APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISES DE DESEMPENHO AMBIENTAL EM UM PROCESSO DE PROJETO INTEGRATIVO

Ana Beatriz P. Gonçalves (1); Ana Caroline S. Nascimento (2); Ana Paula de Almeida Rocha (3)
(1) Estudante de Arquitetura e Urbanismo, FAE Centro Universitário, ana.beatriz.goncalves@mail.fae.edu
(2) Estudante de Arquitetura e Urbanismo, FAE Centro Universitário, nascimento.ana@mail.fae.edu
(3) Arquiteta e Urbanista, Doutora em Engenharia Mecânica, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil - FAE Centro Universitário, ana.procha@fae.edu

RESUMO
Durante o processo de projeto, muitos arquitetos e estudantes de arquitetura têm o costume de realizar estudos das condicionantes do entorno, identificando a orientação solar e a direção predominante dos ventos de maneira simplificada. Ao passo que, esse processo pode ser muito mais interativo e preciso com a ajuda da simulação computacional. Assim, o objetivo deste trabalho é exemplificar a aplicabilidade de simulações computacionais nas diferentes fases de projeto, como auxílio ao processo criativo. Para ilustrar um processo de projeto integrado foi escolhido como objeto de estudo um escritório de arquitetura a ser projetado em um terreno na região central de Curitiba, Paraná. Foi utilizado o programa Rhinoceros para a modelagem dos elementos e o Grasshopper para realizar as análises de condicionantes e conforto. Assim, para compreender as possibilidades do programa, foram propostos 4 estudos iniciais de projeto para enfim encontrar o modelo que se enquadra melhor ao terreno e ao uso proposto. Os testes realizados neste estudo demonstram como o processo de projeto pode ser mais dinâmico e auxiliar no processo criativo.

Palavras-chave: fases de projeto, processo integrado, simulação computacional.

ABSTRACT
During the design process, many architects and architecture students have the habit of conducting studies of the surrounding conditions, identifying the solar orientation and the predominant wind direction in a simplified way. However, this process can be much more interactive and precise with the assistance of computer simulation. Thus, the objective of this work is to exemplify the applicability of computer simulations in the different project phases, as an aid to the creative process. To illustrate an integrated design process, an architectural office was chosen as an object of study to be designed on a site in the central region of Curitiba, Paraná. Rhinoceros program was used to model the elements and Grasshopper to perform the conditioning and comfort analyses. Thus, to understand the possibilities of the program, 4 initial design studies were proposed to finally find the model that best suits the terrain and the proposed use. The tests performed in this study demonstrate how the design process can be more dynamic and assist in the creative process.

Keywords: project phases, creative process, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

O processo de projeto envolve algumas atividades que, independentemente do método de projeto escolhido pelo arquiteto, são comumente encontradas nas boas práticas profissionais. Em geral, essas atividades incluem a etapa de análise, síntese e avaliação. O projetista precisa ser capaz de avaliar os aspectos objetivos e subjetivos do objeto arquitetônico bem como retomar a reflexão sobre as abordagens mais apropriadas para o projeto (KOWALTOWSKI et al., 2011).

No contexto atual, uma abordagem importante é a necessidade de incluir as questões de desempenho ambiental nos projetos de arquitetura, uma vez que a situação energética e ambiental das nossas cidades evidencia algumas preocupações que são inerentes à arquitetura. Os centros urbanos são responsáveis pelo consumo de 70% da energia disponível e por 40% das emissões de gases de efeito estufa (PBMC, 2016). Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no Brasil, em 2022, 57% do consumo de energia elétrica é atribuído a edifícios residenciais, comerciais e públicos. Isso revela a necessidade urgente de melhoria do desempenho de edifícios lidando com conceitos de arquitetura bioclimática e de eficiência energética em edificações.

A arquitetura bioclimática está baseada na adequação da edificação ao clima e ao contexto específico do local. Medidas passivas de condicionamento ambiental são aplicadas tomando partido os próprios elementos arquitetônicos, como fachadas, aberturas, materiais construtivos, sombreamento, etc. A aplicação correta dessas estratégias bioclimáticas pode requerer do projetista um processo integrativo de estudos iniciais que contemplem as condições ambientais locais (temperatura do ar, umidade, radiação solar, ruído e qualidade do ar), bem como estudos mais avançados de avaliação do impacto das soluções de projeto no desempenho ambiental do edifício.

O conceito de projeto integrativo tem se popularizado pelas certificações ambientais de edifícios, incluindo as simulações nesse processo. Diferentemente dos processos convencionais, que geralmente ocorrem de forma linear e independente entre os projetistas, o processo integrativo é fundamentalmente cíclico e colaborativo. Ele exige que toda a equipe avalie as decisões projetuais como um todo, enfatizando a comunicação entre os profissionais e as partes interessadas ao longo do ciclo de vida de uma construção. Diante disso, as simulações computacionais, principalmente quando integradas aos *softwares* de modelagem de engenharia e arquitetura, podem auxiliar na sinergia entre as diferentes disciplinas, permitindo análises integradas das soluções arquitetônicas direcionadas às necessidades ambientais do edifício.

A metodologia de ensino das disciplinas de atelier de projeto da maior parte dos cursos de Arquitetura e Urbanismo no Brasil não explora os benefícios do uso do computador em sala de aula e a prática com programas de simulação é empregada apenas em exercícios isolados das disciplinas de conforto ambiental (DELBIN, 2006). Isso resulta em um conhecimento segregado, fazendo com que as estratégias bioclimáticas e de eficiência energética sejam pouco aplicadas em projeto e, quando aplicadas, dificilmente são testadas e validadas para o edifício diante das suas condições climáticas específicas (SOUZA et al, 2021).

Por isso, Delbin (2006) defende que as simulações computacionais devem fazer parte da grade de ensino, complementando a matéria de conforto ambiental na graduação dos cursos de Arquitetura e Urbanismo. Sendo capaz de auxiliar o aprendizado dos conceitos de conforto, através da aplicação prática de projeto. Sua pesquisa aponta que os alunos entenderam a ferramenta como um facilitador para análises de conforto e que pretendem continuar aplicando as simulações em seus futuros projetos, pois conseguiram testar diversas possibilidades de soluções projetuais e compreender quais atendem às demandas de desempenho ambiental, de maneira clara e visual.

No campo profissional, o uso de ferramentas de simulação vem crescendo nos escritórios internacionais que priorizam a aplicação do método de projeto integrativo e de recursos tecnológicos diversificados em seu processo projetual, tais como o inglês Foster + Partners e o italiano Mario Cucinella Architects (TRINDADE, 2006). Por sua vez, no Brasil, o emprego das simulações ainda é muito restrito. Em geral, as ferramentas computacionais são utilizadas como método de avaliação para comprovar atendimento a requisitos de normas de desempenho e sistemas de certificações ambientais, como a ABNT NBR 15.575 e o PBE Edifica (Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações), respectivamente. Com isso, as simulações são empregadas em estágios avançados de desenvolvimento do projeto, ao invés de acompanhar o processo projetual, o que impossibilita alterações significativas para o melhor desempenho da edificação. Além de que, muitas vezes as simulações são realizadas de maneira simplificada, sem levar em consideração as potencialidades das avaliações para o entendimento real de como as condicionantes impactam no terreno e na volumetria, como será demonstrado pelos estudos de caso propostos neste trabalho.

2. OBJETIVO

Este projeto propõe demonstrar o uso da simulação computacional de desempenho ambiental de edifícios em diferentes fases do projeto arquitetônico, como auxílio ao processo criativo.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em 2 etapas principais:

1. Processo esquemático para uso da simulação computacional no desenvolvimento de projeto
2. Estudo de caso para exemplificar a aplicabilidade de simulações durante o processo projetual.

3.1. Processo esquemático para uso de simulação computacional

Para que o processo de projeto integrado possa ser implementado é importante a utilização de uma ferramenta computacional que gere desde as análises iniciais até as avançadas. Uma das ferramentas que apresenta esta característica é a pertencente ao pacote Ladybug/Rhino, que permite a análise de arquivos climáticos como carta solar, radiação, energia, entre outros. O pacote possui 4 ferramentas (plugins): Ladybug, Honeybee, Butterfly e Dragonfly.

O pacote Ladybug, que tem sua interface conectada ao Grasshopper, dentro do Rhinoceros, possui uma visualização dinâmica dos resultados das simulações, podendo ser apresentados em forma de gráficos e resultados numéricos na própria interface do Rhino (LADYBUG TOOLS LLC, 2017-2021).

Com relação ao processo esquemático, em cada fase são realizadas simulações específicas para que se tenha melhores resultados no projeto arquitetônico final. A Figura 1 ilustra o fluxograma do processo de projeto integrado, conforme detalhado a seguir.



Figura 1 - Fluxograma do processo de projeto integrado

3.1.1 Estudos do clima e condicionantes:

Os condicionantes climáticos da cidade em que o projeto será implementado são levantados, de modo a identificar as estratégias para se garantir conforto na edificação. Os resultados obtidos a partir destas análises são referentes a rosa dos ventos, trajetória solar, carta psicrométrica e sombreamento causado pelo entorno. Estes podem ser visualizados em forma de gráficos, que geralmente apresentam os dados dentro de um período de tempo específico, sendo que o anual é o mais comum a ser utilizado.

3.1.2 Estudos iniciais envolvendo análise de radiação solar, iluminação e energia:

As análises têm como objetivo avaliar as primeiras proposições de projeto, com relação a sua volumetria, disposição de aberturas e layout dos ambientes. Para isso são analisadas a quantidade de radiação solar, iluminação e consumo de energia.

Para realizar as simulações de radiação solar o modelo deve ser o mais limpo possível, com enfoque na volumetria e nos elementos de sombreamento propostos, podemos chamar esse modelo de “microclima”, uma vez que as análises retratam as condições gerais do projeto. Dessa forma podemos observar o impacto que cada tipo de volumetria implica no terreno e quais são as fachadas que têm maior exposição solar, indicando posições ideais para aberturas e na disposição de layouts. Os resultados gerados para análises relacionadas a radiação solar são em formato de gráficos, tendo como indicador o Kwh/m², além disto também podem ser gerados gráficos indicando a quantidade de horas em que as fachadas recebem insolação.

A segunda simulação a ser considerada na fase inicial de projeto é relacionada à quantidade de luz natural que cada ambiente interno recebe. Para isso a modelagem deve ser mais específica, contendo a

disposição das aberturas e os limites propostos para cada ambiente. As análises de iluminação natural usam indicadores diferentes, o DA - *Daylight autonomy* e o UDI - *Useful Daylight Illuminance* são as unidades de medida responsáveis por medir o comportamento da luz natural em todo o ambiente analisado, durante todas as horas do ano, sendo assim o layout e as esquadrias do edifício precisam estar definidas nesta etapa, podendo sofrer alterações conforme a simulação indicar necessário. Para que a volumetria final possa ser definida é importante analisar o WWR - *Window Wall Ratio*, que vai indicar qual é a relação entre a área de esquadrias e área de paredes da edificação proposta.

Para a criação de uma avaliação energética simplificada, o zoneamento usado para quantificar a demanda de energia pode ser mais simples, conforme ilustrado na Figura 2.

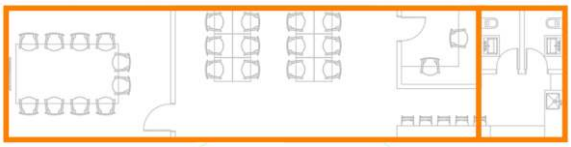


Figura 2 - exemplo de zonas térmicas

3.1.3 Estudos avançados com refinamento das simulações de luz e energia no anteprojeto e projeto executivo

Nesta fase, é importante refinar as decisões projetuais relacionadas à iluminação natural, verificando como ela está se comportando no interior do edifício, sendo que, devem ser previstas soluções de sombreamento (brises, aberturas, materiais construtivos, dentre outros) caso haja excessos. Além disso, nesta etapa deve-se quantificar a energia que será usada anualmente no edifício, levando em conta iluminação, aquecimento em dias frios, uso de ar condicionado no verão e gastos com equipamentos elétricos. Detalhando as soluções encontradas para determinar o desempenho do edifício e alterando materiais construtivos caso seja necessário.

Nesta etapa, a volumetria usada para gerar os dados deve ser a que apresentou os melhores desempenhos ambientais nas avaliações anteriores. Os resultados relacionados à iluminação natural serão apresentados, assim como na etapa anterior, com os indicadores DA, UDI e WWR, e as análises relacionadas à energia terão seus dados finais apresentados usando a unidade de medida Kwh/m².

3.2. Modelo de simulação

Com o objetivo de exemplificar a inserção de simulação computacional em um processo de projeto, foi elaborado um estudo sobre a proposta projetual de um escritório de arquitetura de pequeno porte. O terreno escolhido está localizado no meio de quadra, na Rua Alameda Júlia da Costa, no bairro Mercês, na cidade de Curitiba, Paraná (figura 3). Como se trata de um terreno na região central da cidade, seu entorno é bem consolidado, mas devido às diretrizes da zona residencial 4, a altura máxima encontrada dentre os edifícios do entorno é de 4 pavimentos, sendo na maioria dos casos de 2 pavimentos. Para melhor visualização e avaliação dos impactos locais, o entorno do terreno e a vegetação de relevância, uma araucária e uma palmeira, foram modelados no software Rhinoceros (figura 4).

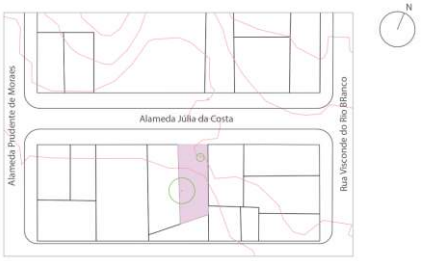


Figura 3 - Mapa de situação do terreno

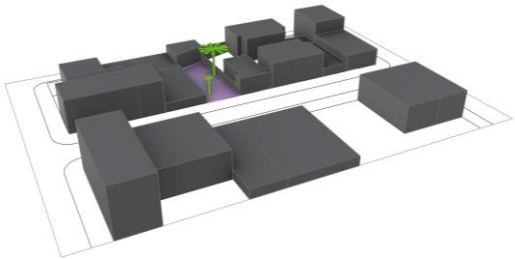


Figura 4 - Perspectiva do entorno do terreno

As simulações foram pensadas para se enquadrar dentro de uma sequência projetual, sendo elas:

- Estudo de condicionantes: foram geradas simulações para prever os condicionantes ambientais da cidade de Curitiba, onde o terreno fica localizado.
- Estudo preliminar: Processo exploratório de estudos de volumetria e layout a partir do programa de necessidades (Tabela 1). Durante o desenvolvimento dos estudos, 4 volumetrias demonstraram potencial para o avanço das análises lumínicas e de energia simplificada.
- Anteprojeto: após analisar as possibilidades projetuais, a volumetria que apresentou os melhores resultados foi escolhida para análises avançadas. O objetivo é resolver as pendências que ainda ficaram no projeto, prejudicando o desempenho do edifício. Nesta fase, o modelo deve avançar nas propostas de sombreamentos, ajustes nos ambientes, nas aberturas e também na materialidade.

Tabela 1 - Programa de necessidades

Ambientes	Capacidade	Áreas
Sala de reuniões	10 pessoas	14 m²
Escritório geral	12 pessoas	30 m²
Copa	12 pessoas	10 m²
Banheiro	1 feminio e 1 masculino	4 m²
Escritório da direção	2 pessoas	5 m²
		TOTAL: 63 m²

4. RESULTADOS

A seguir será apresentado como o processo integrado de projeto pode ser aplicado em um estudo de caso prático, a partir das simulações computacionais e análises de cada proposta de projeto.

4.1. Condicionantes climáticas

Para melhor compreender como as condicionantes climáticas impactam no terreno de estudo e quais são as estratégias bioclimáticas adequadas para o local, foram obtidos através dos arquivos climáticos de Curitiba (INMET), o gráfico referente a rosa dos ventos (Figura 5) aponta que a direção predominante dos ventos é Leste, informação importante para aplicação de estratégias de ventilação cruzada. Enquanto apresentado em forma de domo, o estudo solar aponta a possibilidade de aplicação de estratégias de aquecimento, como inércia térmica e aquecimento solar passivo (Figuras 6 e 7).

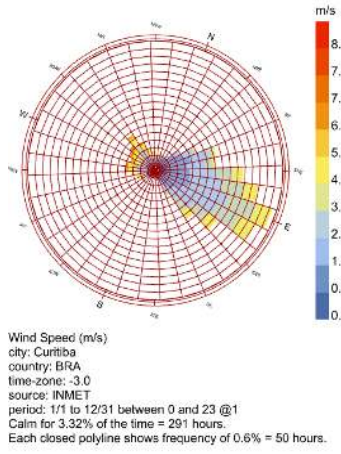


Figura 5 - Rosa dos ventos de Curitiba-PR

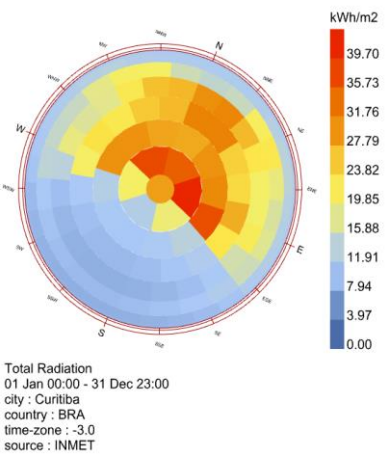


Figura 6 - Estudo solar de Curitiba-PR

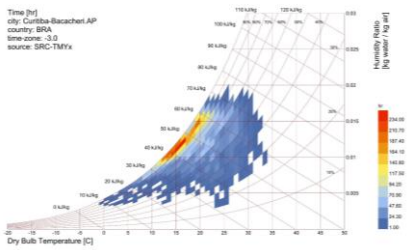


Figura 7 - Carta Psicométrica de Curitiba-PR

A segunda etapa envolve a simulação de radiação solar incidente no terreno, levando-se em conta a altura dos edifícios do entorno e a vegetação existente (Figura 8). Os estudos comprovam que o terreno é ensolarado ao longo do ano, destacando um maior sombreamento perto da divisa da direita e mais ao fundo do lote.

4.2. Estudos iniciais: 4 propostas de projeto

Nesta etapa, a partir do programa de necessidades do projeto, é essencial que o processo criativo seja exploratório, por isso várias tipologias de layouts de plantas e volumetrias foram modeladas e testadas, até que 4 estudos demonstraram potencial para aprofundamento de análises. A Figura 9 apresenta os resultados das simulações realizadas nas propostas 1 e 2, enquanto a Figura 10 apresenta os resultados obtidos para as propostas 3 e 4, organizadas em 2 colunas seguindo a ordem de: planta com layout, estudos de radiação solar, luz natural nos ambientes e resultados de simulações de energia.

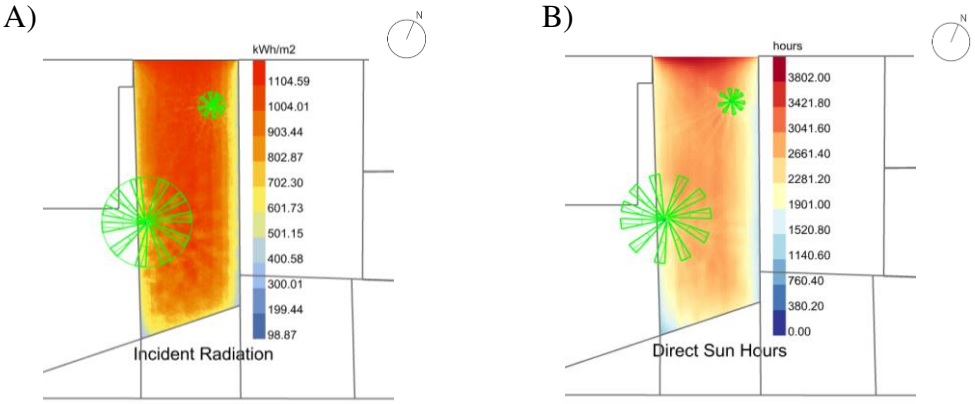


Figura 8 - A) Estudo de Radiação incidente no terreno; B) Estudo de horas diretas de iluminação solar

Como resultado da simulação de radiação solar, é importante destacar que os estudos 1 e 2, apresentam a mesma proposta de formato em "L", entretanto em rotações e posições diferentes no terreno (figura 9). Sendo assim na proposta 1 a menor fachada está voltada para o norte, enquanto as maiores fachadas por estarem próximas das divisas e voltadas para leste e oeste, acabaram ficando mais sombreadas. Enquanto na proposta 2 a maior fachada está voltada para o norte, recebendo a maior quantidade de radiação solar direta, o que pode indicar futura necessidade de elementos de sombreamento. É importante destacar que uma vez que o clima na cidade de Curitiba é predominante frio, implicando na necessidade de estratégias para o aquecimento nos ambientes internos. Assim, como as fachadas voltadas ao sul recebem uma quantidade bem menor de radiação solar, é ideal que nessa fachada sejam distribuídos os usos de menor permanência dentre o programa de necessidades.

Enquanto isso, os estudos 3 e 4 apresentam propostas bem diferentes para explorar as possibilidades no terreno (figura 10). No estudo 3 a volumetria foi alongada para ocupar a porção direita do lote, implicando em muitas fachadas sombreadas. Já no estudo 4 o programa de necessidades foi dividido em dois pavimentos, resultando em uma situação de auto sombreamento. Entretanto, como há uma boa área de fachada voltada ao norte, a proposta de volumetria consegue suprir a demanda por fachadas bem ensolaradas.

Para a simulação da quantidade de luz natural nos ambientes propostos é importante definir a disposição e tamanho das aberturas. Dessa forma os estudos 2 e 4 seguiram um padrão para as aberturas de 80 cm de largura por 250 cm de altura, enquanto os estudos 1 e 3 seguiram tamanhos de aberturas variáveis para cada ambiente proposto.

Diante disso, foi observado que o estudo 2 apresenta as melhores condições de luz natural em todos os ambientes. Em contraste com as demais propostas, nas quais fica clara a necessidade de mais aberturas voltadas para os espaços destacados pelas cores azuis nos gráficos de Daylight autonomy e UDI low, como observado na copa dos estudos 1 e 4, e na sala de reuniões do estudo 3.

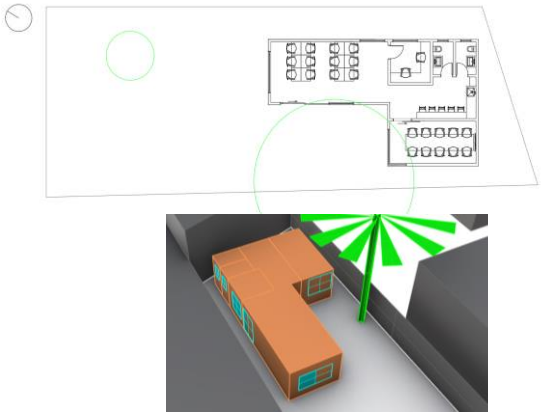
Vale destacar que todos os projetos sofrem com pontos de ofuscamento, indicados pelas manchas vermelhas no gráfico de UDI up, apontando a necessidade de ajustes como por exemplo, no tamanho das aberturas, revisão do layout e propostas de elementos de sombreamento.

Para a análise de energia inicial foi considerada a tipologia padrão de envelope utilizada no Brasil, composta por tijolo, laje e telha de fibrocimento e para as aberturas o vidro comum. O resultado da simulação de cargas anuais retrata que o estudo 3 apresenta as melhores condições de condicionamento de ar, enquanto o estudo 4 apresenta o quadro mais crítico de cargas anuais, indicando a necessidade de tratamento na composição do envelope.

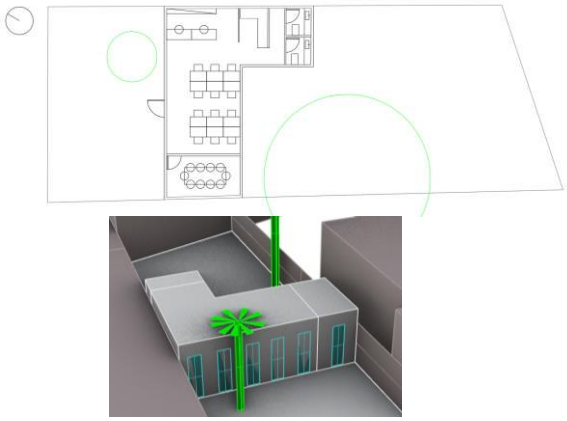
Com base nos resultados obtidos dentre os 4 estudos iniciais e na necessidade que o clima predominante frio de Curitiba tem por estratégias de aquecimento solar passivo, as melhores estratégias envolvem: volumetria posicionada na porção central no lote, boa quantidade de área de fachada voltada para a orientação norte e também de aberturas para garantir boa iluminação nos ambientes internos (Tabela 2).

Estudos iniciais: 1 e 2

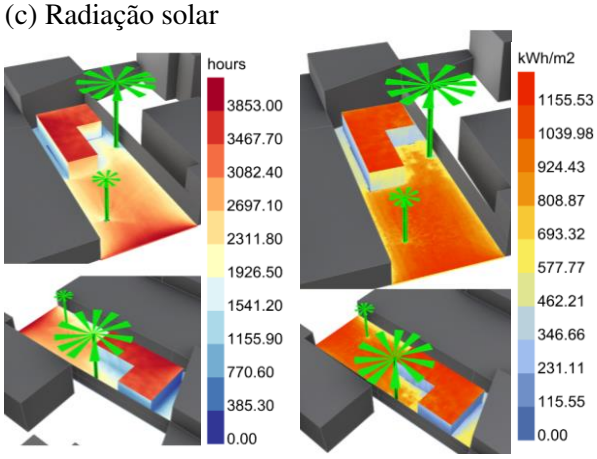
(a) Planta do Estudo 1



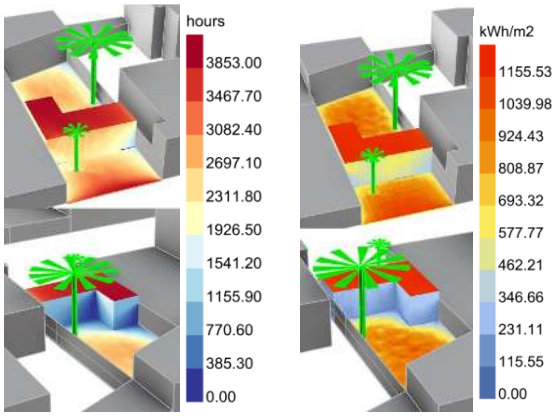
(b) Planta do Estudo 2



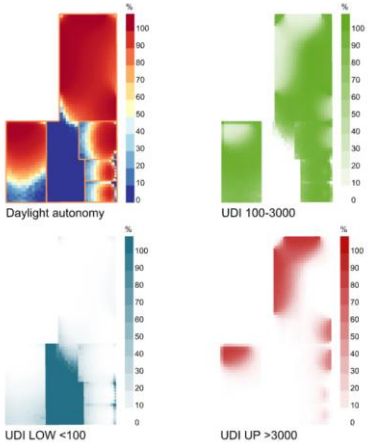
(c) Radiação solar



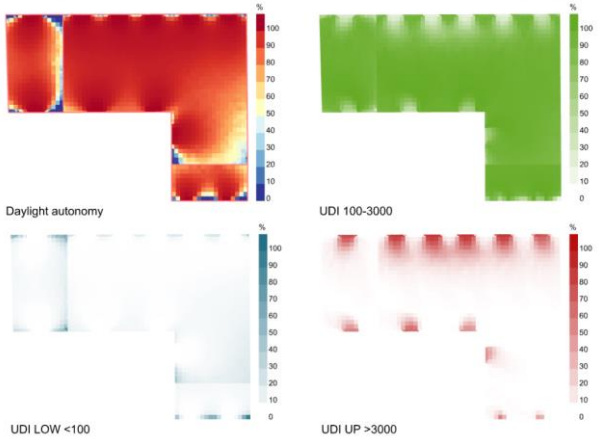
(d) Radiação solar



(e) Luz natural nos ambientes internos



(f) Luz natural nos ambientes internos



Cargas anuais de energia (condicionamento de ar)

37 Kwh/m²

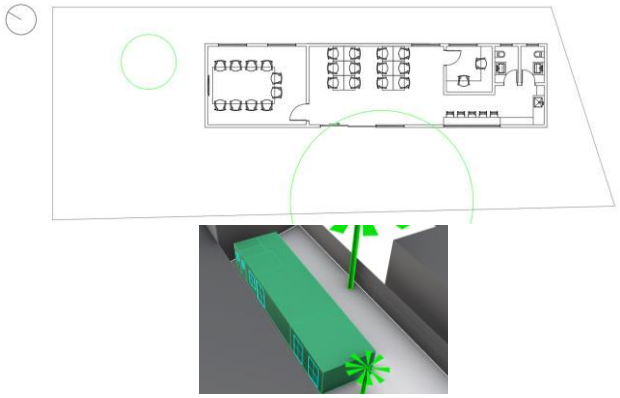
Cargas anuais de energia (condicionamento de ar)

30,4 Kwh/m²

Figura 9 - Estudos de caso: 1 e 2

Estudos iniciais: 3 e 4

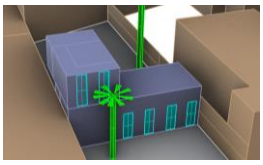
(a) Planta do Estudo 3



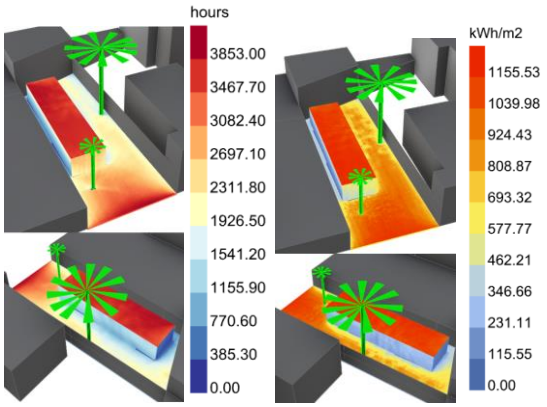
(b) Plantas do Estudo 4



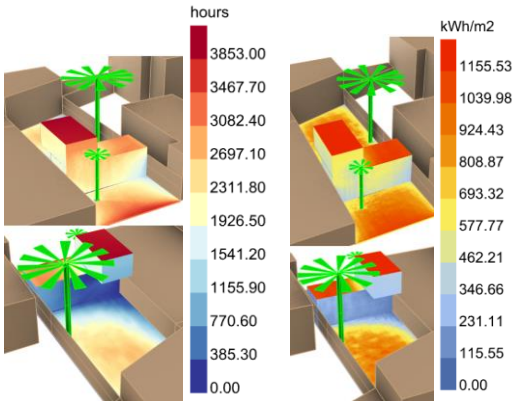
térreo 2° andar



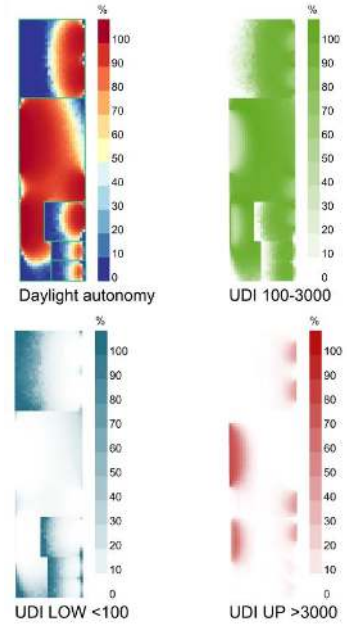
(c) Radiação solar



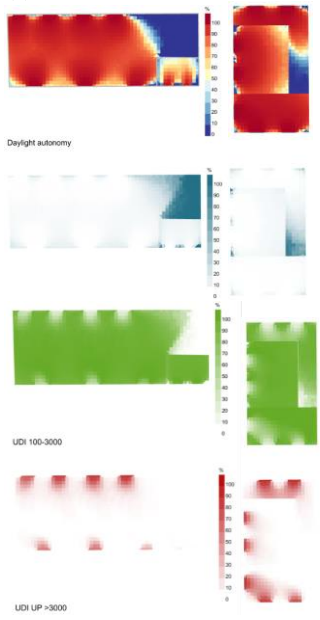
(d) Radiação solar



(e) Luz natural nos ambientes internos



(f) Luz natural nos ambientes internos



Cargas anuais de energia (condicionamento de ar) 28,6 Kwh/m²

Cargas anuais de energia (condicionamento de ar) 34,4 Kwh/m²

Figura 10 - Estudos de caso: 3 e 4

Tabela 2 - Comparativo entre os 4 estudos de caso

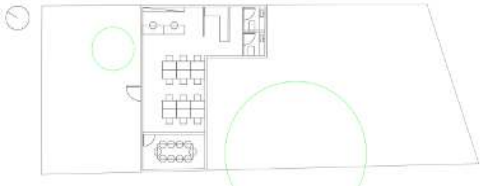
ANÁLISES	ESTUDO 1	ESTUDO 2	ESTUDO 3	ESTUDO 4
RADIAÇÃO				
ILUMINAÇÃO				
ENERGIA	37 Kwh/m²	30,4 Kwh/m²	28,6 Kwh/m²	34,4 Kwh/m²
Bom		Regular		Ruim

4.3. Estudo avançado: uma solução de projeto

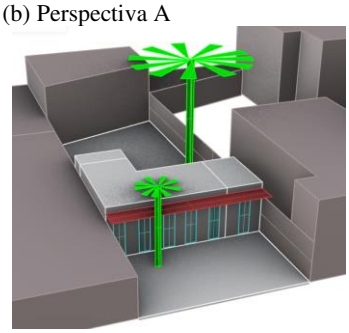
Dentre os estudos, a proposta 2 foi escolhida para avanços nos estudos pois demonstrou os melhores resultados quanto à volumetria e aberturas, mas seu resultado de cargas anuais de energia indica necessidade de mudanças quanto aos materiais da volumetria para garantir melhor isolamento térmico (Figura 11).

Estudos avançados

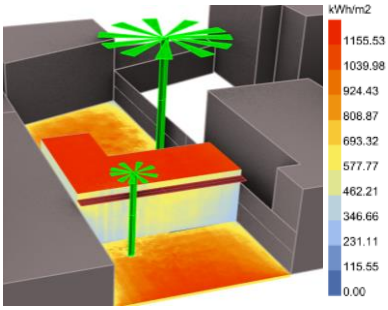
(a) Planta do estudo 2



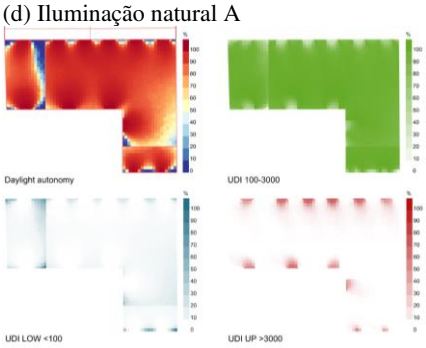
(b) Perspectiva A



(c) Radiação solar A

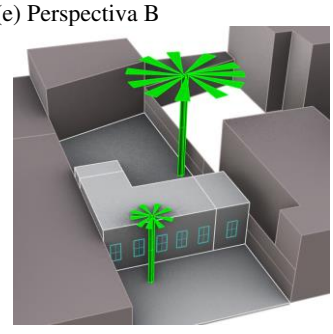


(d) Iluminação natural A

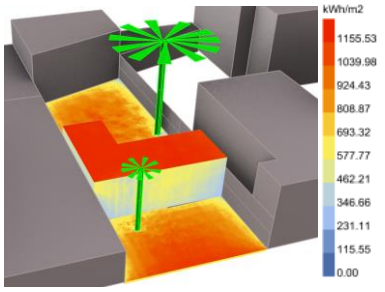


Resultados de Cargas anuais de energia a partir da alteração dos brises:
Com brise de 80 cm
29,33 kwh/m²

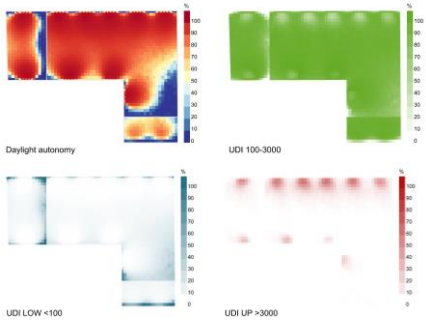
(e) Perspectiva B



(f) Radiação solar B



(g)Iluminação natural B



Resultados de Cargas anuais de energia a partir da alteração das aberturas:
Aberturas de 80x150cm e peitoril de 100 cm
31,01 kwh/m²

Resultados de Cargas anuais de energia a partir da alteração da materialidade:

- Envelope opaco isolado (paredes e cobertura): 22,2 kwh/m²
- Envelope total isolado (paredes, cobertura e vidros): 19,3 kwh/m²

Figura 11 - Estudo avançado

O resultado de Daylight Autonomy demonstrou que os ambientes são bem iluminados, entretanto existem pontos que apresentam uma condição de ofuscamento, pela grande exposição de luz direta. Podendo ser ruim em alguns momentos do dia, uma vez que o uso de escritório pede por um ambiente qualificado para pessoas trabalharem de frente para computadores, de maneira confortável.

Estabelecida essa necessidade, foram exploradas duas soluções projetuais: proposta A, utilizando um brise superior às janelas da fachada de acesso, de 80 cm de largura, como um elemento de sombreamento. Enquanto na proposta B, o tamanho das aberturas foi diminuído para 150 cm, com 100 cm de peitoril.

Os resultados das simulações de radiação e iluminação indicam que as duas abordagens são efetivas para atenuar o ofuscamento. Porém para a simulação de energia somente essas mudanças não apresentam um ajuste considerável para o projeto. A mudança real é observada quando o envelope é isolado podendo ir de 22,2 Kwh/m² se os materiais opacos forem isolados, para 19,3 Kwh/m² se for completamente isolado.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo demonstrar a importância de se aplicar as simulações computacionais de desempenho ambiental em diferentes fases do projeto arquitetônico. Em específico, um estudo sobre a proposta projetual de um escritório de arquitetura de pequeno porte foi elaborado para exemplificar o uso de simulação computacional em um processo de projeto.

O estudo de caso evidencia que o desempenho ambiental do projeto é melhorado de forma significativa a partir do uso das simulações para auxiliar nas tomadas de decisão nas fases iniciais e avançadas de desenvolvimento do projeto. Isso demonstra a importância de se reforçar este conhecimento nas disciplinas de conforto ambiental, de modo que os futuros profissionais implementem esta forma de projetar em seus processos de projetos. Como trabalhos futuros, sugere-se a aplicação desse processo integrado em projetos arquitetônicos de grande porte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério de Minas de Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022**. Brasília: EPE, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf . Acesso em: 13 de abril de 2023.

DELBIN, S. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico: proposta de metodologia.** Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

KOWALTOWSKI, Doris K. et al. (Ed.). **O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia**. 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos. 2011.

SOUZA, L. P. de; LAMBERTS, R.; VAZ, C. E. V. Building performance simulation as a guide to design decision making: an analysis of architecture student's design process. In: CONFERÊNCIA DE SIMULAÇÃO DE CONSTRUÇÃO, 2021, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2021. p. 9.

TRINDADE, S. C. **Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto**: aplicação em edifícios naturalmente ventilados no clima de Natal/RN. 2006. Dissertação (Mestrado de Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.