

## APLICAÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS NO PROCESSO DE PROJETO

Ana Caroline da Silva Nascimento<sup>1</sup>

Ana Paula de Almeida Rocha<sup>2</sup>

### RESUMO

Levando em conta que o Brasil é um dos países que mais utilizam energia elétrica no mundo, faz-se necessário que os arquitetos comecem a pensar nos projetos através de processos que envolvam conceitos bioclimáticos. Este trabalho se propõe a testar um processo projetual que integre a simulação computacional de desempenho ambiental de edifícios em diferentes etapas de desenvolvimento do projeto. Para isso, foi desenvolvida uma metodologia de pesquisa com foco em testes usando o software Ladybug Tools/Rhino. Com o decorrer do trabalho, ficou evidente que uma união entre as disciplinas de atelier de projeto e de conforto ambiental, desde os primeiros períodos do curso de Arquitetura e Urbanismo, possibilitaria o aprendizado gradual de ferramentas de simulação complexas e formaria profissionais mais capacitados. A aplicação prática do processo esquemático foi realizada em um estudo de caso, para elaboração de um projeto de um pequeno escritório. Alunos voluntários do curso de Arquitetura e Urbanismo, pertencentes ao Grupo de Pesquisa Interdisciplinar de Sustentabilidade e Tecnologia do Ambiente Urbano e Construído, aplicaram os preceitos da elaboração de projetos arquitetônicos através do uso da simulação computacional no processo de projeto. Em uma conversa final com os alunos participantes, ficou evidente a dificuldade que tiveram para entender como elaborar um projeto utilizando a ferramenta Ladybug, mas todos conseguiram compreender o objetivo do exercício projetual. Por fim, a importância deste projeto para a comunidade acadêmica é grande, porque procura expandir o estudo de desempenho ambiental e incentivar uma produção arquitetônica mais sustentável.

**Palavras-chave:** Simulação. Processo de Projeto. Universidades. Desempenho.

<sup>1</sup> Aluna do 10º período do curso de Arquitetura e Urbanismo da FAE Centro Universitário. Bolsista do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2022-2023). *E-mail:* nascimento.ana@mail.fae.edu

<sup>2</sup> Orientadora da Pesquisa. Doutora em Engenharia Mecânica. Professora da FAE Centro Universitário. *E-mail:* ana.procha@fae.edu

## INTRODUÇÃO

O Brasil, com uma vasta extensão territorial, é um dos países que mais consome energia elétrica no mundo, ficando em 7º lugar no Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2018, sendo que a região Sudeste possui a maior quantidade de capacidade de distribuição dessa energia e os edifícios que mais consomem energia são: residencial, industrial e comercial, respectivamente (BRASIL, 2018).

Surge então uma necessidade de aplicar conhecimentos relacionados ao desempenho ambiental nos projetos de arquitetura. Para isso, é importante que os arquitetos façam uso de ferramentas computacionais para auxiliar no momento das análises e melhorar o desempenho dos novos edifícios que estão sendo projetados e construídos.

A simulação computacional de desempenho ambiental de edifícios possibilita avaliar soluções projetuais de forma integrada, auxiliando na comparação de diferentes opções de projeto antes da construção do edifício. Essas avaliações integradas e antecipadas à ocupação do edifício permitem identificar ainda na fase de projeto as melhores soluções de arquitetura para garantir conforto aos usuários e reduzir os impactos ambientais e energéticos das edificações. Apesar disso, poucos profissionais da construção civil empregam simulações nos processos de projeto e de construção. A simulação tem sido tradicionalmente utilizada no Brasil como ferramenta auxiliar à conformidade de projeto em seus estágios finais, com intuito de verificar atendimento de normas de desempenho e de certificações ambientais de edifícios.

No Programa de apoio à iniciação científica-PAIC 2021-22, da FAE Centro Universitário, iniciou-se a discussão sobre o uso das simulações computacionais durante o desenvolvimento do projeto. Foram levantadas as principais ferramentas utilizadas nas universidades e nos escritórios de arquitetura, bem como foram levantadas as principais dificuldades para o uso das simulações no desenvolvimento de projeto através de um questionário enviado para os escritórios de arquitetura. Neste trabalho, foi identificado que grande parte dos escritórios de arquitetura usam apenas a experiência pessoal como ferramenta/método para implementar análises bioclimáticas nos exercícios projetuais. Além disso, quando existe uma aplicação de conceitos bioclimáticos, ela geralmente é utilizada nas fases iniciais de projeto e não acompanha o seu desenvolvimento, ficando restringida a análises básicas de iluminação natural e ventilação.

Com intuito auxiliar os arquitetos na implementação dos conceitos bioclimáticos, faz-se necessária a elaboração de um processo esquemático para embutir análises lumínicas e térmicas durante o exercício projetual, não restringindo as análises apenas às etapas iniciais.

Neste contexto, este projeto propõe discutir a aplicação de simulação computacional de desempenho ambiental de edifícios em diferentes fases do projeto arquitetônico, no âmbito dos cursos de graduação e dos escritórios de Arquitetura. Este projeto faz parte do Grupo de Pesquisa Interdisciplinar de Sustentabilidade e Tecnologia do Ambiente Urbano e Construído.

## 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E DESEMPENHO AMBIENTAL NA ARQUITETURA

O uso de ferramentas computacionais na elaboração de simulações para prever o desempenho dos edifícios começou na década de 1960, quando as primeiras ferramentas foram desenvolvidas. Os primeiros tipos de simulações que podiam ser realizadas, tinham como foco a medição do desempenho energético da envoltória das edificações, sendo que nas décadas posteriores isto se expandiu, possibilitando análises de clima urbano, ventilação, aquecimento, iluminação, dentre outros.

Os principais usos destinados aos *softwares* que realizam análises ambientais estão relacionados a estudos de estratégias passivas (sombreamento, iluminação natural, geotermia, etc.), condições térmicas no interior e no exterior das edificações, sistemas de climatização, ventilação, aquecimento e refrigeração de ambientes (GONÇALVES; BODE, 2015).

No livro **Edifício Ambiental** (GONÇALVES; BODE, 2015), os autores definem desempenho energético como sendo um resultado positivo do perfil de consumo de energia dos sistemas de um edifício, logo, quanto maior a otimização dos sistemas, melhor será o seu desempenho com o decorrer do tempo, podendo influenciar na vida útil da construção e, principalmente, no bem estar dos indivíduos que frequentam estes espaços. Assim surge a importância de implementação de análises bioclimáticas nos projetos arquitetônicos, para que os edifícios sejam projetados prevendo o nível de desempenho ambiental que a construção vai oferecer no futuro.

Os profissionais que atuam no mercado de trabalho, a partir de escritórios de arquitetura, em geral, não implementam a medição do desempenho ambiental nos projetos que elaboram, influenciando de forma negativa no contexto bioclimático dos edifícios. Isto se deve ao fato de que muitos arquitetos, além de não terem tido contato

com este tema na universidade, não sabem gerar análises e fazer uma leitura correta dos resultados. As ferramentas computacionais servem para traduzir a ocorrência de determinados fenômenos físicos que influenciam de forma negativa ou positiva nas edificações. Para que os resultados sejam confiáveis é importante que os projetistas insiram o máximo de detalhes possíveis na ferramenta computacional, e os dados sobre o projeto sejam o mais próximo possível da realidade. Além disso, é importante que o analista tenha um conhecimento prévio dos resultados que precisa alcançar e experiência no uso do *software*, pois quanto mais informações estiverem envolvidas no processo, mais precisos serão os resultados (GONÇALVES; BODE, 2015).

Levando em consideração o conceito de processo de projeto integrativo, que busca criar uma linguagem comum entre arquitetos e simuladores, uma ferramenta com enorme potencial para fazer parte desse processo é a *Ladybug Tools*. Formado por 4 *plugins* (*Ladybug*, *Honeybee*, *Butterfly* e *Dragonfly*), esta ferramenta computacional está conectada ao *software Rhinoceros*, através da interface do *Grasshopper*. Os gráficos e resultados numéricos, criados no *Grasshopper* com os *plugins* do *Ladybug*, podem ser visualizados na própria interface do *Rhino*. A *Ladybug* possibilita a criação de arquivos climáticos, análises de iluminação, energia, térmica e ventilação, além de ser capaz de avaliar fatores climáticos em grande escala, como cidades (LADYBUG TOOLS, 2023).

## 1.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROCESSO DE PROJETO

O processo de projeto é um grupo de ações que varia de acordo com o arquiteto, porque cada um desenvolve ao longo do tempo o seu próprio modo de projetar, sendo que fatores como repertório do projetista, exigências do cliente, porte do projeto, prazo e condicionantes relacionados ao local, podem influenciar diretamente no processo e levá-lo a sofrer alterações (DUTRA; YANNAS, 2006).

Os processos podem seguir por vertentes mais subjetivas ou sistemáticas. Um processo pode ser considerado mal estruturado quando os principais problemas de projeto não foram bem definidos, porque isto impede o pleno desenvolvimento das soluções e deixa os resultados incompletos e imprecisos, com lacunas que criam mais problemas e impedem a conclusão do projeto (GONÇALVES; BODE, 2015).

Um processo de projeto arquitetônico se inicia normalmente quando os arquitetos juntam diversas informações sobre o local onde será alocada a nova construção e seguindo condicionantes relacionadas a leis, normas e partido. Em seguida, são feitos os primeiros esboços, incluindo análises, sínteses e avaliações, sendo que, quando em uma destas três etapas básicas surgir um problema, deve-se voltar a uma etapa

anterior para resolver. Após estas etapas, o projeto passa para a fase de construção e pós avaliação do projeto concluído, onde em alguns casos ainda é necessário implementar melhorias (DUTRA; YANNAS, 2006).

Quando o desenvolvimento do projeto é realizado unindo o modo tradicional de projetar com a implementação de análises bioclimáticas é preciso incluir alguns conceitos específicos ao processo de projeto, por conta da complexidade do tema. De acordo com Dutra e Yannas (2006), um projeto que tenha como objetivo prever o desempenho ambiental do edifício, deve seguir o seguinte processo de projeto:

- **Obtenção de informações:** nesta etapa, os projetistas iniciam a coleta das primeiras informações sobre o novo projeto que será desenvolvido e estrutura a primeira organização de dados. É criado o programa de necessidades, são descobertos os principais dados climáticos da região escolhida, realizado estudos de caso e definido o partido arquitetônico, que vai ajudar o arquiteto a buscar soluções bioclimáticas melhores posteriormente.
- **Decisões de projeto:** esta categoria identifica quando o arquiteto começa a tomar as principais decisões de projeto, que podem variar de acordo com o contexto. Estas decisões são importantes para definir o destino final do projeto e a sua qualidade.
- **Síntese conceitual (objetivos e metas):** ocorre durante todo o processo de projeto e serve para delimitar quais são as intenções de projeto e o que precisa ser feito para alcançar resultados específicos.
- **Análise:** etapa que serve para avaliar o desempenho do projeto e auxiliar na tomada de decisões que serão importantes para o pleno desenvolvimento do mesmo. o processo de realização de análise deve ocorrer durante a finalização de todas as etapas de um projeto bioclimático, porque o edifício interage com inúmeros fatores que podem sofrer mutações de acordo com o processo de elaboração ou construção da nova construção.
- **Síntese de projeto:** é quando o arquiteto elabora uma solução para os problemas de projeto, sendo que, quando se trata de um projeto com foco em desempenho ambiental, é imprescindível que sejam realizadas análises de todas as soluções propostas. Caso não ocorra uma análise, e o projetista apenas defina as soluções sem comprovar eficácia, o projeto fica inconsistente.
- **Conjecturas:** a conjectura é a criação de novas soluções a partir de ideias e pontos de vista novos sobre um problema, sendo um exercício de intuição e criatividade do arquiteto. Porém, quando um projeto começa a apresentar muitas conjecturas, significa que a síntese de projeto está incompleta e fraca, pois está abrindo brechas para muitas soluções possíveis e criando ainda mais problemas e trazendo incertezas sobre a qualidade do projeto.

- Ferramentas de auxílio ao projeto: são essenciais para o processo de criação de um projeto bioclimático, aparecem geralmente em momentos de elaboração de análises e garantem que o arquiteto possa comprovar a realização de testes para comprovação de dados climáticos (DUTRA; YANNAS, 2006).

### 1.3 ENSINO DE DESEMPENHO AMBIENTAL NAS UNIVERSIDADES

O aprendizado sobre desempenho ambiental é importante para o currículo dos universitários, mas são poucas instituições de ensino que implementam na grade curricular uma união entre ensino de projeto e ensino de conforto ambiental. A falta de conexão entre as duas disciplinas retira o aluno do foco de implementação de soluções bioclimáticas, incentivando a formação de profissionais não capacitados para desenvolver projetos que ofereçam conforto lumínico, acústico e climático (SOUZA et al., 2021). Os arquitetos que já estão inseridos no mercado de trabalho refletem esta realidade, seus processos criativos foram desenvolvidos apenas durante a elaboração de projetos, sendo assim quando eles implementam análises ambientais e propõem soluções, na maioria das vezes serve apenas para cumprir normas e adquirir certificações ambientais para os projetos (GONÇALVES; BODE, 2015; SOUZA et al., 2021).

Os alunos do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo devem iniciar seus aprendizados na universidade com consciência sobre o impacto da construção civil no meio ambiente e quais são as ferramentas utilizadas para mitigar estes danos. Devido à complexidade de um processo de projeto, as etapas de aprendizagem não podem ser lineares, devem ser cíclicas, ou seja, os alunos devem aprender que é importante realizar análises e voltar atrás em decisões para melhorar o desempenho dos projetos.

Para que seja possível utilizar ferramentas de simulação computacional no processo de ensino de projeto nos cursos de graduação, é importante selecionar *softwares* de baixa complexidade para iniciar os estudos. Além disto, é importante que os desenvolvedores de programas computacional desenvolvam estas ferramentas pensando na interoperabilidade da mesma com outros programas, isto facilita o processo de aprendizagem e diminui o tempo que seria demandado para os alunos passar o projeto de um *software* para outro, sendo que na maioria das ocasiões não é possível conectar estas ferramentas e os projetistas precisam refazer no programa, tomando tempo de projeto e desincentivando a aprendizagem (SOUZA et al., 2021).

## 2 METODOLOGIA

A discussão sobre a aplicação de simulação computacional no processo de projeto arquitetônico foi separada em dois momentos, primeiro foi realizado o estudo de um *software* que gera análises ambientais e depois foi estruturado um processo de projeto.

### 2.1 ESTUDO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL E TESTE DO PROCESSO DE PROJETO

Para realizar um estudo que possibilitasse a criação de um processo de projeto, a ferramenta computacional escolhida foi *Ladybug Tools*, este programa é um conjunto de 4 *plugins* que podem ser usados dentro do *software Rhino*, conectados pela plataforma *Grasshopper*. Esta ferramenta computacional permite a criação de análises ambientais nas escalas micro, meso e macro: análise de ventos, radiação solar, iluminação natural, térmica, sistemas de aquecimento e refrigeração para diversos dias do ano, dentre outros.

Após estudar o *software Ladybug/Rhino*, foi estruturado um processo de projeto e um passo a passo de como realizar cada tipo de simulação, e como ser usado no ensino da ferramenta aos alunos da graduação. Para a criação do passo a passo, foram analisadas todas as dificuldades enfrentadas durante o estudo do *software*, levando em consideração nível de conhecimento sobre conforto ambiental, sobre a ferramenta computacional e quais etapas poderiam sofrer alterações para que um projeto final apresentasse maior desempenho.

### 2.2 TESTE DO PROCESSO JUNTO A ALUNO DA GRADUAÇÃO

Para a realização do teste, foi criado um grupo de alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo, sendo que um dos alunos faz parte desta edição do PAIC.

A implementação do teste com alunos serve como uma forma de validar o processo de projeto criado e perceber quais são as possibilidades de potencializar a integração entre o desempenho ambiental e o projeto arquitetônico. Sendo assim, esta fase será composta pelas seguintes etapas: apresentação da ferramenta computacional *Ladybug/Rhino* e criação de um projeto de estudo, como forma de aplicar os conceitos estudados em um projeto arquitetônico.

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

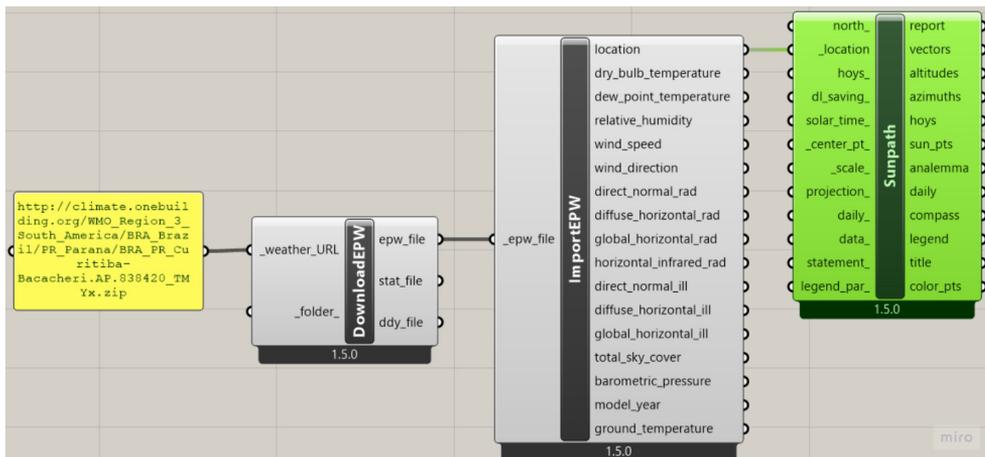
#### 3.1 EXPLORAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

Seguindo o processo de projeto esquemático criado no PAIC 2020/21, os estudos iniciaram com a obtenção de conhecimentos sobre o *software*. A principal dificuldade encontrada nesta etapa foi a carência de materiais de estudos, como vídeo aulas, em Português, causando uma demora maior no momento de aprendizado por conta da barreira do idioma. As análises criadas foram realizadas seguindo os níveis do processo de elaboração de projetos comuns: inicial, intermediário e avançado, além disso, ao final de cada análise foi criado um passo a passo descrevendo a melhor forma de elaboração daquele estudo climático, para que os alunos pudessem usar sem depender de materiais em outros idiomas para aprender a usar o programa.

##### 3.1.1 Radiação Solar

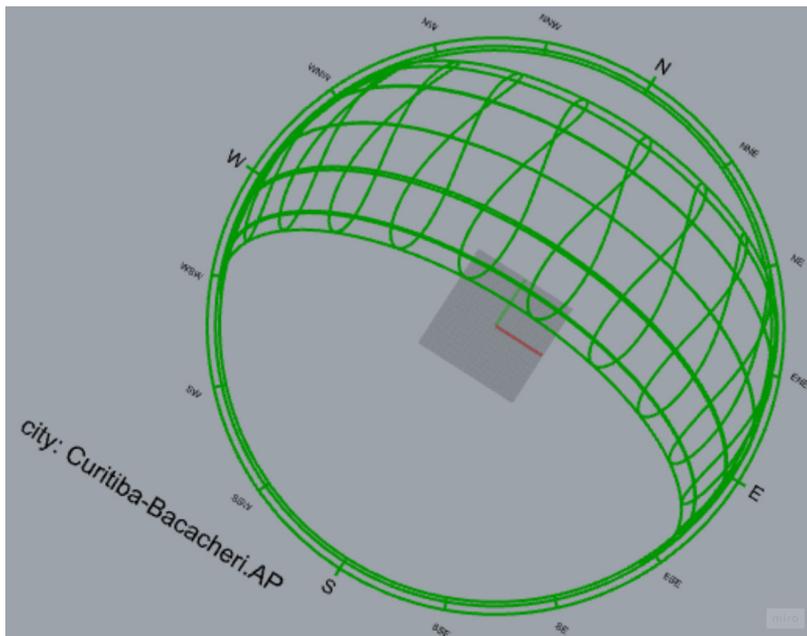
Para os estudos envolvendo radiação solar foram geradas duas análises, a primeira (FIG. 1) é mais simples de fazer e de entender os resultados. Foi criado um gráfico de caminho do sol, que é capaz de indicar, de acordo com cada época do ano, como o sol vai percorrer o céu e em qual ponto do mesmo ele vai estar de acordo com o horário do dia.

FIGURA 1 – Programação no *Ladybug* para obter um gráfico de caminho do sol



FONTE: As autoras (2023)

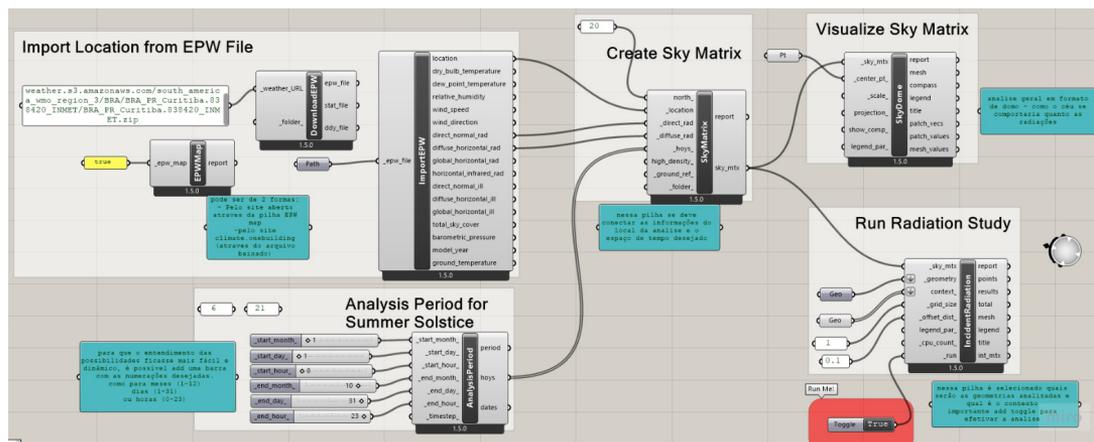
FIGURA 2 – Diagrama de Caminho do Sol criado no *software Ladybug*



FONTE: As autoras (2023)

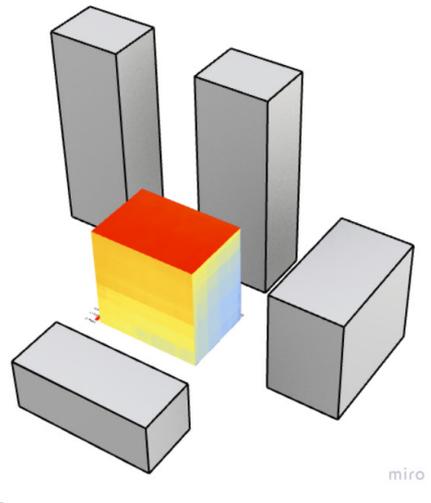
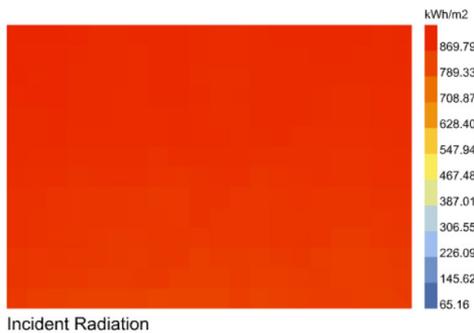
A segunda análise requer dados mais específicos do que apenas em qual cidade/país o edifício está localizado para obter um resultado final. É necessário criar um modelo 3D da envoltória do projeto e dos edifícios do entorno imediato, para quantificar a quantidade de radiação solar que está chegando às fachadas e como as construções da vizinhança estão impactando no mesmo.

FIGURA 3 – Programação no *Ladybug* para obter um estudo de radiação solar



FONTE: As autoras (2023)

FIGURA 4 – Resultado das análises de radiação na envoltória de um edifício

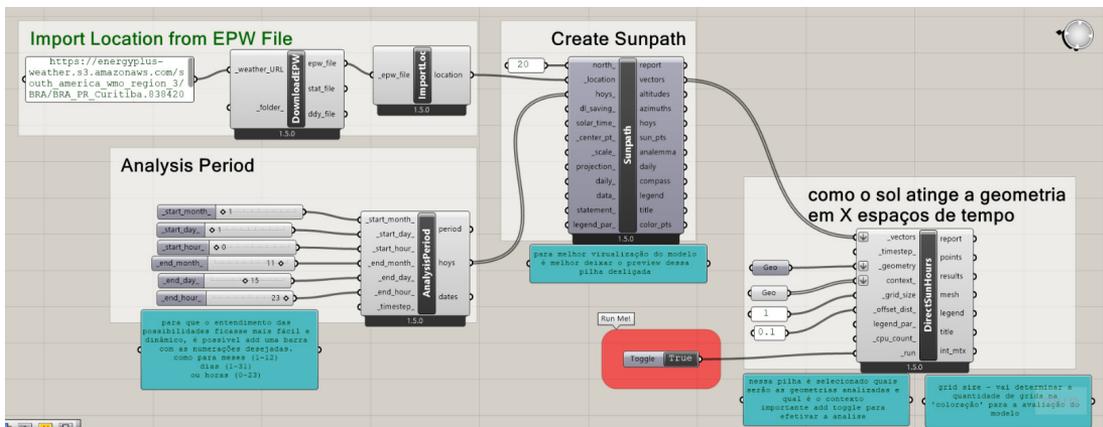


FONTE: As autoras (2023)

### 3.1.2 Horas de Incidência Solar Direta

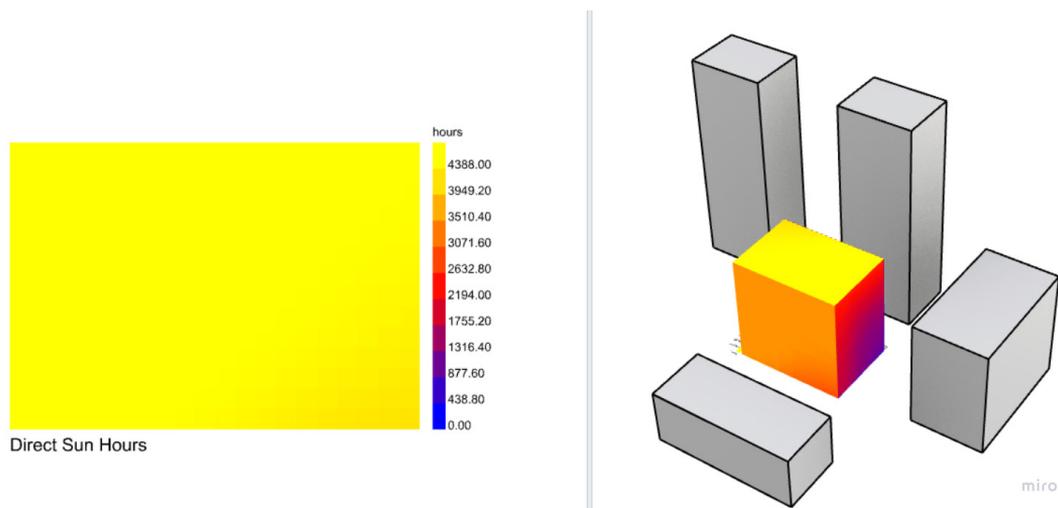
Para esta etapa foi criado um estudo de incidência solar direta sobre as fachadas de um edifício. O objetivo era quantificar a quantidade de horas que a luz do sol incide sobre a envoltória do projeto. Quanto maior o valor do resultado final no gráfico, significa que mais luz solar recebe ao longo do tempo. Com este estudo é possível avaliar como o entorno interfere na envoltória do projeto e quais são as demandas de cada face do projeto.

FIGURA 5 – Programação no Ladybug para obter um estudo de iluminação natural



FONTE: As autoras (2023)

FIGURA 6 – Resultado das análises de iluminação natural na envoltória do edifício

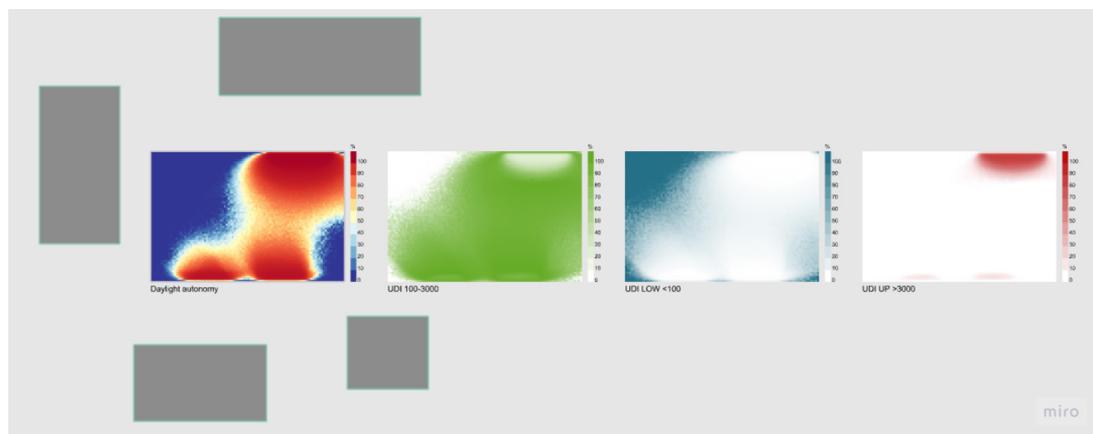


FONTE: As autoras (2023)

Além disso, é possível utilizar o software para criar uma análise do comportamento da luz natural durante o ano no interior de um edifício (iluminância). Para realizar uma leitura dos resultados finais é necessário entender as seguintes informações:

- **DA - Daylight Autonomy** (Autonomia de luz natural)
- **UDI - Useful daylight illuminance** - Luz natural útil durante o ano (100-3000 lux)
- **UDI LOW** - Abaixo da média necessária (menos que 100 lux) “muito escuro”
- **UDI UP** - Acima da média necessária (mais que 3000 lux) “muito claro”
- resultado em porcentagem de 0-100%
- **DA** - significa que quanto maior a porcentagem, mais luz natural o ambiente recebe

FIGURA 7 – Resultado das análises de iluminação anuais em um ambiente interno



FONTE: As autoras (2023)

Em análises de iluminação natural é importante levar em consideração qual será a percepção do usuário sobre a quantidade de luz que está entrando no ambiente. Para isto, propõe-se realizar uma análise para medir o brilho a partir do campo de visão do usuário e como isto pode gerar ofuscamento ou falta de iluminação. A FIG. 8 apresenta os resultados das simulações: dependendo da posição, pode haver mais ou menos brilho no campo de visão do usuário. Quanto maior a porcentagem na escala gerada pelo gráfico, maior é o nível de iluminação.

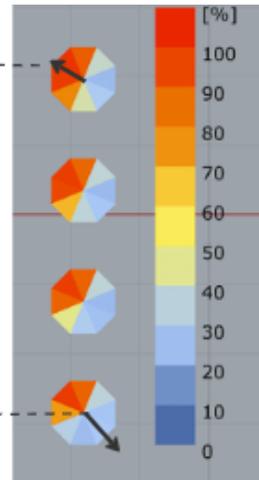
FIGURA 8 – Forma de ler a análise gerada pelo resultado final

exemplo:

se uma pessoa estiver sentada no centro do polígono e olhar na direção esquerda, ela não sofre com o ofuscamento. o brilho não incide direto nos olhos da pessoa

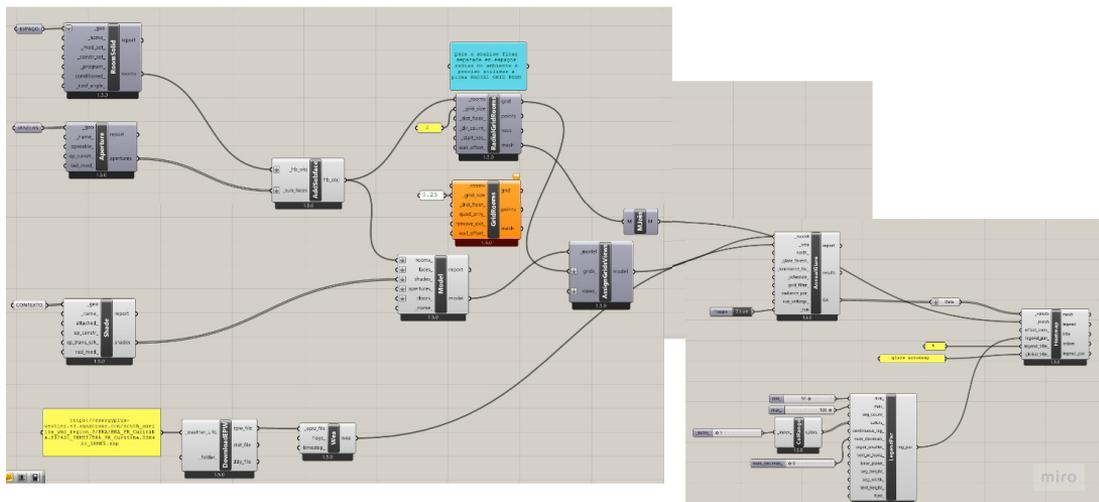
exemplo:

se uma pessoa estiver sentada no centro do polígono e olhar na direção direita, ela sofre com o ofuscamento. pois o brilho incide majoritariamente para esse lado



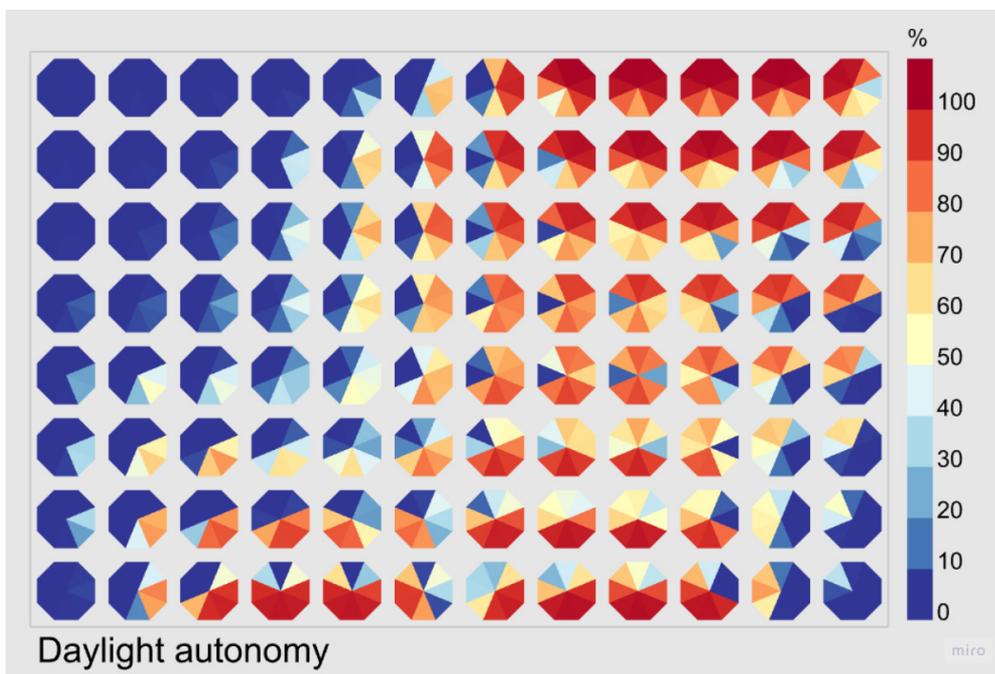
FONTE: As autoras (2023)

FIGURA 9 – Programação no *Ladybug* para obter um estudo de percepção da luz em ambientes internos



FONTE: As autoras (2023)

FIGURA 10 – Resultado final da análise de brilho no interior de um ambiente com janelas

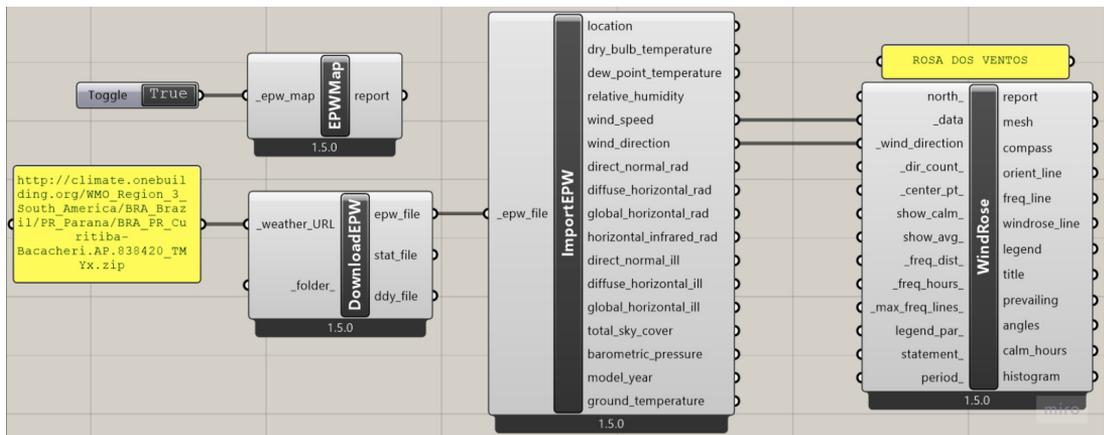


FONTE: As autoras (2023)

### 3.1.3 Ventilação

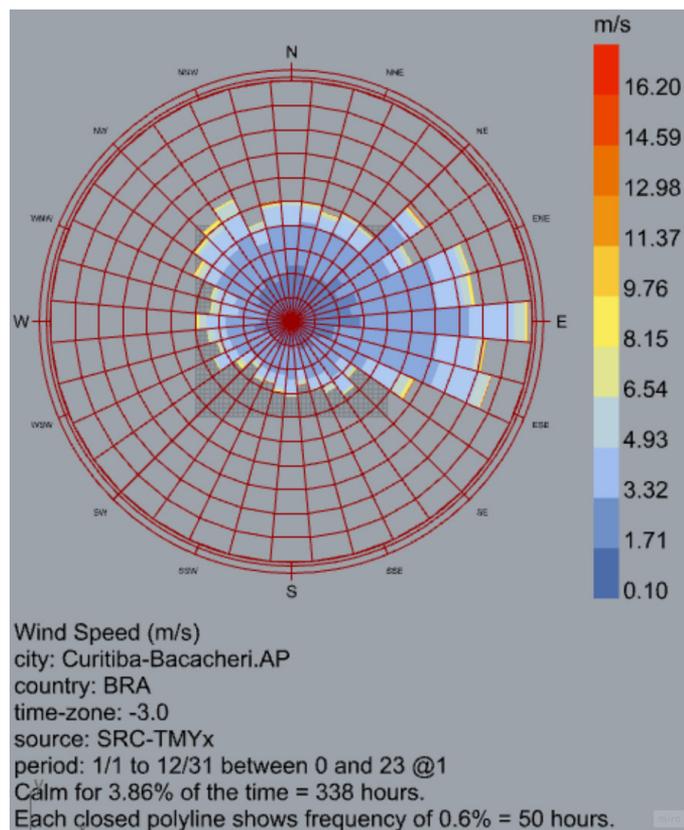
Para que seja possível começar a entender o funcionamento da ventilação em uma determinada cidade é necessário analisar a rosa dos ventos, um gráfico que indica de quais direções vem a maior quantidade de ventos da região e com qual velocidade ele chega com maior frequência.

FIGURA 11 – Programação no *Ladybug* para obter um estudo de ventilação através da rosa dos ventos



FONTE: As autoras (2023)

FIGURA 12 – Rosa dos ventos criada no *software Ladybug*

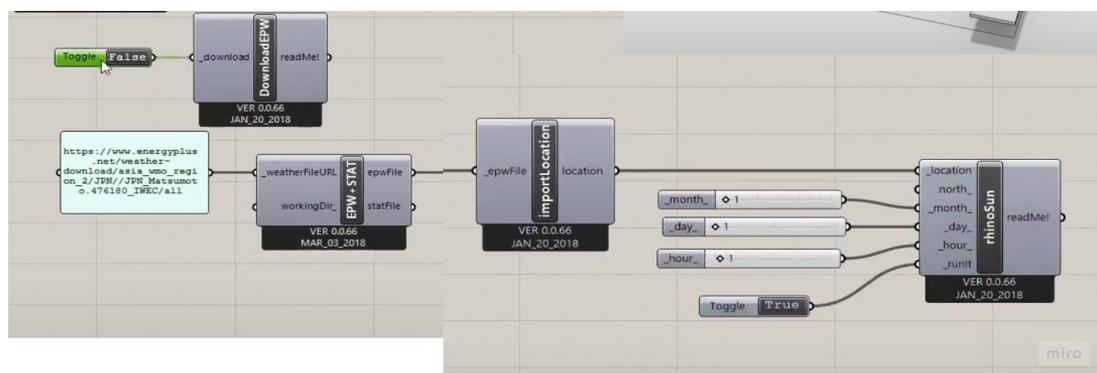


FONTE: As autoras (2023)

### 3.1.4 Sombreamento

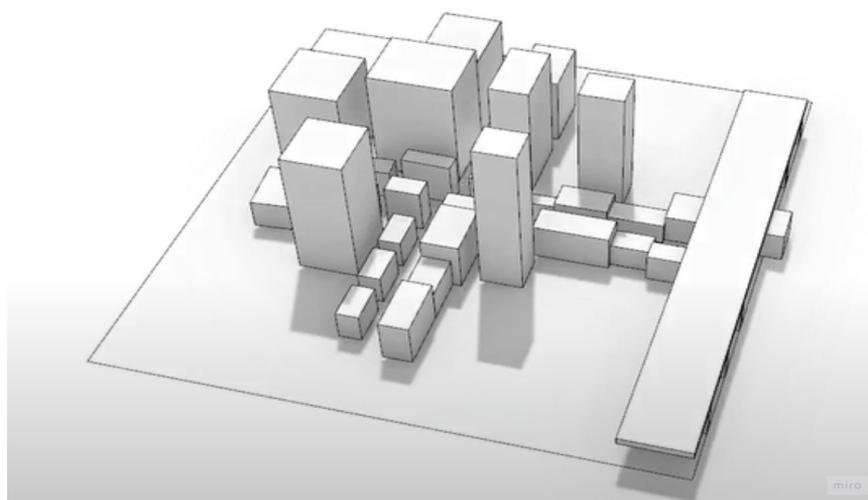
Para gerar uma análise de sombras do contexto urbano usando o *Ladybug/Rhino* é necessário especificar localização, data e horário. Estes dados são importantes porque para analisar o sombreamento de um local deve-se levar em consideração a localização do sol no céu. Além disso, não é possível realizar análises de sombreamento sem criar modelos tridimensionais do projeto e do entorno, porque isto vai influenciar diretamente na projeção e no tamanho das sombras sobre as edificações vizinhas.

FIGURA 13 – Programação no *Ladybug* para obter um estudo de sombreamento urbano



FONTE: As autoras (2023)

FIGURA 14 – Resultado da análise de sombreamento em um contexto urbano 3D



FONTE: As autoras (2023)

### 3.2 ELABORAÇÃO DE UM PROJETO BIOCLIMÁTICO

Para testar o processo, foi elaborado um projeto em conjunto com um aluno do Grupo de Pesquisa Interdisciplinar de Sustentabilidade e Tecnologia do Ambiente Urbano e Construído, da FAE Centro Universitário. Para isto, foi necessário apresentar a ferramenta computacional *Ladybug/ Rhino* para o aluno do grupo. Ao ter um primeiro contato com o *software*, o aluno relatou uma dificuldade para entender a interface gráfica do programa, mas sentiu uma certa semelhança na forma de usar com outros programas de desenho e modelagem, como *AutoCAD* e *Sketchup*.

Após começar a ter conhecimento do programa de análise, o foco foi para as primeiras decisões que precisavam ser tomadas sobre o projeto. Foram feitos estudos de caso, para encontrar as principais características que são responsáveis por formar o projeto de um escritório de arquitetura, sendo que, a partir disso foi pensado um programa de necessidades.

TABELA 1 – Programa de necessidades

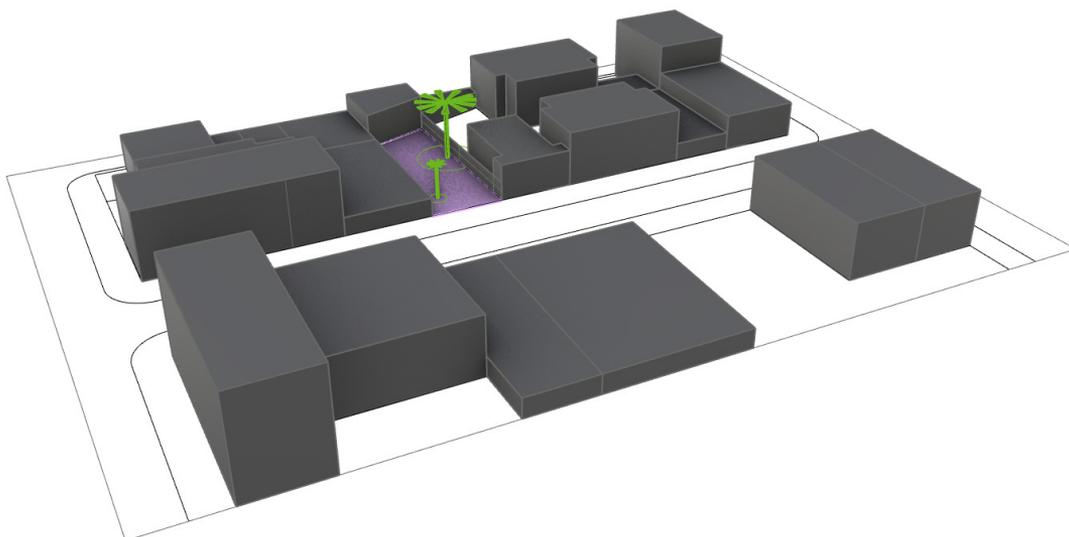
Ambientes	Capacidade	Áreas
Sala de reuniões	10 pessoas	14 m <sup>2</sup>
Escritório geral	12 pessoas	30 m <sup>2</sup>
Copa	12 pessoas	10 m <sup>2</sup>
Banheiro	1 feminino e 1 masculino	4 m <sup>2</sup>
Escritório da direção	2 pessoas	5 m <sup>2</sup>
		TOTAL: 63 m <sup>2</sup>

FONTE: As autoras, em conjunto com aluno do grupo de pesquisas (2023)

O terreno (FIG. 15) escolhido fica na zona residencial 4, próximo a área central da cidade de Curitiba, por sua localização e tamanho, é uma opção viável para receber o projeto. Localizado no meio da quadra, o entorno é bem consolidado e os edifícios possuem uma altura máxima de 4 pavimentos, por conta das diretrizes impostas na zona residencial 4.

Para iniciar os estudos, no *software* Rhino, foram modelados os edifícios do entorno imediato e o terreno.

FIGURA 15 – Terreno e entorno, modelagem 3D feita no *software* Rhino

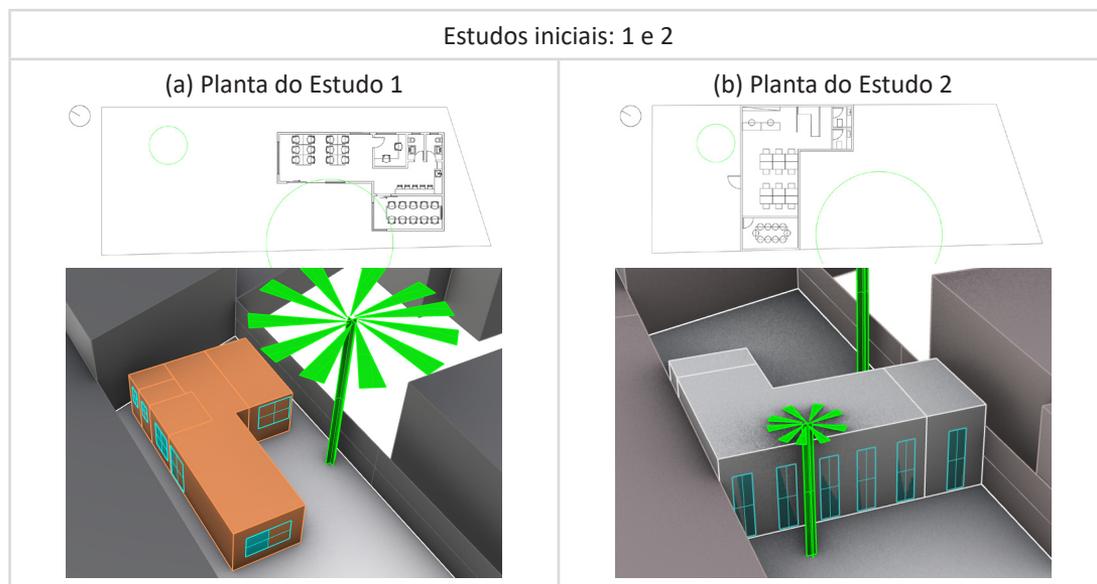


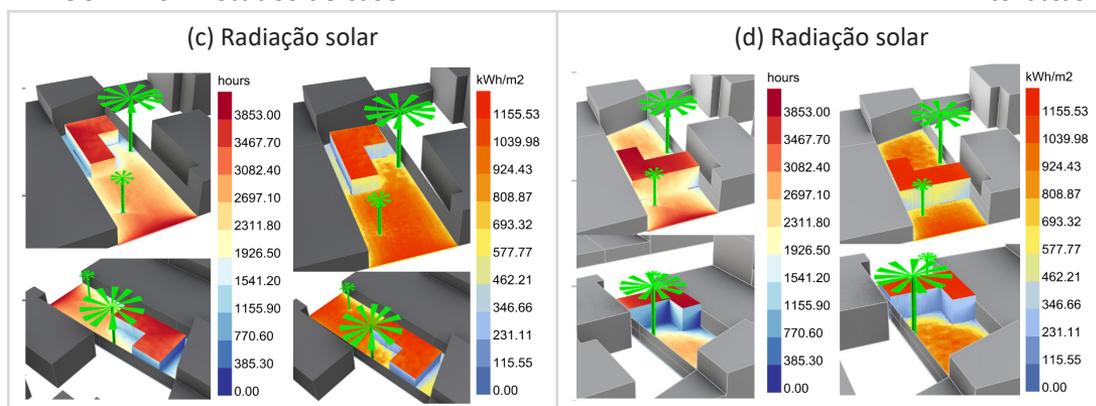
FONTE: As autoras, em conjunto com aluno do grupo de pesquisas (2023)

Para criar o projeto, foram criados diversos estudos de layout, sendo que foram escolhidas 2 opções (FIG. 16) para seguir adiante, para a etapa de análises iniciais. A escolha do layout foi realizada levando em consideração requisitos como: implantação do edifício no lote, relação com a vegetação existente no local e utilização do programa de necessidades.

FIGURA 16 – Estudos de caso

continua





FONTE: As autoras, em conjunto com aluno do grupo de pesquisas (2023)

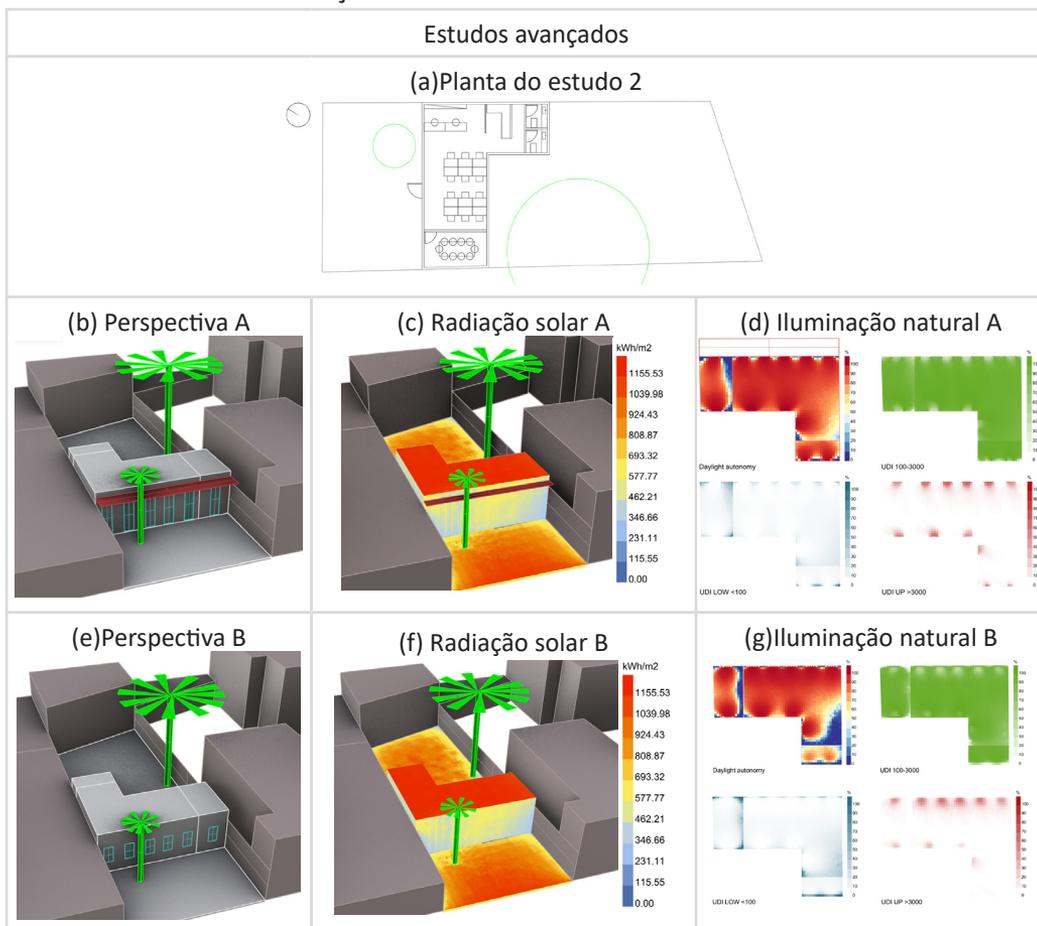
Nos estudos de caso, foram geradas simulações para medir a quantidade de radiação solar que chega ao edifício, de acordo com a sua volumetria, sendo que o Estudo 2 apresentou os melhores resultados.

Após a etapa de estudos iniciais, o projeto seguiu para uma etapa de estudos avançados, onde apenas o layout do Estudo 2 vai receber outros tipos de simulação. Esta etapa serve para encontrar os pontos fracos que o projeto vai apresentar após um refinamento da volumetria, que passa a receber esquadrias nas simulações e detalhes de materiais construtivos.

Nos estudos avançados, foram exploradas duas soluções projetuais a partir do layout /volumetria do Estudo 2. A proposta A, possui uma fachada com aberturas de 80 cm de largura, acompanhadas por um brise superior que servirá como elemento de sombreamento. Enquanto a proposta B, não haverá inclusão de brise para sombreamento e o tamanho das esquadrias será alterado, ficando diferente da proposta A, pois possui um peitoril de 100 cm e a altura das aberturas foi diminuída, ficando com 150 cm.

Os resultados de radiação e iluminação demonstraram que as duas opções são efetivas para que o interior do edifício não receba uma quantidade exacerbada de iluminação e cause ofuscamento, pois se trata de um projeto de escritório.

FIGURA 17 – Estudos avançados



FONTE: As autoras, em conjunto com aluno do grupo de pesquisas (2023)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração que o Brasil é um dos países que mais consome energia elétrica no mundo em suas edificações, torna-se evidente que as novas construções precisam começar a ser pensadas com preceitos bioclimáticos. Para auxiliar os arquitetos nas tomadas de decisões, os *softwares* que geram análises ambientais para edificações podem servir como grandes aliados, levando os projetistas a tomarem as melhores decisões projetuais.

Com o objetivo de elaborar um processo de projeto esquemático, foi desenvolvido uma metodologia de pesquisa com foco em testes usando o *Ladybug Tools/Rhino*. Durante a análise dos resultados, ficou evidente que para usar o *software* é preciso

demandar uma grande quantidade de tempo para aprendizagem, pois sua complexidade é alta e requer do projetista muita dedicação e paciência. Isto pode ser considerado como um dos fatores que influencia a desistência no processo de aprendizagem por profissionais que já atuam no mercado de trabalho.

A complexidade da ferramenta reflete no ensino de projeto nos cursos de graduação e limita os professores de conforto ambiental nas salas de aulas, por não terem tempo o suficiente para ensinar os alunos um processo difícil. Sendo assim, uma união entre as disciplinas de atelier de projeto e de conforto ambiental desde os primeiros períodos do curso de Arquitetura e Urbanismo possibilitaria o aprendizado gradual de ferramentas de simulação complexas, dividindo o ensino de acordo com o período e a temática do projeto.

Em relação às dificuldades enfrentadas pelos alunos para utilizar o *Ladybug*, o fato do *software* ser um *plugin* que deve ser acessado a partir do *Rhino* causou confusão no momento de entender como seriam gerados os resultados finais das análises. Como a interface do *Rhino* possui alguns comandos iguais aos do *AutoCAD*, um dos programas mais utilizados por profissionais e alunos de arquitetura, o processo de aprendizagem inicial foi mais rápido. Ao aprofundar as análises, as dificuldades enfrentadas não foram relacionadas a conhecimentos sobre conforto ambiental, sendo assim os resultados finais foram entendidos, porém houve uma dificuldade para criar graficamente estes dados, utilizando a ferramenta computacional escolhida, principalmente pela falta de conteúdo em português na internet explicando sobre como usar a plataforma.

Os resultados obtidos na elaboração dos estudos de caso foram satisfatórios, onde o processo de projeto esquemático se mostrou efetivo, pois, foi possível elaborar o projeto de um escritório de arquitetura desde a etapa de escolha de layout até a fase de estudos avançados utilizando a simulação computacional como ferramenta para tomar as melhores decisões projetuais, nos quesitos: forma da edificação, organização dos ambientes internos, tamanho e tipo das aberturas, controle de iluminação, escolha de materiais construtivos, dentre outros.

Com o desenvolvimento deste trabalho ficou evidente que para obter dados completos sobre a efetividade do processo esquemático é necessário aplicar as etapas em um projeto de grande porte, que ofereça maior complexidade projetual. Sendo assim, sugerimos o desenvolvimento de trabalhos futuros que abordem esta problemática.

## REFERÊNCIAS

- AROZTEGUI, J. M. **Bienal**. Concurso estudantil ibero-americano de arquitetura bioclimática. Disponível em: <https://bienalaroztegui.ctc.ufsc.br/edital-xiii-bienal/>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico de energia elétrica 2018**. Brasília: EPE, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>. Acesso em: 5 Jun. 2023.
- DELBIN, S. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico**: proposta de metodologia. 2006. 220 f. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.
- DUTRA, L.; YANNAS, S. Análise de processos de projeto bioclimático. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO — ENTAC, 11., Florianópolis, 2006. **Anais [...]**, Florianópolis, 2006.
- GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- GOOGLE MAPS. Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.google.com/maps/@-25.6123098,-49.3754702,15z?entry=ttu>. Acesso em: 25 jun. 2023.
- KOWALTOWSKI, D. K. et al. (Eds.). **O processo de projeto em arquitetura**: da teoria à tecnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LADYBUG TOOLS LLC. **Ladybug Tools**. 2017-2021. Disponível em: <https://www.ladybug.tools/>. Acesso em: 26 maio 2023.
- MEUSEL, M. D. Z. **Investigação da simulação computacional de desempenho energético integrada às etapas iniciais do processo de projeto**. 2016. 207 f. Dissertação (Mestrado de Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MEUSEL, M. D. Z.; WESTPHAL, F. Barreiras para a introdução de simulação computacional à prática de projeto arquitetônico: o caso de um edifício institucional em Curitiba – PR. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2017, Balneário Camboriú. **Anais [...]**. Balneário Camboriú: ENCAC, 2017.
- SOUZA, L. P. et al. Ensino de simulação termoenergética em edificações: um estudo de caso com estudantes de arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., Palmas, 2021. **Anais [...]**, Palmas, 2021.
- TRINDADE, S. C. **Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto**: aplicação em edifícios naturalmente ventilados no clima de Natal/RN. 2006. 138 f. Dissertação (Mestrado de Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- VIEIRA, P. O que é processo integrativo e a sua importância em projetos eficientes. **UGREEN**, Curitiba, 6 out. 2017. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/processo-integrativo/>. Acesso em: 1 jun. 2023.