética do átrio central do Colégio Erich Walter Heine, localizado em Santa Cruz, Rio de Janeiro, cidade de clima tropical quente e úmido.
Como objetivos específicos busca-se: (1) analisar as condições de conforto higrotérmico do átrio durante um ano; (2) comparar os resultados obtidos nas medições no átrio com os dos pontos medidos fora do átrio; (3) comparar os dados dos cenários obtidos em simulações; (4) Analisar a eficiência energética dos cenários simulados.

3. ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso foi escolhido o átrio central de forma retangular, existente no Colégio Estadual Erich Walter Heine[1], que se localiza e, no Bairro de Santa Cruz, Rio de Janeiro, um dos mais quentes da Cidade. Figura 1.



Figura 1 – Localização

Fonte: Trabalhado pelas autoras sobre base Google Maps

[1] Submetida ao Processo de Certificação LEED-SCHOOL, do WGBC, tornando-se a primeira unidade escolar pública certificada, na América Latina.

A escola se distribui em quatro blocos de dois pavimentos dispostos em forma de “pás” de um catavento infantil, que se conectam por passarelas no 2º pavimento e que tem como área central um átrio no térreo, objeto de estudo neste trabalho, coberto por telhas de policarbonato e gerando o superaquecimento do ambiente. As dimensões do átrio correspondem a 8m de largura por 9m de comprimento e pé direito de 7m, totalizando 72 m2 de área.

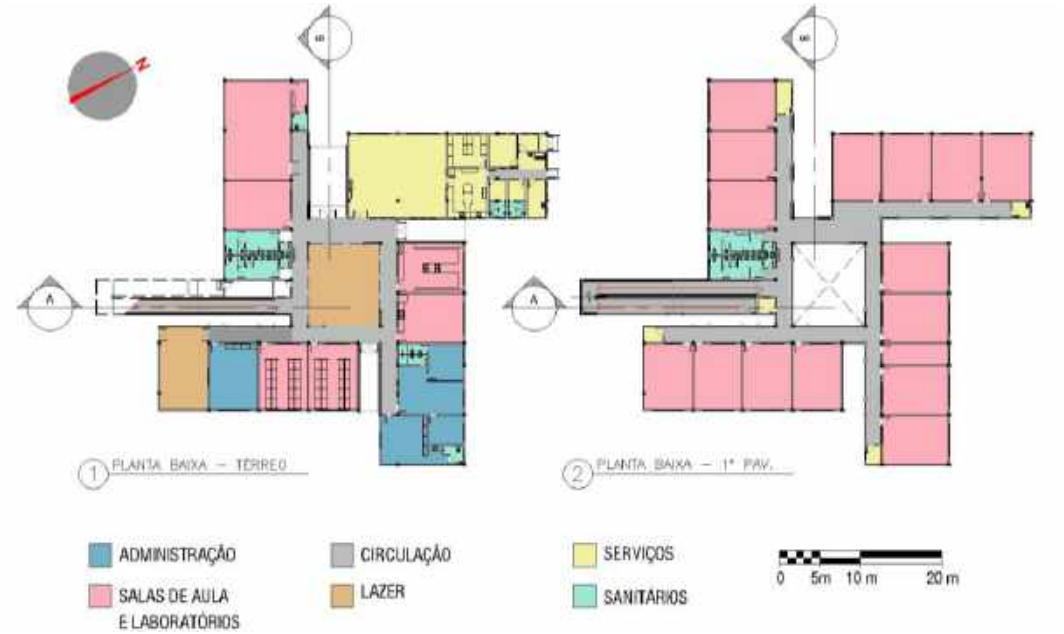


Figura 2 – Planta baixa dos dois pavimentos

Fonte: Trabalhada pela autora sobre material cedido por Albuquerque (2011)

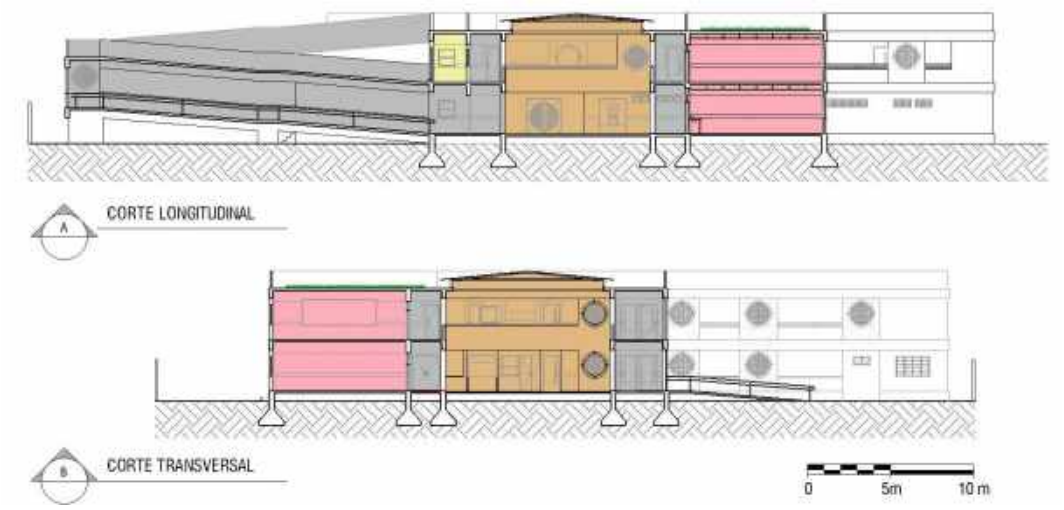


Figura 2 – Corte longitudinal esquemáticos

Fonte: Trabalhada pela autora sobre material cedido por Albuquerque (2011)

4. MÉTODO

O método adotado consiste, em um primeiro momento, no levantamento bibliográfico do referencial teórico e de campo; em um segundo momento, no levantamento dos dados ambientais do estudo de caso através de medições por instrumentos; em uma terceira etapa, as simulações computacionais, utilizando o programa Design Builder, analisando os efeitos do átrio no conforto térmico do colégio. Por fim, são feitas as considerações e análises do conforto térmico e eficiência energética pertinentes com o cruzamento dos resultados das medições e simulações.

4.1. Levantamento bibliográfico e de campo

O levantamento bibliográfico partiu de uma revisão sistemática de literatura para investigar os principais resultados de estudos sobre o desempenho térmico e energético do átrio. Para isso foi feito uma busca nas principais revistas qualificadas da área de desempenho térmico e energético do ambiente construído.

O levantamento de campo foi feito através do estudo de caso, a partir de levantamentos biofísicos e climáticos.

4.2. Medições

Para este estudo, foi escolhido o método de medidas móveis, que "permite que se desenvolva um transecto pela área de estudo com um único conjunto de equipamentos, realizando medições instantâneas das diversas variáveis climáticas em pontos pré-definidos" (VASCONCELLOS, 2006, p. 78).

As medições foram feitas em um dia típico de verão, no dia 14 de janeiro de 2019. Foram aferidas as condições ambientais em dois períodos: o primeiro de meio dia a uma hora da tarde, e o segundo de três às quatro horas da tarde

As variáveis climáticas aferidas foram: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do piso, direção e velocidade dos ventos. Foram registradas as condições de nebulosidade do céu e sombreamento por vegetação, elemento construído ou edifício. Os 9 pontos aferidos referem às áreas de convívio, esporte e lazer do Colégio Estadual Erich Walter Heine, estudo de caso deste trabalho, distribuídos em: (1) direita do pátio de entrada; (2) esquerda do pátio de entrada; (3) varanda; (4) átrio central; (5) quadra poliesportiva coberta; (6) área de convívio externa; (7) quadra poliesportiva descoberta; (8) gramado; (9) área da piscina; conforme marcados em planta, figura 3.



Figura 3 – Planta de pontos da medição.

Fonte: Trabalhada pela autora sobre material cedido por Albuquerque (2011)

4.3. Simulação

O experimento se baseou nas seguintes etapas: modelagem da arquitetura do objeto de estudo; delimitação das zonas térmicas; inserção de dados bioclimáticos e de localização; inserção dos dados dos materiais das configurações e simulações; análise do conforto térmico e análise da eficiência energética.

4.3.1. Modelagem

A modelagem geométrica foi baseada nas dimensões e materiais da arquitetura existente. Os quatro blocos que formam a planta em formato de cata-vento foram modelados como bloco adiabático. A área da circulação do térreo, do 1o pavimento e a cobertura foram modelados como "building block", contemplando as especificações dos dados construtivos de acordo com a arquitetura existente no 1º cenário, e variando a cobertura do átrio para laje de concreto no 2º cenário, figura 4.

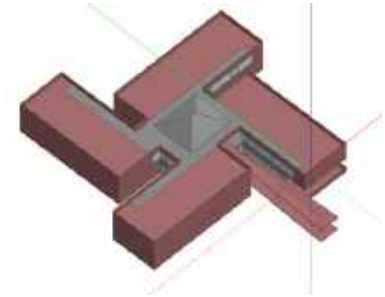


Figura 4 – Imagem da modelagem no software DesignBuilder

Existem três tipos de aberturas nas fachadas e circulações do colégio: um, circular, de 165 cm de diâmetro, com fechamento em perfil tubular metálico e tela; outro, retangular, com largura variável, peitoril de 0,92 m e 1,58 m de altura, sem tela ou grade; e o terceiro tipo são os portões em perfil tubular e tela, com 2,50 de altura e largura variável.

Não foi encontrado no software o material compatível a este tipo de esquadria. No entanto, foi adotado o critério de área livre dos vãos, descontando o percentual ocupado pelas esquadrias e grades, 10% das áreas dos vãos.

4.3.2. Dados de entrada

A localização adotada no modelo foi a do Aeroporto de Santa Cruz (BRAZIL > SANTA CRUZ AIRPORT), pela proximidade geográfica com o estudo de caso, e os dados bioclimáticos de simulação foram inseridos de acordo com o arquivo *.epw* do Aeroporto Santos Dummont, Rio de Janeiro (BRA_SANTOS_SWERA.epw).

Os materiais empregados na arquitetura seguem o padrão construtivo do estudo de caso: laje em concreto armado de 12 cm e piso em cimento queimado 3 cm, paredes em alvenaria de tijolo cerâmico de 6 furos, frisados nas faces com reboco de 2,5cm em ambas as faces e cobertura em policarbonato alveolar incolor de 5mm. As propriedades térmicas dos materiais são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1– Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	**Espessura (m)**	**Condutividade térmica [W/m.K]**	**Calor específico [J/kg.K]**	**Densidade [kg/m^3]**	**Absortância**	**Absortância solar**
Argamassa de reboco	0,025	1,15	1000	2000	0,9	0,2
Tijolo cerâmico 6 furos	0,15	0,90	920	840	0,9	0,7
Laje de concreto armado	0,15	1,75	1000	2300	0,9	0,7
Policarbonato alveolar 5mm	0,005	0,21	1200	1200	0,9	0,7

Para a configuração da claraboia do átrio no software *Designbuilder* foi necessário acionar a opção *Sloped Roof Windows/Skylights*, na configuração da construção em *Openings, Glayzing type*, ativando a opção de *Layout*, 100% *roof glazing*, inserindo os dados das propriedades do policarbonato de 5mm – transmitância solar 0,714, fator solar 0,75,4 e U (w/m2 K) 2,92.

4.3.3. Zonas Térmicas

A delimitação das zonas térmicas se deu a partir do tipo de atividade da área e pavimento. Foi adotado o modelo de atividade “Universities and colleges” ficando o átrio central, com o perfil de ocupação de “hall/lecture theatre/assembly área” delimitado como zona térmica 1, a circulação do térreo e 1o pavimento com o perfil de ocupação *circulation area (corridors and stairways)* delimitados como zonas térmicas 2 e 3. O restante foi considerado bloco adiabático.

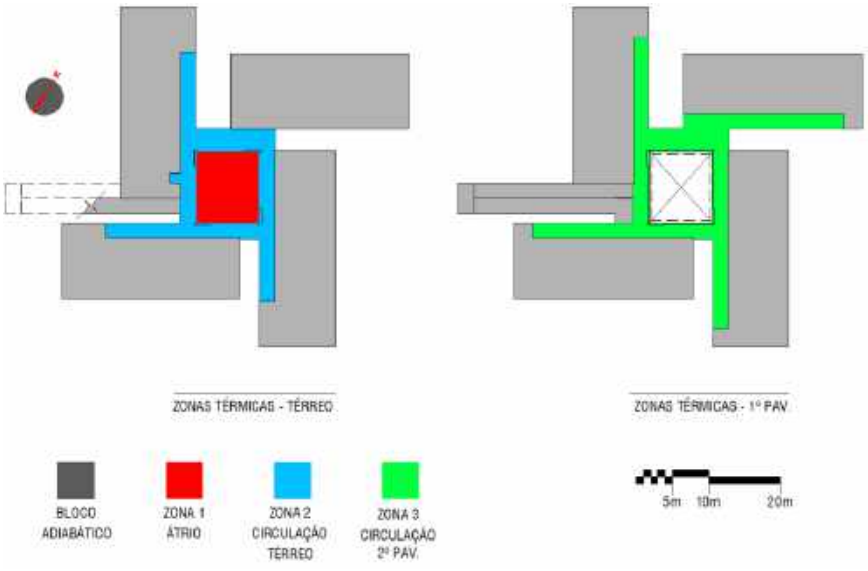


Figura 5 – Mapa de zoneamento térmico

4.3.4. Cenários

Os cenários usados na simulação abordam a situação atual e uma situação proposta com a retirada da cobertura e colocação de laje mantendo o vão de ventilação, para analisar o efeito real da claraboia, sendo:

Cenário 1 – Configuração de átrio central de dois pavimentos, de forma retangular, claraboia piramidal e cobertura em policarbonato alveolar incolor de 5mm sobre perfil de alumínio, vãos de ventilação de 40 cm de altura em todo o perímetro de cobertura, salvo pilares de 15cm nas extremidades.

Cenário 2 – Configuração de pátio central coberto por laje em concreto armado de 15 cm, pé direito de 7 metros, em área de forma retangular medindo 8 metros de largura e 9 metros de comprimento, com vãos de ventilação de 40 cm de altura em todo o perímetro de cobertura, salvo pilares de 15cm nas extremidades.

4.3.5. Parâmetros considerados

O objetivo das simulações foi realizar análises paramétricas, considerando o período de conforto higrotérmico no átrio durante todo o ano, considerando dois cenários: cenário 1 (configuração atual) – claraboia piramidal e cobertura em policarbonato alveolar incolor de 5mm; e cenário 2 – laje em concreto armado de 12 cm de espessura.

4.3.6. Critérios de avaliação

Análise do conforto térmico será feita através dos parâmetros de conforto adaptativo de Ashrae (2013) e PMV de FANGER (1970), com dados obtidos no programa *DesignBuilder*.

Análise da eficiência energética através do número graus-hora de aquecimento e resfriamento.

5. DADOS COLETADOS

5.1. Medições

No período da primeira medição, de meio-dia a uma hora da tarde, o céu estava totalmente claro, sem nenhuma nuvem. O átrio central (localizado no ponto 4), não estava sombreado (figura 6).



Figura 6 - Registro fotográfico do átrio e claraboia no momento da 1ª Medição

No gráfico 1 observa-se o comportamento das variáveis radiação solar direta, temperatura do ar e umidade relativa do ar, registrados nos nove pontos de medição, incluindo o átrio (ponto 4), com registros de radiação incidente de 1.450 W/m2, temperatura do ar de 36,76 ºC e umidade relativa do ar de 47,56%, conforme gráfico 1.



Gráfico 1 – Variáveis climáticas da 1ª Medição (12h)

No período da segunda medição, de três às quatro horas da tarde, o céu estava totalmente claro, sem nenhuma nuvem. O átrio central apresentava um sombreamento, projetado pela própria edificação, de aproximadamente em 50% da área total do piso (Figura 7).



Figura 7. Registro fotográfico do átrio e claraboia no momento da 2ª Medição

Às 15:50 h foi registrado no átrio central (ponto 4), uma radiação incidente de 1.080 W/m2, temperatura do ar de 40,7º C e umidade relativa do ar 42,5%. A temperatura do piso ao sol chegou a 56º C e à sombra a 50º C, uma diferença de 6º C, gráfico 2.



Gráfico 2 - Variáveis climáticas da 2ª medição (15h)

5.2. Dados da simulação

O cenário 1, com a configuração atual do átrio (com claraboia piramidal em policarbonato alveolar incolor de 5mm), apresentou temperaturas mais altas em relação ao cenário 2, mantendo-se acima de 40 ºC em todo o verão com umidade relativa de 30 a 34%. O índice de conforto PMV de Fanger (ano) atinge a escala 7, um nível de total desconforto, tornando o ambiente inabitável, figura 8.

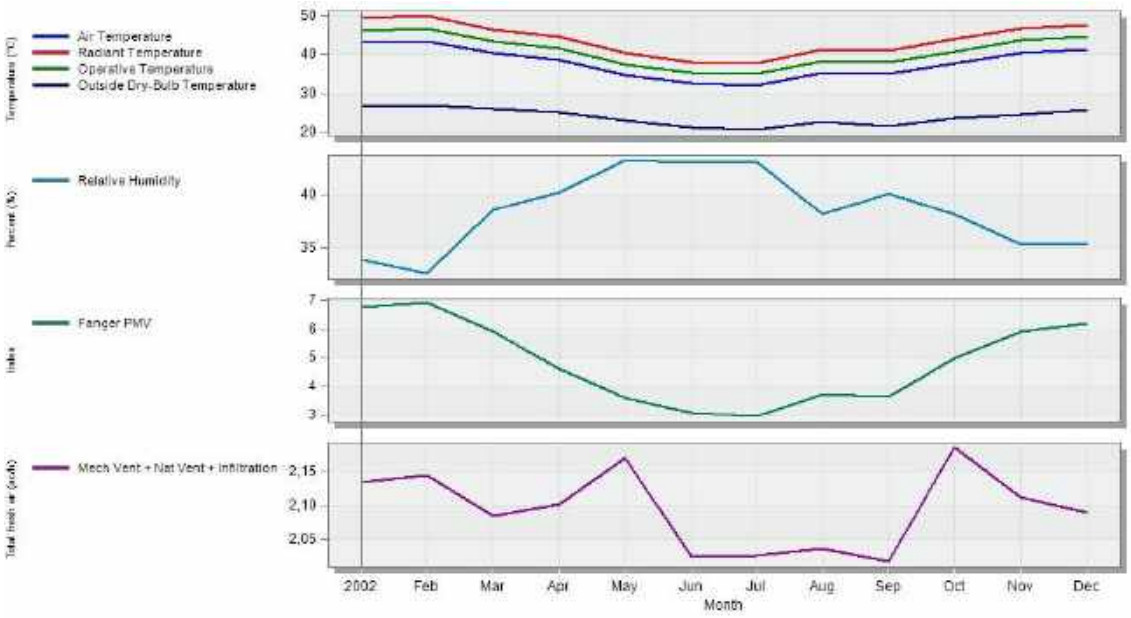


Figura 8. Resultado da simulação do cenário 1 – em policarbonato alveolar de 5mm

O cenário 2, com a eliminação da tipologia do átrio e a remoção da claraboia instalando um fechamento em laje de concreto de 15cm, apresentou temperaturas 7 ºC mais baixas que as do cenário 1, com temperaturas entre 33º C e 35 ºC em todo o verão. O índice de conforto PMV de Fanger (ano) ficou entre o índice de 3 a 4, figura 9.

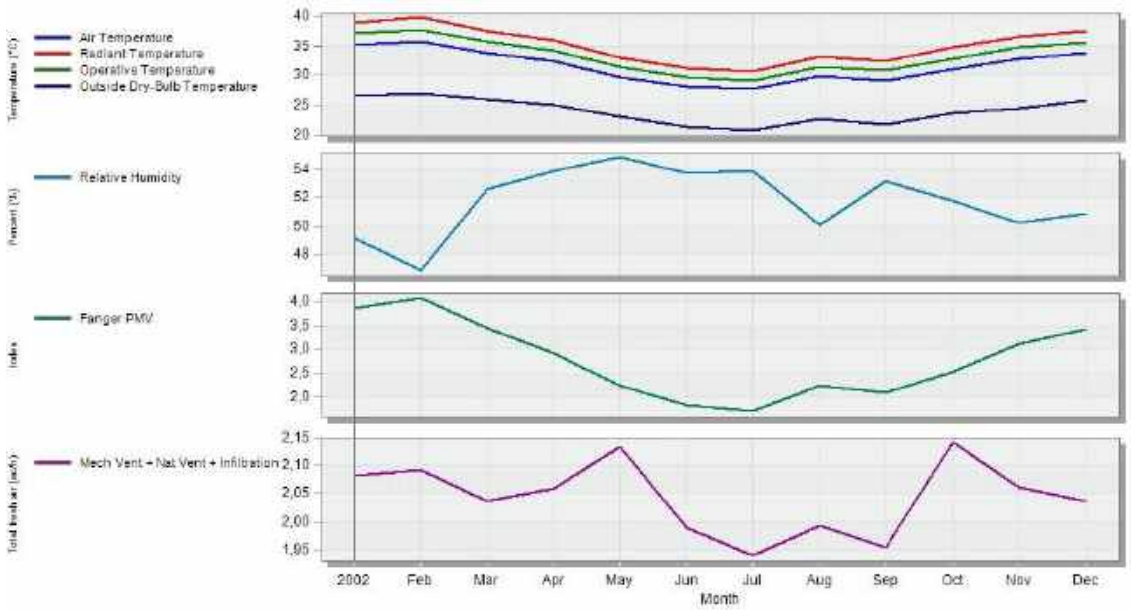


Figura 9. Resultado da simulação do cenário 2 em laje de concreto armado 15cm.

6. ANÁLISES E RESULTADOS

Como se pode observar nos resultados da simulação, a temperatura do ar no átrio central no cenário 1 resultou em temperaturas de 7 a 4 ºC mais altas que no cenário 2. Observou-se também uma redução de 8 a 16% na umidade relativa do ar em relação ao cenário 2, tabela 3. Este fato corrobora a hipótese de que a cobertura instalada, sem o devido tratamento para entrada de vento no local, acarreta sérios problemas em relação ao excesso de calor retido no ambiente e, consequentemente, no desconforto higrotérmico aos usuários. A Tabela 3 mostra as variações detectadas nas simulações.

Tabela 3. Tabela de temperaturas médias no verão contemplando os 2 cenários

	CENÁRIO 1 - Policarbonato				CENÁRIO 2 - Laje de concreto			
	temp. do ar - ° C	*temp. rad. média*	*troca de ar / hora*	*umidade relativa %*	*temp. do ar*	*temp. rad. média*	*troca de ar / hora*	*umidade relativa*
PATIO CENTRAL	42	48	2,13	34	34	38	2,05	50
CIRCULAÇÃO TÉRREO	39	44	4,2	39	35	39	4,15	48
CIRCULAÇÃO 1º PAV	38	43	4,18	42	34	38	4,14	50

Segundo dados da simulação, as temperaturas operativas no átrio no verão variam de 39 a 43 ºC, no cenário 1 (policarbonato) e de 35 a 38 ºC no cenário 2 (laje de concreto). Esses níveis de temperatura operativa não são aceitáveis para edificações naturalmente ventiladas, de acordo com diagrama Ashrae (2013) de conforto adaptativo, figura 10.

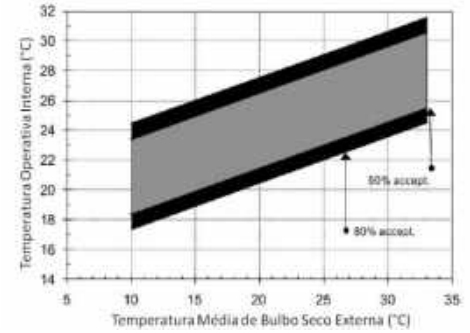


Figura 10 – Intervalo para Temperaturas Operativas aceitáveis para edificações naturalmente ventiladas

Fonte: Ashrae 55 (2013)

Análise da eficiência energética se dá através do cálculo do número de graus-hora de resfriamento ou aquecimento para atingir uma temperatura base de 26 ºC. Através da equação1, calcula-se o indicador de grau-hora de resfriamento para a temperatura operativa horária do ambiente em estudo.

Equação 1 – Indicador de grau-hora para resfriamento

$$GH_R = \sum (T_o - 26°C)$$

Ao se considerar o consumo de energia para refrigeração do átrio no horário de 9 às 16 horas, (7 horas diárias), e que seu funcionamento se dá 5 dias por semana, tem-se um total de 35 horas semanais, o que soma 420h de consumo/verão. Assim, com base na equação apresentada e considerando-se a média da temperatura operativa no período de verão, tem-se que os seguintes resultados para os cenários analisados:

Cenário 1 – GHR = 420 (46 – 26 ºC) = 8.400 graus/horas
Cenário 2 – GHR = 420 (36 – 26 ºC) = 4.200 graus/horas

Os resultados enfatizam a sobrecarga de energia para o resfriamento do átrio e alerta para o fato que a simples alteração de um material de revestimento, pode gerar resultados mais eficientes (de até 50%, como no verificado no estudo)

7. CONCLUSÕES

A pesquisa mostrou que a qualidade ambiental e a eficiência energética de áreas construídas dependem de variáveis distintas, que podem e devem ser buscadas desde a concepção do projeto. O sombreamento é fator decisivo para melhor as condições de conforto higrotérmico e a iluminação também é fator preponderante, sobretudo em áreas de passagem e uso para leitura e estar. O uso de materiais translúcidos pode ser uma boa solução, pois permitem manter a luminosidade. Porém, a instalação desses materiais deve ser usada incorporados a um desenho de projeto que permita a ventilação cruzada, a circulação do ar e, consequentemente, a retirada da concentração de calor, sobretudo em regiões de clima tropical quente e úmido.

Observa-se, ainda, que a simulação computacional deve ser integrada ao projeto, pois permite uma análise prévia do que acontecerá ao ambiente. Ela contempla a inserção de uma complexidade de dados que alteram consideravelmente os resultado. A calibração dos dados dos materiais utilizados, dados climáticos, tipo de ocupação, orientação, abertura de janelas e demais dados devem ser cuidadosamente inseridos para um resultado mais fidedigno.

Pode-se afirmar também que, em clima tropical úmido, a tipologia do átrio com gabarito de dois pavimentos, é uma opção extremamente nociva às condições de conforto higrotérmico e eficiência energética. É interessante salientar que a implementação de estratégias de resfriamento passivo, na busca pela mitigação do impacto térmico do átrio, pode contribuir para a melhoria da qualidade ambiental higrotérmica do átrio.

O projeto de arquitetura deve atender a diversos fatores que, em conjunto, vão agregar e complementar os conceitos de um projeto adequado às condições climáticas e melhor atender a seus usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, Abd Halid et al. Field study on indoor thermal environment in an atrium in tropical climates. **Building and environment**, v. 44, n. 2, p. 431-436, 2009.

ALDAWOUD, Abdelsalam. The influence of the atrium geometry on the building energy performance. **Energy and Buildings**, v. 57, p. 1-5, 2013.

ALDAWOUD, Abdelsalam; CLARK, Ray. Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 209-21 4, 2008.

BAKER, Nick V.; FANCHIOTTI, Aldo; STEEMERS, Koen. **Daylighting in architecture: a European reference book.** Routledge, 2013.

CHI, Fang'ai et al. The strategies and effectiveness of climate adaptation for the thousand pillars dwelling based on passive elements and passive spaces. **Energy and Buildings**, v. 183, p. 17-44, 2019.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simons. **Em busca de uma arquitetura para os trópicos – conforto ambiental.** Rio de Janeiro, 2003.

FINI, Ali Shafiei; MOOSAVI, Ali. Effects of “wall angularity of atrium” on “buildings natural ventilation and thermal performance” and CFD model. **Energy and Buildings**, v. 121, p. 265-283, 2016.

KUMAR, Kiran et al. Experimental and theoretical studies of various solar control window glasses for the reduction of cooling and heating loads in buildings across different climatic regions. **Energy and Buildings**, v. 173, p. 326-336, 2018.

LAOUADI, A.; ATIF, M. R.; GALASIU, A. Towards developing skylight design tools for thermal and energy performance of atriums in cold climates. **Building and environment**, v. 37, n. 12, p. 1289-1316, 2002.

MOOSAVI, Leila; MAHYUDDIN, Norhayati; GHAFAR, Norafida. Atrium cooling performance in a low energy office building in the Tropics, a field study. **Building and Environment**, v. 94, p. 384-394, 2015.

PAN, Yiqun et al. Study on simulation methods of atrium building cooling load in hot and humid regions. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 10, p. 1654-1660, 2010.

PRIETO, Alejandro et al. Passive cooling & climate responsive facade design—Exploring the limits of passive cooling strategies to improve the performance of commercial buildings in warm climates. **Energy Build**, v. 175, p. 30-47, 2018.

VASCONCELLOS, Virgínia Maria Nogueira de. **O entorno construído e o microclima de praças em cidades de clima tropical quente e úmido: contribuição metodológica para o projeto bioclimático.** Tese de doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006, p.78.

YU, Xu; SU, Yuehong. Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation – A literature review. Renewable and Sustainable **Energy Reviews**, v. 52, p. 494-503, 2015.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.