

## Simulação paramétrica de *brise-soleil* para redução de consumo energético em edificação comercial

### RESUMO

O objetivo deste artigo é realizar um estudo de caso utilizando a simulação paramétrica para otimização energética de um brise e comparar os resultados obtidos com os de brises dimensionados tradicionalmente, tendo em vista metas de redução de consumo energético previstas no LEED v.4. A metodologia inclui levantamento de dados, elaboração de algoritmo para simulações paramétricas, realização das simulações e análise de resultados. As simulações utilizaram projeto de edifício comercial em Belo Horizonte. Os resultados apontam redução de consumo a partir da aplicação de brises tradicionais e redução ainda maior obtida pelos brises otimizados, aumentando a pontuação atingida no LEED. O artigo descreve algoritmos para a realização das simulações e evidencia que a simulação paramétrica é um processo válido por gerar diferentes opções projetuais aliadas a resultados quantificáveis, que podem embasar tomadas de decisão mais informadas, principalmente no que tange ao consumo energético.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência energética em edificações. Simulação paramétrica. Brises. LEED.

**Marina da Silva Garcia**

[marinagarcia.arg@gmail.com](mailto:marinagarcia.arg@gmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

**Jacqueline Alves Vilela**

[arjacvilela@gmail.com](mailto:arjacvilela@gmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

**Ana Júlia Maia Mairink**

[anajuliamaiamairink@gmail.com](mailto:anajuliamaiamairink@gmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

**Ana Carolina de Oliveira Veloso**

[acoveloso@gmail.com](mailto:acoveloso@gmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

**Roberta Vieira Gonçalves de Souza**

[robertavgs2@gmail.com](mailto:robertavgs2@gmail.com)

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

## INTRODUÇÃO

A crescente discussão a respeito do desenvolvimento sustentável nas agendas mundiais faz com que seja imprescindível a avaliação dos impactos gerados pelo setor da construção civil no planeta. Este setor é responsável por uma parcela significativa dos danos causados pelo ser humano ao meio ambiente, tanto pelos recursos naturais utilizados como pelos resíduos gerados em todo o ciclo de vida das construções (BRASIL, 2017). Segundo a *International Energy Agency* (IEA, 2018), a construção e operação de edifícios foi responsável por cerca de 36% do consumo final global de energia e 40% das emissões de CO<sub>2</sub> do planeta em 2017.

A geração de energia é reconhecida como uma das atividades antropogênicas mais impactantes para o meio ambiente, devido aos altos níveis de poluentes emitidos pela combustão de combustíveis fósseis, grande impacto ambiental gerado na construção de usinas hidrelétricas, dentre outros motivos. Além disso, mudanças ambientais podem afetar a geração de energia, impactando diretamente no planejamento energético dos países. No Brasil, por exemplo, onde a principal fonte de oferta de energia elétrica é hidráulica (EPE, 2018), alterações nos regimes de chuva, como ocorrido em 2015, quando houve uma redução significativa dos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas, resultou em situações críticas para a geração de energia elétrica no país (GALVÃO; BERMANN, 2015). Assim, tendo em vista a tendência de aumento do contingente populacional urbano e do consumo energético demonstrado pelo Plano Nacional de Energia 2030 (BRASIL, 2007), o cenário futuro de segurança do abastecimento de energia elétrica no Brasil se vê confrontado com dois problemas básicos, que são, de um lado, a demanda em crescimento contínuo e de outro, a capacidade de expansão da geração de energia elétrica. Portanto, a investigação de processos e tecnologias em prol da eficiência energética na indústria da arquitetura e construção, pode contribuir para a mitigação dos impactos gerados por este setor (CAO; DAI; LIU, 2016). Segundo o Procel Edifica, estima-se um potencial de redução de consumo de 30% para edifícios existentes e de 50% para edifícios novos, com a implementação de ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação, ar condicionado e na envoltória (PROCEL EDIFICA, 2017).

As questões relativas à eficiência energética em edificações têm se tornado cada vez mais evidentes, principalmente após a promulgação das Normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2008), além do Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, Públicos e de Serviços (BRASIL, 2009) que abordam requisitos de desempenho mínimo para diferentes níveis de eficiência energética, incluindo a avaliação dos sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar.

Outro mecanismo de avaliação de eficiência energética e sustentabilidade é o selo americano LEED (*Leadership in Energy And Environmental Design*), que é um sistema para certificar e ou ratificar a sustentabilidade e a redução do impacto ambiental das construções que adotam práticas ambientalmente responsáveis. O LEED v.4, permite uma análise de critérios que, analisados de forma multidisciplinar, possibilita tomadas de decisões mais informadas, desde as fases de desenvolvimento inicial do projeto à situações de *retrofit* de edifícios existentes. É possível, por meio do processo de modelagem computacional, avaliar diferentes estratégias projetuais relacionadas a questões como propriedades térmicas dos materiais, orientação da edificação, níveis de iluminação natural e níveis de conforto térmico; tendo em vista o

atendimento de níveis mínimos de métricas relacionadas à performance da edificação. Por se tratar de uma análise de multicritérios, o LEED é considerado uma importante referência no que se refere ao consumo de energia nas edificações (USGBC, 2018).

Lamberts, Dutra e Pereira (2004) entendem que um edifício é mais eficiente energeticamente quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto, com um menor consumo de energia. Desta forma, faz-se importante estudar a implantação de elementos arquitetônicos que possam minimizar os ganhos térmicos do edifício através da proteção das envoltórias e a implantação de equipamentos eficientes capazes de reduzir o consumo de energia elétrica.

Uma solução de proteção contra ganhos térmicos das envoltórias comumente adotada é o uso de brises, ou *brise-soleil*, que podem ser incorporados às edificações de diversas formas. Os brises podem ser verticais, horizontais ou mistos, fixos ou móveis, e seu dimensionamento depende da latitude da cidade, azimute e altura solar. Existem variados *softwares* gratuitos e com interface amigável, capazes de gerar máscaras de sombra para brises, auxiliando assim no seu dimensionamento. Citam-se como exemplos o *software Analysis Sol-ar* (LABEEE, 2018) e o *Sun-Tool* (BITTENCOUT, 2004), que são usualmente utilizados por projetistas brasileiros para o dimensionamento destes elementos de sombreamento.

Com relação aos espaços internos, um dos fatores que influenciam na redução do consumo de energia elétrica é o acesso à iluminação natural que, quando corretamente utilizada, pode oferecer melhores condições ambientais e reduzir a necessidade de utilização de iluminação artificial, dentre outros benefícios. Todavia, a instalação dos brises pode se tornar um anteparo à entrada da iluminação natural, diminuindo a eficiência do sistema. Assim, é necessário um correto dimensionamento dos brises para que estes proporcionem proteção contra os ganhos de calor excessivos nas envoltórias e ao mesmo tempo permitam a adequada incidência da luz natural.

A simulação computacional é um instrumento importante para avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto. Mendes *et al.* (2005), p. 48, afirmam que “com a simulação computacional, pode-se estimar a redução do consumo de energia, do custo desse consumo e até mesmo do impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo de sua execução”. Ainda, Carlo e Lamberts (2010) apontam que a simulação computacional, embora não represente a realidade em sua totalidade, é a forma mais flexível e completa de observar aspectos relacionados à eficiência energética de edificações. Entretanto, Hensen e Lamberts (2011) e Korolija e Zhang (2013) indicaram a alta propensão a erros neste processo, salientando a importância de mão-de-obra altamente qualificada e experiente no domínio de *softwares* de alta complexidade para que haja confiabilidade nos resultados obtidos por meio de simulação, além do grande investimento financeiro e de tempo. Tais dificuldades se refletem no hábito apontado por Dogan e Reinhart (2013), no qual a simulação computacional, quando utilizada, ocorre apenas para avaliar conformidades de desempenho de projetos em suas fases finais de concepção.

No contexto da utilização de tecnologias computacionais para análises energéticas na arquitetura, é pertinente o conhecimento e estudo das ferramentas de simulação paramétrica. A parametria pode ser entendida como uma prática de modelagem digital, ou programação visual, a partir da qual é possível modelar uma série de variáveis e atribuir relações matemáticas entre as mesmas, gerando assim algoritmos que abrangem grande quantidade de possibilidades. Com o surgimento de ferramentas paramétricas e técnicas de fabricação digital, os processos de projeto se modificaram e a capacidade de gerar rapidamente milhares de variantes de projeto

levou a novas questões sobre como avaliar as opções, não apenas pelo viés estético, mas de forma multidisciplinar. Para abordar esta questão, as ferramentas de projeto se integraram a programas de simulação de desempenho que permitem aos usuários quantificar o comportamento térmico, energético e luminoso (REINHART *et. al*, 2015). Uma das vantagens da simulação paramétrica consiste na possibilidade de avaliação de múltiplas soluções de projeto de forma mais automatizada do que as práticas atuais onde as simulações de cada opção projetual são geradas de forma individualizada.

Dentre os *softwares* que permitem a análise paramétrica estão o *Rhinoceros* e os *plug-ins Grasshopper, Honeybee, Ladybug e Galapagos*. O *Rhinoceros 3D* (de modelagem NURBS) junto a seu *plug-in Grasshopper*, que é um editor de algoritmo gráfico, permitem a elaboração de formas paramétricas sem a necessidade de conhecimento específico de programação por linguagens de script (LAGIOS; NIEMASZ e REINHART, 2010). Ferramentas como o *Grasshopper* tem sido cada vez mais utilizadas junto a outros *plug-ins* para a realização de avaliações relacionadas à sustentabilidade (LAGIOS; NIEMASZ e RAINHART, 2010). Diversos trabalhos internacionais e nacionais têm abordado o uso da modelagem paramétrica junto a simulação energética, térmica, luminosa e de ventilação, como o de Felipe *et al.* (2015), Fang (2017) e Cartana, Pereira e Mayer (2018). A seguir serão dadas maiores informações a respeito dos referidos *softwares*, tendo em vista que conformam tecnologia recente no cenário da arquitetura e do urbanismo.

O *Rhinoceros* surgiu nos anos 1990 nos Estados Unidos como um comando do AutoCAD e por sua grande repercussão, se desenvolveu como um *software* independente, que permite a execução de desenhos em 2D que, por meios de configurações, se transformam em visualizações 3D (BINI; GALAFASSI, 2017). Ele tem como função a visualização das análises e dados, servindo como base para os outros *softwares* por meio de *plug-ins*. Um dos *plug-ins* mais conhecidos para trabalho junto ao *Rhinoceros* é o *Grasshopper*, programa que utiliza a modelagem paramétrica por meio de programação algorítmica, determinando as formas matemáticas representadas visualmente por desenhos de “pilhas” ou “baterias”, que se conectam e montam as formas vistas na interface do *Rhinoceros* (BINI; GALAFASSI, 2016). Esses programas foram escolhidos para utilização neste trabalho.

No que tange às análises ambientais e energéticas, destacam-se o *Honeybee* e *Ladybug*, que são *plug-ins* grátis e de código aberto para o *Grasshopper*. Eles permitem que o projetista explore a relação direta entre os dados ambientais e o projeto por meio de saídas de dados gráficos altamente integrados à geometria do prédio (ROUDSARI; PAK, 2013). O *plug-in Ladybug* pode ser utilizado para análises de temperatura, umidade, orientação dos ventos e análise solar de um determinado local, usando dados do arquivo climático (BINI; GALAFASSI, 2016). O *Ladybug* importa os arquivos climáticos *EnergyPlus Weather* (EPW) no *Grasshopper* e fornece uma variedade de gráficos 2D e 3D interativos e amigáveis para o projetista a fim de apoiar o processo de tomada de decisão durante os estágios iniciais do projeto. Ele também simplifica o processo de análise, automatiza e agiliza os cálculos, e fornece visualizações gráficas na interface de modelagem 3D do *Rhinoceros/Grasshopper*. Já o *Honeybee*, é um *plug-in* que conecta o *Grasshopper* ao *software EnergyPlus* em multi-zonas (simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas), ao *Radiance*, ao *Daysim* e ao *Open Studio*, para construir a simulação de energia e iluminação natural (FOOD4RHINO, 2018). A integração com as ferramentas paramétricas do *Grasshopper* permite um *feedback* quase instantâneo sobre as modificações do projeto e as informações e análises são interativas (FOOD4RHINO, 2018).

O *plug-in Galapagos* permite a geração de uma matriz de possibilidades de associação definidas a partir um “genoma” (variáveis que podem ser associadas) em um processo de combinações definido por um algoritmo de seleção. O algoritmo evolucionário escolhe um parceiro da população para se associar e existem diferentes maneiras pelas quais a seleção de parceiros poderá ocorrer. As combinações visam a otimização do resultado de um parâmetro escolhido, que pode ser o consumo energético, por exemplo, tendo como meta atingir um valor definido pelo usuário, chamado de “*fitness*”. Os resultados são exibidos, em forma de tabela ou listas, com todas as possibilidades de associações realizadas no processamento e os resultados obtidos a partir de cada combinação de parâmetros (RUTTEN, 2011).

Tais ferramentas possuem o potencial de contribuir para a maior adoção da simulação computacional com foco em projetos mais responsáveis ambientalmente desde as fases iniciais do processo. No entanto, segundo por Rogers (1995), o nível de dificuldade das ferramentas é um fator de grande influência para sua adoção. Nota-se, neste contexto, que apesar das potencialidades dos referidos programas, ainda existem poucas publicações científicas para o auxílio na elaboração prática de avaliações da performance energética de edificações.

Tendo em vista a contextualização apresentada, o objetivo deste artigo é realizar um estudo de caso utilizando a simulação paramétrica para otimização energética de um brise e comparar os resultados obtidos com os de brises dimensionados de forma tradicional (a partir do *Sun-Tool*), considerando-se as metas de redução de consumo de energia previstas no LEED v.4. Para atingir este objetivo, o presente trabalho abordou também o desenvolvimento de algoritmo de simulação paramétrica utilizando o *software Rhinoceros* e os *plug-ins Grasshopper, Honeybee, Ladybug e Galapagos*.

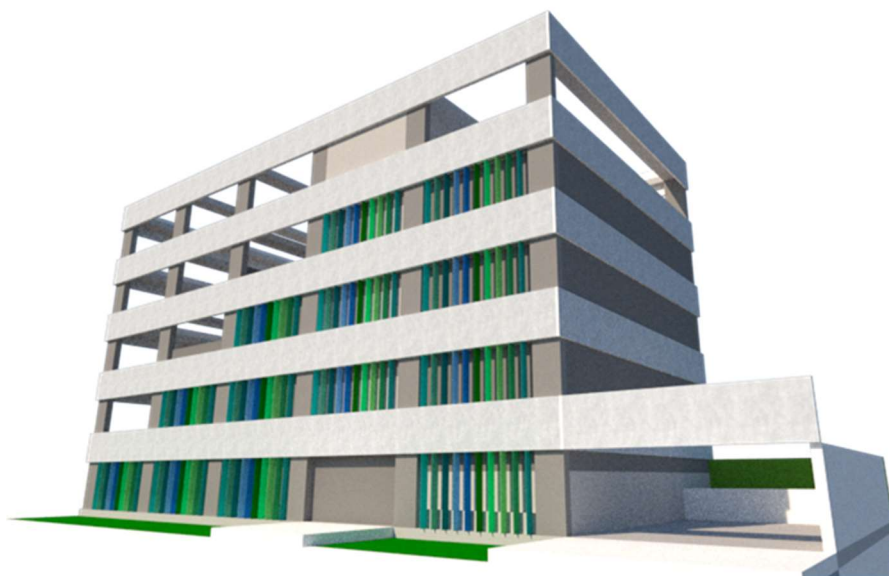
## METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho seguiu seis etapas distintas: levantamento de dados do projeto arquitetônico a ser utilizado como estudo de caso; revisão de literatura em artigos científicos e sites de tutoriais dos softwares utilizados; planejamento das simulações a serem executadas; elaboração do algoritmo de simulação paramétrica de consumo energético com o *Rhinoceros 5.0, Grasshopper, Honeybee, Ladybug e Galapagos*; realização das simulações; e, por fim, a análise comparativa de dados. O projeto arquitetônico e os parâmetros de simulação utilizados serão descritos com maior detalhe nos itens a seguir.

### Descrição do estudo de caso

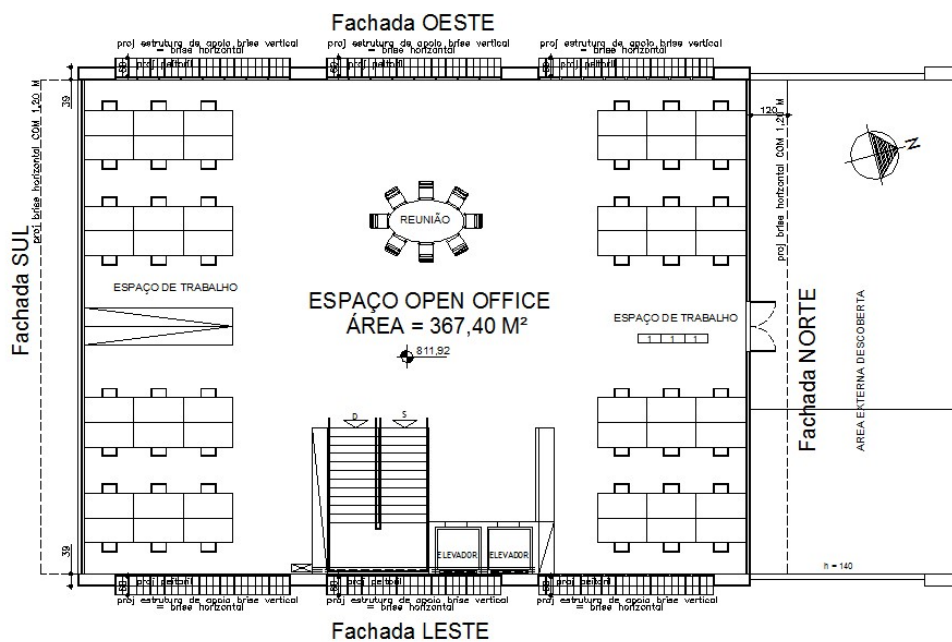
Optou-se por estudar o projeto de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais – EA/UFMG – da aluna Ana Júlia Maia Mairink (MAIRINK, 2018), que no momento da elaboração deste estudo, encontrava-se em fase de desenvolvimento. O projeto consiste em um edifício comercial localizado na Avenida Cristiano Machado - Belo Horizonte/MG (Figura 1). O estudo de parametrização dos brises foi realizado apenas na fachada oeste de um dos pavimentos do edifício (terceiro pavimento), classificado como *Open Office*, ou seja, um pavimento aberto, sem divisões internas, com janelas de vidro comum em todas as 4 fachadas. O pavimento estudado (Figura 2) tem peitoril de 0,70 m, altura de janelas de 2,10 m e verga de 0,70 m, perfazendo pé direito de 3,50 m (Figuras 1 e 2). A área total do pavimento é de 367,40 m<sup>2</sup>.

Figura 1 - Perspectiva do edifício comercial estudado



Fonte: Mairink (2018)

Figura 2 - Planta do 3º pavimento projeto Open Office



Fonte: Mairink (2018)

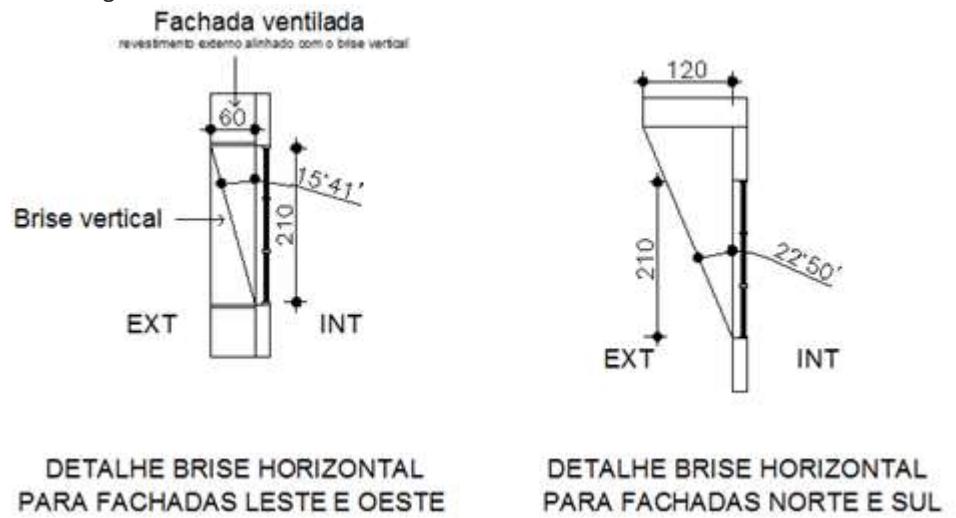
O projeto contempla brises horizontais e verticais dispostos nas fachadas norte/sul e leste/oeste, respectivamente. Os brises horizontais são em concreto armado - prolongamento da laje do pavimento superior, com largura de 1,20 m e espessura de 0,10 m. Os brises verticais, por sua vez, possuem a seguinte especificação: brise metálico, marca *Hunter Douglas*, modelo *Stripscreen*, espessura da chapa 0,0008 m (Figura 3). As Figuras 4, 5 e 6 apresentam o projeto luminotécnico adotado.

Figura 3 - Brise Hunter Douglas, modelo Stripscreen



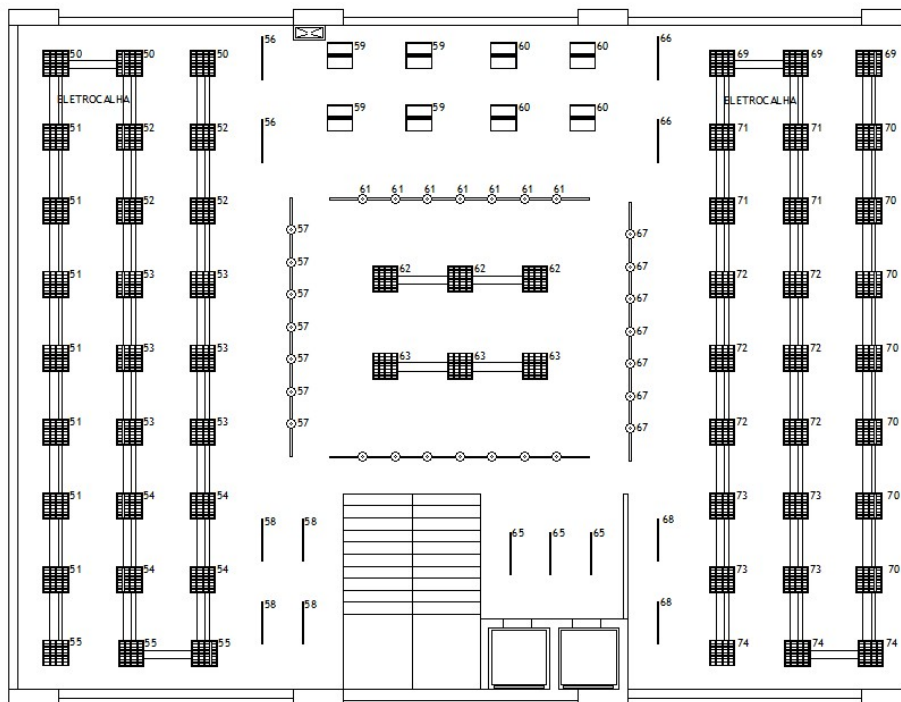
Fonte: Hunter Douglas (2018)

Figura 4 - Detalhamento dos brises horizontais e verticais das fachadas







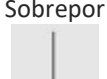

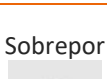

Fonte: Mairink (2018)

Figura 5 - Planta projeto forro e luminotecnica do 3º pavimento



Fonte: Mairink (2018)

Figura 6 - Tabela com legendas e especificação dos equipamentos de iluminação

Especificações de iluminação artificial				
Luminária	Lâmpada	Ambiente	Especificação	Imagem
Embutida 	4x Led 31W	Equipes, reuião e diretoria	Luminária marca Itain, 3745 Led premium ou similar, com aletas parabólicas anodizadas	
Embutida 	1X Led 17W	I.S. e copa	Luminária marca Itain, Minotauro, Led direta e difusa com refletor ou similar	
Sobrepor 	1x Led 17W	Circulação, copa e recepção	Luminária marca Itain, 3434-S, Led direta e difusa com refletor ou similar	
Sobrepor 	1x Led 9W	Circulação	Luminária marca Itain, Dorah-S-P ou similar com iluminação direta	

Fonte: Mairink (2018)



## Planejamento das simulações computacionais

O presente estudo contemplou três grupos de simulação, nos quais pretendeu-se avaliar o consumo de energia elétrica anual referente ao LEED v.4. Para isso, optou-se por utilizar o software *Rhinoceros* com o *plug-in* de parametrização *Grasshopper*. Para as análises de consumo energético, foram considerados os *plug-ins* *Honeybee* e *Ladybug*. Os grupos de simulações realizadas foram:

Estudo de caso 1 – *Baseline*: primeiramente simulou-se o pavimento sem nenhum elemento de proteção solar.

Estudo de caso 2 – Brises dimensionados pela arquiteta: posteriormente, foi modelado o pavimento com os brises horizontais e verticais dimensionados pela autora do projeto com o auxílio do software *Solar-Tool* (BITTECOURT, 2004), para todas as fachadas. Na fachada oeste, foram projetados 26 brises verticais com largura igual a 0,60 m para cada vão de 5,64 m, e estrutura de fixação horizontal com largura de 0,60 m. A opção por simular todos os brises projetados, apesar do presente estudo focar na parametrização apenas do brise da fachada oeste, foi feita para maior precisão nos dados de consumo energético.

Estudo de caso 3 – Brises parametrizados: em seguida, realizou-se o estudo de parametrização dos brises verticais da fachada oeste, no qual todos os brises das outras fachadas permaneceram fixos no modelo. A definição da variação dos parâmetros dos brises verticais foi baseada em estudo preliminar de máscaras de sombra no software *Solar-Tool* (BITTECOURT, 2004). Os parâmetros podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros e suas variações

Métrica	Parâmetro	Variações
Consumo de energia elétrica anual por área (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Cor	Branco neve, verde limão e verde primavera. Refletância: 0,2 a 0,8
	Quantidade de brises no vão	De 10 a 30
	Dimensão	0,3 m a 0,6 m
	Angulação	0° a 45°

Ângulo 0° refere-se a brise perpendicular à fachada oeste, e 45° refere-se a brises que permitem a incidência solar no inverno.

Fonte: Os autores

A elaboração dos brises parametrizados envolveu o uso do *plug-in* *Galapagos*, utilizado para o cálculo dos brises otimizados, tendo em vista a redução do consumo energético anual. A meta de redução de consumo pretendida foi de 24%, referente a 10 pontos do LEED v.4 (Figura 7). Salienta-se que o objetivo do trabalho envolve a análise do melhor brise a ser adotado visando a maior redução de consumo. Portanto, os resultados apresentados serão referentes à elaboração do algoritmo de simulação térmica e seus resultados para os três estudos de caso.

Figura 7 – Percentuais de redução de consumo e pontuações do LEED v.4

TABLE 1. Points for percentage improvement in energy performance					
New Construction	Major Renovation	Core and Shell	Points (except Schools, Healthcare)	Points (Healthcare)	Points (Schools)
6%	4%	3%	1	3	1
8%	6%	5%	2	4	2
10%	8%	7%	3	5	3
12%	10%	9%	4	6	4
14%	12%	11%	5	7	5
16%	14%	13%	6	8	6
18%	16%	15%	7	9	7
20%	18%	17%	8	10	8
22%	20%	19%	9	11	9
24%	22%	21%	10	12	10
26%	24%	23%	11	13	11
29%	27%	26%	12	14	12
18%	16%	15%	7	9	7
20%	18%	17%	8	10	8
22%	20%	19%	9	11	9
24%	22%	21%	10	12	10
26%	24%	23%	11	13	11
29%	27%	26%	12	14	12
32%	30%	29%	13	15	13
35%	33%	32%	14	16	14
38%	36%	35%	15	17	15
42%	40%	39%	16	18	16
46%	44%	43%	17	19	-
50%	48%	47%	18	20	-

Fonte: Adaptado de LEED v.4 (2014)

### Parâmetros de simulação

Os Estudos de Caso envolveram parâmetros de entrada fixos (iguais para todos os estudos), com a variação dos brises.

Parâmetros Fixos:

Em todas as simulações realizadas, considerou-se Azimute de 15º e apenas uma zona térmica para o pavimento, que possui 367,40 m<sup>2</sup>. Os parâmetros fixos referentes às cargas internas de equipamentos e iluminação artificial e podem ser vistos na Tabela 2. Para a densidade de ocupação, considerou-se a quantidade de postos de trabalho do pavimento, ou seja, 48 pessoas, chegando-se assim a 0,13 pessoas/m<sup>2</sup>.

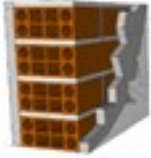

Tabela 2 – Densidades de potência instalada – equipamentos e iluminação

Dados	Potencial unitária	Quantidade	Área	DPI	Fonte
Equipamentos (computadores)	250W	48	367,40m <sup>2</sup>	32W/m <sup>2</sup>	Projeto de layout
Iluminação:	-	-		6,6W/m <sup>2</sup>	Projeto luminotécnico
Embutir	31W	60		-	
Sobrepor	9W	27		-	
Embutir	17W	13		-	
Sobrepor	16W	8		-	

Fonte: Os autores

Os parâmetros considerados para a elaboração da envoltória são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Propriedades térmicas da envoltória inseridas no *Honeybee*

Envoltória: Composição de paredes externas	
<b>Parede</b>	
	<p>Argamassa interna (2,50cm) Bloco cerâmico (9,00cm x 19,00cm x 29,00cm) Argamassa externa (2,50cm)</p> <p><math>U [W/(m^2K)] = 1,84 / Ct [Kj/m^2K] = 161</math></p>
<b>Vidro</b>	
	<p>Vidro simples 3mm</p> <p><math>U [W/(m^2K)] = 1,0</math> Fator solar = 0,914 (MILBRATZ, 2007) Transmitância a luz visível = 0,899 (MILBRATZ, 2007)</p>
<b>Composição da cobertura e piso</b>	
Superfícies consideradas adiabáticas por tratar-se de pavimento intermediário	

Fonte: Os autores

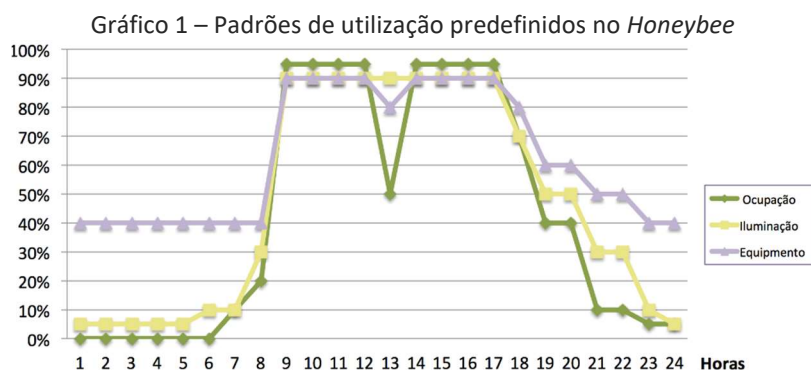
Tabela 4 - Propriedades térmicas dos materiais das paredes inseridos no *Honeybee* para obtenção da transmitância desejada

Dados	Tijolo	Argamassa	Fonte
Espessura (m)	0,35	0,025	-
Condutividade (W/mK)	0,70	1,15	NBR 15220 (ABNT, 2005)
Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1000	1800	NBR 15220 (ABNT, 2005)
Calor específico (Kg/°K)	920	1000	NBR 15220 (ABNT, 2005)
Absortância	0,73	0,72	Dornelles, Caram e Sichieri (2012)

Fonte: Os autores

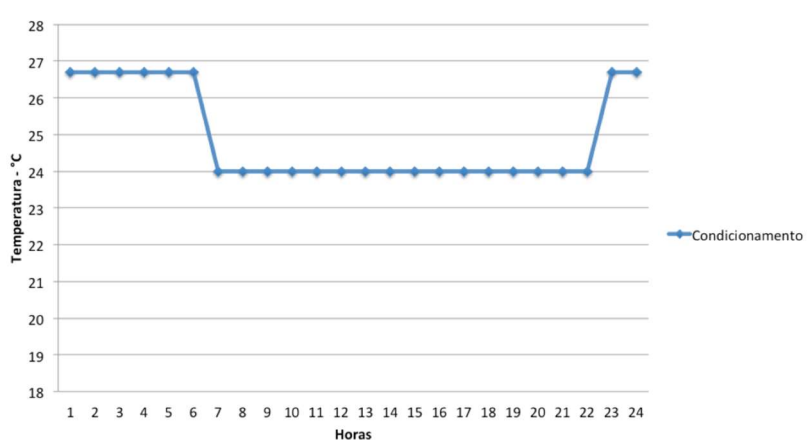
Nas simulações realizadas, considerou-se que o pavimento era condicionado artificialmente, com o equipamento “16.VRF+DOAS”, que se encontra no *default* dos sistemas de ar condicionados do *Honeybee*. Este sistema tem como características o Fluxo de Gás Refrigerante Variável (VRF) com sistema dedicado ao tratamento de ar externo (*Dedicated Outdoor Air System*). O sistema VRF utilizado possui condensação a ar, com COP de 3,81, conforme nível de eficiência A do RTQ-C (BRASIL, 2009). O ar condicionado teve como *Set Points* as temperaturas máxima (29°C) e mínima (18°C) sugeridas por Givoni (1992) para a cidade de Belo Horizonte.

Os padrões de utilização para equipamentos, iluminação, ocupação e refrigeração considerados para as simulações foram os predefinidos pelo *Honeybee* para a tipologia *Office – Open office* e podem ser vistos nos Gráficos 1 e 2.



Fonte: Os autores

Gráfico 2 – Padrão de utilização para refrigeração predefinido no *Honeybee*



Fonte: Os autores

## DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

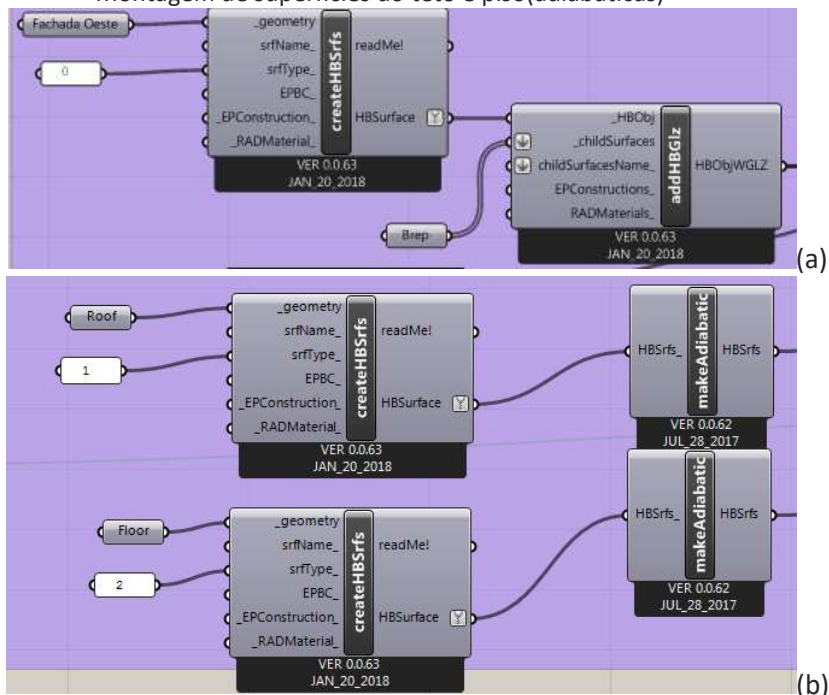
Os resultados e discussões deste estudo serão apresentados em dois grandes grupos. O primeiro apresentará a montagem do algoritmo para análise do consumo energético total anual (kWh/m<sup>2</sup>.ano) desenvolvido com o *software Grasshopper*, utilizando os *plug-ins Honeybee*, *Ladybug* e *Galapagos*. No segundo grupo serão apresentados os resultados das simulações térmicas.

### Montagem do algoritmo para análise energética

#### Criando as superfícies da zona térmica a ser estudada

Inicialmente foram criadas as superfícies das fachadas (norte, sul, leste e oeste) da única zona que limita todo o pavimento estudado, no *plug-in Honeybee*, com o comando *Honeybee\_CreateHBSrfs* e adicionadas as áreas das respectivas janelas com *Honeybee\_addHBGlz*, sempre associando-se o algoritmo à volumetria gerada no *Rhinoceros*. Também foram criadas as superfícies de piso e teto do pavimento como superfícies adiabáticas, já que o pavimento é intermediário.

Figura 8 – (a) Exemplo de montagem das superfícies da zona (fachada oeste), (b) Montagem de superfícies do teto e piso(adiabáticas)

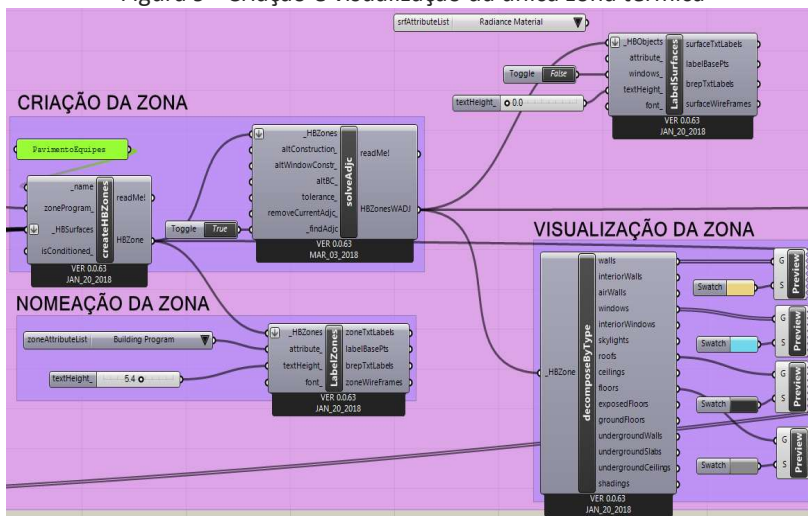


Fonte: Os autores

### Criando a zona a ser estudada

Depois de criadas as superfícies foi elaborada e nomeada a zona a ser estudada por meio do comando *Honeybee\_createHBZone* e posteriormente a zona criada foi decomposta em *Honeybee\_decomposeByType* em diversas cores, que identificam os tipos de superfície (parede, teto, piso ou janelas). A visualização é possível neste momento no *Rhinceros*.

Figura 9 - Criação e visualização da única zona térmica

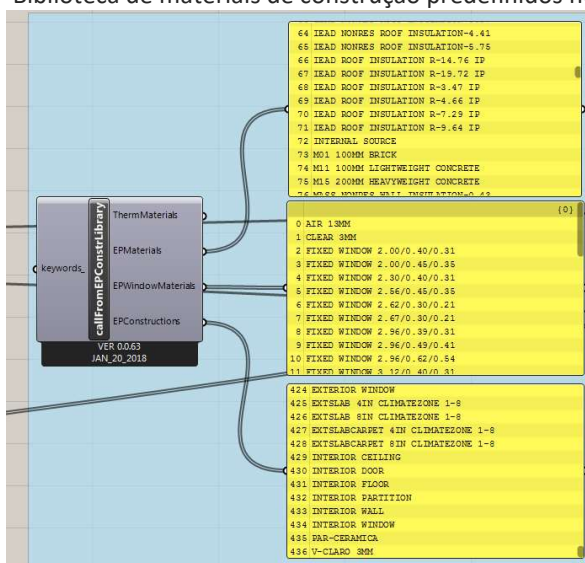


Fonte: Os autores

## Criando os componentes da envoltória - Parede e vidro

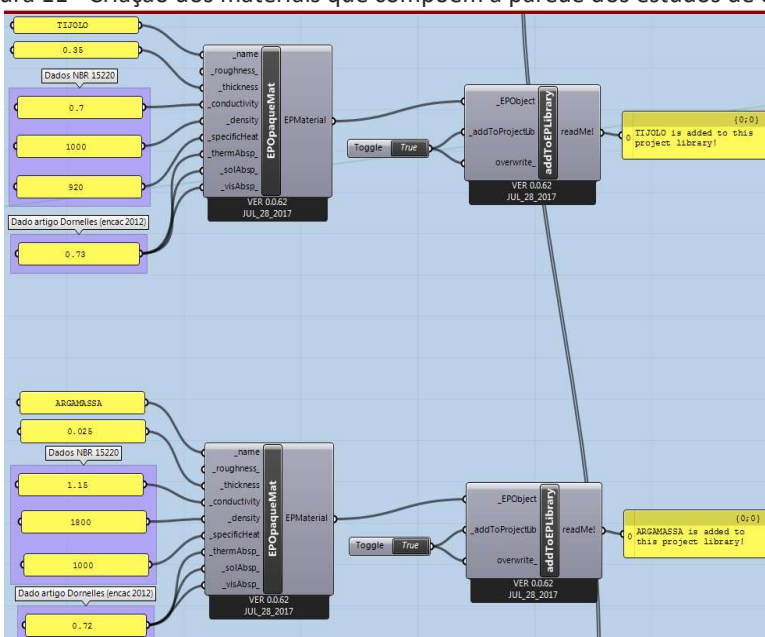
O *plug-in Honeybee* possui uma biblioteca de materiais de construção que podem ser usados na simulação a partir do *Honeybee\_callFromEPConstrLibrary* (Figura 10), todavia, neste trabalho, optou-se por criar os componentes da envoltória, tendo em vista as condições de construção específica do projeto na cidade de Belo Horizonte, MG. Assim, os materiais (argamassa e bloco cerâmico) foram criados com o comando *Honeybee\_EnergyPlusOpaqueMaterial* (Figura 11), gerando o componente da parede com a composição apresentada na seção de Metodologia (Figura 12). Além disso, criou-se, com o *Honeybee\_EnergyPlusWindowMaterial*, o componente vidro com a composição também apresentada na Tabela 3 (Figura 13).

Figura 10 - Biblioteca de materiais de construção predefinidos no *Honeybee*



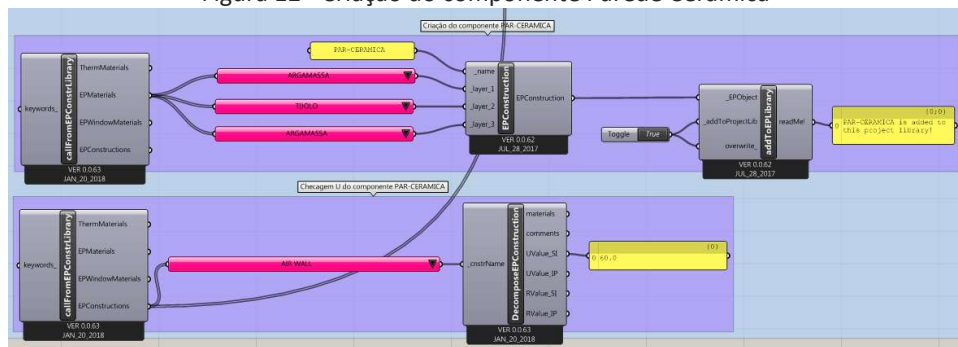
Fonte: Os autores

Figura 11 - Criação dos materiais que compõem a parede dos estudos de caso



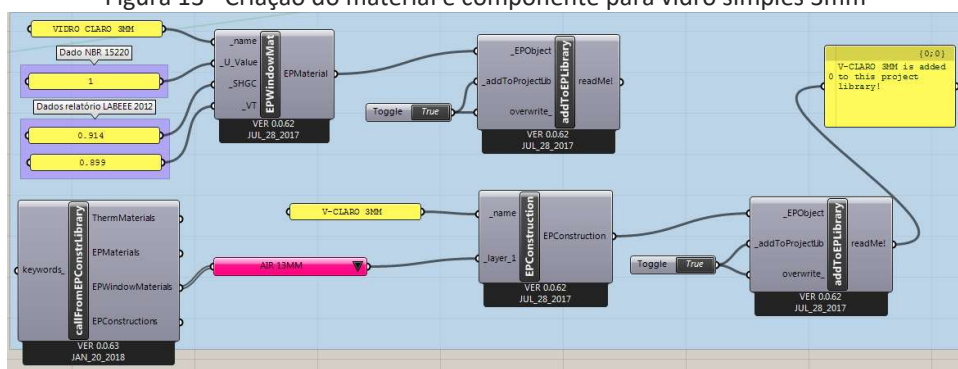
Fonte: Os autores

Figura 12 - Criação do componente Parede Cerâmica



Fonte: Os autores

Figura 13 - Criação do material e componente para vidro simples 3mm

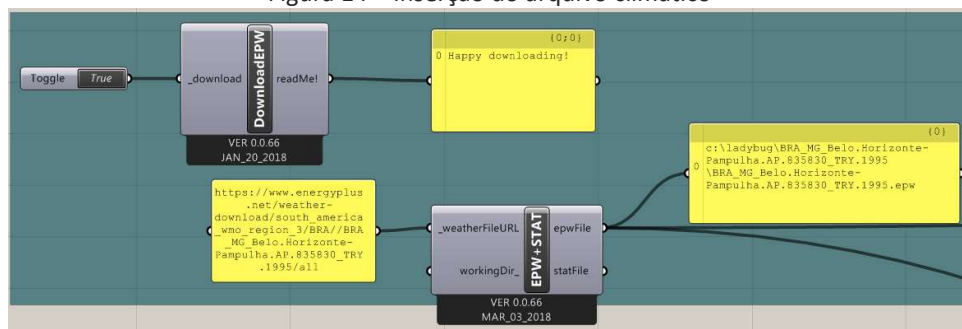


Fonte: Os autores

### Inserindo o arquivo climático de Belo Horizonte, MG

Por meio do comando *Ladybug\_DownloadEPW*, o arquivo climático da cidade de Belo Horizonte, MG, Estação Pampulha (SWERA) foi baixado e inserido ao algoritmo (Figura 14).

Figura 14 – Inserção do arquivo climático

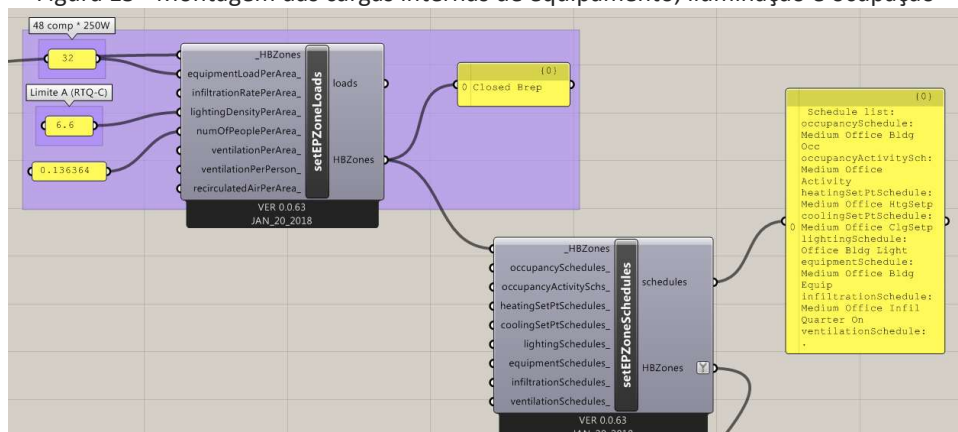


Fonte: Os autores

### Adicionando as cargas internas para o pavimento/zona em estudo

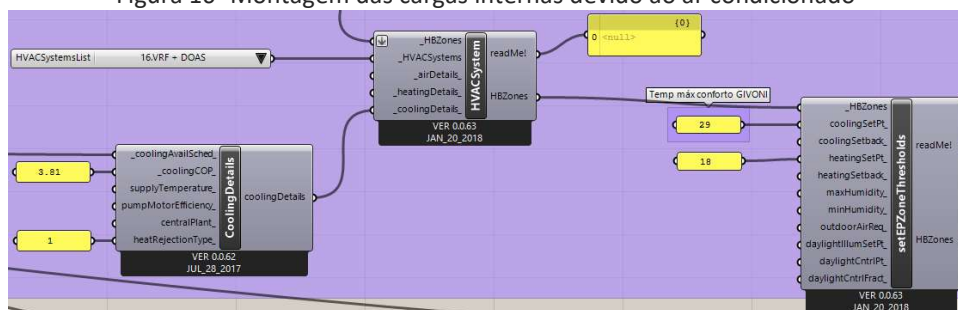
As cargas internas devidas à ocupação, iluminação artificial, equipamentos (computadores) e ar condicionado foram inseridas no algoritmo por meio do comando *Honeybee\_setEnergyPlusZoneLoads*, seguindo as especificações apresentadas na seção de Metodologia (Figuras 15 e 16).

Figura 15 - Montagem das cargas internas de equipamento, iluminação e ocupação



Fonte: Os autores

Figura 16 - Montagem das cargas internas devido ao ar condicionado

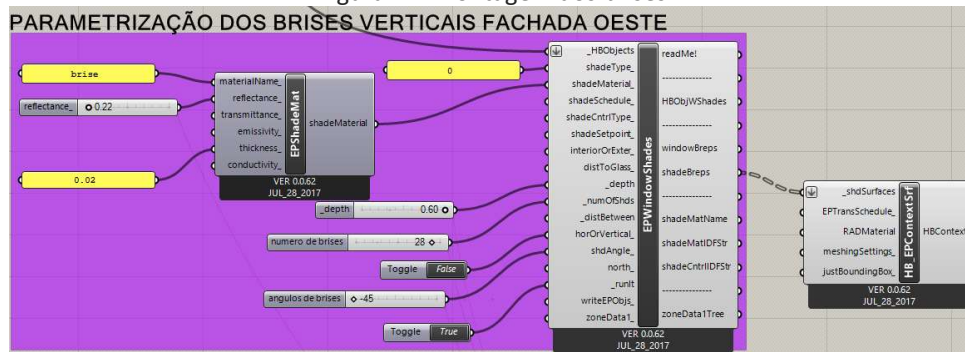


Fonte: Os autores

### Criando os brises

Todos os brises foram criados com o comando *Honeybee\_EnergyPlusShadeMaterial* e *Honeybee\_EnergyPlusWindowShadeGenerator*, conforme Figura 17. Os parâmetros referentes aos ângulos, número de brises, profundidade e refletância foram configurados nos *Sliders*, sendo mantido fixos, com exceção dos brises verticais da fachada oeste, para os quais as simulações consideraram variações de acordo com o apresentado na Tabela 1. Após a criação dos mesmos, foi necessário utilizar o comando *Honeybee\_EPContextSurfaces* para inserir os elementos de sombreamento no comando de simulação do *EnergyPlus*. Caso contrário, os brises não seriam considerados na simulação.

Figura 17 - Montagem dos brises

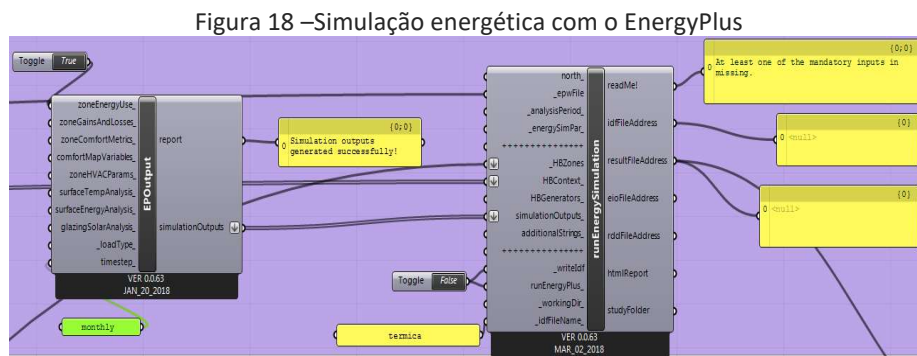


Fonte: Os autores



## Simulação energética e visualização no Módulo *EnergyPlus*

Após a configuração dos dados de entrada, utilizou-se o comando *Honeybee\_GenerateEPOutput* para configurar os *outputs* desejados – no caso do presente trabalho, o consumo de energia elétrica anual. Após isso, o comando *Honeybee\_RunEnergySimulation* foi empregado para realizar a simulação da zona térmica (Figura 18). Os dados de saída foram visualizados com o comando *Honeybee\_ReadEPRResult*, juntamente ao *Honeybee\_ColorZonesByEPRResults*.



Fonte: Os autores

O processo de elaboração dos algoritmos de modelagem e simulação de consumo energético vivenciado no desenvolvimento deste trabalho se mostrou complexo e dispendioso em termos de tempo. Notou-se poucas publicações científicas e manuais técnicos para o auxílio do desenvolvimento de tais algoritmos. Portanto, reitera-se a importância de trabalhos que abordem este processo de elaboração para a maior difusão e adoção das tecnologias envolvidas, tendo em vista os potenciais benefícios para o cenário da construção.

A partir da constatação de Rogers (1995), a respeito da adoção de novas tecnologias, considera-se que a elaboração dos algoritmos pode ser o principal entrave para a adoção da simulação paramétrica no processo projetual dos arquitetos, dado seu alto nível de dificuldade. No entanto, ressalta-se que, uma vez elaborados, os algoritmos podem ser utilizados para a avaliação de diferentes projetos. Assim, o maior investimento de tempo deverá ser feito na primeira vez que estas avaliações paramétricas venham a ser adotadas.

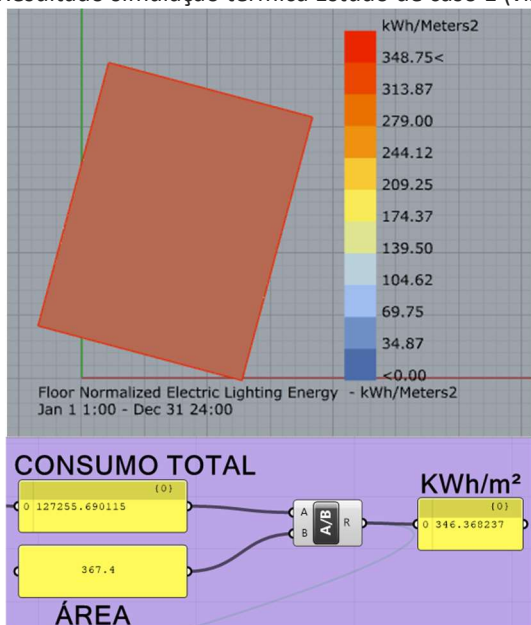
### Resultados das simulações de consumo energético

A partir dos dados de entrada e do algoritmo elaborado, os seguintes resultados de consumo energético anual (kWh/m<sup>2</sup>.ano) foram obtidos:

#### Estudo de caso 1 – *Baseline*

Zona térmica sem brises – consumo total anual: 346,37 kWh/m<sup>2</sup>.ano (Figura 18). O consumo desagregado foi: iluminação artificial: 21,03 kWh/m<sup>2</sup>.ano, equipamentos: 150,79 kWh/m<sup>2</sup>.ano e refrigeração: 174,37 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Figura 19 – Resultado simulação térmica Estudo de caso 1 (vista superior)

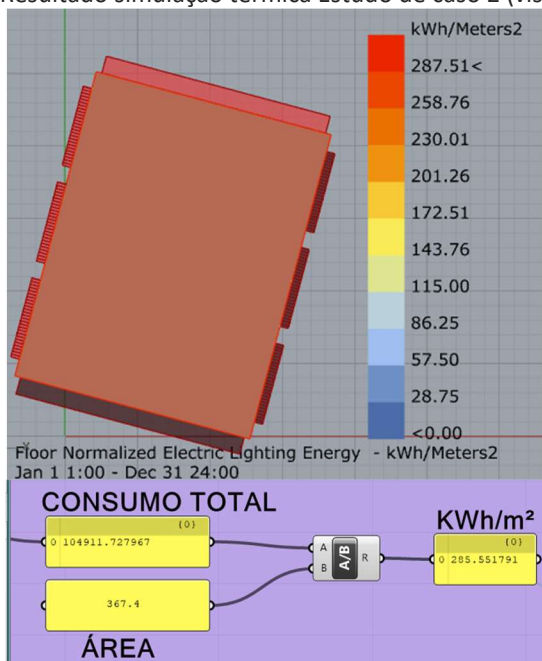


Fonte: Os autores

### Estudo de caso 2 – Brises dimensionados pela arquiteta

Na zona térmica com todos os brises dimensionados pela arquiteta o consumo total anual: 285,55 kWh/m<sup>2</sup>.ano (Figura 19). O consumo desagregado foi: Iluminação artificial: 21,21 kWh/m<sup>2</sup>.ano, equipamentos: 150,79 kWh/m<sup>2</sup>.ano e refrigeração: 113,56 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

Figura 20 – Resultado simulação térmica Estudo de caso 2 (vista superior)



Fonte: Os autores

### Estudo de caso 3 – Brises parametrizados

A partir dos resultados obtidos com o *plug-in Galapagos* (o qual automatizou a simulação das diferentes variações configuradas conforme Tabela 1), foram escolhidas cinco opções de brises, que apresentaram maior redução de consumo. As configurações e os consumos obtidos a partir dos mesmos podem ser vistos na Tabela 5.

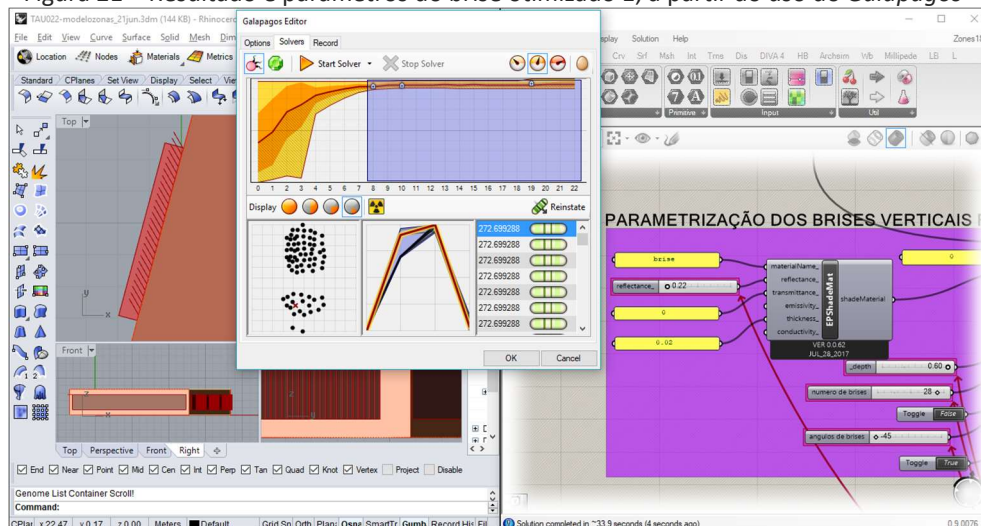
Tabela 5 – Configurações e resultados de consumo energético dos brises otimizados

Brise	Ângulo	Nº brises	Prof. (m)	Ref. (%)	Consumo ilum.*	Consumo equip.*	Consumo refr.*	Consumo total *
BO1	45	28	0,6	22	21,21	150,79	100,71	272,69
BO2	45	24	0,6	21	21,21	150,79	101,35	273,34
BO3	45	24	0,6	27	21,21	150,79	101,35	273,34
BO4	41	22	0,5	66	21,21	150,79	104,08	276,07
BO5	43	26	0,4	74	21,21	150,79	104,18	276,17

\*Consumo de energia elétrica: kWh/m<sup>2</sup>.ano. Legenda: BO1: Brise otimizado 1, BO2: Brise otimizado 2, BO3: Brise otimizado 3, BO4: Brise otimizado 4 e BO5: Brise otimizado 5. Fonte: Os autores

As simulações com o *Galapagos* foram interrompidas após 9h de processamento. Apesar da similaridade de consumo energético entre os Brises otimizados 2 e 3 (BO2 e BO3) apresentados na Tabela 5, as duas opções foram selecionadas para análise por conta da diferença de refletância do material, que pode influenciar na distribuição da luz natural, análise que será contemplada em fase futura do estudo. A Figura 21 apresenta um exemplo de visualização do funcionamento do *Galapagos*.

Figura 21 – Resultado e parâmetros do brise otimizado 1, a partir do uso do *Galapagos*



Fonte: Os autores

### Compilação e análise dos resultados das simulações térmicas

A Tabela 6 apresenta um resultado comparativo entre os estudos de caso e a Figura 22 apresenta o consumo desagregado de todos os casos simulados. Percebe-se que comparando os resultados do *Baseline* com os outros estudos de caso, existiu significativa redução de consumo relativo à refrigeração, o que converge com os princípios apontados pela literatura em relação à redução de ganho térmico pela

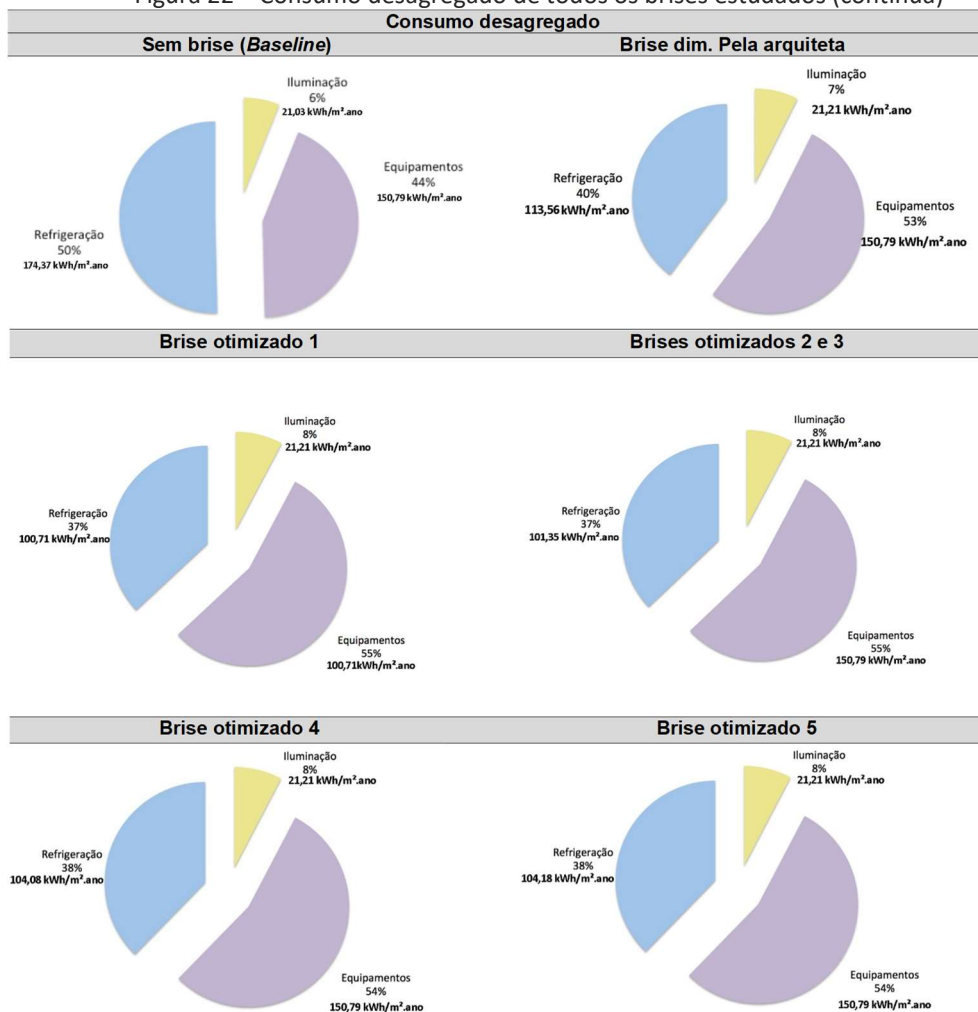
adoção de proteção solar na envoltória, conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2004). Comparando-se o consumo desagregado dos casos com brise (dimensionados pela arquiteta e otimizados) há pouca diferença em termos de percentuais, sendo que os únicos valores que sofreram alteração foram os de refrigeração, mantendo-se os consumos de iluminação e equipamentos iguais nestes casos, conforme esperado.

Tabela 6 – Configurações e resultados de consumo energético dos brises otimizados

Brise	Consumo total (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Redução em relação ao <i>Baseline</i>	Pontuação atingida no LEED
Sem brise ( <i>Baseline</i> )	346,37	-	-
Brise dim. pela arquiteta	285,55	17,56%	6
Brise otimizado 1	272,69	21,27%	8
Brise otimizado 2	273,34	21,08%	8
Brise otimizado 3	273,34	21,08%	8
Brise otimizado 4	276,07	20,29%	8
Brise otimizado 5	276,17	20,26%	8
Meta de redução	263,24	24%	10

Fonte: Os autores

Figura 22 – Consumo desagregado de todos os brises estudados (continua)



Fonte: Os autores

Salienta-se que, a partir da adoção de brises dimensionados de forma tradicional, houve redução no consumo energético da ordem de 17%, o que representa economia considerável de energia. Cabe lembrar que este percentual foi atingido dada a grande quantidade de superfícies envidraçadas no projeto *Baseline*, assim, reforça-se a importância da adoção de proteção solar em projetos que possuam esta característica.

A partir da comparação de resultados de redução de consumo energético entre o *Baseline*, o brise dimensionado pela arquiteta e os brises otimizados da fachada oeste, verificou-se que os últimos alcançaram uma redução de aproximadamente 4% em relação ao estudo de caso 2 - atingindo maior pontuação no LEED v.4. No entanto, comparando os cinco brises otimizados, percebe-se que existe uma diferença pouco significativa em termos de redução de consumo em relação ao *Baseline* e pontuação atingida no LEED. Todavia é importante observar que cada uma das opções possui características distintas que podem influenciar na distribuição da luz natural no pavimento estudado, como quantidade de brises, angulação e refletância. A partir dos resultados apresentados, pode-se observar que nenhum dos estudos de caso atingiu a meta de redução de consumo pretendida de 24% (10 pontos no LEED).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo realizar um estudo de caso utilizando a simulação paramétrica para otimização energética de brises e comparar os resultados obtidos com os de brises dimensionados de forma tradicional, tendo em vista o atendimento de metas do LEED v.4. Um pavimento de projeto arquitetônico de TCC de uma edificação comercial na cidade de Belo Horizonte foi utilizada como modelo para as simulações realizadas.

Considera-se que o estudo atingiu o objetivo de desenvolver um algoritmo de simulação paramétrica utilizando o *software Rhinoceros e os plug-ins Grasshopper, Honeybee, Ladybug e Galapagos*, e de realizar a simulação de consumo energético nos estudos de caso, verificando a redução de consumo de energia gerada pela aplicação de brises e sua otimização na fachada oeste.

A elaboração do algoritmo foi considerada de alto nível de dificuldade, sendo possivelmente o principal entrave para a adoção da simulação paramétrica no processo de projeto. A comparação de resultados de consumo energético entre os estudos de caso demonstrou grande impacto da adoção de proteção solar no consumo de energia, exercendo principal influência no sistema de refrigeração, tendo em vista a grande área de fechamentos em vidro do projeto analisado; como esperado. A otimização dos brises da fachada oeste gerou redução de consumo energético significativa, aumentando a pontuação atingida no LEED v.4.

Com este trabalho, contribuiu-se para a confirmação do alto impacto da adoção dos brises como elementos de proteção solar em fachadas em relação à redução de admissão de carga térmica e assim redução do consumo com condicionamento artificial de ar, principalmente em edificações com grandes áreas envidraçadas. Ainda, contribuiu-se para a compreensão a respeito da elaboração prática de algoritmo para análises paramétricas de consumo energético. Os autores acreditam que a simulação paramétrica, apesar do seu alto grau de dificuldade, é um processo válido por gerar diferentes resultados numéricos, que podem auxiliar nos processos de tomada de decisão, principalmente no que se refere ao consumo de energia. Espera-se que os resultados do presente trabalho contribuam para a maior compreensão e adoção das tecnologias utilizadas.

Tendo em vista a performance e qualidade ambiental interna dos ambientes, os autores consideram que as análises de otimização também devem contemplar a simulação da iluminação natural, sendo esta uma das limitações do trabalho. Assim, próximas etapas do mesmo contemplarão esta análise, para que se possa aliar menor consumo energético ao maior aproveitamento da luz natural.

## Parametric simulation of *Brise-Soleil* for energy consumption reduction in commercial building

### ABSTRACT

The aim of this paper is to carry out a case study using parametric simulation for the energy optimization of a brise-soleil and to compare the obtained results with those of traditionally designed brise-soleil, taking into account the energy consumption reduction targets set forth in LEED v.4. The methodology includes data collection, elaboration of an algorithm for parametric simulations, the realization of simulations and analysis of results. The simulations used a commercial building project in Belo Horizonte. The results indicate a reduction in consumption from the application of traditional brises and an even greater reduction obtained by the optimized brises, increasing the achieved score in LEED. The article describes an algorithm for the realization of simulations and shows that parametric simulation is a valid process for generating different design options combined with quantifiable results, which can support more informed design decisions, especially regarding energy consumption.

**KEYWORDS:** Energy efficiency in buildings. Parametric simulation. Brise-Soleil. LEED.

---

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do CNPq.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

BINI, Carolina ; GALAFASSI, Marcelo. . Desenvolvimento de um Fluxo de Trabalho para Dimensionamento de Elementos de Obstrução Solar, Utilizando Softwares de Modelagem Paramétrica. In: XIV ENCAC & X ELACAC: Habitat Humano: em busca de conforto ambiental, eficiência energética e sustentabilidade no século XXI, 2017, Santa Catarina. **Anais...** Balneário Camboriú, 27-29 set.

BINI, Carolina ; GALAFASSI, Marcelo. . Estudo e Comparação de Softwares Relacionados ao Projeto Bioclimático para Utilização no Curso de Arquitetura e Urbanismo. In: XIV ENCAC & X ELACAC: Habitat Humano: em busca de conforto ambiental, eficiência energética e sustentabilidade no século XXI, 2017, Santa Catarina. **Anais...** Balneário Camboriú, 27-29 set.

BITTENCOURT, L. **Uso das Cartas Solares: Diretrizes para arquitetos**. 4o. edição. Maceió: EDUFAL, 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília: ELETROBRAS-PROCEL, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília: MME: EPE, 2007, v.2. Projeções.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: fev. 2019.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 198–213, 2016.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr./jun. 2010.



CARTANA, R. P.; PEREIRA, F. O. R.; 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, jul./set. 2018.

DOGAN, T.; REINHART, C. Atmosphères: proof of concept for web-based 3D energy modeling for designers with WebGL/html5 and modern event-driven, asynchronous server systems. In: 13th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION (IBPSA), 2013, França. **Anais...** Chambéry: IBPSA, 26-28 ago. p. 1039-1044.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018\\_\\_Int.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf)>. Acesso em: mar. 2019.

FANG, Y. **Optimization of Daylighting and Energy Performance Using Parametric Design, Simulation Modeling, and Genetic Algorithms**. Dissertação de Ph.D. em Design. Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 2017.

FELIPPE, A.; MORAES, L.; FONSECA, R. W.; PEREIRA, F.O.R. Modelagem paramétrica para simulação do desempenho da iluminação natural e termo-energético da edificação. In: XIX CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL (SIGRADI), 2015, Santa Catarina. **Anais...** Florianópolis, 23-27 nov. p. 398-404.

FOOD4RHINO. **Ladybug Tools**. Disponível em: <<http://www.food4rhino.com/app/ladybug-tools>>. Acesso em: junho/2018

GALVÃO, J.; BERMAN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avançados**, São Paulo, vol. 29, n.84, p. 43-68, maio/ago. 2015.

GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, p. 11–13, 1992.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. (Ed.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Londres: Spon Press, 2011, 507p.

HUNTER DOUGLAS. **Produtos**. Disponível em: <<http://www.hunterdouglas.com.br/ap/uploads/br/productos/productos>>. Acesso em: junho/2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2018. **Global Status Report**: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, 2017. Disponível em: <[https://webstore.iea.org/download/direct/2408?fileName=2018\\_Global\\_Status\\_Report.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2408?fileName=2018_Global_Status_Report.pdf)>. Acesso em: mar. 2019.

KOROLIJA, I.; ZHANG, I. Impact of model simplification on energy and comfort analysis for dwellings. In: 13th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION (IBPSA), 2013, França. **Anais...** Chambéry: 26-28 ago. p. 1184-1192.

LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC. **Software Analysis Sol-ar.** Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>. Acesso em: nov. 2018.

LAGIOS, K.; NIEMASZ, J.; REINHART, C. F. Animated building performance simulation (ABPS) – linking rhinoceros/grasshopper with radiance/daysim. In: SIMBUILD, 2010, Nova York. **Anais...** Nova York: 11-13 ago. p. 321-327.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3.ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2004.

MAIRINK, A. J. M. **LEED Silver - Edifício Corporativo:** Projeto desenvolvido a partir de critérios de certificação de sustentabilidade. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – EA/UFMG, Belo Horizonte, 2018.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído.** v.5, n.4. p 47-68, out./dez. 2005.

PROCEL EDIFICA. **Eficiência Energética nas Edificações:** Apresentação. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>> Acesso em: ago. 2017.

REINHART, C. F.; GEISINGER, J.; DOGAN, T.; SARATTSIS, E. Lessons learned from a simulation-based approach to teaching building science to designers. In: 14<sup>th</sup> INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 2015. India. **Anais...** Hyderabad: 7-9 dez. p. 1126-1133.

ROGERS, E. M. **Difussion of Innovations.** 3.ed. New York: The Free Press, 1995.

ROUDSARI, S. ; PAK, M. Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. In: 13th CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION (IBPSA), 2013, França. **Anais...** Chambéry: 26-28 ago. p. 3128-3135.

RUTTEN, D. **Evolutionary Solvers: Fitness Functions.** Disponível em: <<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/fitness-functions/>>. Acesso em: jun. 2018.

USBBC. **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](http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED_v4_BDC_10_01_14_PT_3_24_17.pdf)>. Acesso em: jun. 2018.

**Recebido:** 09/03/2019.

**Aprovado:** 08/08/2019.

**DOI:** 10.3895/rts.v16n40.9783

**Como citar:** GARCIA, M.S.; *et.al.* Simulação paramétrica de brise-soleil para redução de consumo energético em edificação comercial. **R. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 16, n. 40, p. 1-27, abr/jun. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9783>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

---

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

