

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS BENATO SANCHES COSO

**SIMULAÇÃO PARAMÉTRICA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**



CURITIBA

2022

MATHEUS BENATO SANCHES COSO

## **SIMULAÇÃO PARAMÉTRICA PARA SISTEMAS FOTOVOLTACIOS**

Projeto apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel.

CURITIBA

2022

## RESUMO

O processo de concepção de um novo projeto arquitetônico, mesmo quando definidas as premissas de sustentabilidade, eficiência energética e energias renováveis como fundamentais para o projeto, carecem de estudos e análises introdutórias, a fim de guiar a concepção em linha com os objetivos de eficiência. O não atendimento as premissas ocorrem em virtude da inexistência de estudos de eficiência que contemplem análises fundamentais para o direcionamento e orientação do projeto arquitetônico. Neste sentido, recorre-se a implantação de sistemas fotovoltaicos, a fim de conferir melhor eficiência ao projeto após a etapa executiva de projeto. Os sistemas fotovoltaicos por sua vez são dimensionados de acordo com a área disponível, no consumo atual da edificação e com base nos métodos prescritivos estabelecidos por norma. Este trabalho tem como objetivo demonstrar as oportunidades de implantação de soluções de eficiência energética e energias renováveis, com base em simulações termo energética que visam orientar a construção de um edifício corporativo, prevendo a implantação de painéis fotovoltaicos e a correta orientação do projeto com base nas premissas de eficiência energética.

Palavras-chave: Simulação. Geração. Fotovoltaico. Integrativo. Eficiência.

## **ABSTRACT**

Conceptualizing a new architectural project, even when sustainability premises, energetic efficiency and renewable energy sources are defined as its core values, still requires studies and introductory analysis with the sole purpose of guiding the process with efficiency in mind. The lack of compliance of the premises happens because of the unavailability of efficiency studies that observe fundamental analysis when it comes to guidance of the architectural project. In these instances, we turn to implementing photovoltaic's systems, in order to grant better efficiency overall after the executive stage of the project. Photovoltaic systems in turn are measured according to available area, the current consumption of the building and based on the methods established by standards. This paper is intended to demonstrate the opportunities when it comes to implementing energetic efficiency solutions as well as renewable energy sources, based on thermo energetic simulations that aim to guide the construction of a corporate building, predicting the implementation of photovoltaic panels and the correct guidance of the project based in the premisses of energetic efficiency.

Key Words: Simulation, Generation, Photovoltaic, Integrative, Efficiency.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - MODELO PROJETO CONVENCIONAL.....	7
FIGURA 2 – PROJETO INTEGRATIVO .....	8
FIGURA 3 - MODELO GEOMÉTRICO .....	12
FIGURA 4. ÁREAS INTERNAS .....	17
FIGURA 5 - MODELO DE GERAÇÃO NO PLANO HORIZONTAL .....	17
FIGURA 6 - MODELO DE GERAÇÃO NO PLANO INCLINADO.....	18
FIGURA 7 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE CURITIBA-PR .....	19
FIGURA 8 - VARIAÇÃO IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA.....	19
FIGURA 9 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA NO PLANO INCLINADO PARA CURITIBA-PR ..	20
FIGURA 10 - POTENCIAL DE GERAÇÃO NO PLANO INCLINADO .....	21
FIGURA 11 – RELAÇÃO DA IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA .....	22
FIGURA 12 – BREAKDOWN DE ENERGIA.....	23
FIGURA 13 - VARIAÇÃO DE CONSUMO POR TIPO DE VIROS.....	25
FIGURA 14 – ILUMINÂNCIA MÉDIA POR AMBIENTE .....	26
FIGURA 15 - AUTONOMIA DE ILUMINAÇÃO NATURAL .....	27
FIGURA 16 - AMBIENTE ANALISADO.....	28
Figura 17 - AUTONOMIA DE ILUMINAÇÃO NATURAL AO LONGO DO ANO.....	28
FIGURA 18 - VARIAÇÃO DE CONSUMO NO CENÁRIO DE ILUMINAÇÃO .....	29
FIGURA 19 - VARIAÇÃO NO CONSUMO NO CENÁRIO DE CLIMATIZAÇÃO.....	31
FIGURA 20 - IMPLANTAÇÃO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	32
FIGURA 21 – INTERFERÊNCIA DO BARRILETE NA GERAÇÃO .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO .....	30
--	----

# CONTEÚDO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	6
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	6
1.3. JUSTIFICATIVA.....	8
1.4. HIPÓTESE.....	9
1.5. OBJETIVO .....	9
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>10</b>
<b>3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>11</b>
3.1. Premissas de Cálculo .....	13
3.2. Condições Internas .....	13
3.3. Cargas Internas e Externas .....	13
3.4. Pessoas.....	13
3.5. Envoltória.....	13
<b>3.5.1. Paredes Externas:</b> .....	<b>14</b>
<b>3.5.2. Paredes Internas:</b> .....	<b>14</b>
<b>3.5.3. Áreas Envidraçadas</b> .....	<b>14</b>
<b>3.5.4. Cobertura</b> .....	<b>14</b>
<b>3.5.5. Lajes entre Pavimentos</b> .....	<b>15</b>
3.6. Iluminação. ....	15
3.7. Equipamentos:.....	15
3.8. Infiltrações: .....	15
3.9. Renovação e Extração de Ar .....	15
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>35</b>
5.1. Sugestões de trabalhos futuros.....	36
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO**

A concepção de uma edificação, seja ela qual for sua tipologia, segue uma estrutura típica e convencional no mercado da construção civil, conforme orientado pelas principais instituições de arquitetura no âmbito nacional e internacional. Neste sentido têm-se como fluxo padrão de um projeto, as seguintes etapas de concepção de um projeto, as quais são definidas com base na norma ABNT NBR 13532 – Elaboração de projetos de edificações Arquitetura:

- Levantamento de dados;
- Programa de necessidades;
- Estudo de viabilidade;
- Estudo Preliminar de Arquitetura;
- Anteprojeto de Arquitetura;
- Projeto Legal de Arquitetura;
- Projeto Básico de Arquitetura;
- Projeto Executivo de arquitetura.

Dentro dessas etapas, são realizados inúmeros estudos, os quais em geral com enfoque na viabilidade técnico econômico do empreendimento, momento no qual são definidas as premissas de projeto que guiarão sua concepção. Na etapa do levantamento do programa de necessidades ocorre a aparição de premissas de sustentabilidade, eficiência e conforto térmico, porém verifica-se que na etapa final do fluxo de concepção, muitas destas premissas não são executadas, seja pela dificuldade técnica, financeira ou pela falta de um processo integrativo que correlacione as diversas disciplinas de um projeto.

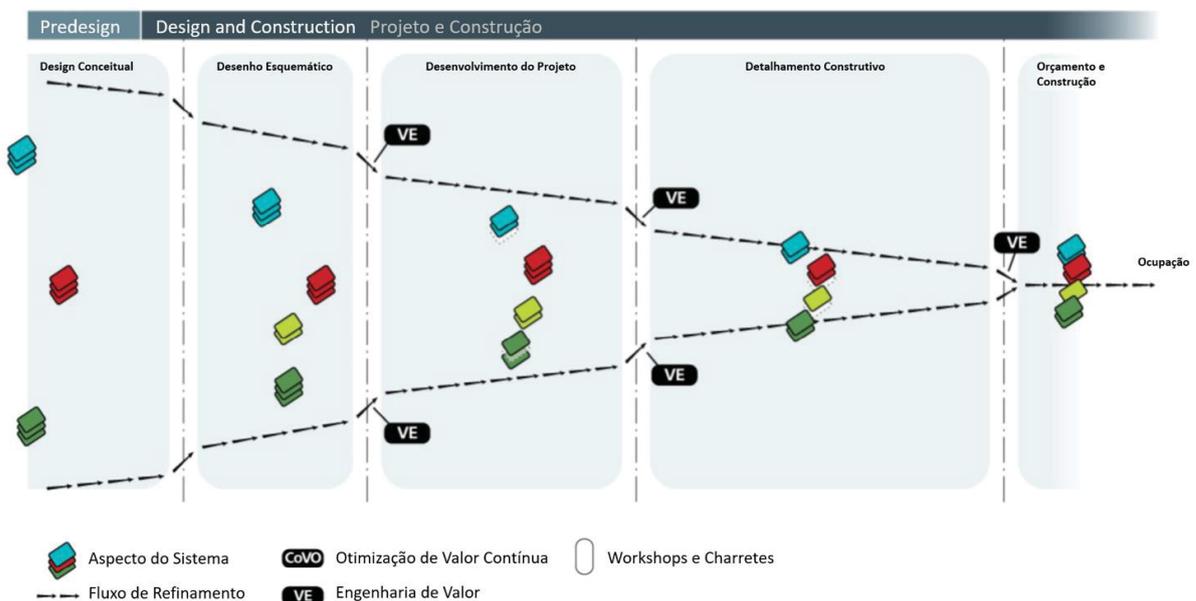
### **1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA**

Conforme descreve a norma NBR 13532, é fundamental a realização da etapa de programa de necessidades de arquitetura (PN), na qual são levantadas as premissas

do projeto, analisadas as questões de ocupação, capacidades, fluxos, definição de usos e sistemas e aspectos de sustentabilidade, eficiência e conforto. Entretanto, observa-se que após a definição das premissas, aqui chamadas de aspectos do sistema, estes são muitas vezes perdidos, especialmente pelos cortes realizados pela engenharia de valor ou pela falta de um processo integrativo (ANSI, 2012).

O manual de processo integrativo, elaborado pelo ANSI (*American National Standards Institute*) descreve a importância de um processo integrativo em comparação com um processo convencional de desenvolvimento de projeto, conforme pode ser verificado nas figuras 1 abaixo:

FIGURA 1 - MODELO PROJETO CONVENCIONAL



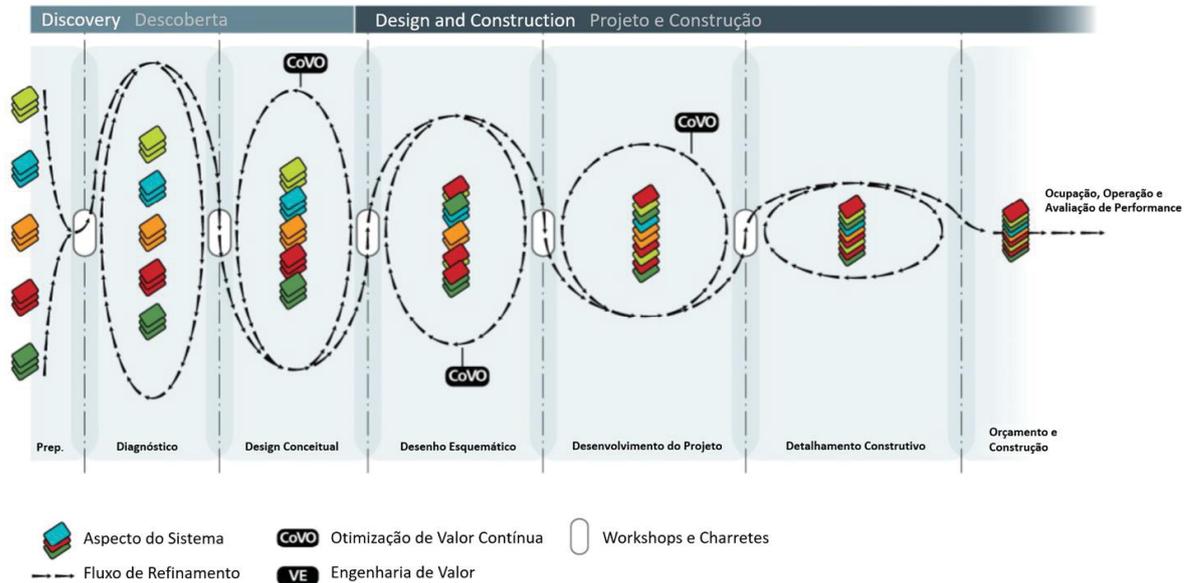
FONTE: ANSI, Design and Construction of Sustainable Buildings and Communities (2012).

A figura acima demonstra como os aspectos do sistema são perdidos com base no avanço das etapas do projeto e com os cortes realizados pela engenharia de valor. Este comportamento também é verificado no que tange os aspectos de eficiência energética do sistema, uma vez que o projeto de arquitetura avança e os projetistas complementares são contratados, fazendo com que as premissas de eficiência sejam descartadas por não terem sido adequadamente planejadas ou inseridas nas discussões das disciplinas correlatas ou por necessitarem de dados e informações que comprovem sua efetividade e melhoria do projeto.

Já no processo integrativo, que é o que se propõe fazer neste estudo de caso, adota-se como premissa o estudo de eficiência energética antes da etapa do programa de necessidades de arquitetura, justamente para fornecer as informações necessárias para uma correta tomada de decisão e guiar a concepção do projeto com base em critérios de eficiência e conforto. Como descreve o manual de processo integrativo elaborado pela ANSI (ANSI, 2012), através de um processo integrativo, as premissas

do projeto são travadas e as disciplinas correlatas são igualmente comunicadas e envolvidas na concepção do projeto, garantindo que as definições realizadas nesta etapa estejam presentes na etapa de projeto executivo, conforme pode ser visto na figura 2.

FIGURA 2 – PROJETO INTEGRATIVO



FONTE: ANSI, Design and Construction of Sustainable Buildings and Communities (2012).

### 1.3. JUSTIFICATIVA

É fundamental que na concepção de um projeto sejam definidas as premissas do proprietário e que as diversas disciplinas de projeto sejam envolvidas ainda antes da fase de concepção do projeto (YUDELSON, JERRY, 2013).

O processo integrativo quando realizado na fase de descoberta de um projeto, garante não só a identificação de interferências no projeto, como também a definição dos aspectos que são essenciais e viáveis ao projeto (GBC BRASIL CONDOMÍNIO, 2017).

Além da necessidade de um processo integrativo, verifica-se a necessidade da utilização de ferramentas assertivas de simulação termo energética, as quais tem caráter preditivo e ajudam a embasar os projetos e guiar a concepção de um projeto.

## 1.4. HIPÓTESE

Um dos principais problemas na adoção de processos integrativos é a tardia constituição das equipes de projeto (DE FIGUEIREDO GITAHY, FRANCISCO; D SILVA GOMES, VANESSA, 2010), além da falta de ferramentas para a avaliação de desempenho do edifício. A metodologia de Avaliação de desempenho do Edifício (PREISER; VISCHER, 2005), é fundamental, pois é através desta que é possível determinar as metas e objetivos do projeto, bem como a avaliação do progresso na concepção do projeto.

Neste sentido, têm-se uma grande dificuldade em incluir no fluxo do projeto a utilização de ferramentas de simulação que visam a orientar o fluxo do projeto, especialmente pela complexidade na interoperabilidade dos softwares.

Atualmente existem diversos softwares de modelagem computacional capazes de realizar simulações preditivas nas mais diversas áreas de impacto da construção civil, tais como eficiência energética, gestão de águas, resíduos, conforto e sustentabilidade. Entretanto, ainda há grande dificuldade na interoperabilidade destes softwares, bem como no tempo decorrente da simulação, o qual pode acarretar em atraso nos projetos (QUEIRÓZ, GABRIEL RAMOS DE.; GRIGOLETTI, GIANE DE CAMPOS; SANTOS, JOAQUIM CÉSAR PIZZUTTI DOS, 2010).

## 1.5. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é demonstrar como as simulações e eficiência energética de uma edificação podem ter relevante impacto na implementação de um sistema fotovoltaico, revelando como a fase de implementação destes estudos é fundamental na definição e adoção de sistemas de geração de energia.

Neste estudo será abordado a comparação entre o dimensionamento de um sistema fotovoltaico entre o método prescritivo e o método da simulação termo energética e como seus resultados são importantes ferramentas para as diretrizes de projeto e concepção arquitetônica.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A importância da simulação termo energética é descrita em diversas normas no que tange ao projeto de um sistema fotovoltaico. Através do procedimento de simulação energética, é possível melhorar a eficiência das edificações, no entanto, é necessário que sejam estipuladas metodologias para as análises matemáticas, a fim de garantir que os resultados das simulações sejam utilizados em grandes escalas para melhorar a eficiência energética das edificações, problemas inerentes ao custo da produção de energia e a dependência de combustíveis fósseis (Tozzi & Jo, 2017). Com base nos arquivos climáticos históricos e em sua disponibilidade, é viável potencializar os estudos de sistemas de simulação de consumo de energia elétrica para o dimensionamento adequado e uso de tecnologias de energia solar em edificações comerciais (Bahadori & Nwaoha, 2013).

Além disso, ressalta-se a importância das metodologias de simulação termo energética, as quais são realizadas através de softwares acreditados por normas e instituições e são realizadas com base em metodologias bem especificadas, a fim de garantir a veracidade dos resultados apresentados (ASHRAE 90.1, 2010).

A importância das ferramentas computacionais para simulação se dá devido à complexidade e grande quantidade de variáveis, para avaliação de conforto ambiental e desempenho energético de edificações. Estas ferramentas devem ser utilizadas desde o início e ao longo de todo o processo, pois são extremamente eficazes para a definição de metas, verificação do atendimento destas e apoio ao desenvolvimento das soluções de projeto, considerando as interdependências e implicações energéticas. Para tanto, é necessária a participação de um especialista em desempenho energético na equipe de projeto, responsável pela condução das simulações, fornecimento de informações específicas e auxílio na análise das soluções de projeto propostas (DE FIGUEIREDO GITAHY, FRANCISCO; D SILVA GOMES, VANESSA, 2010).

Somente após o processo de simulação termo energética é possível definir metas e objetivos para o projeto, assim como definir bases de concepção que irão guiar e orientar a definição de todas as disciplinas envolvidas no projeto.

O processo de simulação também é fundamental para comparar os resultados obtidos através do método prescritivo, no qual serão comparados os valores de irradiação média diária do software de simulação com os mapas de energia solar disponibilizados pela CRECESB (CRESCB, 2022).

### 3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O método de avaliação será através da simulação termo energética, no qual será modelada edificação conforme proposta pelo estudo de viabilidade da arquitetura, na qual será realizado a simulação do potencial de geração de energia com base na previsão de consumo das áreas privativas da edificação.

As análises dos resultados iniciais serão comparadas o potencial de geração da edificação com o consumo sem a adoção de medidas de eficiência energética. Para propor as medidas de eficiência energética serão realizadas simulações complementares de aproveitamento de iluminação natural, a fim de propor medidas de redução na potência instalada. Após as medidas de eficiência energética serão novamente comparados o potencial de energia renovável com o consumo da edificação, a fim de propor diretrizes de projeto que venham a ser perseguidas na concepção do projeto.

O processo de simulação é realizado com base em normas que atendem aos mais altos critérios de qualidade nacional e internacional de conforto, bem-estar e sustentabilidade.

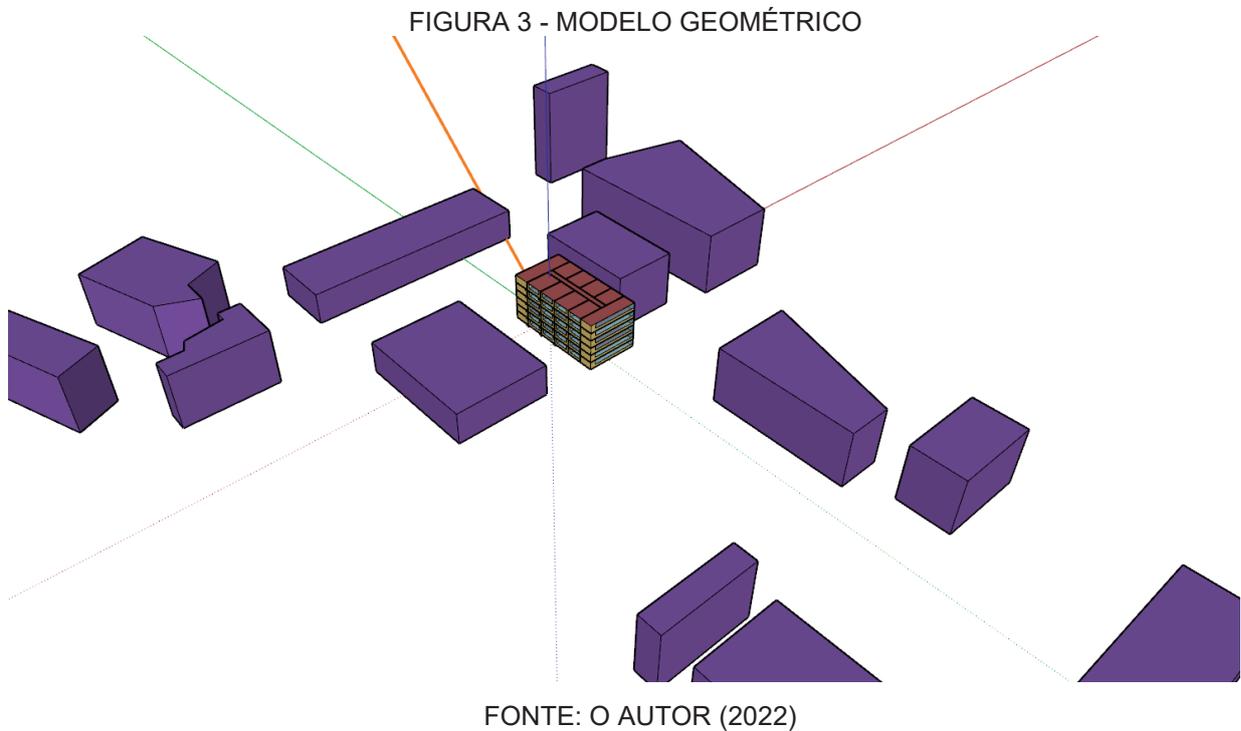
As simulações termo energéticas são realizadas após a elaboração do briefing com o proprietário da edificação, a qual estabelece todos os parâmetros, preferências e obrigatoriedades do estudo com relação aos desejos do cliente.

O dimensionamento da carga térmica e os estudos de eficiência energética são realizados através do software *EnergyPlus* e o processo de modelagem e simulação é realizado em concordância com a norma: *ASHRAE Standard 90.1-2013: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings – 11.2 Simulation General Requirements*.

Para determinação dos níveis de iluminância foi seguido o método da simulação computacional, conforme descrito na norma ABNT NBR 15.575-2013.

O software utilizado para simulação lumínica é o *ClimateStudio*, ferramenta de simulação matemática que atende as especificações estabelecidas pela norma ABNT NBR 15215-3. O procedimento de simulação envolve a reprodução do modelo da edificação no software, o qual permite a avaliação dos parâmetros construtivos da edificação, sendo possível inserir no modelo computacional dados como absorvância das cores, transmitância luminosa, refletâncias e especificar exatamente o padrão

construtivo proposto pela construtora do empreendimento. A figura 3 abaixo demonstra o modelo geométrico utilizado para a simulação computacional.



Além da determinação do padrão construtivo através do software de simulação, é importante realizar a modelagem da vizinhança da edificação, a fim de determinar os possíveis sombreamentos que ao empreendimento possa sofrer, o que tende a causar um prejuízo em relação a disponibilidade de iluminação natural e sombreamentos que irão impactar o potencial de geração de energia.

O sombreamento da vizinhança é determinado com base nos softwares *Google Earth*, *Google Maps* e *Google Street View*, os quais em conjunto permitem identificar as edificações vizinhas, bem como sua correta posição e altura.

Além da determinação da vizinhança no entorno do empreendimento, é importante modelar os próprios dispositivos de sombreamento da edificação, tais como sacadas, gradis, peitoris, muros e afins.

### **3.1. Premissas de Cálculo**

Condições Externas

Temperatura de Bulbo Seco (Verão): 30,9°C

Temperatura de Bulbo Úmido (Verão): 23,2°C

Temperatura de Bulbo Seco (Inverno): 2,4°C

A determinação das temperaturas para o dimensionamento da carga térmica foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 16401-Parte 1, conforme tabela abaixo:

### **3.2. Condições Internas**

Temperatura de Bulbo Seco (Verão): 24,0°C

Temperatura de Bulbo Seco (Inverno): 21,0°C

Umidade Relativa: 50,0%

### **3.3. Cargas Internas e Externas**

O cálculo da carga térmica é realizado com base nos dias de projeto de verão e inverno, descritos acima, nos quais são consideradas as condições climáticas externas e levando em consideração as cargas internas e critérios da envoltória da edificação. Abaixo estão detalhadas cada um dos critérios levados em conta, bem como os valores atribuídos a cada uma das variáveis.

### **3.4. Pessoas**

O total de pessoas para cada ambiente é atribuído conforme layout interno proposto pela equipe arquitetônica do projeto. Os parâmetros de dissipação de calor por pessoas foram retirados do anexo C, tabela C.1, da ABNT NBT 16401-1: 2008.

Sensível: 75 W/pessoa

Latente: 55W/pessoa

### **3.5. Envoltória**

A envoltória da edificação é simulada com base na reconstrução do modelo de arquitetura em um software de modelagem geométrica 3D, o qual é capaz de reproduzir com exatidão as volumetrias de cada ambiente, áreas de aberturas e especificações dos materiais construtivos utilizados na construção.

### 3.5.1. Paredes Externas:

Composição: Argamassa Interna 10 mm + Reboco Interno 25 mm + Bloco Cerâmico 140 mm + Argamassa Externa 25 mm

Espessura da Parede: 200 mm

**Coefficiente Global de Transferência de Calor (U): 1,826 W/m<sup>2</sup>K**

### 3.5.2. Paredes Internas:

Composição: Argamassa Interna 10 mm + Reboco Interno 25 mm + Bloco Cerâmico 140 mm + Argamassa Externa 25 mm

Espessura da Parede: 200 mm

**Coefficiente Global de Transferência de Calor (U): 1,826/m<sup>2</sup>K**

Composição: Argamassa Interna 10 mm + Reboco Interno 25 mm + Bloco Cerâmico 90 mm + Argamassa Externa 25 mm

Espessura da Parede: 150 mm

**Coefficiente Global de Transferência de Calor (U): 2,358 W/m<sup>2</sup>K**

### 3.5.3. Áreas Envidraçadas

Composição: Vidro Laminado Incolor – 6 mm

Caixilhos: Esquadrias Alumínio

Proteção Interna: Venezianas

**Coefficiente Global de Transferência de Calor (U): 5,1 W/m<sup>2</sup>k**

**Fator Solar: 80%**

### 3.5.4. Cobertura

Composição: Placa de Fibrocimento 8 mm + Câmara de Ar + Laje Concreto Maciço

Protendida 220 mm + Câmara de Ar + Forro Drywall 10 mm

Espessura da Cobertura: 238 mm

**Coefficiente Global de Transferência de Calor (U): 2,215 W/m<sup>2</sup>K**

### 3.5.5. Lajes entre Pavimentos

Composição: Piso Cerâmico 10 mm + Contra Piso 30 mm + Laje Concreto Maciço Protendida 220 mm

Espessura da Laje: 260 mm

**Coefficiente Global de Transferência de Calor (U): 3,187 W/m<sup>2</sup>K**

### 3.6. Iluminação

As cargas internas de iluminação foram consideradas com base no projeto luminotécnico para as áreas climatizadas do empreendimento. Quando o projeto luminotécnico não está disponível para um ambiente ou na totalidade do projeto, foram considerados os valores estabelecidos pela norma: *ASHRAE Standard 90.1-2013: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings – Chapter 9, Lighting – Section 9.6 Space-by-Space Method*, a qual determina as densidades de potência de diversos ambientes de uso comum.

### 3.7. Equipamentos:

As cargas internas provenientes dos equipamentos foram colocadas de acordo com o layout proposto pela equipe de arquitetura e os valores de densidade de potência dos equipamentos foram definidos com base na norma *ASHRAE FUNDAMENTAL 2017 – Chapter 18, Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations – Section 2.4, Appliances* e da norma da ABNT NBR 16401-1:2008 – *Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários parte 1: Projetos das instalações, Anexo C: Fontes internas de calor e umidade, Tabelas C.2 à C.10.*

### 3.8. Infiltrações:

Foram consideradas que as janelas, portas e demais aberturas encontram-se fechadas, não sendo atribuídas taxas de infiltrações do ar externo ou fuga do ar tratado.

### 3.9. Renovação e Extração de Ar

As taxas de renovação de ar foram consideradas de acordo com a ocupação de cada um dos ambientes, segundo as normas: Norma da ABNT NBR 16401-3/2008 – *Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do Ar Interior* e *ASHRAE Standard 62.1-2013: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.*

O cálculo da vazão para cada ambiente é realizado através da seguinte fórmula:

$$V_{ef} = Pz * Fp + Az * Fa$$

Onde,

$V_{ef}$  é a vazão eficaz de ar exterior, expressa em litros por segundo (L/s);

$Fp$  é a vazão por pessoa, expressa em litros por segundo (L/s\*pessoa);

$Fa$  é a vazão por área útil ocupada (L/s\* m<sup>2</sup>);

$Pz$  é o número máximo de pessoas na zona de ventilação;

$Az$  é a área útil ocupada pelas pessoas, expressa em metros quadrados (m<sup>2</sup>).

### **Considerações:**

O software utilizado para o dimensionamento da carga térmica é o *EnergyPlus*, versão 9.0, desenvolvido pelo *U.S Department of Energy's (DOE) e Building Technologies Office (BTO)*. O software *EnergyPlus* é largamente reconhecido com uma das ferramentas mais robustas do mercado para realizar simulações termo energéticas como a determinação da carga térmica de um ambiente. A simulação termo energética é realizada de acordo com a norma: *ASHRAE Standard 90.1-2013: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, Normative Appendix G Performance Rating Method, Section G2 - Simulation General Requirements and Section G3 – Calculation of the Proposed and Baseline Building Performance, table G3.1 – Modeling Requirements for Calculating Proposed and Baseline Building Performance.*

Para o dimensionamento da carga térmica do empreendimento não foram considerados fatores de segurança, conforme item 7 Critérios de projeto do sistema da norma ABNT NBR 16401-1:2008.

O projeto em questão trata-se de um edifício corporativo, localizado na avenida Sete de Setembro 5708, na cidade de Curitiba – PR. O empreendimento possui uma área total de 4.332,00 m<sup>2</sup>, distribuídos em seis pavimentos, sendo distribuídos em 10 escritórios por pavimentos, conforme planta demonstrada na figura 4 abaixo.

NOME: Edifício X

CIDADE: CURITIBA-PR

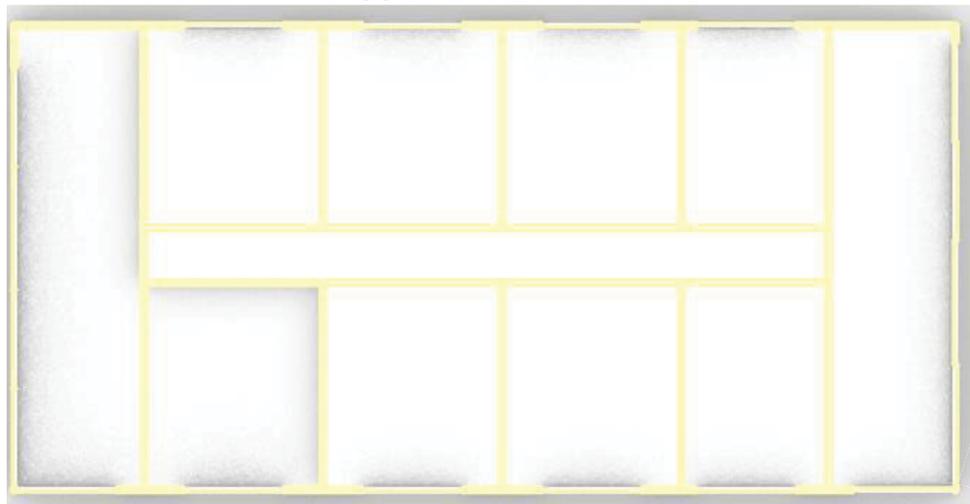
ESTADO: PARANÁ

LATITUDE: 25,52 S

LONGITUDE: 49,17 W

ALTITUDE MÉDIA: 908 metros

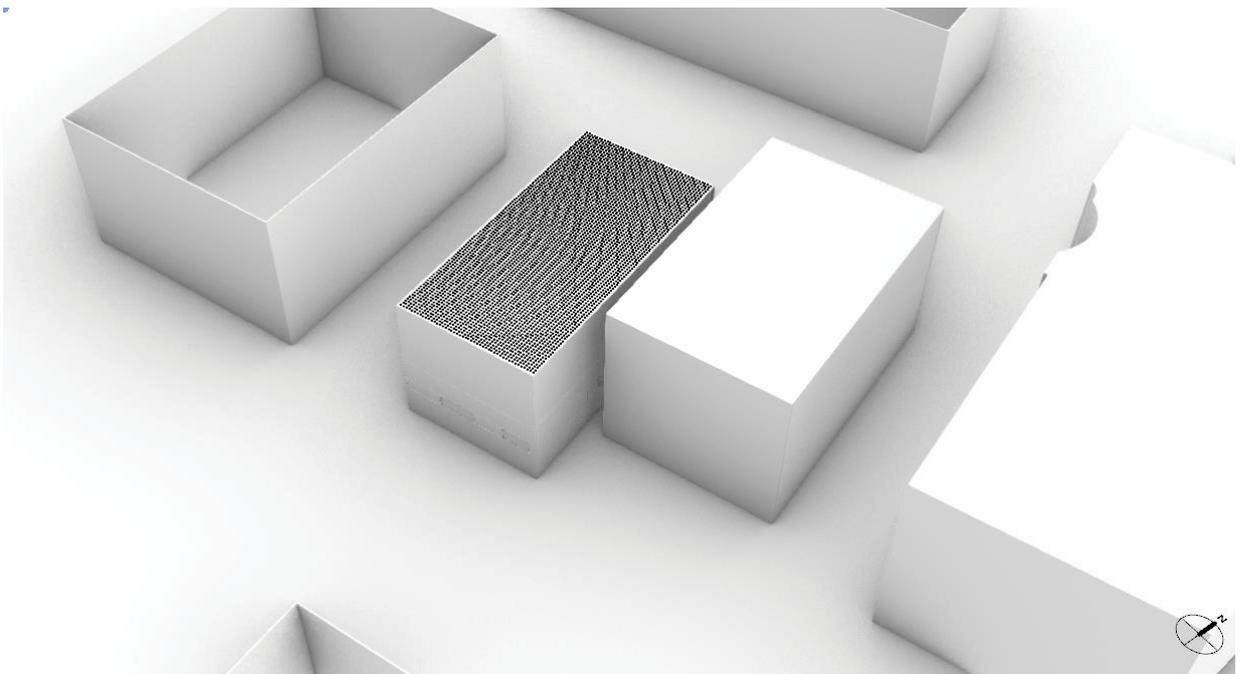
FIGURA 4. ÁREAS INTERNAS



FONTE: O AUTOR (2022)

Inicialmente optou-se pela avaliação do potencial de energia fotovoltaico no plano horizontal da edificação, uma vez que não há ainda detalhamento da cobertura, uma vez que esta será direcionada também com base no estudo de posicionamento dos painéis. A figura 5 abaixo detalha o modelo de simulação do potencial de energia no plano horizontal.

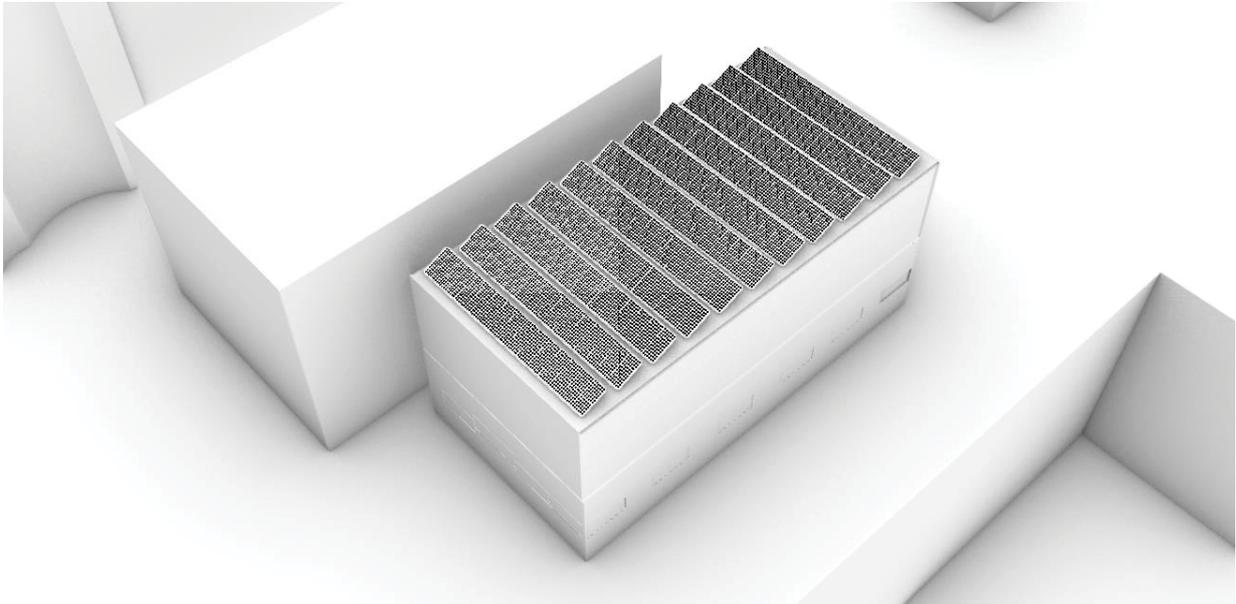
FIGURA 5 - MODELO DE GERAÇÃO NO PLANO HORIZONTAL



FONTE: O AUTOR (2022)

Após a avaliação do potencial de geração no plano horizontal foram analisados os potenciais de geração no plano inclinado, conforme figura 6 abaixo.

FIGURA 6 - MODELO DE GERAÇÃO NO PLANO INCLINADO



FONTE: O AUTOR (2022)

Estes modelos permitem comparar os resultados obtidos de um modelo hipotético com o modelo real, no qual será previsto o maior potencial de geração possível. Com base nestes resultados é possível comparar o potencial de geração com o consumo simulado da edificação, a fim de propor e fixar as bases de concepção do projeto.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A simulação do potencial de energia renovável demonstra que é possível gerar o equivalente a 1519 kWh/ano.m<sup>2</sup> ou seja, com base na área de telhado de 699,4 m<sup>2</sup>, temos um geração média diária de 2911 kWh/dia. Logo, este valor demonstra que o software de simulação obtém resultado próximo aos valores fornecidos pelos atlas de energia solar (CRECESB, 2022). A imagem abaixo demonstra a irradiação diária média para a cidade de Curitiba-PR, na qual verifica-se que a irradiação diária média varia de 4,19 a 4,21 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Já no modelo da simulação é obtido o valor de 4,16 kWh/m<sup>2</sup>.dia, o que demonstra que o método prescritivo possui uma tendência superdimensionar a geração de energia. Logo, o resultado obtido pela simulação no plano horizontal demonstra que a precisão obtida pelo software é uma importante

ferramenta para o correto dimensionamento dos sistemas de geração e para que não haja quebra de expectativa para com as premissas estabelecidas.

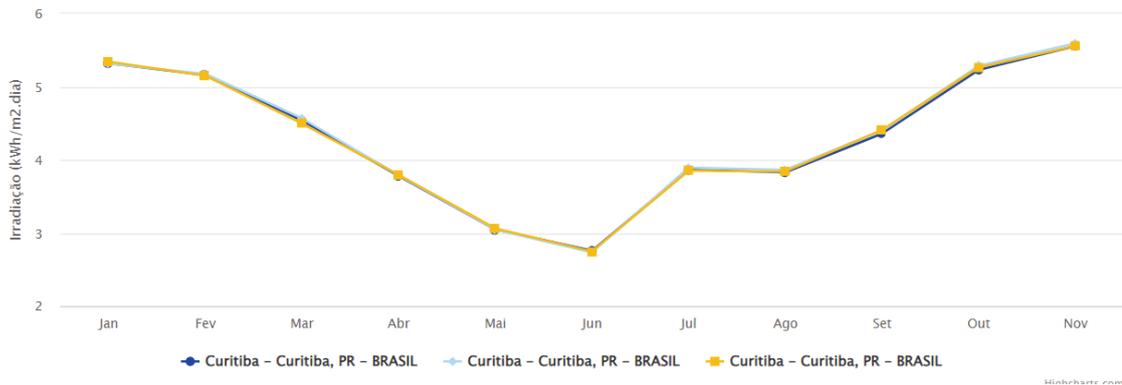
FIGURA 7 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE CURITIBA-PR

Latitude: 25,42° S  
Longitude: 49,27° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]												Média	Delta				
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			Out	Nov	Dez	
<input checked="" type="checkbox"/>	Curitiba	Curitiba	PR	BRASIL	25,401° S	49,249° O	3,0	5,32	5,16	4,54	3,78	3,05	<b>2,76</b>	2,89	3,86	3,83	4,36	5,23	<b>5,56</b>	<b>4,19</b>	<b>2,80</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Curitiba	Curitiba	PR	BRASIL	25,401° S	49,349° O		8,2	5,31	5,18	4,57	3,79	3,05	<b>2,74</b>	2,90	3,89	3,86	4,41	5,29	<b>5,59</b>	<b>4,21</b>	<b>2,86</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	Curitiba	Curitiba	PR	BRASIL	25,5° S	49,249° O		9,2	5,34	5,15	4,50	3,79	3,06	<b>2,75</b>	2,90	3,85	3,84	4,41	5,26	<b>5,56</b>	<b>4,20</b>	<b>2,81</b>

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

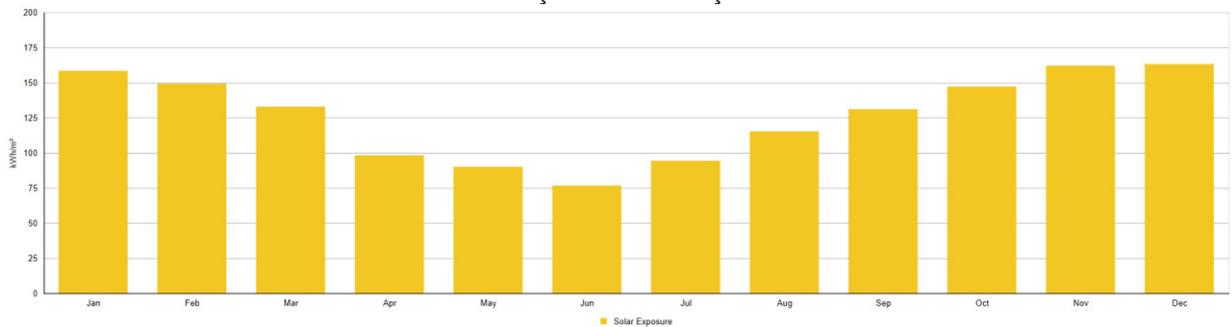
25,42° S; 49,27° O



FONTE: CRECESB(2022)

Outro ponto relevante é demonstrar que o comportamento da geração de energia mensal possui comportamento semelhante na variação dos meses, como pode ser comparado através da figura 7 com a figura 8 abaixo, na qual é descrita a variação de geração mês a mês para o modelo simulado.

FIGURA 8 - VARIAÇÃO IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA



FONTE: O AUTOR (2022)

Esta simulação é importante a fim de mostrar o potencial máximo de geração com base na área de telhado da edificação a ser construída, entretanto, essa geração é hipotética, uma vez que desconsidera o espaçamento entre as placas, áreas de

manutenção e a futura área de implantação do barrilete, caixa d' água e demais instalações que servirão como casa de máquinas.

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (CRESCESB, 2022), o maior potencial de geração para a cidade de Curitiba, ocorre quando dá inclinação dos painéis fotovoltaicos com valores semelhantes a latitude da cidade de Curitiba-PR, ou seja, uma inclinação de 25°. Através deste modelo é possível obter uma irradiação média diária de 4,39 kWh/m<sup>2</sup>.dia, conforme demonstra a figura 9 abaixo.

FIGURA 9 - IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA NO PLANO INCLINADO PARA CURITIBA-PR

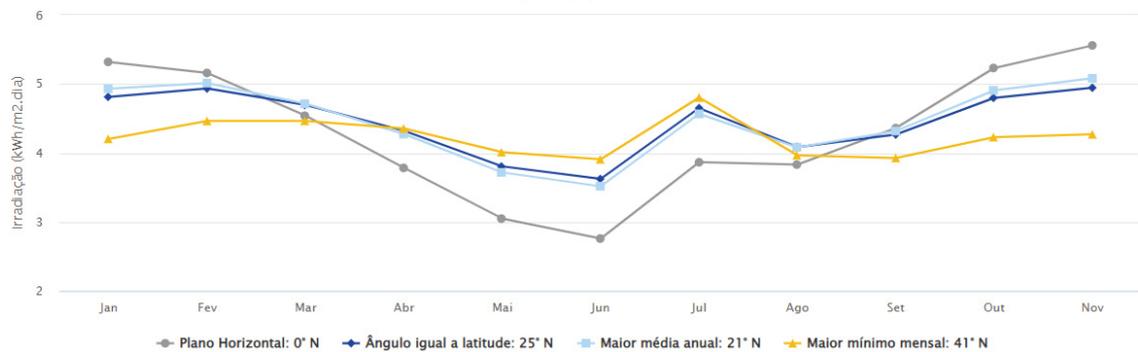
Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Curitiba  
Município: Curitiba, PR - BRASIL  
Latitude: 25,401° S  
Longitude: 49,249° O  
Distância do ponto de ref. (25,42° S; 49,27° O): 3,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,32	5,16	4,54	3,78	3,05	2,76	2,89	3,86	3,83	4,36	5,23	5,56	4,19	2,80
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	25° N	4,81	4,93	4,69	4,32	3,80	3,62	3,72	4,65	4,08	4,26	4,80	4,94	4,39	1,32
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	4,93	5,01	4,71	4,27	3,72	3,52	3,62	4,57	4,08	4,32	4,91	5,08	4,39	1,56
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	41° N	4,20	4,46	4,46	4,35	4,01	3,91	3,97	4,80	3,97	3,93	4,23	4,27	4,21	,90

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Curitiba–Curitiba, PR–BRASIL

25,401° S; 49,249° O

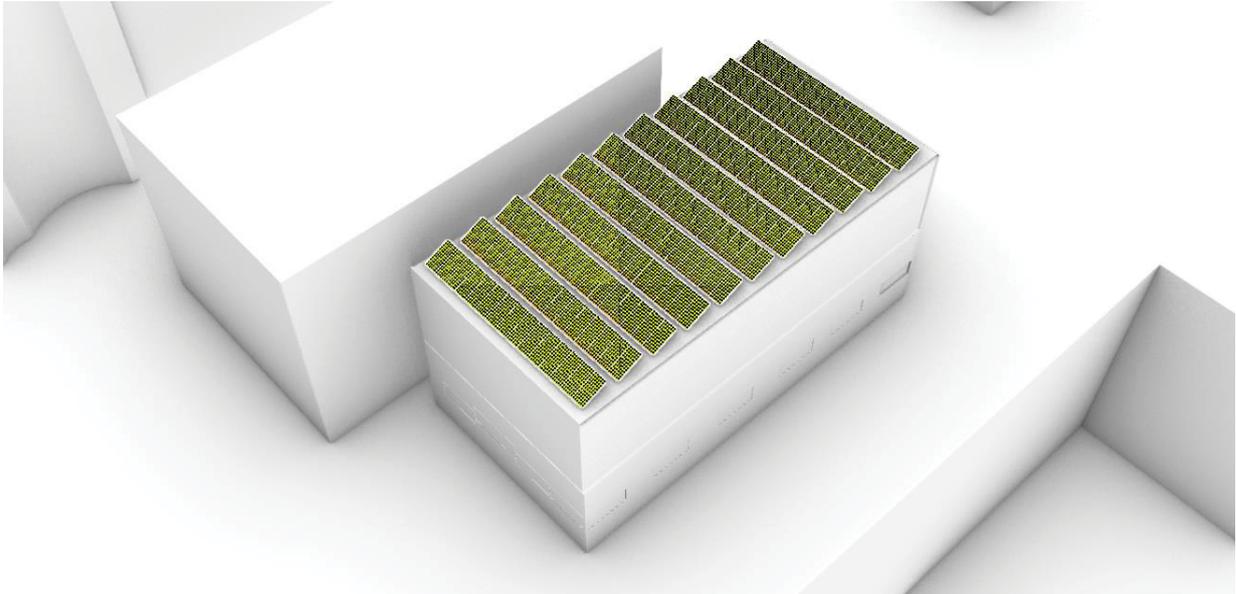


FONTE: CRECESB (2022)

Já a simulação energética com base no programa Climate Studio demonstra que é possível gerar um total 1840 kWh/dia através da instalação de 165 painéis fotovoltaicos instalados conforme a figura 10 abaixo.

Porém, é importante destacar que a geração através de 165 painéis não contabiliza as áreas de barrilete ou áreas necessárias de manutenção, sendo apenas uma validação da geração máxima disponível e como método de comparação entre o método prescritivo e de simulação termo energética.

FIGURA 10 - POTENCIAL DE GERAÇÃO NO PLANO INCLINADO



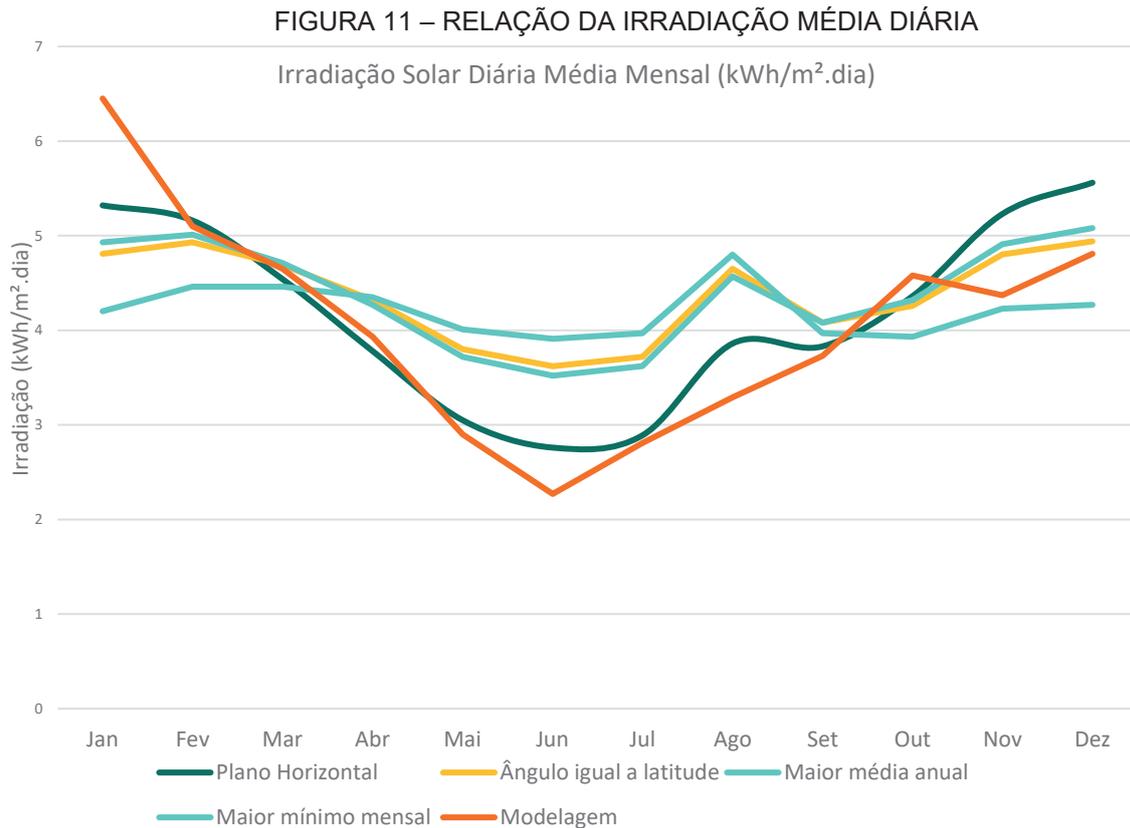
FONTE: O AUTOR (2022)

Considerando as seguintes especificações técnicas dos painéis fotovoltaicos:

- Cobertura máxima: 440,60 m<sup>2</sup>
- 165 placas, com 510 Wp cada
- 20% para eficiência de placas
- 80% para eficiência de transmissão

Obtém-se uma geração 1524 kWh/m<sup>2</sup>.ano, o que corresponde a uma irradiação média de 4,18 kWh/ m<sup>2</sup>.dia. Deste resultado destaca-se que a simulação oferece a possibilidade de considerar a envoltória da edificação nos cálculos, tais como os sombreamentos provenientes dos prédios vizinhos.

Esse é um importante fator comparativo entre os métodos prescritivos e de simulação energética, uma vez que com base no Atlas Brasileiro de Energia Solar (CRESCER, 2022), é obtida uma irradiação média diária de 4,39 kWh/m<sup>2</sup>.dia, valor este 5,02% acima do valor obtido através da simulação. A Figura 11 demonstra a variação dos valores de irradiação média presentes no Atlas Brasileiro de Energia Solar e o valor simulado.



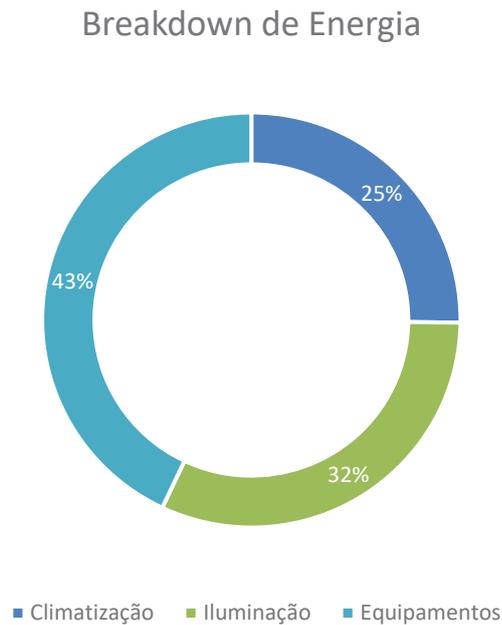
FONTE: O AUTOR (2022)

Este resultado pode parecer uma pequena variação, porém quando comparados o valor de geração anual, obtém-se uma diferença de 33.771,99 kWh/ano de geração de energia, o que aplicando a média da tarifa conforme disponibilizado pela COPEL, a qual estabelece um valor de 0,8315 R\$/kWh, temos uma diferença anual de R\$ 28.083,44 no valor que seria gerado pelo método prescritivo em relação ao método da simulação energética.

Este resultado demonstra que o não refinamento no dimensionamento do projeto de geração de energia através do método da simulação pode ser um grande equívoco nas premissas do projeto, especialmente quando se fala em tempo de retorno para a instalação dos painéis.

Quando analisado o perfil de consumo da edificação, obtém-se um consumo anual de 421.715,80 kWh/ano, o qual corresponde somente as áreas privativas da edificação, a qual é o foco do projeto de geração de energia. Neste sentido, obtém-se que o perfil de consumo das áreas comuns é distribuído com base na seguinte proporção presente na figura 12.

FIGURA 12 – BREAKDOWN DE ENERGIA



FONTE: O AUTOR (2022)

Deste resultado ressalta-se que o consumo de equipamentos não pode ser alterado, uma vez que não é possível controlar os equipamentos que serão adquiridos pelos locatários, logo as medidas de eficiência energética devem ser voltadas para o consumo de iluminação e climatização.

Além destas conclusões, observa-se que o modelo hipotético de geração, seria responsável por uma geração equivalente a 162% do consumo das áreas privativas da edificação. Porém, é necessário também considerar as perdas inerentes a transmissão da energia elétrica e eficiência do painel fotovoltaico. Considerando a eficiência do sistema como 80% (HENNINGSS OCH, STEPHAN, 2020), obtemos um potencial de geração de energia de 107.140,77 kWh, o que representa um total de 25,41% do consumo das áreas privativas da edificação. Este resultado dá a medida de como é importante realizar as simulações preditivas, a fim de otimizar os ganhos e os investimentos na geração de energia.

Logo, observa-se que seria necessário a instalação de um sistema com 650 painéis fotovoltaicos para a geração de 100% do consumo da área privativa da edificação, ao invés dos 165 painéis que seriam possíveis instalar na área disponível de telhado.

A geração através de 650 painéis seria possível com a utilização de uma área de 1.729,00 m<sup>2</sup> da área de telhado, o que não seria possível, uma vez que a área

total de telhado corresponde a 699,40 m<sup>2</sup>. Assim fica evidente que para essa tipologia de edificação, não é possível obter o chamado edifício NET ZERO, o qual é capaz de gerar toda a energia consumida em seu uso.

Este é um resultado relevante, uma vez que dá a correta dimensão da dificuldade técnica e prática para a obtenção de um edifício net zero, uma vez que seria necessário um processo de eficiência energética extremamente rígido para com as diretrizes do projeto, a fim de garantir o menor consumo possível da edificação.

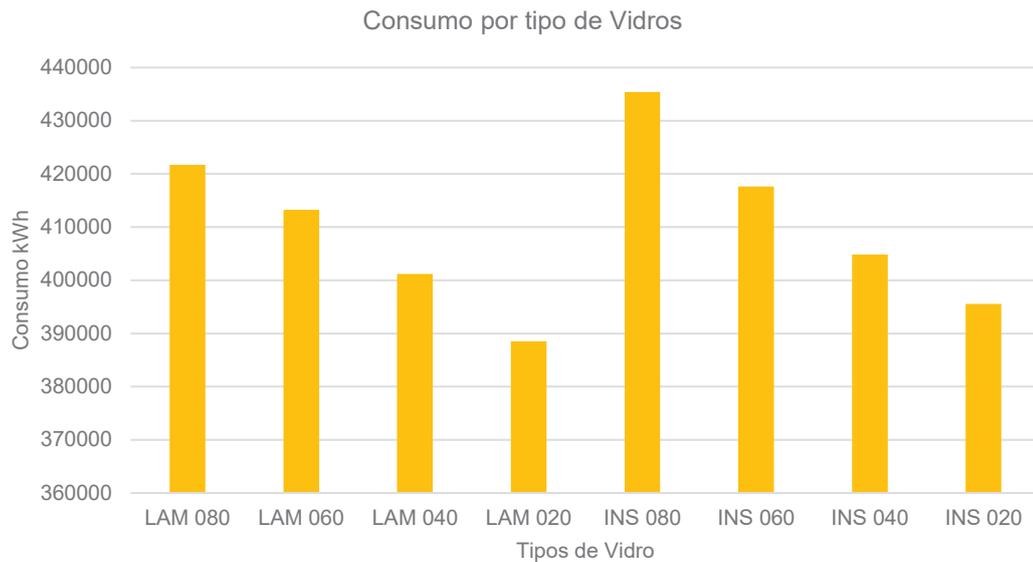
O resultado demonstrado pela simulação energética também vai na contramão do processo de orçamentação das soluções que envolvem geração de energia, uma vez que existe a prática comum no mercado de realizar o dimensionamento com base na área disponível e correlacionando a área com a irradiação média diária fornecida pelo Atlas de Energia Solar Brasileiro (CRECESB, 2022). Essa prática não difere do dimensionamento que é realizado para os sistemas de climatização e iluminação e que sem o devido apoio do processo de simulação matemática, também incorrem em erros de dimensionamento e na quebra de expectativas das premissas de eficiência energética e sustentabilidade do projeto.

Este é um importante resultado, uma vez que a premissa do projeto é a geração de 100% do consumo das áreas comuns e o correto direcionamento do projeto de arquitetura, a fim de otimizar as áreas de cobertura da edificação. Logo, fica claro que mesmo com a adoção de medidas de eficiência energética, não há possibilidade de geração de energia para 100% das áreas privativas da edificação.

Entretanto, é importante ressaltar que estes resultados foram obtidos sem a adoção das medidas de eficiência energética e conforme (DE FIGUEIREDO GITAHY, FRANCISCO; D SILVA GOMES, VANESSA, 2010), o sucesso do processo integrativo, consiste na integração das diversas disciplinas do projeto o mais rápido possível nas discussões de projeto.

Com base nas simulações termo energética realizadas no programa *EnergyPlus*, verifica-se que a variação do fator solar do vidro e da sua transmitância térmica, resulta em uma redução de até 7,88% no consumo anual da edificação, o que novamente pode representar um total de R\$ 27.616,28 de redução anual no consumo da edificação. A figura 13 abaixo demonstra a variação do consumo anual da edificação com base na seleção do tipo de vidro.

FIGURA 13 - VARIAÇÃO DE CONSUMO POR TIPO DE VIROS



FONTE: O AUTOR (2022)

A utilização de um vidro laminado com fator de 40% e transmitância térmica de  $5,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  resulta em um consumo de 401.181,80 kWh/ano das áreas privativas da edificação, o que representa uma redução para 155 painéis fotovoltaicos, a fim de gerar 25% do consumo da área privativa dos escritórios.

Conforme mencionado anteriormente, as medidas de eficiência energética podem ser as mais variadas possíveis, desde a seleção do padrão construtivo através da seleção do vidro, como através da especificação de sistemas de iluminação, climatização, equipamentos eficientes, elevadores e bombas. Porém, como esta trata-se de uma análise inicial, não há direcionamento com base nos projetos complementares, uma vez que o processo integrativo tem como objetivo a avaliação conjunta destes itens.

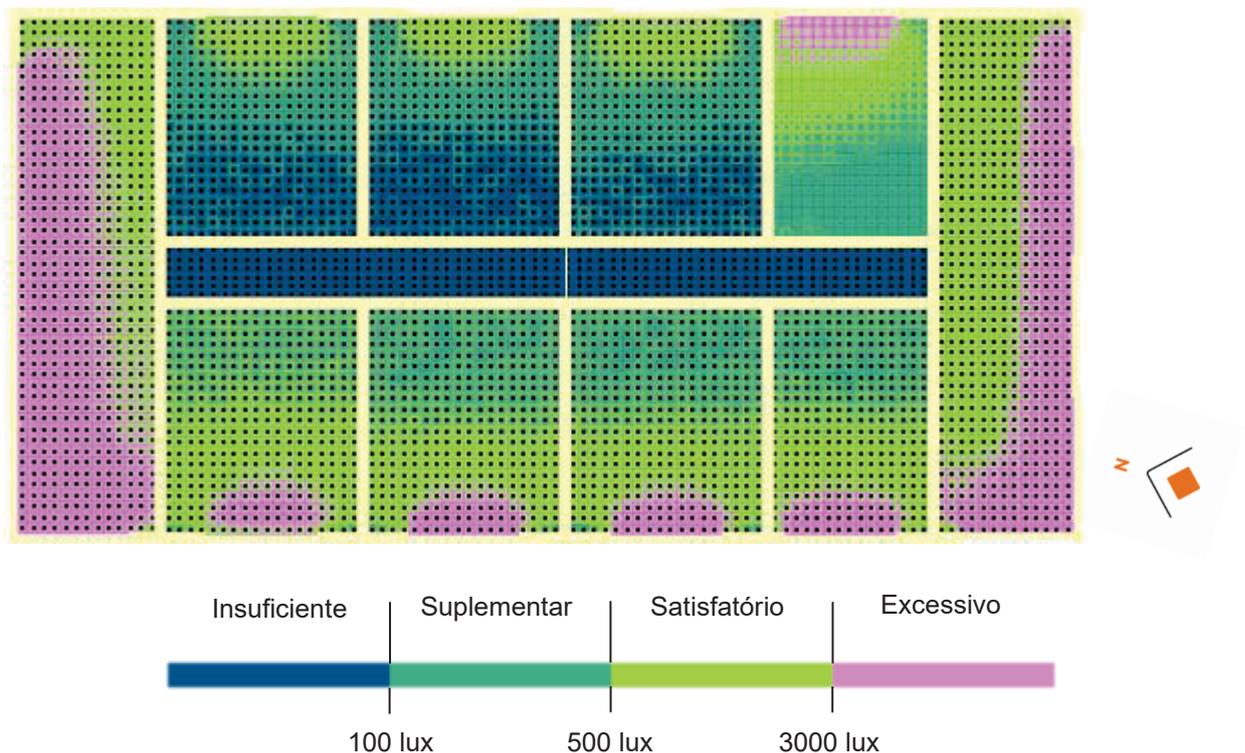
Para propor as medidas de eficiência energética no sistema de iluminação são utilizadas novamente as simulações termo energéticas, a fim de embasar as premissas que serão adotadas neste projeto. Logo, optou-se pela análise de separação dos circuitos de iluminação com o intuito de restringir o uso da iluminação artificial nos momentos que os níveis de iluminância são supridos com base na iluminação natural.

Para esta análise foi realizada a simulação de autonomia de iluminação natural, a qual avalia o nível de iluminância acima de 500 lux por pelo menos 50% do tempo de uso do ambiente.

Este é um importante indicador de autonomia de iluminação natural e esta simulação é realizada com base nos parâmetros estabelecidos pela certificação *LEED v4.1 Option 1 (Leadership in Energy and Environmental Design)*.

O resultado da figura 14 demonstra a simulação de autonomia de iluminação natural na edificação proposta.

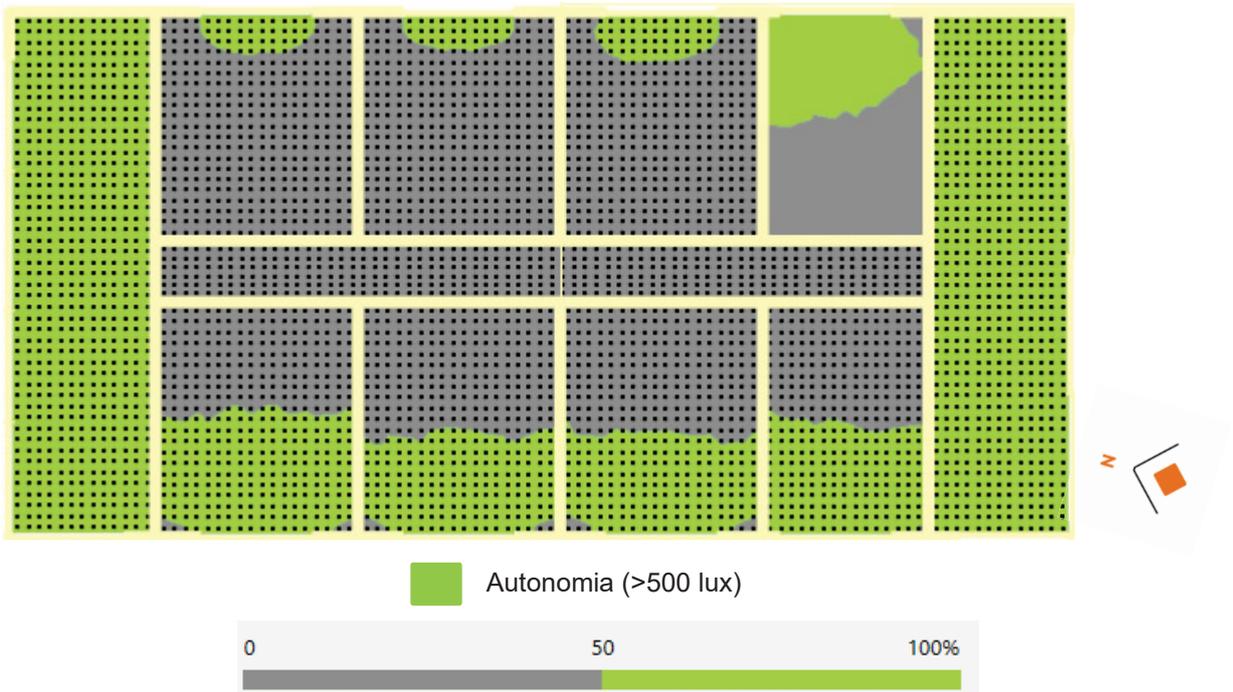
FIGURA 14 – ILUMINÂNCIA MÉDIA POR AMBIENTE



FONTE: O AUTOR (2022)

A simulação demonstra que todos os ambientes obtêm expressivo resultado quando avaliada a disponibilidade de iluminação natural. A imagem abaixo demonstra quais ambientes possuem disponibilidade de 500 lux de iluminância por pelo menos 50% do tempo de uso do ambiente. Este resultado é importante, pois demonstra que é possível obter um nível de iluminância de 500 lux nas estações de trabalho, valor este que é o necessário para desenvolvimento de atividades de escritório, conforme a norma ABNT NBR ISO-CIE 8995-2013.

FIGURA 15 - AUTONOMIA DE ILUMINAÇÃO NATURAL

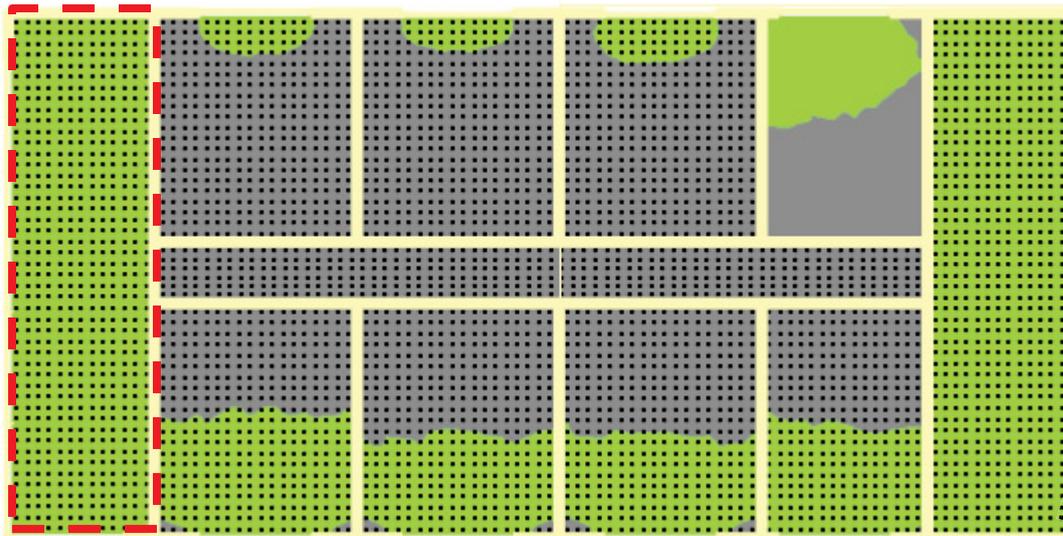


FONTE: O AUTOR (2022)

Deste resultado, obtém-se que é possível propor um cenário de redução da potência instalada de iluminação de aproximadamente 50%, com base na seleção de luminárias dimerizáveis. Este resultado é possível através da análise separadamente de cada ambiente, no qual é possível verificar o nível de iluminância obtido ao longo de todo o ano.

Por exemplo, quando se avalia o escritório com face norte separadamente, observa-se que há disponibilidade de iluminação natural ao longo de todo o ano. A figura 16 demonstra o ambiente analisado separadamente.

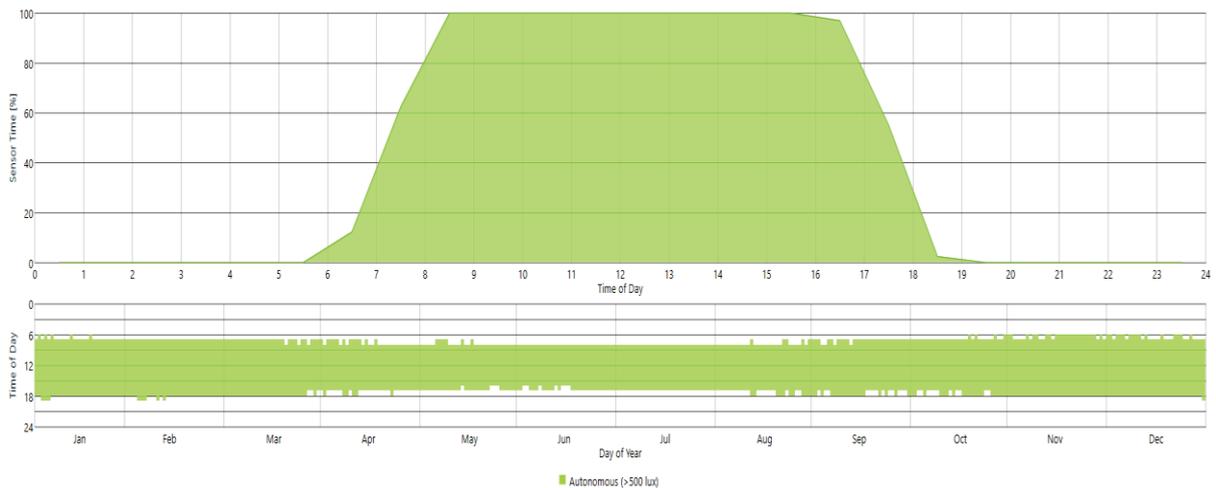
FIGURA 16 - AMBIENTE ANALISADO



FONTE: O autor (2022)

Com base na análise do ponto central do ambiente, verifica-se que há disponibilidade de um nível de iluminância de pelo menos 500 lux das 7:30 até às 18:00 ao longo do ano todo. A figura 17 demonstra este resultado com base no *output* da simulação de iluminação natural.

Figura 17 - AUTONOMIA DE ILUMINAÇÃO NATURAL AO LONGO DO ANO

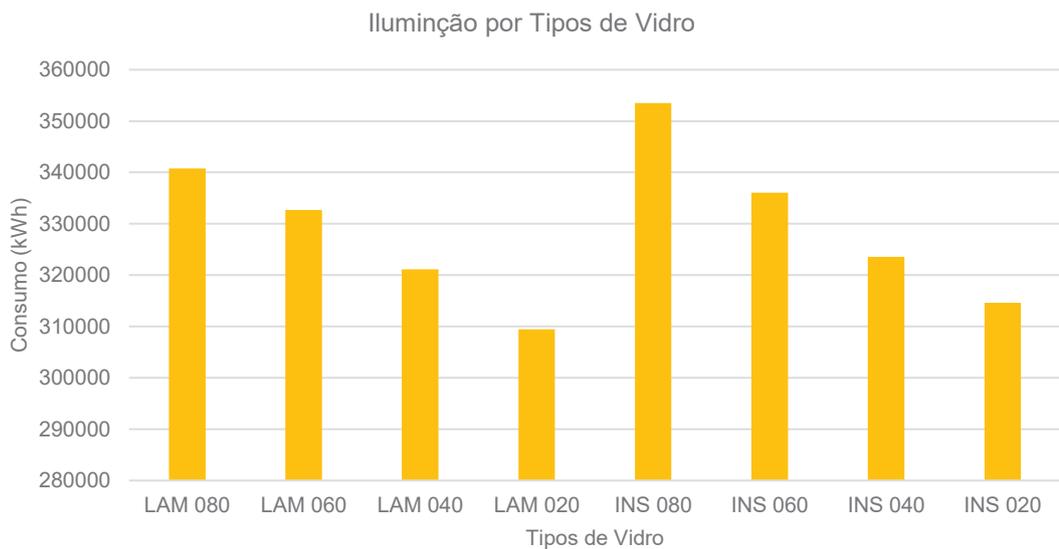


FONTE: O AUTOR (2022)

A redução da potência instalada de iluminação só é possível através da correta seleção de luminárias e separação dos circuitos, porém este resultado novamente comprova a importância destas análises prévias e do processo integrativo, uma vez que estas análises serão importantes ferramentas para os projetistas de interiores e

elétrica atenderem as premissas de eficiência energética. A figura 18 abaixo demonstra o consumo das áreas privativas com base nos cenários de redução de potência instalada.

FIGURA 18 - VARIAÇÃO DE CONSUMO NO CENÁRIO DE ILUMINAÇÃO



FONTE: O AUTOR (2022)

Este resultado demonstra que as análises de iluminação natural, são extremamente relevantes para o consumo da edificação, uma vez que o consumo no modelo proposto vai de 421.715,80 kWh/ano para 340.747,70 kWh/ano no cenário de eficiência energética de iluminação com um vidro laminado de fator solar de 80%.

O resultado representa uma instalação de 132 painéis fotovoltaicos para a geração de 25% do consumo da área privativa da edificação.

Esta análise é vital na análise de eficiência energética da edificação, uma vez que somente com essas análises é possível obter uma redução de aproximadamente 33 painéis instalados em relação a versão inicial do projeto, na qual eram previstos 165 painéis instalados. A instalação dos 132 painéis representa uma área de 351,12 m<sup>2</sup> da área de cobertura, o que resulta em uma área de 348,28 m<sup>2</sup> livre de cobertura.

Fazendo uso do processo de simulação paramétrica, obtém-se também uma perspectiva em relação a uso de um sistema de climatização centralizado ao invés de um sistema individualizado para cada zona térmica.

Para isso é utilizado a simulação para avaliar a substituição de um sistema convencional do tipo split por um sistema do tipo VRF (Variable Refrigerant Flow), o qual possui um coeficiente de performance de 4,20 W/W. As simulações demonstram que o sistema VRF propicia uma redução de até 13,97% no consumo das áreas privativas da edificação, porém nota-se que para a utilização de um vidro *clear* (Fator U de 5,2 W/m<sup>2</sup>K e Fator Solar de 80%), a redução em relação ao padrão proposto seria de apenas 7,96% contra uma redução de 19,20% através da adoção de sistemas de iluminação dimerizáveis.

Este resultado demonstra que as simulações paramétricas são importantes ferramentas também na comparação das possíveis soluções e o direcionamento do melhor investimento possível.

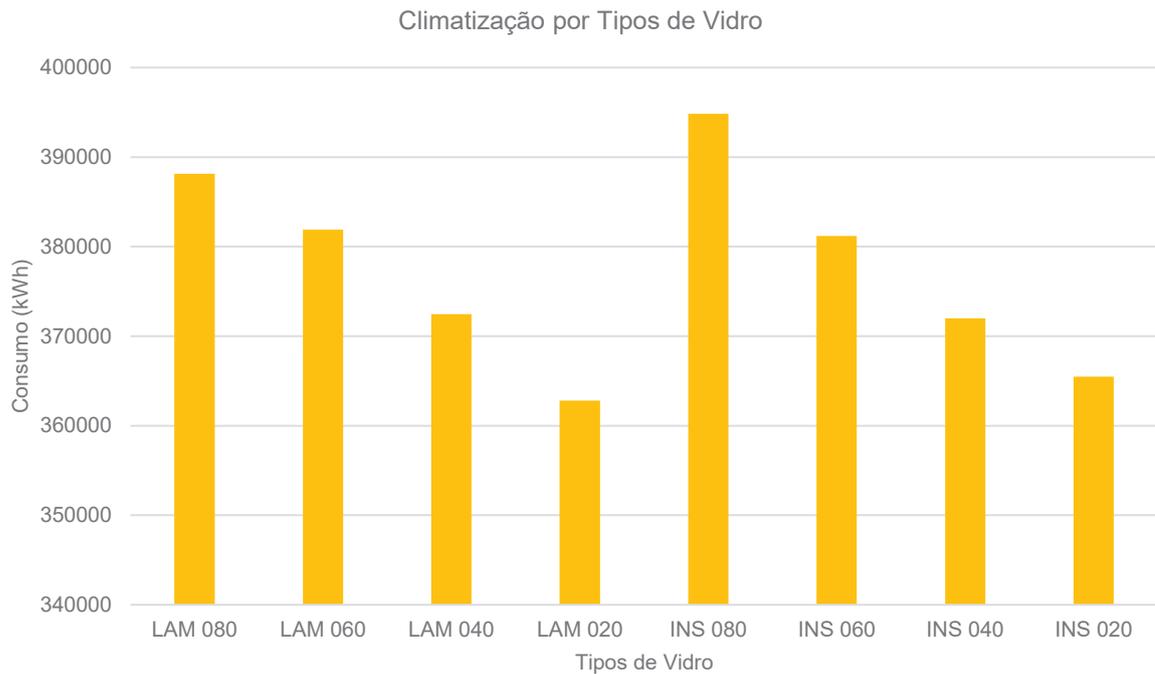
A adoção de um sistema de climatização centralizado, permite a geração de 25% do consumo das áreas da edificação através da implantação de 150 painéis fotovoltaicos. Essa quantidade de painéis corresponde a uma área de 399,00 m<sup>2</sup> e uma área livre de cobertura de 300,04 m<sup>2</sup>. Na tabela 1 abaixo é possível verificar um comparativo entre as simulações de eficiência energética, potencial de geração, número de placas necessário para geração de 25% do consumo, área necessária e área livre.

Tabela 1 - POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO

Modelo	Geração Necessária (kWh)	Número Placas	Área Necessária (m <sup>2</sup> )	Área Livre (m <sup>2</sup> )
Padrão Mercado	421.715,80	165	438,90	260,50
Eficiência Iluminação	340.747,70	132	351,12	348,28
Eficiência Climatização	388.139,70	150	399,00	300,04

A imagem abaixo demonstra a variação de consumo do sistema de climatização com base na variação do tipo de vidros.

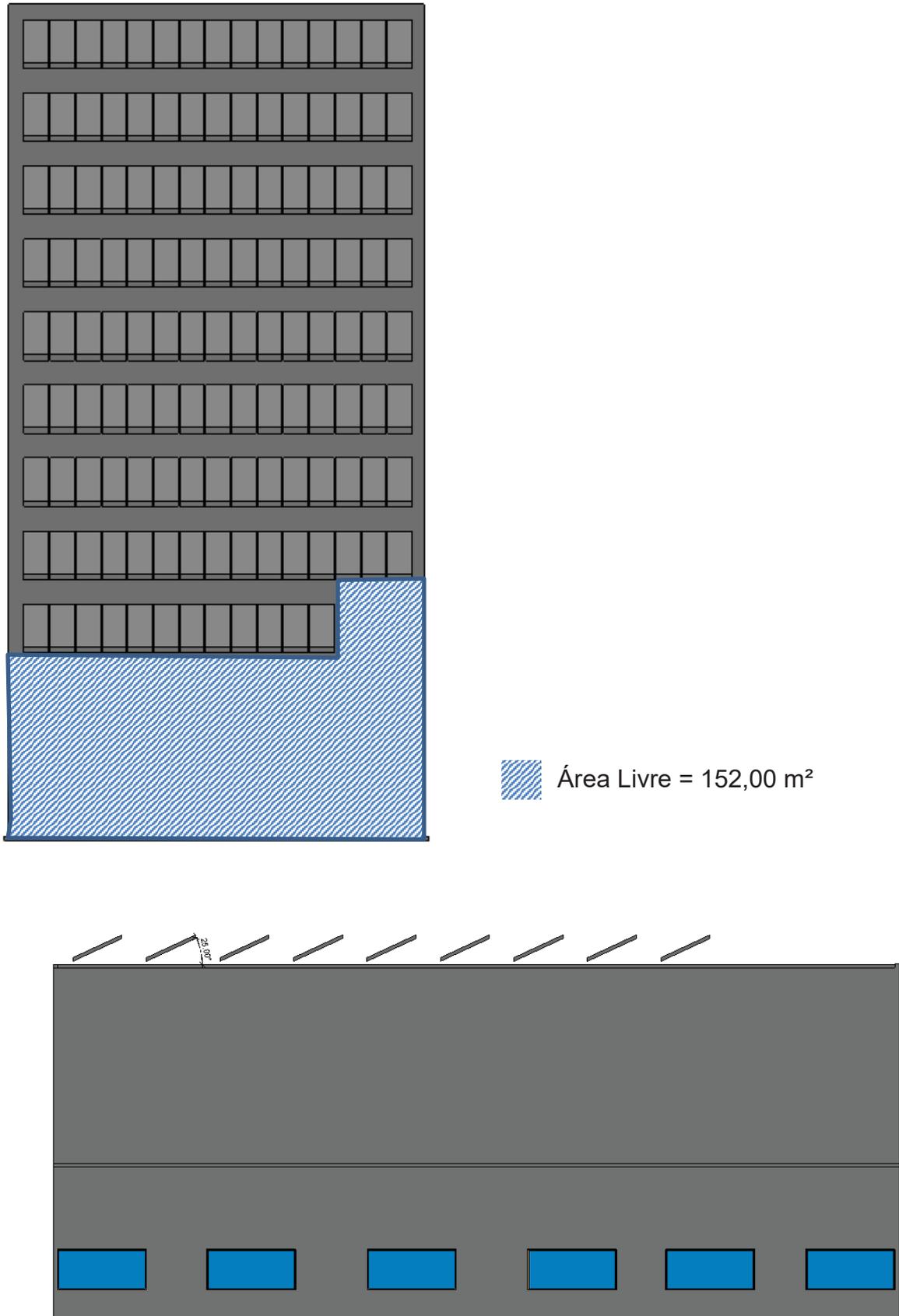
FIGURA 19 - VARIAÇÃO NO CONSUMO NO CENÁRIO DE CLIMATIZAÇÃO



FONTE: O autor (2022)

As simulações paramétricas, demonstram que é possível gerar 25% das áreas privadas com base na instalação de 132 painéis fotovoltaicos. A figura 20 abaixo demonstra a área necessária para a implantação do sistema de geração e a área livre obtida através do processo eficiência energética e correto dimensionamento do sistema.

FIGURA 20 - IMPLANTAÇÃO SISTEMA FOTOVOLTAICO

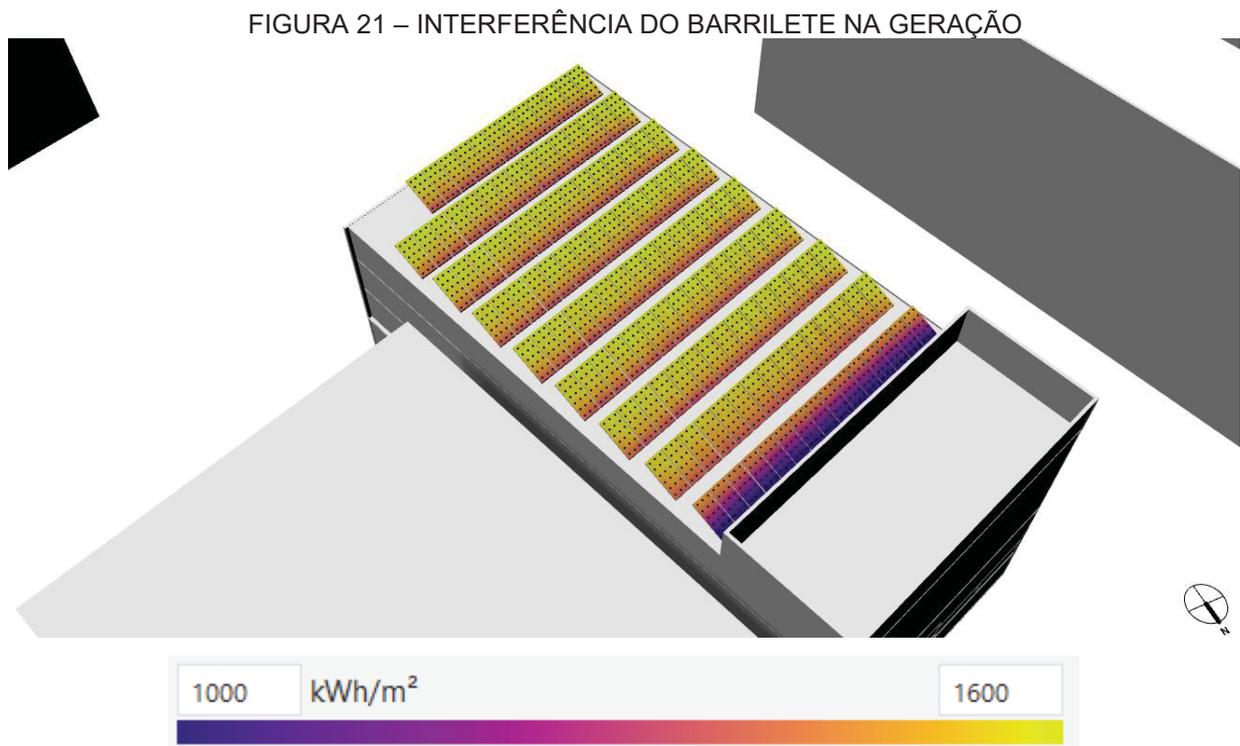


FONTE: O AUTOR (2022)

O modelo de implantação do projeto demonstra que é possível obter uma distribuição uniforme das placas e que o acesso aos painéis fotovoltaicos pode ser realizado com base na área livre demarcada na figura 20. Porém, é importante ressaltar que descontando as áreas de espaçamento entre painéis, obtêm-se uma área livre de 152,00 m<sup>2</sup>.

Esta área livre resultante é fundamental como diretriz de projeto, uma vez que se a premissa adotada em projeto é a geração de 25% do consumo das áreas privativas da edificação, então é necessário que o processo de concepção arquitetônica preserve essa área como o máximo valor para implantação das áreas do barrilete e caixa d' água.

Outro fator fundamental é a posição do barrilete, uma vez que se este for posicionado na face norte da edificação, temos uma perda significativa do potencial de geração em virtude do sombreamento ocasionado sobre as placas, conforme pode ser visto na imagem da figura 21.



FONTE: O autor (2022)

A figura acima demonstra como o planejamento da implantação é extremamente relevante para a instalação dos painéis fotovoltaicos, uma vez que o posicionamento do barrilete na face norte, resulta em superfícies com um valor médio de irradiação inferior a 1000 kWh/m<sup>2</sup>. Valor este bem abaixo da média de 1500 kWh/m<sup>2</sup> obtidos nos ambientes sem sombreamento do barrilete.

Estes resultados demonstram que a solução com enfoque no sistema de iluminação deverá ser perseguida em relação a solução de um sistema de climatização mais eficiente no que se refere a chegar no resultado de geração de 25% do consumo da área comum da edificação, uma vez que é necessário um investimento menor, menos placas e maior disponibilidade de área para obter o mesmo percentual de geração em relação ao consumo da área privativa.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho são uma pequena parte que corresponde ao processo de análise de implantação de um projeto e que tem como objetivo direcionar a concepção arquitetônico do projeto, bem como a concepção dos projetos complementares.

Nota-se que por mais que esta seja uma análise em uma fase prévia de concepção e da ausência de sistemas complexos e maiores definições, esta é uma importante ferramenta para garantir que as premissas do proprietário serão obtidas quando o projeto for executado.

Outra conclusão importante é que o correto dimensionamento evidencia o impacto financeiro nas soluções adotadas. Pelo método tradicional de projetos, no qual o projetista do sistema de geração é adicionado a equipe de projetos quando do início da operação da edificação.

A instalação do potencial máximo de geração de energia, ou seja, 165 painéis fotovoltaicos, resulta em um custo de instalação de R\$ 338.580,00. Já quando avaliado a instalação dos painéis com base no cenário de eficiência energética de climatização, resulta em custo de R\$ 307.800,00. Por fim, o cenário de melhor resultado de eficiência energética, no caso, o cenário de otimização de iluminação artificial, resulta em um investimento de R\$ 270.864,00.

Este resultado é extremamente relevante, uma vez que as diferenças de investimento são substanciais em relação aos cenários abordados neste estudo, logo, fica evidente que a ausência do procedimento da simulação paramétrica pode resultar em um investimento de R\$ 67.716,00 acima do necessário para obter a geração de 25% do consumo da edificação.

Ressalta-se também que este processo é apenas o início de um processo iterativo, no qual a cada definição de um aspecto do sistema, são atualizadas as simulações, a fim de atualizar o processo de concepção e as bases de concepção do projeto.

Neste processo serão incluídas as áreas comuns da edificação, sistemas de bombas, elevadores e demais aspectos do sistema.

Por fim, conclui-se que este processo de análise prévia é uma importante ferramenta para a implantação de sistemas de energia renovável, uma vez que propicia

o correto dimensionamento do sistema, alinhamento de expectativas e metas e objetivos alcançáveis ao longo do processo.

### **5.1. Sugestões de trabalhos futuros**

A dificuldade na obtenção de medidas mais assertivas de eficiência energética, faz com que este trabalho seja o princípio de uma série de desenvolvimento e definições de metodologias de simulação termo energética que visam a obtenção de um processo integrativo e a geração de informações e dados que guiem a concepção de um projeto desde antes da sua fase inicial, ou seja, sendo uma ferramenta inclusive para a tomada de decisão de compra de terrenos e implantação de projetos.

Neste sentido destaca-se a dificuldade na interoperabilidade dos softwares de simulação, os quais não trabalham em conjunto, sendo necessário modelagens específicas para cada análise, o que por muitas vezes inviabiliza o projeto por conta do seu tempo de execução.

Outro fator relevante para os próximos trabalhos é o próprio processo integrativo e a garantia de que as informações coletadas nesta fase de concepção não sejam perdidas com o desenvolvimento de projeto.

Como recomendação de próximos trabalhos, sugere-se uma pesquisa aprofundado sobre a interoperabilidade dos softwares de simulação, a criação de um cenário base de simulação que contemple os sistemas e equipamentos que serão previstos pelas demais disciplinas e a metodologia de processo integrativo que propicie um desenvolvimento conjunto das disciplinas e que não gere perda nos aspectos do sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13532: Elaboração de Projetos de Edificações - Arquitetura**. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995: Iluminação do ambiente de trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.
- ANSI – AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, Design and Construction of Sustainable Buildings and Communities*, New York, 2012.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 62.1-2010**. Atlanta, 2010
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 90.1-2010**. Atlanta, 2010
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Fundamentals**. Atlanta, 2010
- DE FIGUEIREDO GITAHY, FRANCISCO; D SILVA GOMES, VANESSA. **Processo de Projeto Integrado e o desempenho ambiental de edificações**, 2010
- GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Certificação GBC Brasil Condomínio**. São Paulo. Edição 2. 2017.
- QUEIRÓZ, Gabriel Ramos de.; GRIGOLETTI, Giane de Campos; SANTOS, Joaquim César Pizzutti dos. **Interoperabilidade Entre os Programas Autodesk Revit e EnergyPlus Para a Simulação Térmica de Edificações**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. 10, p.
- Potencial Solar, Sun Data3.0, Cresesb, Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>, Acesso em 01/05/2022
- MORRISON; BEAUSOLEIL, IAN. **Fundamentals of Building Performance Simulation**, Routledge, Taylor & Francis Group, 2017.
- NEVES, R. N. F. **Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Produção de Centrais Solares Fotovoltaicas**. FEUP. Porto. 2010
- THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Integrated Project Delivery: A Guide. Version 1**. [S.l.]: AIA National, AIA California Council, 2007