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

# DEFINIÇÃO PROJETUAL DE FACHADAS MEDIANTE O DESEMPENHO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO

**Anna Carolina Peres (1); Claudio Morgado (2); Alice Brasileiro (3)**
(1) Arquiteta e Urbanista, arq.annacarolinaperes@gmail.com, UFRJ/FAU/AMBEE
(2) M.Sc., Prof. do Dep. de Tecnologia da Construção da FAU/UFRJ, claudi.morgado@gmail.com, UFRJ/FAU/AMBEE e UFRJ/COPPE/LABFUZZY
(3) D.Sc., Profª do Dep. de Tecnologia da Construção da FAU/UFRJ, alicebrasileiro@fau.ufrj.br, UFRJ/FAU/AMBEE
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, DTC/AMBEE. Av. Pedro Calmon, nº 550 - Prédio da Reitoria/FAU - Sala 422, Ilha do Fundão - Rio de Janeiro - RJ, 21941-901, Tel.: (21) 3938-1629

## RESUMO
O trabalho apresenta resultados de um projeto arquitetônico na região portuária do Rio de Janeiro (Porto Maravilha), abrangendo um antigo edifício do IAPETC (Instituto de Aposentadoria e Pensão dos Empregados em Transportes e Cargas), abandonado e sem uso desde a década de 80, na sua transformação para uso residencial e o terreno vizinho, atualmente utilizado como estacionamento, tendo recebido este o projeto de um edifício comercial. As duas edificações, no novo projeto, são unificadas pelo pavimento térreo. A edificação residencial teve suas decisões projetuais relativas à fachada diretamente calcadas nas diretrizes do processo de etiquetagem do PBE Edifica, mas sem perder totalmente suas características originais. Já a edificação de uso comercial teve a concepção de sua fachada mediada por três opções desenvolvidas e analisadas pelos *softwares Rhinoceros*, *Grasshopper*, *Ladybug*, *Honeybee* e *EnergyPlus*, cada qual na sua especificidade. Na edificação residencial, foi crucial para o seu desempenho a decisão de incorporar mecanismos de sombreamento nas aberturas e ventilação cruzada nas unidades. Na edificação comercial, foi testada uma opção com grande percentual de abertura e uso de vidro especial; uma opção com médio percentual de abertura e vidro comum; uma opção com médio percentual de abertura, vidro comum e elementos sombreadores. Mesmo sem usar vidros especiais de controle solar, a última opção foi a que apresentou melhor desempenho, pela combinação de percentual de abertura não excessivo e presença de elementos sombreadores. Tomando por base a combinação adotada, a opção com uso de vidro especial em grande percentual de abertura apresentou consumo energético 13% maior e a opção com uso de vidro comum em percentual de abertura médio, 20% maior. A decisão final da configuração da fachada, para uma previsão de menor consumo ao longo da vida útil do edifício, foi possibilitada pelo valioso auxílio que os *softwares* proporcionaram.

Palavras-chave: desempenho energético, fachadas, simulação computacional.

## ABSTRACT
The work presents results of an architectural project in the harbour area of Rio de Janeiro (Porto Maravilha), gathering an unused building, abandoned in the 1980s, in its transformation to residential use and the adjacent site, currently used as a parking lot. This one will be transformed in a commercial building. The two buildings, in the new project, are connected by the ground floor. The residential building had its design decisions related to the facade directly based on the guidelines of the labeling process of the PBE Edifica, but maintaining some of its original characteristics. The commercial building had the conception of its facade mediated by three options developed and analyzed by the software Rhinoceros, Grasshopper, Ladybug, Honeybee and EnergyPlus, each one in its specificity. At the residential building, the decision to incorporate shading mechanisms in the openings and cross ventilation was crucial to its performance. At the commercial building, an option with a high percentage of opening and use of special glass was tested; then an option with an average percentage of opening and common glass and then an option with a medium percentage of opening, common glass and shading elements. Even without using special solar control glasses, the last option was the one that presented better performance, by the combination of not excessive opening and

presence of shading elements. Based on the combination adopted, the option with the use of special glass in a large opening percentage presented a 13% higher energy consumption and the option with the use of common glass in an average opening percentage, 20% higher. The final decision of the configuration of the facade, for a forecast of lower consumption over the life of the building, was made possible by the valuable assistance provided by the software.
Keywords: energy performance, facades, computational simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Várias são as edificações, sobretudo em grandes cidades, que se tornam obsoletas e carecem de um processo de *retrofit*. No Rio de Janeiro, especificamente, vários edifícios na região central da cidade contam hoje com muitas décadas desde a sua construção, e por diferentes razões, muitos deles deixaram de ser utilizados, perdendo sua função e com o passar do tempo, também a sua conservação. O antigo prédio do IAPETC (Instituto de Aposentadoria e Pensão dos Empregados em Transportes e Cargas), construído há mais de 70 anos, foi abandonado na década de 80, e desde então, vem se degradando, chegando mesmo a passar pela invasão de moradores sem teto, em algumas ocasiões. Atualmente pertencendo ao INSS (Instituto Nacional do Seguro Social), o número 53 da Avenida Venezuela, na área portuária do Rio de Janeiro, continua abandonado e acentuando seu processo de degradação.

Sendo parte do mesmo processo de esvaziamento, vários são também os terrenos vagos na região, cujo uso único vem sendo o de estacionamento. Um desses terrenos se encontra ao lado do antigo prédio do IAPETC, e o presente trabalho, a partir de um projeto arquitetônico[1] que utiliza os dois imóveis, analisou algumas opções projetuais para a construção de um edifício comercial no terreno vazio, com vistas à decisão pela constituição de fachada que fornecesse o melhor desempenho energético para o novo edifício. O projeto foi inspirado pela recente iniciativa urbanística de revitalização da área portuária do Rio de Janeiro (Porto Maravilha), no qual foram abertas novas alamedas para uso de pedestres, inserção de veículo leve sobre trilhos na região, derrubada do elevado da perimetral e transferência do seu tráfego para um túnel, além da inauguração dos icônicos Museu do Amanhã e Museu de Arte do Rio.

O antigo prédio do IAPETC, pelo projeto, será parcialmente integrado à nova construção, sendo-lhe dado o uso residencial. No caso específico do projeto de reforma do antigo prédio e sua adaptação para o novo uso, foram adotadas algumas medidas diretamente com vistas à sua eficiência energética, tomando por base as diretrizes do processo de etiquetagem do PBE Edifica (BRASIL, 2012), em seu Método Prescritivo. O investimento em edifícios existentes e vazios, nas grandes cidades, tem sido alvo de investigações, no que tange a sua adequação ao clima atual e futuro. Em comum, tais edificações têm o fato de terem sido projetadas há décadas, quando o panorama climático e energético era bem diferente. Tateoka e Duarte (2017), por exemplo, promoveram o projeto do *retrofit* de um edifício residencial da década de 70 em São Paulo, com o objetivo de melhorar seu desempenho energético nas décadas futuras, considerando o panorama de aquecimento global e, paralelamente, a redução de recursos naturais disponíveis para promoção de meios ativos de condicionamento

Como auxílio na tomada de decisão projetual na concepção do edifício novo, de uso comercial, foram utilizados alguns *softwares* que fornecem um valioso auxílio, com informações sobre o desempenho da edificação, de tal modo que a concepção da fachada foi feita com base no retorno que a investigação nos *softwares* proporcionou. A partir do *Rhinoceros*, objetivando o consumo energético simulado no *EnergyPlus* e também com o uso dos Plugins *Ladybug* e *Honeybee* para *Grasshopper* e o sistema de etiquetagem do PBE Edifica (BRASIL, 2013), pôde-se gerar uma série de dados sobre a edificação, tendo como resultado final um edifício mais eficiente e correto ambientalmente. Lopes, Silva e Labaki (2018), em recente publicação, também se utilizaram de *softwares* para a composição da fachada, calibrando um modelo que auxiliasse na composição arquitetônica e suas consequentes decisões energéticas.

Edificações com fachadas totalmente envidraçadas e vedadas, envolvendo ambientes climatizados artificialmente, sem ventilação natural, se tornaram um modelo corrente para o setor de empreendimentos corporativos em diferentes condições climáticas (ASTE *et al*., 2018), e não é diferente no Rio de Janeiro. Porém, segundo Lam (2000), mesmo em climas subtropicais (ou seja, menos quentes do que os tropicais), em edifícios corporativos com fachadas de vidro, até 50% da carga térmica total é constituída pelo calor adquirido através das janelas. Gustavsen *et al*. (2011) especificam que elas são responsáveis por 30 a 50% das trocas de calor ocorridas no ambiente. De forma semelhante, Quevedo, Baumann e Versage (2017), ao analisar parametricamente o nível de eficiência energética de uma edificação pública, concluíram, entre outras coisas, o

[1]A origem do projeto foi um Trabalho Final de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, desenvolvido pela primeira autora e orientado pelos demais.

impacto definitivo que o percentual de aberturas na fachada tem sobre o resultado final. Dessa forma, no presente trabalho, foi avaliada, inicialmente, uma solução de projeto semelhante à tipologia de "torres de vidro", e a partir de seu desempenho, outras duas soluções de fachadas foram simuladas e os três consumos energéticos finais comparados para escolha final da solução adotada. Os dois edifícios foram avaliados pelo processo de etiquetagem do PBE Edifica, tendo ambos alcançado o nível A na classificação de desempenho energético, nas respectivas etiquetas das envoltórias.

## 2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é evidenciar definições projetuais que foram guiadas por diretrizes de eficiência energética, tanto em projeto novo, na comparação dos sistemas de fachadas, quanto em um prédio já existente, na sua adaptação para uso residencial, ambos segundo os parâmetros do Procel para edificações.

## 3. MÉTODO

O projeto se coadunou com as premissas do Porto Maravilha[2] e incentivos urbanísticos e edilícios para a ocupação da área. O antigo prédio do IAPETC (Figura 1) e o terreno ocioso ao lado formaram o suporte espacial (Figura 2) sobre o qual o projeto se desenvolveu, de modo a produzir um complexo com uma edificação de uso misto e outra de uso comercial.



Figura 1 – Fachada do antigo prédio do IAPETC.
Fonte:https://oglobo.globo.com/rio/anos-de-descaso-no-centro-do-rio-20502600




Figura 2 – Vista aérea da área do projeto.
Fonte: Montagem própria sobre imagem do Google ®

O projeto evoluiu para a opção por duas torres, porém com um pavimento térreo integrando as duas edificações (Figuras 3 e 4). A natureza geométrica do terreno vazio implica no fato de a maior fachada da torre comercial ser a oeste, decisão inicialmente refutada no próprio projeto (pela sua alta carga térmica), porém depois repensada, considerando outros fatores. Além da necessidade de haver determinada quantidade de área construída, a linguagem da ocupação das quadras do porto, antes da renovação urbanística (algo com a qual se intencionava guardar homogeneidade), era pela implantação no perímetro das mesmas. Esse fato também está fortemente relacionado à decisão de agregar um pátio central no novo edifício, para que houvesse uma área no térreo disponibilizada ao público, promovendo a ocupação da região pela diversidade das ambiências geradas. Assim, a fachada oeste foi mantida, como elemento necessário ao desenvolvimento do projeto como um todo, respondendo a diferentes questões, de volume construído, de diversidade de uso e de consonância com o entorno, se constituindo, portanto, em um dos desafios do projeto, estudando as alternativas para sua composição, de modo que os problemas advindos de sua orientação fossem minimizados.

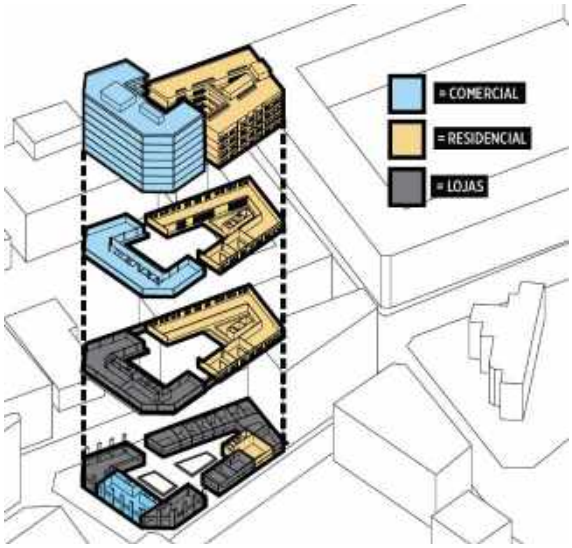


Figura 3 – Perspectiva explodida do projeto, mostrando as duas edificações e seus usos.
Fonte: Elaboração própria

[2]Disponível em http://portomaravilha.com.br/portomaravilha. Acesso em 15 mar. 19.

Os dois projetos foram submetidos a testes de avaliação preliminar da classificação de eficiência energética pelo PBE Edifica, em seus Métodos Prescritivos, como forma de tomada de decisão projetual, porém na torre de uso comercial foram utilizados também os *softwares Ladybug*, *Honeybee* e *Grasshoper*, para auxiliar na concepção projetual visando o melhor desempenho energético possível. Para efeito do presente artigo, os focos evidenciados nos projetos serão basicamente os relativos às envoltórias e composição de fachadas, pelo que os projetos resultantes possuem grande influência no desempenho energético final da edificação.

## 3.1. Desenvolvimento do projeto de uso residencial

Como já mencionado, a torre destinada ao uso residencial já era existente, um edifício construído há mais de 70 anos, abandonado há pelo menos 30. Houve a adaptação interna do edifício para sua transformação em unidades habitacionais. Já a constituição de sua fachada foi mantida, sendo considerada, no projeto, como uma composição de argamassa interna 2,5cm + bloco cerâmico 14cm+ argamassa externa 2,5cm + pintura, com exceção do embasamento, onde foi mantido o revestimento externo em granito na cor preta sobre a camada de argamassa.

Nos andares acima do embasamento do edifício residencial foram utilizadas novas cores, diferentes da original, porém todas em tons pasteis, como forma de reduzir os valores de absortância solar. No embasamento, como já mencionado, por questões estéticas e de referência ao projeto original do edifício, foi mantido o granito na cor preta. Para a escolha pela manutenção do material original, contudo, foi testado o seu desempenho no método prescritivo do RTQ-R, de modo a quantificar a perda na eficiência causada pelo uso da cor escura.

Um dos principais recursos utilizados na torre residencial com vistas à eficiência energética foi a especificação de esquadrias com guilhotinas duplas, com ambas folhas deslizando em direção ao peitoril e venezianas externas retráteis, nos ambientes de permanência prolongada, de modo que todos eles pudessem ter uma boa área para ventilação natural (Fator de Ventilação 0,90) e também que a variável "somb" (BRASIL, 2012, p. 37) fosse igual a "1", o que garante boa parte do desempenho energético da habitação (Figura 5). Outro recurso utilizado na envoltória do edifício foi o uso de cobogós na circulação externa voltada para o prisma interno do edifício, de modo que a ventilação cruzada das unidades pudesse ser mantida sem prejuízo da privacidade dos moradores (Figura 6).

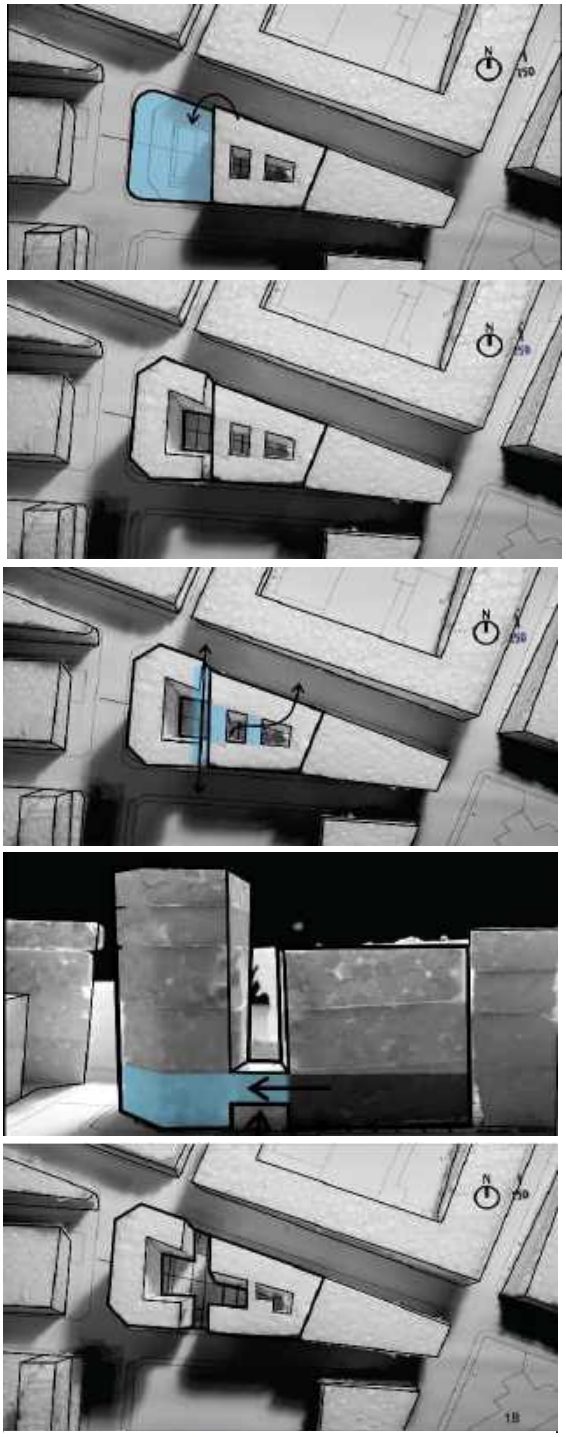

Figura 4 – Maquete em isopor para estudo da volumetria da edificação no entorno.
Fonte: Elaboração própria

O projeto de adaptação para uso residencial foi submetido à análise pelo Método Prescritivo do RTQ-R, tendo sido avaliadas todas as diferentes unidades projetadas, nos seus possíveis diferentes posicionamentos. Para que houvesse maior flexibilidade no projeto, foram concebidos três tipos de unidades, com, 1, 2 e 3 dormitórios. Dependendo da combinação de diferentes unidades, o edifício pode possuir de 49 a 91 unidades habitacionais.

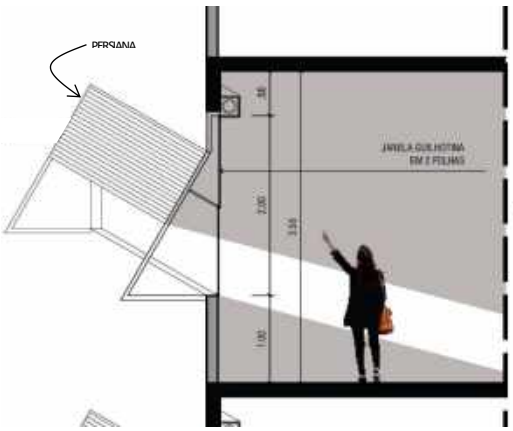


Figura 5 – Corte parcial dos dormitórios, evidenciando a persiana retrátil externa. Fonte:

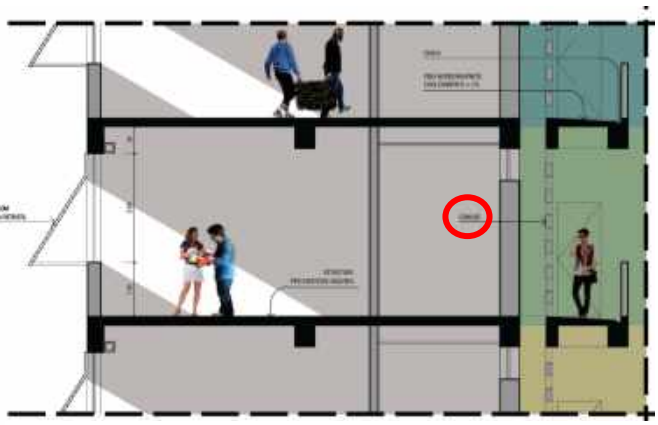

Figura 6 – Corte parcial do edifício residencial, evidenciando o cobogó presente na circulação externa voltada para o prisma

Durante o processo de avaliação as decisões projetuais mostradas acima foram sendo ratificadas, à medida que a classificação do nível de eficiência energética das unidades se mostrava promissora.

## 3.2. Desenvolvimento do projeto de uso comercial

O edifício de uso comercial, com nove pavimentos, é destinado a escritórios. A composição de sua envoltória opaca é feita de argamassa interna 2,5cm + bloco cerâmico 14cm+ argamassa externa 2,5cm + pintura, que fornecem valores de U e Ct, respectivamente, de 1,85 W/m²K e 161 kJ/m²K. A cobertura é composta por laje pré-moldada com EPS espessura total 12cm, recoberta por painéis fotovoltaicos. Em relação às aberturas, foram testadas com o uso de vidro comum e também com o uso de vidro especial de controle solar, de Fator Solar 0,27.

A definição do percentual de abertura nas fachadas foi conjugada ao uso do tipo de vidro. Para tanto, foram utilizados *softwares* próprios, que auxiliam na tomada de decisão projetual, por colaborarem na antecipação do desempenho da edificação, seguindo uma ou outra medida projetual adotada.

O software *Rhinoceros* foi utilizado para moldar a volumetria da edificação; posteriormente, esta foi exportada para o software *Grasshopper* e a partir daí foram acionados o *Ladybug*, o *Honeybee* e finalmente o *EnergyPlus*, para rodar a simulação de consumo energético em cada possibilidade de percentual de abertura de fachadas, com um ou outro vidro e ainda, usando ou não elementos de sombreamento.

A opção que usou brises (Figura 7) na fachada contou com sombreamento proporcionado pelos elementos, que mesclaram direções vertical e horizontal, em função da orientação das fachadas, aumentando sua capacidade de proteção nas diferentes alturas solares incidentes em cada orientação de fachada.

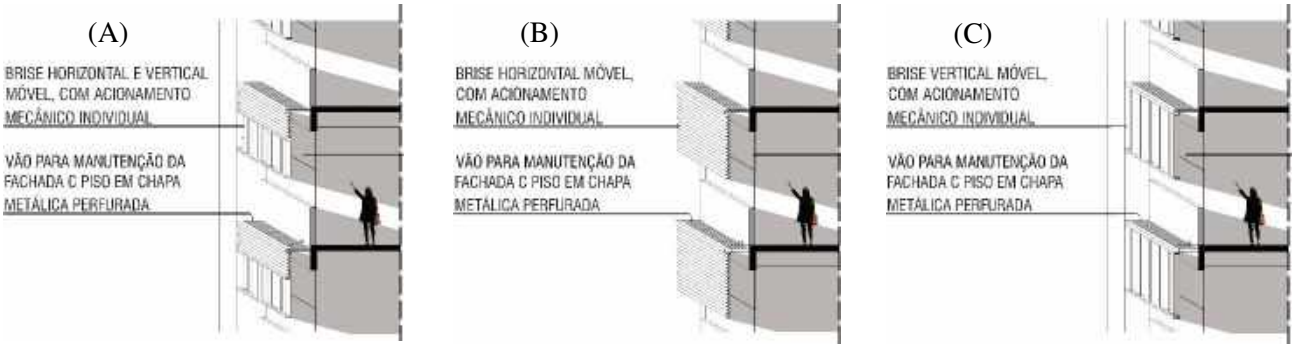


Figura 7 – Brises nas fachadas oeste/leste/sudoeste (A); norte/noroeste (B); sul (C)
Fonte: Elaboração própria

Os brises, articulados, podem vedar 100% da área que ocupam, porém eles não ocupam toda a área da abertura. Assim, na área da abertura localizada não atrás, mas abaixo do brise, foi possível computar ainda alguns ângulos de sombreamento verticais e horizontais, após os cálculos e ponderações devidas, segundo metodologia estabelecida no RTQ-C (BRASIL, 2013). Além disso, essa área de abertura situada abaixo dos brises (mas não obstruída por eles) fez parte também de uma decisão projetual. O tamanho dos brises foi projetado de forma a proteger a envoltória da edificação, porém sem prejudicar a vista para o exterior. Os

brises se posicionam acima da linha de visão das pessoas, permitindo uma maior permeabilidade visual entre os ambientes interno e externo.

Ainda em relação às aberturas, pode parecer fugir à lógica da preocupação com desempenho energético o fato de elas serem uniformemente distribuídas nas fachadas. Novamente, essa distribuição uniforme também se constitui em um desafio do ponto de vista do desempenho energético, já que seria mais fácil, sob esse aspecto, ter diferentes posicionamentos. Assim, mantendo a decisão como um desafio a ser atendido, a manutenção da distribuição uniforme visou atender outros fatores, como a modulação da estrutura (pelo barateamento da execução) e pela intenção de se criar uma ambiência uniforme no interior dos pavimentos corridos, de planta livre. Além disso, o projeto não visa ter uma linguagem arquitetônica necessariamente vinculada ao desempenho energético, mas evidenciar que, com os *softwares* utilizados, é possível constituir uma edificação com baixo custo de construção e operação.

Nas partes opacas da envoltória foi utilizada uma combinação de cores médias e claras. Foram realizadas então simulações com três opções de fachada de forma a melhor compreender como elas funcionavam e qual delas seria a mais eficiente:

- Percentual de aberturas 95% + vidro especial de controle solar
- Percentual de aberturas 55% + vidro comum
- Percentual de aberturas 55% + vidro comum + brises

Os motivos que levaram à escolha dessas três opções de fachada passam pelo fato de que a arquitetura predominante nos novos edifícios construídos na região do Porto Maravilha (aliás, não somente nela, mas em vários outros locais da cidade e do país) estão concentradas na 1ª opção, com 95% de percentual de aberturas, ou seja, torres de vidro, onde, geralmente, são utilizados vidros de controle solar. Devido ao uso desse material, há uma propagação da ideia de que sejam edificações sustentáveis e eficientes, já que é um vidro que pode auxiliar em um bom desempenho energético final. Por ser a situação dominante na região, essa foi uma das opções de projeto, para ser possível obter um comparativo de desempenho com outras opções, que se utilizam de 55% de percentual de aberturas, porém, desta vez, com vidro comum (por questões econômicas), sendo uma delas com o uso de brises e outra sem brises. Mesmo adotando uma linguagem arquitetônica que a princípio parece nascida da simples repetição de um modelo já em amplo uso naquela região, foi possível, graças ao uso dos *softwares* em questão, fazer diferentes composições e comparar seus resultados. Na verdade, a linguagem arquitetônica adotada com o uso dos *softwares* representou uma tomada de decisão projetual que combinou (como já mencionado) volume construído + homogeneidade com o entorno + diversidade de usos + diversidade de ambiências.

Para a simulação termoenergética propriamente dita, a sequência resumida foi (Figura 8):

I) Criação e Importação da Geometria desenhada no *Rhinoceros* para o *Grasshopper*;

II) Definição do tipo dos planos da volumetria - garantir que as superfícies são corretamente pisos, paredes internas, paredes externas, janelas, cobertura, etc.

III) Criação de Zonas - o *EnergyPlus* "entende" as áreas compostas por pisos, paredes e tetos como fechadas e por consequência, solicita para definição de um tipo de atividade a ser desenvolvido. Existem uma série de atividades pré-programadas e com seus respectivos consumos energéticos, visto que seu uso está diretamente relacionado com a sua demanda energética. Desse modo, foi definido o uso "*open floor plan*" (escritório de planta livre, próprio para edifícios comerciais) para efeito de carga nos ambientes de escritórios (zonas em vermelho na Figura 9), e *"office:Elec/Mech Room"* (áreas técnicas e de equipamentos elétricos), para os dois prismas de elevadores do projeto (zonas em azul na Figura 9). Ainda, na zona de escritórios, foram considerados os seguintes consumos: "*Cooling*" (ar condicionado, o maior consumo); "*Electric Light*" (energia elétrica); e "*Electric Equip*" (equipamentos elétricos).




Figura 8 – Sequência resumida das etapas
Fonte: Elaboração própria

IV) Seleção dos materiais a serem utilizados em cada superfície, como já explicitado anteriormente.

V) Escolha do período de utilização – anual, em funcionamento entre 8h e 18h, nos dias de semana.

VI) Devido a questões de tempo de processamento, somente foi simulado um pavimento tipo, sendo posteriormente seu consumo multiplicado pelos nove pavimentos.

VII) Os componentes utilizados são a soma dos consumos energéticos considerados na edificação: ar condicionado, equipamentos e iluminação artificial ("*Cooling*"; "*Electric Equip*" e "*Electric Light*"). Configurou-se o *EnergyPlus* de modo que o programa considerasse que o ar condicionado estava ativado nas situações recomendadas pela carta de Givoni, com a mesma lógica para o aquecimento, porém esta última situação foi desconsiderada (Figura 10), pois é praticamente insignificante na cidade do Rio de Janeiro. Assim, foi necessária a filtragem de consumo, visto que o programa gerou números que não se aplicam ao contexto carioca, já que os custos com aquecimento, na prática, são desnecessários.

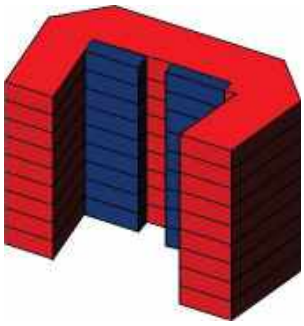

Figura 9 – Separação das zonas térmicas no *Honeybee*. Em azul, a área dos elevadores e em vermelho os pavimentos corridos.
Fonte: Elaboração própria

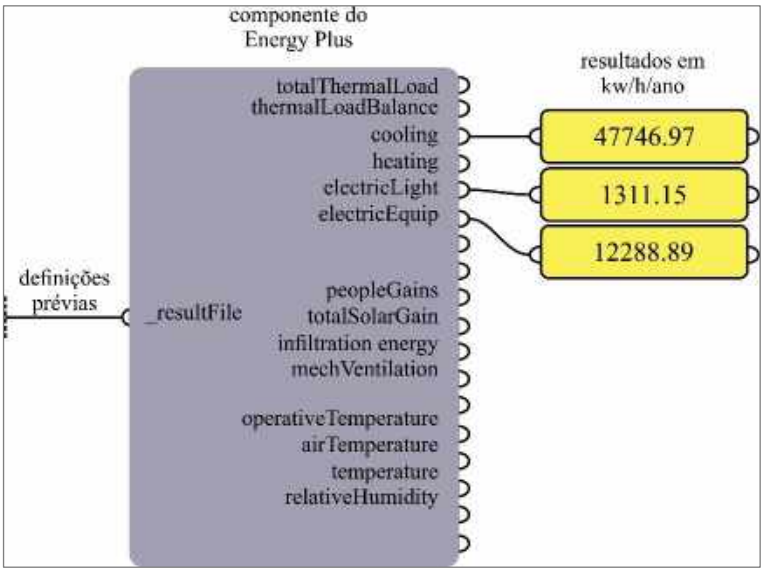


Figura 10 – Informações inseridas e geradas pelo componente do *EnergyPlus*, onde os valores se encontram em kW/h/anuais para um dos andares da edificação. Fonte: Elaboração própria

Os resultados do consumo energético anual das três simulações influenciaram diretamente a tomada de decisão projetual para o edifício comercial, que foi ratificada, posteriormente, ao submeter as três opções ao Método Prescritivo do RTQ-C para avaliação de suas classificações na ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia). A avaliação foi feita pelo WebPrescritivo, disponibilizado pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. A ferramenta é *online* e permite uma prévia dos resultados da etiquetagem de maneira rápida e precisa. Os dados inseridos de uma das opções se encontram na Figura 11 (os sistemas de iluminação artificial e condicionamento de ar, no WebPrescritivo, não foram avaliados).




Figura 11 – Trecho de cálculo extraído da tela do WebPrescritivo
Fonte: Elaboração sobre a ferramenta WebPrescritivo

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Edificação de uso residencial

Apesar de a edificação residencial ser um projeto de adequação de um edifício existente, decisões acerca de características físicas da envoltória, tipologia de esquadrias e a promoção ou não de ventilação cruzada tiveram que ser tomadas, com vistas ao melhor desempenho energético possível das unidades. Tais decisões

foram sendo confirmadas à medida que foram sendo computadas na planilha de cálculos própria para a aplicação do Método Prescritivo do RTQ-R.

A maioria das unidades obteve como resultado de seu EqNumEnv[3] a classificação "A" – a máxima possível, em função principalmente da combinação das características projetuais envolvidas: cores claras na fachada, ventilação cruzada e sistema de persianas externas retráteis em esquadrias que também contaram com um bom fator de ventilação.

As unidades que não obtiveram resultado "A" foram as localizadas no embasamento, pois sua fachada é revestida em granito preto, original da edificação, que provocou uma classificação "B" para estas unidades, pela cor escura da envoltória (absortância solar igual a 0,97). Tendo que se optar por uma edificação com EqNumEnv nível "A" em todas as unidades ou manter a linguagem de um edifício existente e seu diálogo com as demais edificações, optou-se por se manter o embasamento original, preto. Pôde ser percebido que que neste processo projetual, não se utilizam os *softwares* e avaliações energéticas de maneira a limitar a criatividade, mas sim para tomar decisões com maior certeza, neste caso priorizando a identidade visual em relação à eficiência energética deste pavimento em especial.

## 4.2. Edificação de uso comercial

As três simulações realizadas foram analisadas em relação aos resultados do consumo anual de energia elétrica para um pavimento tipo da edificação (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados de cada uma das opções simuladas. Fonte: Elaboração própria.

| Opção | Parâmetros projetuais utilizados | | | Consumo por pav$^{to}$ (kWh) | Consumo total (kWh) (9 pav$^{tos}$) | Custo Total (R$ 0,93/Kwh) | Diferença de custo a partir do menor valor (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Percentual de aberturas | Vidro | Existência de brises | | | | |
| 1ª | 95% | Controle Solar | Não | 82.574,52 | 743.170,68 | 691.148,73 | 79.745,26 (+13%) |
| 2ª | 55% | Comum | Não | 87.792,35 | 790.131,15 | 734.821.97 | 123.418,50 (+20%) |
| 3ª | 55% | Comum | Sim | 73.047,01 | 657.423,09 | 611.403,47 | -- |

Nos resultados obtidos, a combinação de parâmetros que apresentou menor consumo energético foi a 3ª opção, de percentual de aberturas 55%, uso de vidro comum e brises. A 2ª opção, idêntica a esta, porém sem os brises, apresentou um custo com o consumo energético 20% maior, o que revela o quanto a presença de elementos sombreadores em uma fachada pode ser decisiva no desempenho da edificação (Figura 12).

A 1ª opção, de 95% de aberturas e vidro especial de controle solar, que se traduz na tipologia dominante no Porto Maravilha, apresentou um custo de consumo energético 13% maior do que a 3ª opção. Ainda assim, consome menos energia do que a opção de vidro comum sem brises, mesmo com um percentual de abertura não excessivo. Kaminura e Motta (2018), analisando a diferença de consumo energético em edificação condicionada artificialmente, alterando apenas o tipo de vidro (simples ou insulado), concluíram que a simples substituição do vidro poderia proporcionar uma redução de 11% no consumo de energia primária.

Ainda assim, a opção com uso de vidro especial, no presente trabalho, se mostra com pior desempenho do que a opção de vidro comum com brises, sem falar no custo da execução da obra, que será mais alto pelo abundante uso do vidro especial. Ao optar pela opção mais econômica energeticamente, apesar de haver também o custo inicial de instalação dos brises, o custo anual com energia elétrica deixa de ser 20% mais caro.

Em suma, por meio das simulações energéticas foi possível projetar e estimar a eficiência do sistema de fachada proposto. Trazer a previsão de consumo ainda para a fase de projeto se mostra como um passo importante para reversão de desperdício energético da edificação construída, que, segundo Wang, Yan e Xiao (2012), se inicia, de fato, nos primeiros estágios do projeto.

[3]EqNumEnv: Equivalente Numérico da Envoltória, número representativo do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma (BRASIL, 2012, p.10)

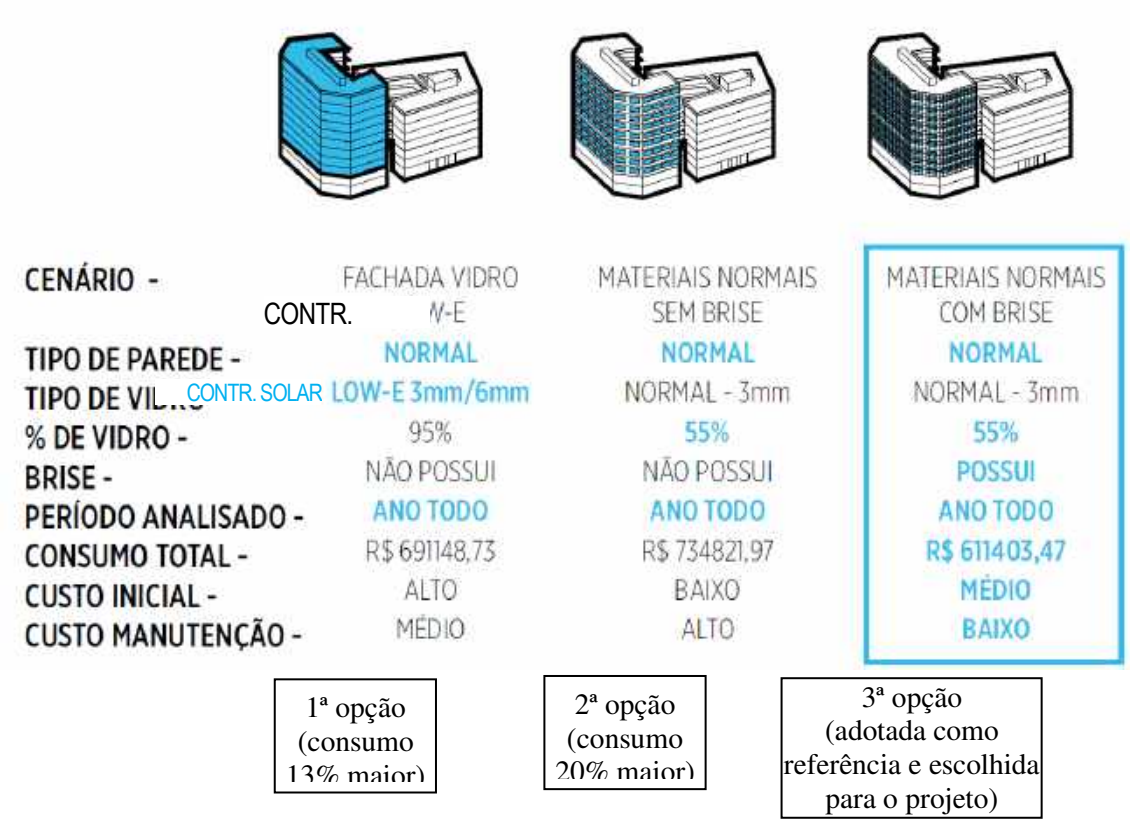


Figura 12 – Síntese da comparação das três opções de fachada
Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos nas avaliações do WebPrescritivo foram ligeiramente diferentes dos resultados obtidos pela simulação, embora a opção tida como a melhor tenha sido a mesma resultante das duas análises feitas, ou seja, a 3ª opção, com uso de vidro comum e brises. Pelo WebPrescritivo, esta solução obtém Etiqueta "A" na envoltória. Diferentemente do que ocorreu na simulação, a 1ª e 2ª opções se "inverteram" em relação aos resultados, obtendo a pior Etiqueta ("E") a opção com o uso de vidro especial de controle solar, aplicado a um percentual de aberturas de 95%. A opção com uso de vidro comum aplicado a um percentual de aberturas de 55% obteve Etiqueta "D".

A relação entre percentual de aberturas e tipo de vidro já foi avaliada por diversas pesquisas, como Kontoleon e Bikas (2002) e Prieto (2018), que corroboram essa dualidade como um dos pontos mais críticos no desempenho energético da edificação.

Cabe lembrar que a simulação feita não se constitui no uso do Método da Simulação do RTQ-C, com seus parâmetros devidos. A simulação desenvolvida foi o ponto culminante após uma trajetória e processos de decisão projetual balizados pelos *softwares* que, por auxiliarem na configuração de diferentes cenários projetuais, puderam levar à decisão pela solução mais eficiente.

## 5. CONCLUSÕES

Considerando que o Brasil está entre os países que apresentam um consumo total de energia ascendente (BERARDI, 2015), a convergência entre clima e edifícios aponta urgentemente para a necessidade de um maior nível de eficiência energética em edificações. A concepção de um projeto para revitalização de um edifício e construção de um novo em antiga área do porto da cidade do Rio de Janeiro utilizou diretrizes de eficiência energética de forma direta e aplicada. Na edificação existente, transformada para uso residencial, submetida à planilha de cálculos do Método Prescritivo do RTQ-R, estratégias como sombreamento e ventilação cruzada foram determinantes para seu bom desempenho energético. Na pesquisa de Tateoka e Duarte (2017), também foram esses os principais itens no aumento do conforto interno nos ambientes.

No novo edifício, de uso comercial, com a utilização de *softwares* próprios, foi possível chegar a uma concepção de fachada mais adequada do ponto de vista do consumo energético. Os *softwares* produziram dados que possibilitaram compreender como a tipologia dominante no local, de grandes fachadas de vidro (ainda que com o uso de vidros especiais), pode fazer com que a edificação se transforme em um grande consumidor de energia (e este o será por décadas, durante o tempo de vida útil do edifício). Pereira (2007),

por exemplo, indica que há bons vidros e películas especiais no mercado, com baixos índices de transmissão de calor, mas reconhece que seu uso excessivo em fachadas, como elemento de transparência, permanece longe do ideal de uma boa solução bioclimática para clima quente. Por essa razão, apesar de haver certa coadunação estética com a linguagem arquitetônica dominante na região, as aberturas não foram adotadas em grande profusão.

O presente trabalho também se coaduna com a pesquisa de Mirrahimi *et al.* (2016), que em seu estudo do efeito da envoltória sobre o consumo energético em edifícios altos, confirmam a importância do papel que o tipo de vidro, o tamanho das aberturas e os elementos de sombreamento desempenham em edificações em clima tropical quente úmido; no presente caso, foi a combinação da análise desses três elementos, e em especial o uso dos elementos sombreadores, que produziu a melhor opção de fachada, em termos de eficiência energética. E, retornando ao ponto de partida, cabe evidenciar que o resultado obtido só foi possível pelo uso das ferramentas digitais; Bini e Galafassi (2017) também ressaltaram o potencial de aprendizado para arquitetura e urbanismo que vários *softwares* podem oferecer, incluindo os utilizados neste trabalho, que neste caso, os usou não somente para avaliação, mas também como ferramentas de projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ANDRADE, M. T. B.; FERREIRA, C. C.; HIRASHIMA, S. Q. S. Avaliação do desempenho energético de fachadas: simulação de edifício comercial em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

ASTE, N. *et.al.*. Glazing's techno-economic performance: A comparison of window features in office buildings in different climates. **Energy and Buildings**. V. 159, p.123-135, 2018.

BERARDI, U. Building energy consumption in US, EU, and BRIC countries. **Procedia Engineering**. V.118, p. 128 – 136, 2015.

BINI, C.; GALAFASSI, M. Estudo e comparação de *softwares* relacionados ao projeto climático para utilização no curso de Arquitetura e Urbanismo. In: XIV ENCONTRO NACIONAL E X LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: Marketing Aumentado, 2017.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Brasília, 2013.

_____. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Brasília, 2012.

GUSTAVSEN, A.; GRYNNING, S.; ARASTEH D.; JELLE, B. P.; GOUDEY, O. Key Elements of and Materials Performance Targets for Highly Insulating Window Frames. **Energy and Buildings**, 2011.

KAMIMURA, A. M., MOTTA, L. A. Análise do uso de vidros simples e insulados em janelas de uma edificação condicionada artificialmente. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

KONTOLEON, K. J.; BIKAS, D. K. Modeling the influence of glazed openings percentage and type of glazing on the thermal zone behavior. **Energy and Buildings**. V. 34, p.389-399, 2002.

LAM, J. C. Energy analysis of commercial buildings in subtropical climates. Building and Environment. V. 35, p. 19-26, 2000.

LOPES, F. S. D.; SILVA, V. L.; LABAKI, L. C. Calibração de um modelo preditivo para eficiência energética em edifícios de escritório In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

MIRRAHIMI, S. *et al*.. The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot–humid climate. Renewable and Sustainable Energy Reviews. V.53, p. 1508–1519, 2016.

PEREIRA, E. G. S. A. Caracterização ótica de vidros e películas de proteção solar utilizados na construção civil e sua relação com o conforto ambiental. Dissertação de mestrado. (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Universidade Federal de Goiânia, Escola de Engenharia Civil. Goiânia, 2007.

PRIETO, A. *et al.*. Passive cooling & climate responsive façade design: exploring the limits of passive cooling strategies to improve the performance of commercial buildings in warm climates. **Energy and Buildings**. V.175, p. 30-47, 2018.

QUEVEDO, T. C.; BAUMANN, V. A.; VERSAGE, R. S. Análise paramétrica do nível de eficiência energética da envoltória de uma edificação pública pelo método prescritivo do RTQ-C. In: XIV ENCONTRO NACIONAL E X LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: Marketing Aumentado, 2017.

TATEOKA, S. S.; DUARTE, D. H. Adaptação às mudanças climáticas: desafios para requalificação de edifícios existentes em São Paulo. In: XIV ENCONTRO NACIONAL E X LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: Marketing Aumentado, 2017.

WANG, S.; YAN, C.; XIAO, F. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. **Energy and Buildings**. V. 55, p. 873–888, 2012.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. In: BUILDING SIMULATION, 9., 2005, Montreal. **Proceedings…** Montreal: IBPSA, 2005. p. 1331-1338.

WONG, N.H.; LI, S. A Study of the Effectiveness of Passive Climate Control in Naturally Ventilated Residential Buildings in Singapore. **Building and Environment**, v.42, n.1, p 1395-1405, 2007.