XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ELEMENTOS VAZADOS COMO SEGUNDA PELE EM AMBIENTE DE ESCRITÓRIO[1]

BOLSSONI, Gabriela (1); LARANJA, Andréa (2)

(1) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), gabriela_bolssoni@hotmail.com
(2) Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), andreacoelholaranja@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa teve por objetivo avaliar a influência de diferentes parâmetros no desempenho térmico de elementos vazados para ambiente de escritório situado em clima tropical úmido. Na metodologia foram feitas modelagens com os aplicativos Rhinoceros3D+Grasshopper, e simulações computacionais com a utilização do plug-in DIVA-for-Rhino. Foram avaliados três modelos de elementos vazados para a orientação Oeste. Para as avaliações foi mantido o mesmo percentual de área de abertura na fachada, todavia variou-se os seguintes parâmetros: espessura dos elementos vazados, ângulos de insolação (a e β), quantidade e dimensão dos furos dos modelos avaliados. Nas avaliações de desempenho térmico buscou-se compreender qual dos elementos vazados possui maior capacidade de reduzir a radiação solar transmitida. Como principais resultados, observa-se que todos os modelos avaliados contribuíram na redução da radiação solar. Além disso, os elementos vazados apresentaram desempenho mais eficiente no período da tarde, isso é, maior percentual de redução da radiação solar transmitida. Ademais, constata-se que dentre os parâmetros avaliados, os ângulos de insolação são os que exercem influência mais significativa no desempenho. O modelo com menores ângulos apresentou a melhor performance para todos os períodos avaliados, enquanto os modelos de mesmos ângulos, apresentaram desempenho similar, apesar da diferença nos demais parâmetros.

Palavras-chave: *Desempenho Térmico. Elementos Vazados. Simulações Computacionais.*

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the influence of different parameters on the thermal performance of the perforated solar screen for an office environment in a humid tropical climate. In the methodology, the modeling was performed with Rhinoceros3D + Grasshopper applications and computer simulations using the DIVA-for-Rhino plug-in. Three models of perforated solar screen for the West orientation were evaluated. For the evaluations, the same percentage of opening area on the facade was maintained, but the following parameters were varied: thickness of the perforated solar screen, insolation angles (a and β), quantity and dimension of the holes of the evaluated models. In the thermal performance evaluations, we try to understand which of the perforated solar screens has the greatest capacity to reduce the admitted solar radiation. As main results, it is observed that all the evaluated models contributed to the reduction of the admitted radiation. In addition, the perforated solar screen showed more efficient performance in the afternoon, that is, a higher percentage of reduction

[1] BOLSSONI, Gabriela; LARANJA, Andréa. Análise do desempenho térmico de elementos vazados como segunda pele em ambiente de escritório. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

in the transmitted solar radiation. In addition, it is noted that among the parameters evaluated, the insolation angles are the ones that exert the most significant influence on thermal performance. The model with the lowest insolation angles showed the best performance for all periods evaluated, while the models with the same angles showed similar performance, despite the difference in the other parameters.

Keywords: *Thermal Performance. Perforated Solar Screen. Computacional Simulation.*

1 INTRODUÇÃO

Muitos estudos já constataram a significativa influência das edificações no consumo total da energia produzida (JONSSON; ROOS, 2010; BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016; YOSHINO; HONG; NORD, 2017). Esse consumo, em geral, está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pela envoltória da edificação (CARLO, 2008; FAJKUS, 2013).

No contexto normativo, o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), estabelecido pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) determina diretrizes construtivas capazes de auxiliarem o desempeno térmico do edifício. O Brasil está dividido em 8 zonas bioclimáticas, a maior parte das cidades situam-se na Zona Bioclimática 8 (ZB8), entre as quais se encontra Vitória- ES. Como principais diretrizes da ZB8 destaca-se o sombreamento das aberturas.

Segundo Lamberts; Dutra; Pereira (2014) o sombreamento é umas das estratégias mais importantes do Brasil no controle térmico, em função do clima quente na maior parte do território. Ainda conforme os autores, o sombreamento deve ser utilizado sempre que a temperatura for superior a 20°C, mesmo quando a carta bioclimática indica conforto. Outros autores também enfatizam o sombreamento como uma importante estratégia para melhorar o desempenho térmico do edifício (CORBELLA; YANNAS, 2003; FREEWAN, 2014; BELLIA; FALCO; MINICHIELLO, 2013).

Dentre os elementos capazes de proporcionar sombreamento evidenciam-se os elementos vazados. Ching (2010) define elemento vazado como qualquer sistema de vedação que inclua o espaço vazio, ou seja, que não seja maciço em toda a sua superfície. Cartana; Pereira; Meyer (2018) ressaltam que o emprego de elementos vazados contribuiu no controle da admissão de radiação solar, na melhor distribuição da luz natural e na redução do ofuscamento.

Diante do exposto, este estudo teve por objetivo avaliar a influência de diferentes parâmetros no desempenho térmico de elementos vazados para ambiente de escritório situado em clima tropical úmido.

2 METODOLOGIA

A metodologia foi organizada segundo as etapas a seguir: (1) caracterização do ambiente interno; (2) caracterização dos elementos vazados; (3) simulações computacionais.

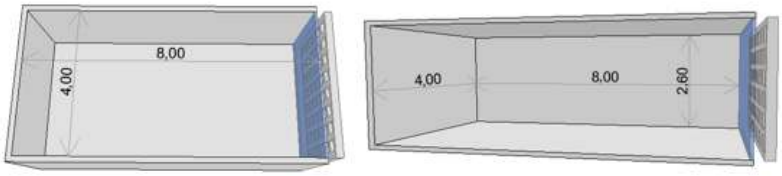
2.1 Caracterização do ambiente interno

As avaliações foram feitas para a cidade de Vitória – ES (20°19'15" latitude Sul e 40°20'10" longitude Oeste). Conforme Lamberts; Dutra; Pereira (2014) Vitória possui clima tropical atlântico, conhecido também como tropical úmido, e caracteriza-se por apresentar baixas amplitudes térmicas ao longo do ano. A temperatura média de Vitória varia entre 22,5 °C (mínima) e 27,7 °C (máxima). Além disso, Vitória

apresenta expressiva irradiação solar, com média variando entre 5,39 e 5,48 kWh/m²/dia (LIMA et al., 2013). Goulart; Lamberts; Firmino (1998) identificaram que em Vitória a ocorrência de desconforto por calor se dá em cerca de 72% das horas do dia.

Para definição da geometria do ambiente interno utilizou-se uma sala hipotética de escritório, sem considerar o entorno edificado. A Tabela 1 indica as dimensões do ambiente adotado em função das diretrizes do Código de Obras de Vitória (1998).

Tabela 1 – Parâmetros adotados em função dos requisitos do Código de Obras

Dimensão	Requisitos do Código de Obras	Dimensões adotadas
Pé-direito (Pd)	Pd ≥ 2,6 0 m	Pd = 2,60 m
Largura (L)	L ≥ 2,00 m	L = 4,00 m
Profundidade (P)	P ≤ 4xL	P = 8,00 m
Área (A)	A ≥ 7,50 m²	A = 32,00 m²
		

Fonte: as autoras

As refletâncias das superfícies do ambiente interno foram definidas com base na NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013), adotando-se 20% para o piso, 60% para as paredes e 80% para o teto. Em relação ao vidro utilizado na fachada foi empregado vidro simples com 6mm de espessura e fator de transmitância de 88%.

2.2 Caracterização dos elementos vazados

Os elementos vazados, perfazendo uma área de 10,40 m² (4,0 m de comprimento e 2,6 m de altura), foram posicionados a 20 cm da fachada apenas em vidro funcionando dessa forma como uma segunda pele. Adotou-se refletância de 80% para os elementos vazados, como indicado por Bolssoni e Laranja (2019).

Para definição da área total de abertura dos elementos vazados, levou-se em consideração os requisitos estabelecidos pelo Códigos de Obras de Vitória para ambientes de escritórios, adotando-se a área mínima admitida por esse, que nesse caso foi de 4 m², como indica a Tabela 2.

Tabela 2 – Verificação dos requisitos do Código de Obras de Vitória

Requisitos do Código de Obras de Vitória quanto à área de abertura	Área de piso do ambiente avaliado	Área de fachada do ambiente avaliado	Razão entre a área de abertura em relação à área de piso	Área total de abertura dos elementos vazados	Percentual de área de abertura na fachada[2] (PAF)
- Área de abertura mínima ≥ 1/8 da área do piso e ≥ 0,6 m²	32 m²	10,40 m²	1/8	4 m²	38%

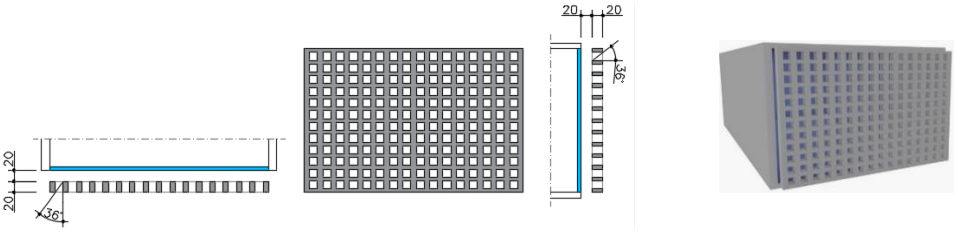
Fonte: as autoras

[2] O percentual de área de abertura na fachada (PAF) corresponde a razão entre a soma das áreas de abertura com fechamento translúcido da fachada e a área total de fachada.

Para as avaliações dos elementos vazados foram definidos três modelos, onde foram mantidos o mesmo percentual de área de abertura da fachada e a mesma refletância. Foram variados nas simulações a espessura dos elementos vazados, os ângulos de insolação (a e β) dos furos, a dimensão e quantidade dos mesmos. O que resultou nos seguintes modelos de elementos vazados:

- **Modelo I**: furos quadrados com dimensão de 14,5 x 14,5 cm numa matriz de 16 furos no eixo X e 12 furos no eixo Y, totalizando 192 furos, espessura de 20 cm que resulta em ângulos de insolação (a e β) de 36°, conforme a Figura 1.

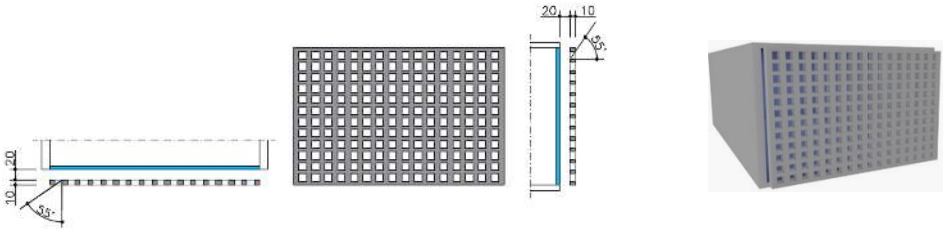
Figura 1 – Planta baixa, vista, corte e perspectiva esquemáticos do Modelo I



Fonte: as autoras

- **Modelo II**: furos quadrados com dimensão de 14,5 x 14,5cm numa matriz de 16 furos no eixo X e 12 furos no eixo Y, totalizando 192 furos, espessura de 10 cm que resulta em ângulos de insolação (a e β) de 55°, conforme a Figura 2.

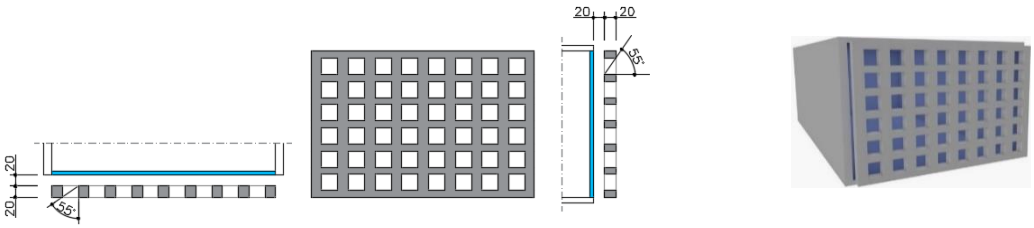
Figura 2 – Planta baixa, vista, corte e perspectiva esquemáticos do Modelo II



Fonte: as autoras

- **Modelo III**: furos quadrados com dimensão de 29 x 29 cm numa matriz de 8 furos no eixo X e 6 furos no eixo Y, totalizando 48 furos, espessura de 20 cm que resulta em ângulos de insolação (a e β) de 55°, conforme a Figura 3.

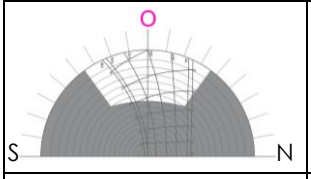
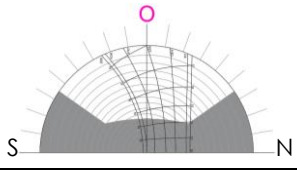
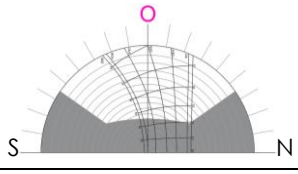
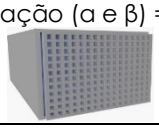
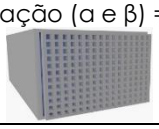
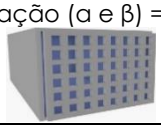
Figura 3 – Planta baixa, vista, corte e perspectiva esquemáticos do Modelo III



Fonte: as autoras

A Figura 4 apresenta as máscaras de sombra para orientação Oeste proporcionada pelos Modelos I, II e III. O Modelo I de menores ângulos de insolação (36°) apresenta a maior área sombreada.

Figura 4 – Máscara de sombra para a orientação Oeste, Modelos I, II e III

Modelo I	**Modelo II**	**Modelo III**
		
Modelo I: ângulos de insolação (a e β) = **36°** 	Modelo II: ângulos de insolação (a e β) = **55°** 	Modelo III: ângulos de insolação (a e β) = **55°** 

Fonte: as autoras

2.3 Simulações computacionais

Os modelos simulados foram desenvolvidos utilizando o *Grasshopper*, editor de algoritmos do software de modelagem *Rhinoceros* 3D, e as simulações computacionais relativas à admissão de radiação solar foram realizadas utilizando o *plug-in DIVA-for-Rhino*.

Nas simulações de desempenho térmico buscou-se identificar qual dos modelos de elementos vazados possui maior capacidade de reduzir a radiação solar transmitida ao ambiente interno, a partir da variação dos seguintes parâmetros: espessura dos elementos vazados, ângulos de insolação (a e β) dos furos, dimensão e quantidade de furos. Para tanto, utilizou-se como base o Coeficiente de Admissão da Radiação Solar Incidente (CRS) proposto por Cartana; Pereira; Meyer (2018), que determina o percentual de radiação solar transmitido antes e depois da utilização dos elementos vazados, como indica a Equação 1.

$$CRS = \left(\frac{\text{Radiação Solar Transmitida}}{\text{Radiação Solar Incidente}}\right) \times 100 \quad (1)$$

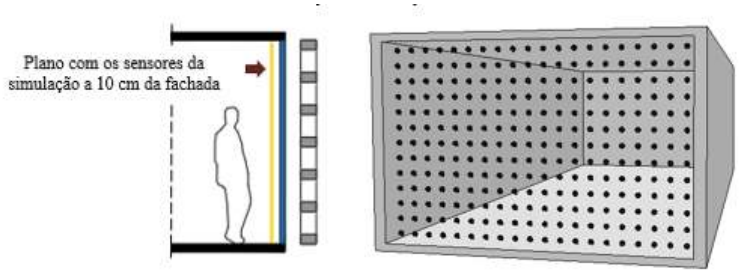
Todavia, visando comparar qual dos modelos possui maior capacidade de reduzir a radiação solar transmitida, foi feita uma adequação na fórmula do Coeficiente de Admissão da Radiação Solar Incidente (CRS) proposto por Cartana; Pereira; Meyer (2018), para facilitar as análises dos resultados. Assim, ao invés de se verificar o percentual de radiação solar transmitido ao ambiente interno, optou-se por verificar o percentual de radiação solar que não foi transmitido, ou seja, o Percentual de Redução da Radiação Solar Transmitida (PRRST). Para tal, foi utilizado como padrão de comparação o ambiente com a fachada apenas em vidro, sem qual qualquer tipo de elemento sombreador, na qual foi contabilizada a máxima capacidade de transmissão da radiação solar para o ambiente interno. Foi então comparado o valor da radiação transmitida por essa fachada apenas em vidro com os modelos de elementos vazados avaliados (Modelo I, II e III), identificando assim qual desses apresenta maior capacidade de reduzir a radiação solar transmitida ao ambiente interno, que pode ser verificado por meio da Equação 2.

$$PRRST = \left(\frac{\text{Radiação Solar Incidente - Radiação Solar Transmitida}}{\text{Radiação Solar Incidente}}\right) \times 100 \quad (2)$$

Para as simulações de desempenho térmico, como sugerido por Cartana; Pereira; Meyer (2018), foi criado um plano vertical de medição o qual foi posicionado internamente a 10 cm do alinhamento da fachada, com sensores espaçados

ortogonalmente em 20 cm entre si, estando 20 sensores dispostos no eixo X e 13 sensores dispostos no eixo Y, totalizando 260 sensores, como indica a Figura 5.

Figura 5 – Corte e perspectiva do plano com os sensores de simulação



Fonte: as autoras

As avaliações foram feitas para a orientação Oeste nos horários de 8h, 10h, 12h, 14h e 16h para os solstícios de inverno e verão, 21 de junho e 21 de dezembro, respectivamente. Esses compreendem horários com e sem a contribuição da radiação solar direta.

Para reproduzir as características do clima de Vitória foi utilizado o arquivo climático da cidade de Vitória (Vitória TRY1962_05CSV.epw, disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv bin).

3 RESULTADOS

Para o solstício de inverno em todos os horários analisados, como demonstra a Figura 6, nota-se que os elementos vazados avaliados apresentaram capacidade de reduzir mais de 45% da radiação solar transmitida ao ambiente interno. O melhor desempenho se deu com o Modelo I (ângulos de insolação de 36°), que chegou a reduzir mais 80% da radiação solar transmitida no período da tarde (14h e 16h). Já os Modelos II e III (ângulos de insolação de 55°) apresentaram resultados inferiores ao Modelo I, mas com redução de até 70% da radiação solar transmitida no período da tarde (14h e 16h).

Para o solstício de verão, em todos os horários, nota-se que os elementos vazados avaliados apresentaram capacidade de reduzir mais de 60% da radiação solar transmitida ao ambiente interno, o que representa um ganho de performance de aproximadamente 15% em relação ao solstício de inverno. Novamente, o Modelo I (ângulos de insolação de 36°) apresentou maior capacidade de reduzir a radiação solar transmitida para todas as horas do dia, chegando a reduzir cerca de 80% no período da tarde (14h e 16h). Os Modelos II e III (ângulos de insolação de 55°) apresentaram mais uma vez desempenho inferior, porém ainda obtiveram uma redução de mais de 60% da radiação solar transmitida à tarde (14h e 16h).

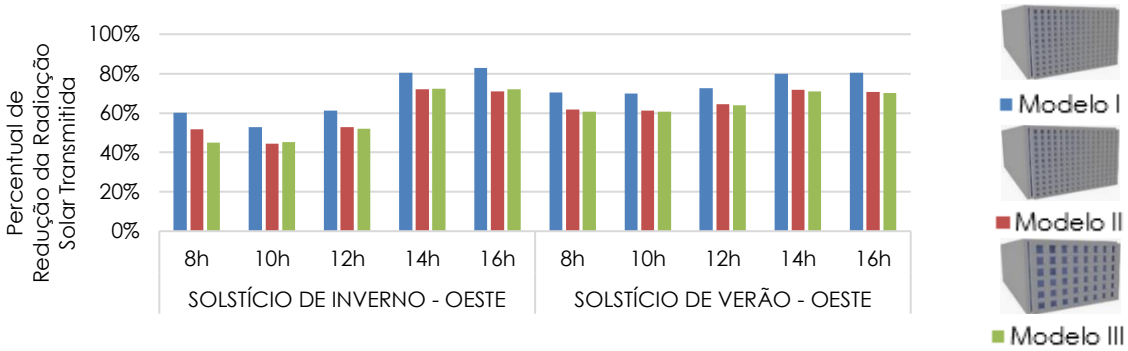
Ressalta-se ainda uma melhor atuação dos elementos vazados no período da tarde 14h e 16h), quando há incidência da radiação solar direta, tanto no solstício de inverno quanto de verão, onde se chega a observar um ganho de performance de mais de 25% na redução da radiação solar transmitida quando se compara o período da manhã com o período da tarde no solstício de inverno, e no solstício de verão essa diferença é de 10%.

De maneira geral, o Modelo I alcançou um desempenho que supera em 10% os Modelos II e III para as todas as épocas do ano (solstício de inverno e verão) e horários

analisados (8h, 10h, 12h, 14h e 16h). Essa melhor performance pode ser atribuída aos menores ângulos de insolação (36°) do Modelo I, onde no mascaramento realizado por meio do gráfico solar (Figura 4) já foi possível verificar uma minoração dos horários de incidência solar para esse modelo. Já os Modelos II e III (ângulos de insolação de 55°) apresentaram desempenho similar e ao mesmo tempo inferior ao Modelo I.

Assim, é possível concluir que são os ângulos de insolação os fatores mais determinantes no desempenho térmico de elementos vazados com mesmo percentual de área de abertura, numa relação de: quanto menores os ângulos, melhor a performance do modelo.

Figura 6 – Percentual de redução da radiação solar transmitida



Fonte: as autoras

4 CONCLUSÕES

Este estudo teve por objetivo avaliar a influência de diferentes parâmetros no desempenho térmico de elementos vazados para ambiente de escritório situado em clima tropical úmido. Como método, foram realizadas simulações computacionais onde foi avaliado o percentual de redução da radiação solar transmitida dos elementos vazados.

Como principais resultados destaca-se que todos os elementos vazados avaliados contribuíram na redução de mais de 45% da radiação solar transmitida, verificando um percentual de redução da radiação solar transmitida de até 80%. Além disso, os elementos vazados apresentam desempenho mais eficiente no período da tarde, quando a orientação Oeste recebe radiação solar direta.

Apesar do mesmo percentual de área de abertura de fachada dos Modelos I, II e III, constata-se que dentre os parâmetros avaliados, os ângulos de insolação (α e β) são os que exercem influência mais significativa no desempenho térmico dos elementos vazados. O modelo de menores ângulos apresentou a melhor performance para todos os períodos avaliados, enquanto os modelos de mesmos ângulos apresentaram desempenho similar, apesar da diferença nos demais parâmetros.

Como limitações desse trabalho evidencia-se que não foi considerado nas simulações o entorno externo edificado, o qual influencia na contribuição da componente de radiação indireta.

Por fim, com os resultados das simulações e das máscaras de sombra, evidencia-se a importância da compreensão da geometria solar para se projetar elementos vazados com desempenhos mais eficientes, dada a significativa influência dos ângulos de insolação no desempenho dos mesmos.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela viabilização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)**. NBR ISO/CIE 8995-1.** Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BELLIA, L.; FALCO, F.; MINICHIELLO, F. Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates. **Applied Thermal Engineering**. Eng. 54, 2013.

BOLSSONI, G.; LARANJA, A. A Influência da Refletância dos Elementos Vazados no Desempenho Lumínico. **II Congesso Internacional de Arquitetura e Cidade (ARQCIDADE) e X Coletânea ARQURB.** Vila Velha, 2019.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Evaluating Energy Performance in Non-Domestic Buildings: a review. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 734-755, 2016.

CARLO, J. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.** 2008. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARTANA, R.; PEREIRA, F. MAYER, A. Estudo piloto para elementos de controle solar desenvolvidos com modelagem paramétrica e fabricação digital. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 3, p. 67-82, Porto Alegre, 2018.

CHING, F. D. K. Dicionário visual de arquitetura. São Paulo: **Martins Fontes**, 2010.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos. **Editora Revan**, 2003.

FAJKUS, M. Superficial Skins? Super Skins? Shading Structures and Thermal Impact Analysis. **Advanced building skins – energy forum**, Bressanone, 2013.

FREEWAN, A. A. Impact of external shading devices on termal and daylighting performance of offices in hot climate regions. **Solar Energy**, v. 102, p.14-30, 2014.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética para 14 cidades brasileiras.** 2ª ed. Florianópolis, 1998.

JONSSON, A.; ROOS, A. Evaluation of Control Strategies For Different Smart Window Combinations Using Computer Simulations. **Solar Energy,** v. 84, n. 1, p. 1-9, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed. São Paulo, 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, R.; RAMOS, G. Impactos da adequação climática sobre a eficiência energética e o conforto térmico de edifícios de escritórios no Brasil. 49p. Florianópolis: **LABEEE**, 2006.

LIMA, A. C.; DELPUPO, A. M.; SILVA, B. F. P.; SACRAMENTO, B. F.; MADUREIRA, C. C.; ALVARENGA, H. M.; RAMOS, H. E. A.; SILVA, J. G. F.; SCARPATTI, M. P.; ALMEIDA, P. V. D. **A energia solar no Espírito Santo: Tecnologias, Aplicações e Oportunidades.** ASPE. Vitória, 2013.

VITÓRIA. Lei n°. 4821, de 30 de dezembro de 1998. **Código de Edificações do Município de Vitória**. Vitória, 1998. Disponível em: Acesso em: 17 out. 2019.

YOSHINO, H.; HONG, T.; NORD, N. IEA EBC Annex 53: total energy use in buildings, analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 124-136, mar. 2017.