

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MEDIDAS DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIO
UNIVERSITÁRIO, POR MEIO DE MODELAGEM:
DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DOS
AMBIENTES – ESTUDO DE CASO**

**Autor: Juliana Oliveira do Nascimento
Orientador: Prof. Dra. Loana Nunes Velasco**

**Brasília, DF
2022**



JULIANA OLIVEIRA DO NASCIMENTO

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM
EDIFÍCIO UNIVERSITÁRIO, POR MEIO DE MODELAGEM: DESEMPENHO
TERMOENERGÉTICO DOS AMBIENTES – ESTUDO DE CASO**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dra. Loana Nunes Velasco

**Brasília, DF
2022**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

NASCIMENTO, Juliana Oliveira.

Análise da aplicação de medidas de eficiência Energética em edifício universitário, por meio de modelagem:

Desempenho termoenergético dos ambientes – Estudo de caso / Juliana Oliveira do Nascimento. Brasília: UnB, 2022. 83 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2022. Orientação: Loana Nunes Velasco.

1. Eficiência Energética. 2. Medição e Verificação. 3. Simulação Termoenergetica. I. VELASCO, Loana Nunes. II. Análise da aplicação de medidas de eficiência Energética em edifício universitário, por meio de modelagem: Desempenho termoenergético dos ambientes – Estudo de caso.

CDU Classificação

- A ficha catalográfica oficial deverá ser solicitada à Biblioteca pelo aluno após a apresentação.



**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM
EDIFÍCIO UNIVERSITÁRIO, POR MEIO DE MODELAGEM: DESEMPENHO
TERMOENERGÉTICO DOS AMBIENTES – ESTUDO DE CASO**

Juliana Oliveira do Nascimento

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 30/09/2022 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dra: Loana Nunes Velasco, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr. Alex Reis, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr. Rudi Henri Van Els, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2022

RESUMO

Projetos de eficiência energética (EE) no panorama atual mundial e nacional exigem cada vez mais um processo de cálculo das economias de energia que seja confiável, replicável e universal, ou seja aplicação de um procedimento de medição e verificação (M&V). A aplicação de métodos de M&V em um projeto agrega confiança no retorno financeiro de investimentos e garante a efetividade de reduções nos custos operacionais de edifícios por meio de ações de EE e racionalização do consumo de energia. Este trabalho apresenta as características da metodologia de M&V estabelecida no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP); expõe os parâmetros para avaliação de medidas de EE por meio da aplicação da opção D, que utiliza a simulação computacional calibrada. O objeto de estudo é o prédio de salas de aula do Campus Gama da Universidade de Brasília, descrito no decorrer desse trabalho. Utilizando as simulações realizadas no software DesignBuilder buscou-se determinar os impactos no consumo de energia proveniente das seguintes ações de eficiência energética: troca do sistema de iluminação, isolamento térmico de paredes e janelas, modificação da cobertura do prédio e colocação de sistema fotovoltaico. Os resultados da mudança no sistema de iluminação apresentaram resultados satisfatórios em relação a variação entre simulação e teoria. O isolamento térmico das paredes apresentou aumento do consumo do sistema de condicionamento ambiental, já as mudanças das janelas apresentaram leve redução na carga desse sistema. Quando analisado o comportamento da iluminação natural dos ambientes a mudança das janelas apresentou maior redução do fator de luz do dia médio. Com relação as AEE na troca da cobertura do prédio não houve impacto no consumo de energia. Por fim a análise do impacto da cobertura da laje do prédio pelo sistema fotovoltaico apresentou redução na carga utilizada para o condicionamento ambiental.

Palavras-chave: Eficiência Energética; Medição e Verificação; Simulação Termoenergetica e *Software DesignBuilder*.

ABSTRACT

Energy efficiency (EE) projects in the current world and national panorama increasingly demand a process of calculation of energy savings that is reliable, replicable and universal, that is, application of a measurement and verification procedure (M&V). The application of M&V methods in a project adds confidence in the financial return on investments and guarantees the effectiveness of reductions in the operational costs of buildings through EE actions and rationalization of energy consumption. This work presents the characteristics of the M&V methodology established in the International Protocol for Measurement and Verification of Performance (IPMVP); exposes the parameters for the evaluation of EE measures through the application of option D, which uses the calibrated computer simulation. The object of study is the classroom building of the Campus Gama of the University of Brasília, described in the course of this work. Using the simulations carried out in the DesignBuilder software, it was sought to determine the impacts on energy consumption from the following energy efficiency actions: replacement of the lighting system, thermal insulation of walls and windows, modification of the building's roof and placement of a photovoltaic system. The results of the change in the lighting system showed satisfactory results regarding the variation between simulation and theory. The thermal insulation of the walls presented an increase in the consumption of the environmental conditioning system, while the changes in the windows presented a slight reduction in the load of this system. When analyzing the behavior of the natural lighting of the environments, the change of windows showed a greater reduction in the average daylight factor. Regarding the EEA in the replacement of the building's roof, there was no impact on energy consumption. Finally, the analysis of the impact of the roof slab of the building by the photovoltaic system showed a reduction in the load used for environmental conditioning.

Keywords: Energy Efficiency; Measurement and Verification; Thermoenergetic Simulation e Software DesignBuilder.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de linha base do consumo de energia. Fonte: (EVO,2012)	23
Figura 2 - Interface do Programa DesignBuilder V.6.1.8.021 e identificação de funções. Fonte: (Adaptação do autor, 2021).....	30
Figura 3 - Visão de Satélite da FGA. Fonte: (<i>Google Maps</i> , 2022)	31
Figura 4 – Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de visão renderizada – Vista frontal. Fonte: (Composição da autora - <i>DesignBuilder</i> , 2022).....	38
Figura 5 - Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de visão renderizada – Vista posterior. Fonte: (Composição da autora - <i>DesignBuilder</i> , 2022).	39
Figura 6 - Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de visão renderizada – Vista lateral esquerda. Fonte: (Composição da autora - <i>DesignBuilder</i> , 2022).....	39
Figura 7 - Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de visão renderizada – Vista lateral direita. Fonte: (Composição da autora - <i>DesignBuilder</i> , 2022).	40
Figura 8- Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de identificação de configuração de materiais – Vista angular lateral direita. Fonte: (Composição da autora - <i>DesignBuilder</i> , 2022).	40
Figura 9 - Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de identificação de configuração de materiais – Vista angular lateral esquerda. Fonte: (Composição da autora - <i>DesignBuilder</i> , 2022).	41
Figura 10 - (a) Composição das paredes externas. (b) Composição das paredes internas. Fonte: (Composição da autora - <i>DesignBuilder</i> , 2022).	41
Figura 11 – Imagem da disposição do sistema fotovoltaico instalado no prédio. Fonte: (Composição da autora - <i>DesignBuilder</i> , 2022).	44

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Valor de ocupação média por tipos de ambientes.	34
Tabela 2 - Composição do Sistema de Iluminação anterior e atual do Prédio UAC..	35
Tabela 3 - Composição do Sistema de Condicionamento Ambiental atual do Prédio UAC.	35
Tabela 4 - Funcionamento do Sistema de Iluminação por dias no ano e horas por dia.	36
Tabela 5 - Funcionamento do Sistema de condicionamento ambiental por dias no ano e horas por dia.	37
Tabela 6 – Potência dos equipamentos eletroeletrônicos do prédio UAC, por ambientes.	37
Tabela 7 - Composição das paredes externas e internas do modelo - caso base. ...	42
Tabela 8 - Materiais que serão adicionados na camada interna das paredes no estudo de caso 1 - Intervenção 1	43
Tabela 9 - Materiais e suas características do caso base e propostos estudo de caso 1 - intervenção 2.....	43
Tabela 10 - Relação de material atual e material proposto para troca na cobertura do Prédio UAC.	43
Tabela 11 - Classificação dos sistemas de iluminação.	46
Tabela 12 - Resultado da economia de energia e da redução de energia na ponta com aplicação de ação de eficiência no sistema de iluminação.	48
Tabela 13: Resultados do cálculo teórico do sistema de iluminação antes e depois das AEE (elaborado pela autora).	51
Tabela 14: Resultados do cálculo teórico e da simulação do sistema de iluminação antes das AEE (elaborado pela autora).	52
Tabela 15: Resultados do cálculo teórico e da simulação do sistema de iluminação depois das AEE (elaborado pela autora).	53
Tabela 16: Resultados simulação do sistema de iluminação antes e depois das AEE (elaborado pela autora).	53
Tabela 17: Resultados consumo de energia elétrico case base x intervenção 1 (elaborado pela autora).	54
Tabela 18: Resultados consumo de energia elétrico case base x intervenção 2 (elaborado pela autora).	55
Tabela 19: Resultados consumo de energia elétrico case base x intervenção 1 e 2 (elaborado pela autora).	55
Tabela 20: Resultados consumo de energia elétrico com condicionamento ambiental case base x intervenção 1 (elaborado pela autora).	57
Tabela 21: Resultados consumo de energia elétrico com condicionamento ambiental case base x intervenção 2 (elaborado pela autora).	57
Tabela 22: Resultados consumo de energia elétrico com condicionamento ambiental case base x intervenção 1 e 2 (elaborado pela autora).	58
Tabela 23: Resultados Iluminação natural total de todos os casos analisados (elaborado pela autora).	60
Tabela 24: Resultados consumo de energia total caso base x intervenção 3 (elaborado pela autora).	61
Tabela 25: Resultados consumo de energia total caso base x intervenção 4 (elaborado pela autora).	62
Tabela 26: Resultados consumo de energia com ar-condicionado caso base x intervenção 3 (elaborado pela autora).	62

Tabela 27: Resultados consumo de energia com ar-condicionado caso base x intervenção 4 (elaborado pela autora).....	63
Tabela 28: Resultados temperatura média caso base x intervenção 3 e 4 (elaborado pela autora).....	63
Tabela 29: Resultados consumo de energia total caso base x cenário com sistema fotovoltaico (elaborado pela autora).....	64
Tabela 30: Resultados consumo de energia com ar-condicionado caso base x cenário com sistema fotovoltaico (elaborado pela autora).	64
Tabela A 1 – Resumo dos dados de potência dos sistemas de iluminação e seus respectivos modos de utilização <i>antes do retrofit</i>	69
Tabela A 2 –Resumo dados de potência dos sistemas de iluminação e seus respectivos modos de utilização <i>pós retrofit</i>	73
Tabela B 1 – Resultados das simulações para o Fator de luz do dia médio	78
Tabela B 2 – Resultados das simulações para o Fator de luz do dia mínimo	79
Tabela B 3 – Resultados das simulações para o Fator de luz do dia máximo	80
Tabela B 4 – Resultados das simulações para iluminância mínima	81
Tabela B 5 – Resultados das simulações para iluminância máxima	82
Quadro 1 - Finalidades dos processos de M&V dentro do IPMVP. Adaptação do PIMVP, 2001.....	20
Quadro 2- Conceitos base para elaboração de um processo de M&V e seus significados. Adaptado de ANEEL, 2014.....	21

LISTA DE ABREVIATURA

ABESCO	Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Conservação de Energia
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CEPLAN	Centro de Planejamento Oscar Niemeyer
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
CONPET	Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados
CPD	Centro de Processamento de Dados
DAIA	Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica
DEG	Decanato de Ensino de Graduação
EE	Eficiência Energética
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EVO	<i>Efficiency Valuation Organization</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LDTEA	Laboratório de Desenvolvimento de Transportes e Energias Alternativas
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
M&V	Medição e Verificação
MESP	Módulo de Serviços e Equipamentos Esportivos
MME	Ministério de Minas e energia
MPOG	Ministério de Planejamento Orçamento e Gestão
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIMVP	Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RU	Restaurante Universitário (RU)
UAC	Unidade Acadêmica
UED	Unidade de Ensino e Docência
UnB	Universidade de Brasília

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE TABELAS E QUADROS	8
LISTA DE ABREVIATURA.....	10
SUMÁRIO.....	11
1 INTRODUÇÃO	11
1.2 OBJETIVO GERAL.....	13
1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
1.4 METODOLOGIA.....	13
2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	15
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL.....	15
3 REQUISITOS E FERRAMENTAS UTILIZADOS NO DESENVOLDIMENTO DO TRABALHO.....	18
3.1 PROTOCOLO INTERNACIONAL DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DE PERFORMANCE – PIMVP	18
3.1.1 Medição e verificação de projetos de eficiência energética (M&V)	19
3.2 OPÇÕES DE M&V DO PIMVP.....	24
3.2.1 Opção A – medição parcial de ações de EE isoladas	24
3.2.2 Opção B – ações de EE isoladas	25
3.2.3 Opção C – toda a instalação	26
3.2.4 Opção D – simulação calibrada.....	27
3.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	29
3.3.1 Descrição do Programa <i>DesignerBuilder</i>	29
4 MODELO DESENVOLVIDO E CARACTERÍSTICAS DO PRÉDIO UAC.....	31
4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO PRÉDIO	33
4.2 MODELO BASE CRIADO NO <i>DESIGNBUILDER</i>	38
5 DESCRIÇÃO DAS MUDANÇAS RELIZADAS COM AS AÇÕES DE EE	42
6 ESTUDO CASO: PRÉDIO UAC – UNB.....	46
6.1 POTENCIAL TEÓRICO DE ECONOMIA MEDIDA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 1 – <i>RETROFIT</i> SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	46
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES - CALIBRAÇÃO DOS AMBIENTES MODELADOS....	50
7.1 RESULTADOS DA ECONOMIA DE ENERGIA PARA OS AMBIENTES MODELADOS	50
7.1.1 Resultados Teóricos Esperados para os Ambientes Modelados (Sistema de Iluminação)	50
7.1.2 Resultados das simulações dos Modelados (Sistema de Iluminação)	52
7.2 RESULTADOS ESTUDO DE CASO 1.....	54
7.2.1 Resultados estudo de caso 1 – consumo de energia total	54
7.2.2 Resultados estudo de caso 1 – Iluminação natural	59
7.3 RESULTADOS ESTUDO DE CASO 2.....	61
7.4 RESULTADOS ESTUDO DE CASO 3.....	64
7 CONCLUSÃO	66
REFERENCIAL TEÓRICO	67
APÊNDICE A: CÁLCULOS TEÓRICOS DA ECONOMIA DE ENERGIA DOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DO PRÉDIO UAC	69
APÊNDICE B: RESULTADOS DAS IMULAÇÃO PARA OBTER A ILUMINAÇÃO NATURAL DO PRÉDIO.....	78

1 INTRODUÇÃO

Desde o século XIX quando iniciou a eletrificação urbana houve o consumo crescente da energia elétrica em residências, comércio e indústria passando cerca de 140 anos, até o ano de 1960 no século XX, sem preocupação por parte da sociedade com relação ao uso consciente e eficiente desse tipo de energia. A questão da Eficiência Energética (EE) foi tratada como assunto de extrema relevância no cenário internacional a partir dos anos de 1970 (Romero e Reis, 2012, pag.12), com a ocorrência das crises de abastecimento do petróleo. Assim o assunto de eficiência energética começou a ser tratado pelos países industrializados em busca de diminuir a dependência do petróleo por meio de melhoras nos processos de produção e utilização da energia.

O fomento crescente das discussões a partir dos anos 1980 em comitês e conferências sobre os impactos na mudança climática em decorrência da poluição atmosférica pelas emissões de CO₂ resultou em 1997 no Protocolo de Kyoto, estabelecendo metas de redução de emissão de CO₂ aos países signatários. Para atingir aos objetivos propostos pelo protocolo tornou-se imperativo a criação de mecanismos que estimulassem a eficiência em toda a cadeia energética (Souza et al., 2011).

No segundo choque do petróleo o Brasil passou atuar tanto no lado da oferta quando do lado da demanda do setor elétrico, que teve como uma de suas ações o lançamento de um programa, em 1981, para estimular a substituição e conservação de energéticos no setor industrial (Programa Conserve) (Piccinini, 1994). Temos como destaque as ações de criação: Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados (CONPET) e a Lei nº 10.295/2001. Essa última estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia dedicada ao estabelecimento dos níveis máximos de consumo específico de energia ou mínimos de eficiência energética de máquinas e equipamentos consumidos e fabricados no país.

Para aplicação de ações de EE é necessário ter uma abordagem confiável para medir e verificar as economias oriundas dos investimentos. Visando reunir metodologias escolhidas por especialistas que sejam eficazes, imparciais e com

ampla aceitação por diversos países, foi publicado a primeira versão do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP) em 1996. Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) o PIMVP fornece uma visão geral das melhores práticas atualmente disponíveis para verificar os resultados de projetos de eficiência: energética, no consumo de água e em energia renovável. Ele também pode ser utilizado por operadores de instalações para avaliar e melhorar o desempenho delas.

O essencial para a determinação das economias é a elaboração de um plano de Medição e Verificação (M&V) garantindo um planejamento prévio e assegurando a obtenção de todos os dados necessários à determinação das economias disponíveis após a implementação do programa de economia de energia, dentro de um orçamento aceitável (INEE, 2001). O plano de M&V necessita de: descrição da ação e do resultado esperado, identificação dos limites da determinação das economias, estabelecimento de linhas de base (capazes de acompanhar as mudanças nos padrões de uso, conter a demanda e o monitoramento dos sistemas).

Segundo o PIMVP há quatro opções de metodologias (A, B, C e D) aptas a utilização ao realizar ajustes nos parâmetros previstos durante o período pós-*retrofit* e para os quais a relação com o uso de energia/demanda pode ser identificada. Essas opções são aplicadas conforme as necessidades e disponibilização de dados, fronteiras dos sistemas estudados, aplicação e viabilidade financeira do plano de M&V.

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo apresentar as metodologias de M&V, demonstrar aplicação dos conceitos da opção D (utiliza a simulação calibrada para determinar as economias obtidas com as ações de EE) em dois estudos de casos realizados na Unidade acadêmica (UAC) do Campus Gama da Universidade de Brasília (UNB), sendo eles: Estudo de caso 1 (onde será aplicado a troca do sistema de iluminação e aplicação de materiais com maior capacidade de isolamento térmico nas paredes e janelas), Estudo de caso 2 (utilização de telhas com maior capacidade de isolamento térmico) e Estudo de caso 3 (adição de painéis fotovoltaicos na cobertura do prédio).

Nesse trabalho foi utilizado o DesignBuilder para realizar as simulações dos sistemas. Esse é um software com interface mais amigável para o manuseio do programa *EnergyPlus* (ferramenta capaz de fazer análise integral entre os sistemas de iluminação natural, refrigeração e aquecimento, fornecendo resultados horários e

realizando simulações termoenergéticas) que permite uma avaliação mais detalhada do desempenho de uma edificação (Didoné e Pereira, 2010)

1.2 OBJETIVO GERAL

Determinar a economia de energia proveniente de ações de eficiência energética descritas nesse trabalho no prédio UAC do Campus Gama da UNB com aplicação do método D de M&V e seguindo os requisitos do PIMVP.

1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- I. Calculo teórico do consumo de energia do sistema de iluminação antes e depois da implementação de medida de eficiência energética;
- II. Produzir modelo do prédio UAC da Faculdade do Gama no programa *DesignBuilder*;
- III. Analisar as variações entre os cálculos teóricos e resultados simulados do sistema de iluminação.
- IV. Analisar os déficits ou ganhos na economia de energia com a aplicação das medidas de EE no Estudo de caso 1.
- V. Analisar os déficits ou ganhos na economia de energia com a aplicação das medidas de EE no Estudo de caso 2.
- VI. Analisar os déficits ou ganhos na economia de energia com a aplicação das medidas de EE no Estudo de caso 3.

1.4 METODOLOGIA

A primeira etapa desse trabalho teve a realização de uma revisão bibliográfica de artigos, dissertações, monografias, leis, normas técnicas, resoluções normativas e relatórios. Assim como análise dos quesitos apresentados no manual de verificação e medição da Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Protocolo Internacional – PIMVP.

Em paralelo a essa revisão levantou-se dados sobre o prédio UAC da Universidade do Gama, por meio de visitas técnicas para a captação dos valores correspondentes a composição física dos sistemas de condicionamento ambiental, iluminação, organização do espaço, identificação do ambiente global no qual o prédio está inserido, referência da taxa de ocupação dos ambientes, regime de

funcionamento dos ambientes. Sendo levantado os dados de potência dos equipamentos por meio das informações disponibilizadas em suas placas.

Em seguida foi realizado simulações do prédio com a aplicação das ações de eficiência energética dos Estudos de caso 1, 2 e 3, análise dos resultados para avaliação dos impactos de cada ação de EE.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência Energética trata-se da utilização racional de energia, que consiste na eficácia da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização (ABESCO, 2021). O Ministério de Minas e energia – MME, no seu documento Plano Nacional de Eficiência Energética (2011) define que EE é um conjunto de “ações de diversas naturezas que culminam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob forma de luz, calor/frio, acionamento, transporte e uso em processos.” As ações de EE atuais procuram reduzir o consumo energético, as emissões de contaminantes ambientais e aumentar os investimentos em fontes renováveis de energia.

As crises do petróleo nas décadas de 70 e 80 trouxeram um cenário de crise energética forte para todos os países, que possuíam suas economias fortemente ligadas ao consumo de derivados desse produto. Assim iniciou-se as discussões e conscientização sobre o uso mais eficiente e diversificado das fontes de energia. Os questionamentos do impacto ambiental das atividades humanas nos anos 80, fomentaram os investimentos em projetos de EE de toda a cadeia energética (Souza et al, 2011). Desde então os países criaram programas e agentes responsáveis pela criação de medidas que proporcionassem o uso mais eficiente e consciente das fontes energéticas.

Os primeiros investimentos direcionados a EE, se deram na criação e propagação de equipamentos mais modernos e eficientes para iluminação, condicionamento ambiental, motores industriais e automotivos, assim como pesquisa e desenvolvimento (P&D) de sistemas de energias renováveis. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA – do inglês *International Energy Agency*) em seu relatório “*Energy Efficiency*” de 2020, no ano de 2019 foram investidos em EE nos setores de construções civis, transporte e indústrias o valor de USD 250 bilhões. No setor público o investimento em P&D de novas tecnologias cresceu 12% com relação a 2018, totalizando investimento de USD 4,5 bilhões, o maior valor desde 2015.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

O Brasil assim como os outros países do mundo na década de 70 teve consequências devido ao choque do petróleo em 1973, o que desencadeou o primeiro seminário sobre o tema de conservação de energia do MME em 1975. Dentre as

medidas tomadas na década de 80, temos a criação do programa CONSERVE em 1981 que serviu para estimular a alteração e conservação de energéticos no setor industrial, “que constitui a principal experiência de fomento à eficiência energética industrial no Brasil” (Piccinini, 1994). Após o segundo choque do petróleo e com base na mobilização internacional em prol de desenvolver tecnologias e mecanismos de redução do consumo de energia dependentes do petróleo, o governo brasileiro criou em 1982 o Programa de Mobilização Energética.

As questões ambientais, discussões e ações de eficiência e conservação energética realizadas mundialmente, servirão para a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) nos anos de 1984 e 1985, respectivamente. O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) estabelece que os objetivos do PBE são fornecer informações que classificam os equipamentos em faixas de eficiência, para uma decisão de compra mais consciente pelo consumidor, que acarreta no estímulo a processos de inovação e desenvolvimento tecnológico das indústrias promovendo assim maior competitividade.

O PROCEL possui ações voltadas para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para a disseminação de conhecimento sobre os hábitos de consumo mais eficientes (Eletrobrás, 2021). Em 1993 o PROCEL em parceria com o PBE criou o selo PROCEL Economia de Energia, que têm como propósito ser uma ferramenta simples e eficaz, que possibilite ao consumidor o conhecimento dos equipamentos mais eficientes e que consomem menos energia dos que estão à disposição no mercado.

Buscando propiciar maiores responsabilidades para as empresas do setor elétrico a partir de 1998 as concessionárias, fiscalizadas ANEEL, devem compulsoriamente fazer investimentos em programas de conservação/eficiência de energia, sendo ratificado na Lei nº 9.991/2000 e alterações subsequentes (Souza et al., 2011). Em outubro de 2001 foi publicada a Lei nº 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia que tem seu objetivo explicitado pelo:

“Art. 2º O Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes”

No ano de 2001, o Decreto nº 4.059 estabeleceu características para a etiquetagem de edifícios comerciais, de serviços e públicos, sendo esta de caráter voluntário. No final de 2010, foi estabelecido que as construções residenciais poderiam ser contempladas pela ação de etiquetagem em edificações. A Instrução Normativa SLTI n.º 2/2014, do Ministério de Planejamento Orçamento e Gestão (MPOG), que dispõe sobre as regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia e o uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit*, assim tornando a Etiquetagem de Edificações obrigatória em edifícios da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional (PROCELINFO, 2021).

3 REQUISITOS E FERRAMENTAS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 PROTOCOLO INTERNACIONAL DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DE PERFORMANCE – PIMVP

A primeira versão do PIMVP foi publicada em 1996, patrocinado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, buscando solucionar o problema da dificuldade de financiamento de projetos de EE, devido ao receio dos investidores com relação a métodos confiáveis de medição que pudessem garantir as economias dos investimentos. O PIMVP é um documento elaborado por especialistas de mais de 25 países, que apresenta uma visão geral das melhores práticas disponíveis para verificar e medir os resultados de projetos de EE, Eficiência no consumo de água e aplicação de energia renovável. Sendo dividido em três volumes, sendo eles: Conceitos e Opções para Determinar Economias, Questões sobre Qualidade Ambiental Interna (QAI) e Aplicações.

O PIMVP tem como principal finalidade ampliar os Investimentos em EE e Energia Renovável, possuindo as seguintes atribuições:

- I. Definição das técnicas que determinam as economias da instalação como um todo ou de uma tecnologia específica;
- II. Abastece os agentes envolvidos em projetos de EE com uma coleção de termos comuns para discutir questões chaves de projetos de M&V, assim como estabelece métodos para utilizar em contratos de desempenho energético;
- III. Fornece um conjunto de procedimentos que podem ser aplicados em projetos de diferentes regiões geográficas e que são aceitos internacionalmente devido sua imparcialidade e confiabilidade;
- IV. Permite aplicação a tipos de instalações distintas;
- V. Os procedimentos apresentam níveis diferentes de custo e exatidão para os programas de M&V;
- VI. Abordagem abrangente que garante a verificação em todas as fases do plano de ação, implementação e manutenção da qualidade ambiental interna;
- VII. É um documento formado por um conjunto de metodologias e procedimentos que permitem a evolução do mesmo com o tempo.

O PIMVP com todas essas suas características e atribuições, explicita o que é um programa de M&V e opções distintas de métodos a seguir na M&V de um projeto de EE.

3.1.1 Medição e verificação de projetos de eficiência energética (M&V)

A *Efficiency Valuation Organization* (EVO) explica o processo de M&V como sendo aquele em que há o planejamento, medição, coleta e análise de dados com a finalidade de verificar e descrever a economia de energia resultante da implementação de medidas de conservação energética em uma instalação. Essa medição é realizada comparando o valor medido de uso antes e depois da implementação de um projeto, com os devidos ajustes para cada cenário, essa medição indireta, que é resultado da diferença entre consumo em dois tempos distintos ocorre devido ao fato de não haver possibilidade de se medir diretamente a ausência de uso de energia.

O PIMVP discorre sobre a M&V que inclui a verificação operacional (verificação do potencial de economia) e a contabilização da economia base nas medições de energia local antes e depois da implementação de um projeto e seus ajustes (EVO, 2021). As principais atividades do processo de M&V são:

- I. Calibração e manutenção da instalação do medidor;
- II. Coleta e triagem de dados;
- III. Cálculos com os dados medidos;
- IV. Desenvolvimento de métodos computacionais e estimativas aceitáveis;
- V. Comunicação e garantia da qualidade e verificação de relatórios elaborados por terceiros.

O processo de M&V dentro do PIMVP, tem como suas principais finalidades:

Quadro 1 - Finalidades dos processos de M&V dentro do IPMVP.
Adaptação do PIMVP, 2001.

Finalidade	Ganhos aos agentes envolvidos
Aumento da economia em energia	A maior precisão das economias, possibilita aos consumidores maior controle das instalações em operação, possibilitando ajustes na administração dos sistemas que levam a maiores economias, maior durabilidade e redução da variabilidade das economias.
Redução do custo de financiamento dos projetos	Ao fornecer mais confiabilidade, reprodutibilidade, orientações e informações sobre gerenciamento de risco úteis para a estruturação de contratos financeiros, o protocolo torna os investimentos em projetos de EE mais confiáveis e rentáveis aos investidores.
Incentivo a melhores projetos de engenharia	Bons projetos de <i>retrofit</i> exigem, um acompanhamento confiável e efetivo dos processos impactados. Um bom plano de M&V possibilita a criação de projetos mais eficientes para os proprietários e usuários dos espaços e processos afetados.
Demonstração e aprendizado do valor das emissões reduzidas devido a investimentos em EE e energia renovável	Com o controle, método e documentação estabelecidos pelo PIMVP é possível rastrear os efeitos dos projetos na redução de emissões de gases poluentes como o CO ₂ , SO ₂ , NO _x e o mercúrio. Sinalizando de forma mais coerente esse importante benefício adquirido com os projetos de EE.
Maior compreensão sobre o gerenciamento de energia como ferramenta de políticas públicas	O processo de M&V amplia a credibilidade dos projetos de gerenciamento de energia, gerando maior aceitação das atividades relacionadas e chama mais atenção para os benefícios públicos resultantes da aplicação dos projetos de EE.
Auxilia as organizações nacionais e industriais a promoverem e alcançarem eficiência nos recursos e objetivos ambientais	A imparcialidade e credibilidade do PIMVP desenvolve um processo de M&V que propicia aumento nos investimentos em EE por parte de diversas agências governamentais nacionais e regionais assim como por organizações industriais e comerciais, que adotam aquele como guia.

Tendo em vista a importância do estabelecimento de métodos confiáveis, que sejam bem definidos e amplamente aceitos, temos como principais documentos bases guia do processo: protocolo internacional para medição e verificação PIMVP, 2001, Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf do MME, 2011 e o Guia de M&V da ANEEL, 2013, sendo o primeiro documento a base metodológica geral e os documentos seguintes trazem adequações do método a cenários brasileiros.

3.1.1.1 Conceitos básicos do processo de M&V

Para melhor interpretação do processo de M&V, é necessário o estabelecimento de alguns conceitos importantes, como:

Quadro 2- Conceitos base para elaboração de um processo de M&V e seus significados. Adaptado de ANEEL, 2014.

Conceito	Significado
Ano Base	Período escolhido de um ciclo completo, que será utilizado como base para o levantamento dos dados utilizados na construção da LB.
Linha de Base (LB)	Representação gráfica do modelo matemático criado para representar o comportamento de uso/consumo de energia de uma instalação ou processo em todas as condições em que possa operar. Sendo essa análise anterior a aplicação da ação de EE.
Período de Linha de Base	Período em que há a realização de medições com o objetivo de recolher dados suficientes que possa representar a instalação ou processo em todas as condições que possa operar.
Período de Medição da Economia	Período de medição das variáveis independentes, para que sejam introduzidas no modelo e realizar ajustamento da LB e medição da energia que será subtraída da LB para determinação da economia obtida com a ação de EE.
Fronteira de Medição	Determina os limites dos fluxos de energia que serão medidos, na entrada (energia usada no sistema) e na saída (serviços da energia, variáveis independentes).
Variáveis independentes	São as variáveis que variam constantemente e influenciam diretamente na variação do consumo/uso da energia, devido suas influências rotineiras. É possível criar um modelo matemático que correlacione o consumo com essa variável. Criando um modelo de ajuste rotineiro que relaciona o período da LB e o período de Medição da Economia. Temos como exemplo: Temperatura

Continuação Quadro 2 - Conceitos base para elaboração de um processo de M&V e seus significados. Adaptado de ANEEL, 2014.

Conceito	Significado
Fatores Estáticos	São fatores que podem variar o consumo da energia, mas não se espera mudanças dos mesmos durante o período de determinação da economia. Devem ser monitorados e caso ocorra mudanças nesses fatores é necessário haver um ajuste da LB de consumo do processo ou instalação analisado. Por exemplo: Produção
Efeito Interativo	São os efeitos que ocorrem fora da fronteira de medição que são consequência da ação de EE. Esses efeitos são estimados ou ignorados, conforme nível de detalhamento do processo de medição. Exemplo: a redução de carga térmica para o condicionamento de ar em decorrência de aplicação de medidas de eficiência no sistema de iluminação.
Ajuste de Rotina	São mudanças esperadas para o período pós aplicação da ação de EE, nos parâmetros de consumo ou demanda de energia. Essas mudanças são cíclicas e frequentes. Exemplos: clima e variação de ocupação.
Ajuste Não-Rotineiro	São as mudanças que não estão previstas e que possuem impacto significativo no consumo ou demanda de energia. Esses ajustes se baseiam em mudanças na instalação ou no processo de produção.

Tendo explicito os conceitos básicos, o PIMVP determina as descrições mínimas que devem estar expostas no plano de M&V, sendo elas:

- I. Descrição da Ação e o resultado esperado;
- II. Identificação dos limites da determinação das economias (Fronteira de Medição) – Podendo ser restrito ao fluxo de energia de uma carga ou da utilização total de todo o edifício;
- III. Levantamento das características da instalação ou processo no ano-base, sendo eles: Perfis de consumo e demanda de energia, ocupação, densidade demográfica, períodos de operação, condições parciais ou de toda a área da instalação em cada período de operação, inventário dos equipamentos em operação, prática de operação dos equipamentos, problemas significativos ou perdas dos equipamentos.

Essas descrições e dados levantados são utilizados na elaboração da LB e dos valores de ajustes, que permitiram a comparação entre o período antes e depois das ações de EE, permitindo o levantamento da economia de energia com os devidos ajustes das características do processo ou edição em períodos de tempo distintos. Um exemplo de LB é apresentada na Fig.(1).

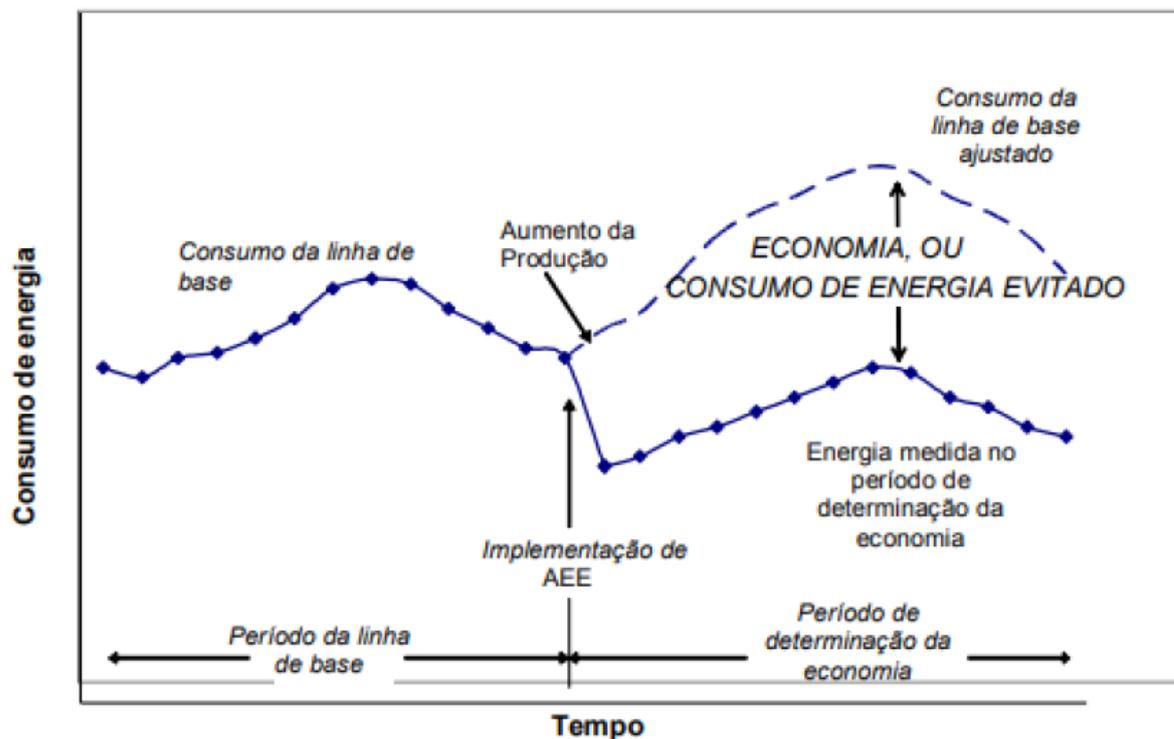


Figura 1: Exemplo de linha base do consumo de energia. Fonte: (EVO,2012)

A economia de energia ou demanda é determinada por meio da subtração da energia ou demanda medidas no período da LB e no período de medição da economia. Para englobar nesse cálculo as mudanças no padrão de utilização do edifício ou alteração do processo é adicionado um termo de ajuste da LB a Eq. (1).

$$EC_E = UE_{LB} - UE_{ME} \pm \text{Ajustes} \quad (1)$$

Sendo que:

- EC_E : Economia de Energia;
- UE_{LB} : Uso de energia no período da LB;
- UE_{ME} : Uso de energia no período de medição da economia;
- Ajustes: termo que possibilita trazer o uso da energia a dois períodos diferentes de tempo no mesmo conjunto de condições (divididos em dois tipos: Ajustes de Rotina e Ajustes Não-Rotineiros).

O processo de medição introduz incertezas a determinação das economias, como:

- Instrumentais: erros associados a precisão dos equipamentos de medição;
- Modelagem: impossibilidade de representação de todos os parâmetros que influenciam o sistema em modelos matemáticos;
- Amostrais: erro agregado a utilização de amostras estatísticas que representem uma população
- Hipóteses planejadas ou não: abrange todos os erros não quantificáveis associados às estipulações e às previsões necessárias para medir e determinar as economias.

Para obtenção de erros aceitáveis e resultados úteis é necessário no planejamento de um processo de M&V, levar em consideração a quantificação dos fatores de incerteza enumeráveis e estimar qualitativamente os não quantificáveis (INEE, 2001). A quantificação estatística adequada das incertezas necessita da declaração dos níveis de precisão e de confiabilidade desses valores, sendo o nível de precisão adequado estabelecido pelas partes envolvidas e a confiabilidade é a probabilidade da economia estimada está dentro do nível de precisão estabelecido.

3.2 OPÇÕES DE M&V DO PIMVP

No documento do PIMVP há quatro opções de medição do sistema, A, B, C e D, essas opções serão explicadas abaixo, com maior nível de detalhamento da opção D, que foi a opção escolhida para ser usada nesse trabalho.

3.2.1 Opção A – medição parcial de ações de EE isoladas

Essa opção utiliza medições de campo parciais de curto prazo ou contínuas do uso de energia de um equipamento, que foi afetado por uma ação de EE, isoladamente do uso de energia do restante da instalação para calcular as economias de energia. Essa medição reflete o limite entre o equipamento afetado pela ação de EE e aqueles que ela não afeta. Com a opção A alguns parâmetros podem ser estipulados dependendo do impacto que os parâmetros têm na medição final da economia de energia (INEE, 2001).

Os parâmetros são considerados estipulados, quando seus valores não forem medidos diretamente na instalação e os erros associados a estipulação de parâmetros deve ser estimado no cálculo relativo as economias esperadas. Essa estipulação de

parâmetros exige maior acompanhamento na instalação, necessitando re-inspeções após a inspeção de comissionamento. Para o PIMVP as melhores aplicações dessa opção, ocorrem quando:

- Há o interesse no desempenho de apenas um dos sistemas afetados pela ação de EE;
- Pode ser medido ou desconsiderado os efeitos entre as ações de EE ou com os outros equipamentos da instalação;
- Há possibilidade de evitar complexidade nos Ajustamentos não-rotineiros da base, caso ocorra modificações futuras na instalação, devido ao isolamento da ação de EE;
- Há dificuldade excessiva ou que encarecem o monitoramento, devido as variáveis independentes não serem complexas;
- Já existir medidores secundários que isolem o uso de energia dos sistemas;
- Utilização dos medidores secundários para outros propósitos, como: faturamento do locatário ou feedback operacional;
- É possível inspeção visual de rotina dos parâmetros estipulados;
- Menor custo na estipulação de parâmetros do que os das opções B ou D.

Temos como uma aplicação típica da Opção A, o *retrofit* de iluminação em que a carga possui medição periódica. Essa opção tende a ser a menos onerosa de todas as opções.

3.2.2 Opção B – ações de EE isoladas

A opção B possui técnica semelhante à da opção A, ou seja, são realizadas medições completas de campo de curto prazo ou contínuas do uso de energia dos sistemas, que foram afetados por uma ação de EE, isoladamente do uso de energia do restante da instalação, a diferença entre essas opções vem do fato de que na opção B, não é permitida estipulação de parâmetros. A medição completa permite maior exatidão nos valores da economia de energia e maior volume de dados sobre a operação dos sistemas (INEE, 2001). Com a maior exatidão garantida pelas medições completas, não há necessidade de re-inspeção dos equipamentos da instalação após a inspeção de comissionamento.

Esta opção pode ser utilizada em diversos tipos de ações de EE, porém há o aumento proporcional do grau de dificuldade e dos custos associados a essa

verificação conforme mais complexas sejam as medições. As melhores aplicações, segundo o PIMVP, para essa opção ocorrem quando:

- Há o interesse apenas no desempenho do sistema influenciado pela ação de EE;
- Podem ser medidos ou são secundários os efeitos interativos entre as ações de EE ou com outros equipamentos;
- Pode evitar ajustes não-rotineiros da Base, com possibilidade de serem difíceis para mudanças futuras da instalação, quando há o isolamento da ação de EE do restante da instalação;
- Há dificuldade ou custo elevado para monitorar as variáveis independentes que não são complexas;
- Os medidores secundários já existem para isolar o consumo da energia dos sistemas;
- Funções adicionais aos dados recolhidos pelos medidores;
- Custo inferior da medição dos parâmetros nessa opção do que o valor da opção D.

Um exemplo de aplicação da opção B é a medição em kWh do suprimento elétrico de um motor de bomba em que foi realizado a aplicação de um variador de frequência para variar a carga da bomba de velocidade constante. É realizado medições durante uma semana no período do ano-base, para medir o consumo com carga constante e após o *retrofit* é colocado novamente o medidor no local para medir as variações no consumo de energia.

3.2.3 Opção C – toda a instalação

Para realizar a medição por meio dessa opção são utilizados os dados dos medidores da concessionária ou medidores secundários de toda a instalação. As medições realizadas pela opção C incluem os impactos de todas as ações de EE realizadas na instalação, assim como os impactos de qualquer mudança que ocorra no consumo da energia (INEE, 2001). O PIMVP indica essa opção para projetos em que:

- Precisa ser avaliado do desempenho energético da instalação toda, não apenas das ações de EE;
- Há distintos tipos de ações de EE no edifício;

- As ações de EE estão envolvidas com atividades espalhadas com difícil realização de isolamento do resto da instalação;
- É possível durante o monitoramento separa as interferências nos dados do ano-base das economias, devido seus altos valores;
- Complexidade excessiva das Opções A e B devido significativos efeitos interativos entre as ações de EE ou com outros equipamentos;
- Não é esperado mudanças futuras grandes na instalação, durante o período de determinação das economias;
- O uso de energia e outras variáveis independentes podem ter correlações razoáveis.

O principal desafio da Opção C é a avaliação de todas as mudanças, sejam elas devido as ações de EE ou outras, realizadas no período de medição das economias de uso de energia. Temos como exemplo da aplicação dessa opção o monitoramento de um programa de gerenciamento de energia que afeta diversos sistemas de um edifício. Os medidores de gás e energia da concessionária são utilizados para realizar a edição de um período de 12 meses no ano-base e depois durante o período pós-*retrofit*.

3.2.4 Opção D – simulação calibrada

O uso de programas de simulação em computadores é a ferramenta utilizada para obter as medições do desempenho energético de um componente ou de toda a instalação na Opção D. Esta opção é importante para avaliar o desempenho das ações de EE dos projetos em que não são confiáveis ou não há como obter os dados do ano-base ou pós-*retrofit*. Essa opção exige um bom domínio da ferramenta de simulação utilizada e boa calibração do modelo criado, para que haja uma representação fiel do cenário real.

Assim como as Opções A e B essa opção pode avaliar o desempenho de um sistema isoladamente da instalação, devendo nesse caso ser isolado o sistema por meio de medidores apropriados. Assim como a Opção C é possível a análise do desempenho de diversas ações de EE em uma única instalação por meio da Opção D, porém com esta opção é possível estimar a economia para cada ação de EE individualmente, devido à realização de várias rodadas de simulação (INEE, 2001). Embora essa opção possa realizar as mesmas medições das outras, ela tende a ser a última opção escolhida para planos de M&V, devido a oneração do custo do projeto

em decorrência da maior complexidade e necessidade de profissionais especializados. Então essa opção é útil, quando:

- Não há a disponibilidade dos dados de energia do ano-base, devido necessidade de análise individual de ações de EE de uma instalação nova ou quando a instalação possui medição central no período do ano-base e pós-*retrofit* passe a ter medidores individuais disponíveis;
- Não é possível utilizar a Opção C, devido as economias de energia esperadas não serem grandes o suficiente para serem detectadas separadamente com o medidor da concessionária;
- Não há disponibilidade dos dados de energia ou são difíceis de serem identificados no período pós-*retrofit*, esse cenário pode ocorrer por exemplo quando não há controle no acréscimo ou mudanças dos processos que envolvam equipamentos importantes, o que torna o cálculo dos ajustes futuros na base muito imprecisos, gerando erros excessivos ao valor determinado de economia da energia;
- Opções A e B possuem medições muito difíceis ou onerosas a serem realizadas.

Para a efetividade da aplicação desse método é importante identificar mudanças nas características do ano-base e no desempenho do equipamento por meio da realização de inspeções periódicas dos equipamento e operações da instalação após a aplicação da ação de EE. É importante para o período de ajuste da Eq. 1, rodar o modelo sob condições adequadas para trazer os dois períodos de consumo de energia para condições comuns.

Para realizar esse método com uma exatidão aceitável e controlar os custos é importante a melhor informação possível sobre o desempenho efetivo dos dados de entrada, profissionais experientes e capacitados para análise e calibragem da simulação, boa calibragem da simulação para que com tolerâncias aceitáveis sejam obtidos resultados que coincidam com os dados de consumo e demanda real, controle documental dos dados de pesquisa, medição e monitoramento utilizados na calibragem do modelo, os arquivos das simulações e dos dados de entrada e saída do programa (INEE, 2001). Segundo o PIMVP na documentação do plano de M&V, deve constar a versão do software utilizado e declaração de disponibilidade pública do software, se houver, isso possibilitara reprodutibilidade por outras partes das ações executadas nas simulações.

3.2.4.1 Calibragem

O processo de calibragem é realizado para que o modelo de simulação possa representar uma previsão aceitável do comportamento real do processo ou ambiente modelado. Para que isso ocorra é necessário a comparação dos dados obtidos na simulação com os dados de calibragem, que podem ser os valores de faturas da concessionária normalmente dos últimos 12 meses, dados operacionais da instalação (como: clima, cargas, períodos de funcionamento dos equipamentos, ocupação)(INEE, 2001).

As variáveis de calibragem podem ser obtidas por medições realizadas em períodos curtos, um dia da semana ou mês, dados de listas de operação existentes, se possíveis medições instantâneas serão importantes para melhorar a precisão da simulação. Segundo INEE (2011, p.37)

“A utilização de dados mensais para calibragem geralmente é menos onerosa do que a calibragem horária. As calibrações baseadas em dados mensais da instalação podem chegar a uma média aproximada de erro sistemático de $\pm 20\%$ comparado ao uso de energia mensal. As calibrações horárias podem alcançar de $\pm 10\%$ a $\pm 20\%$ do uso de energia horário, ou de $\pm 1\%$ a $\pm 5\%$ da fatura mensal da concessionária.”

O PIMVP indica como passos para realização de uma boa calibragem:

- I. Avaliação e documentação dos dados de entrada;
- II. Verificação de resultados operacionais razoáveis da simulação;
- III. Comparação dos resultados simulados com dados medidos em base horaria ou mensal;
- IV. Revisão dos dados de entrada do passo 1 e repetição dos passos 2 e 3, até obtenção de resultados razoáveis da simulação quando comparado com o consumo e demanda de energia efetivos.

3.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

3.3.1 Descrição do Programa *DesignerBuilder*

O *DesigneBuilder* foi desenvolvido na Inglaterra com a proposta de ser um programa de simulação térmica em regime variável ou dinâmico que apresenta uma interface amigável, intuitiva e simples, Fig.(2), para utilização de usuários que vão dos que possuem pouca experiência a profissionais que necessitem de ferramentas para elaboração de projetos complexos (Alberto, 2015). O programa permite análises integradas de desempenho de energia e conforto; Aquecimento, Ventilação e Ar

Condicionado (AVAC); iluminação natural; custo; otimização de projeto; *Computational Fluid Dynamics* (CFD); créditos BREEAM / LEED.

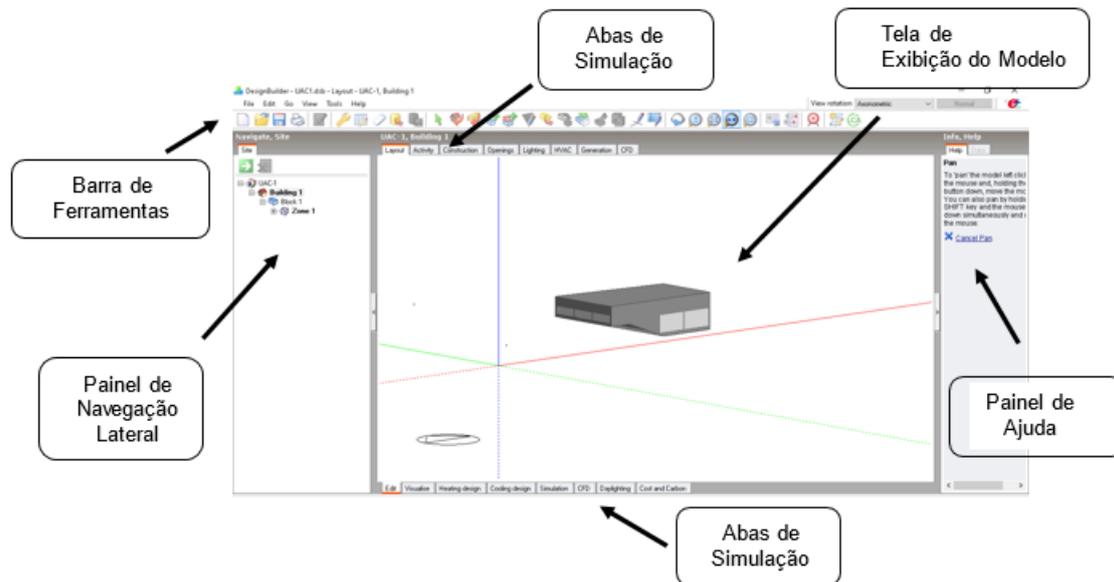


Figura 2 - Interface do Programa DesignBuilder V.6.1.8.021 e identificação de funções. Fonte: (Adaptação do autor, 2021).

O Programa que realiza os cálculos do *DesignBuilder* é o *EnergyPlus*, um programa criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos para realizar simulação de carga térmica e análise energética de edifícios e seus sistemas (Melo et al., 2009). Ele é um programa gratuito, que possui atualizações contínuas e entrega resultados confiáveis, se tornando assim um dos mais utilizados na área. O maior desafio na utilização do programa é a complexidade e o trabalho para introdução de dados, o *DesignBuilder* busca justamente sanar essas dificuldades sendo a interface gráfica do *EnergyPlus*, simplificando a introdução de dados (COSTA, 2013). O *DesignBuilder* disponibiliza para o usuário duas bibliotecas:

- Componentes: constituídas por materiais de construção, equipamentos, climas, itinerários de funcionamento, etc;
- Modelos: composta pelos modelos mais utilizados e que já são previamente concebidos pelo programa.

O programa é pago, mas possui uma versão funcional com algumas restrições que possui uma licença de avaliação gratuita por 30 dias. Para o desenvolvimento desse trabalho as ferramentas oferecidas pela licença de avaliação foram o suficiente, sendo utilizado a versão 6.1.8.021 do programa.

4 MODELO DESENVOLVIDO E CARACTERÍSTICAS DO PRÉDIO UAC

A Faculdade do Gama (FGA) é uma extensão da UnB na região administrativa do Gama (Figura 3) é formada por quatro prédios, sendo eles: Unidades acadêmica (UAC), Unidade de Ensino e Docência (UED), Laboratório de Desenvolvimento de Transportes e Energias Alternativas (LDTEA) e Módulo de Serviços e Equipamentos Esportivos (MESP) / Restaurante Universitário (RU).

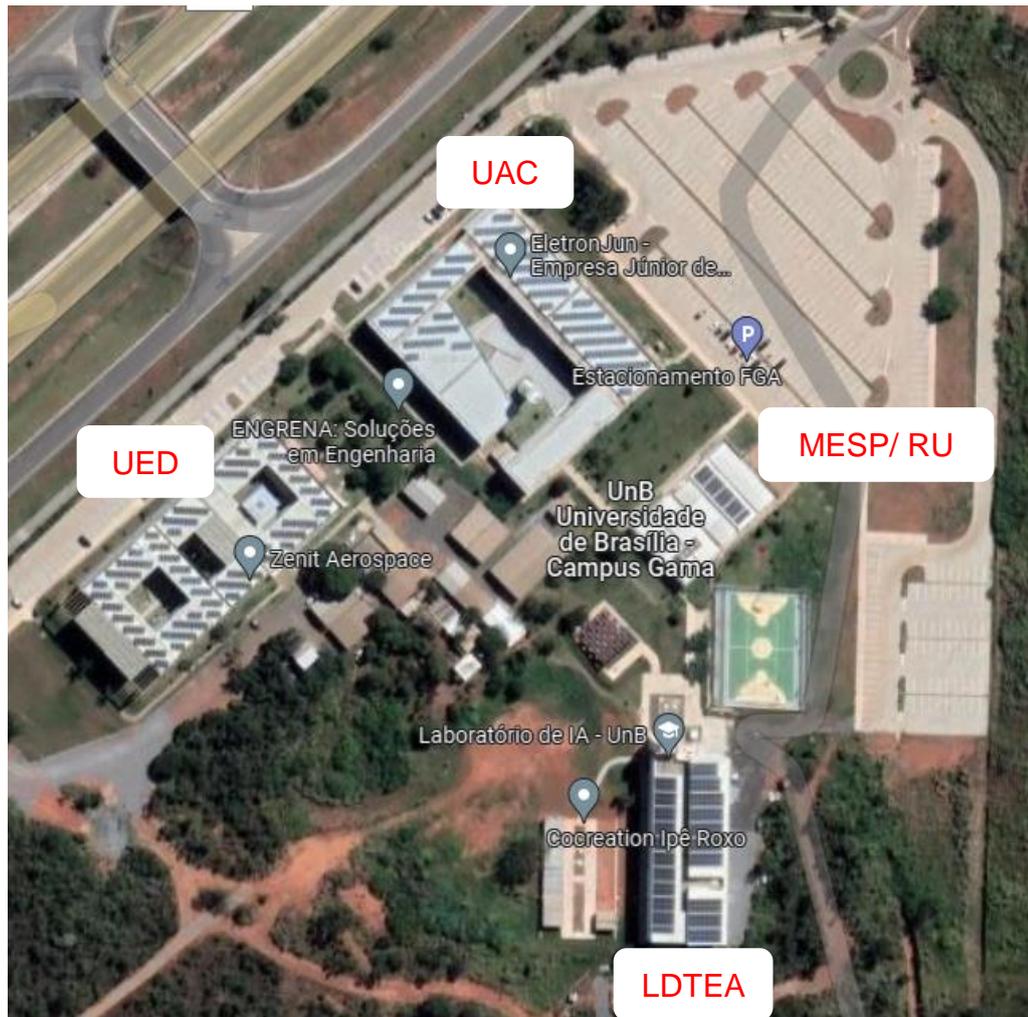


Figura 3 - Visão de Satélite da FGA. Fonte: (Google Maps, 2022)

O abastecimento de energia da FGA se dá em 13,8 kV em uma subestação localizada na entrada da faculdade, sendo enquadrada no grupo tarifário A4 Poder Público com adoção da modalidade tarifaria Horo-sazonal Verde. No Gráfico (1) é apresentado o consumo mensal no ano de 2019 da faculdade, onde o consumo total na ponta foi de 62.829 kWh e o consumo fora ponta foi de 558.061 kWh.

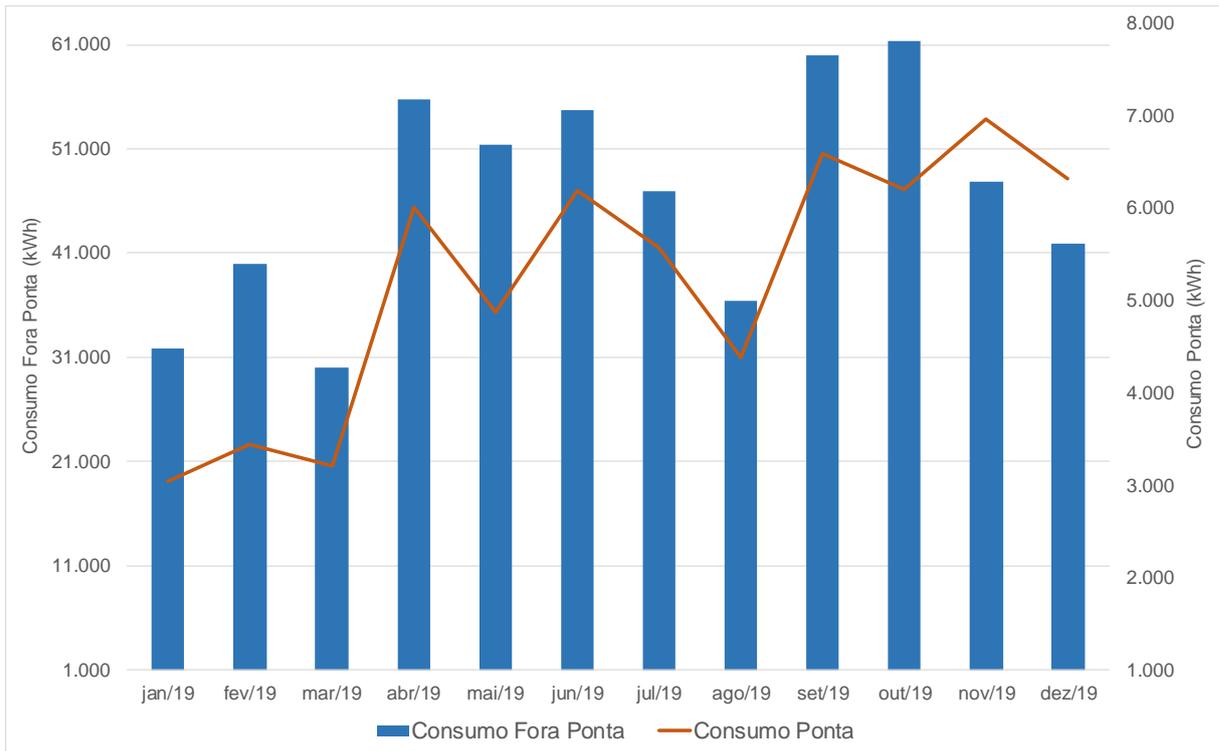


Gráfico 1 - Dados de Consumo Ponta e Fora Ponta da FGA no ano de 2019. Fonte: (Composição do autor, 2021)

O valor total faturado no ano de 2019 para a FGA foi de R\$ 463.942,49, o Gráf. (2) demonstra o custo mensal de energia da faculdade.

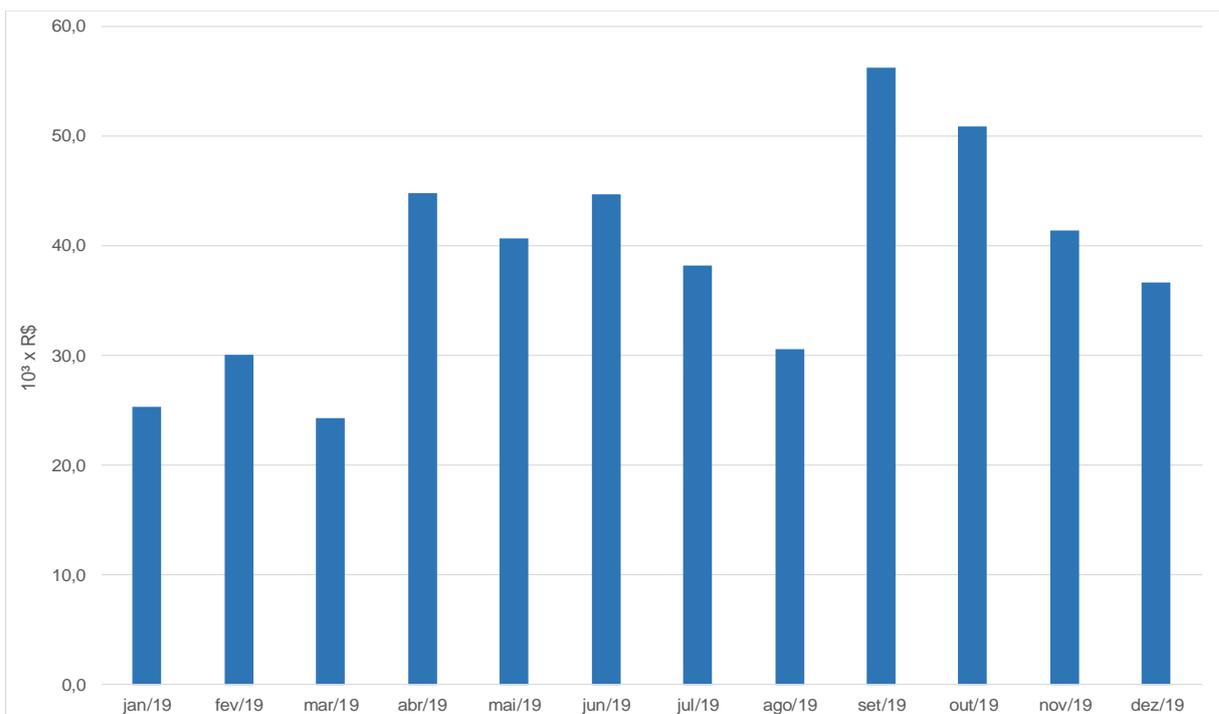


Gráfico 2 - Valor Faturado da FGA no ano de 2019. Fonte: (Composição autor, 2021)

A caracterização da carga do Campus foi realizada com os dados do ano de 2019, devido a anormalidade do perfil de consumo do prédio nos anos de 2020, 2021 e 2022 em decorrência das mudanças para atividades total ou parcial em home office. Nesses dados apresentados há pouca contribuição de consumo realizado no prédio LDTEA, devido sua inauguração ter sido realizada em setembro de 2019.

Após o panorama geral da FGA, a seguir há uma descrição do prédio UAC, que é o foco dos estudos desse trabalho.

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO PRÉDIO

A caracterização do prédio UAC se baseado na planta arquitetônica do prédio, disponibilizado pelo Centro de Planejamento Oscar Niemeyer – CEPLAN da UnB, e visita técnica. O prédio é composto por dois andares, o primeiro pavimento possui 2.102,0 m² e o segundo pavimento tem 2.583,9 m², com os seguintes ambientes:

- 18 Salas de aula;
- Salas de informática com 1 sala de apoio cada;
- 1 Auditório com depósito e salas técnicas;
- 1 Biblioteca;
- 1 Secretaria;
- 1 Lanchonete;
- Salas multiuso;
- 1 Sala de Centro de Processamento de Dados (CPD);
- 1 Sala para uma das coordenações da Diretoria de Acompanhamento e Integração Acadêmica (DAIA) do Decanato de Ensino de Graduação (DEG), chamado SOU;
- 1 laboratório;
- 5 Racks;
- 1 armário de serviços gerais;
- Uma caixa d'água;
- Banheiros.

A ocupação média dos ambientes do prédio UAC (tab.1) foi feita com base em dados obtidos com os trabalhadores dos ambientes e com as capacidades de acomodação de alunos nas salas de aula, biblioteca e auditório.

Tabela 1 - Valor de ocupação média por tipos de ambientes.

Ambiente	Numero medio de pessoas
Armario serviços gerais	1
Auditório	226
Banheiros	5
Biblioteca	64
Corredor superior	10
Corredor terreo	10
CPD	1
Hall auditorio	10
Laboratório biblioteca	15
Laboratório software	3
Lanchonete	4
Salas de apoio I10 e S10	10
Salas de aula I1, I4, I5 e I8	42
Salas de aula I10 e S10	81
Salas de aula I2,I3, I6 e I7	64
Salas de aula I9, S9, S4, S3, S2, S1	120
Salas de aula S5, S8	42
Salas de aula S6,S7	64
Salas Multiuso 1 e 2	5
Salas Multiuso 3	21
Secretaria	6
SOU	1

Para a realização das análises de impactos das ações de EE foram levantados os dados da composição de lâmpadas do prédio anterior (lâmpadas Fluorescentes (LFT) e de Vapor de Sódio (VdS)) e atual (lâmpadas LED tipo bulbo, tubular e cúpula refletora) com base no diagnóstico energético elaborado pela UnB na época da captação de capital para aplicação da ação 1 de EE e em visita técnica, Tab. (2).

Tabela 2 - Composição do Sistema de Iluminação anterior e atual do Prédio UAC.

Antes						Atual		
Lâmpada			Luminária			Lâmpada		
Descrição	Pot. Unitaria (W)	Quant. Total	Reator	Pot. Do Reator (W)	Quant. Total	Descrição	Pot. Unitaria (W)	Quant. Total
LFT	15	260	Eletrônico	4	743	LED Bulbo A-60	8	260
LFT	20	1634	Reator	24	29	LED Tubular	9	1634
VdS	250	29				LED Cupula	100	5
						Refletor LED	100	24
						Refletor LED	100	30

Grande parte do condicionamento ambiental atual foi instalado nos anos de 2020 e 2021, com ar-condicionado com classificação “A” do selo do Inmetro, quando disponíveis equipamentos com potência necessária. Na Tabela (3) temos a relação dos equipamentos de condicionamento ambiental do prédio.

Tabela 3 - Composição do Sistema de Condicionamento Ambiental atual do Prédio UAC.

Descrição	Potência (BTU)	Potencia(W)	Quant. Total
Ar condicionado Split HW	9.000	1.208	1
Ar condicionado Split HW	18.000	2.600	8
Ar condicionado Split HW	24.000	3.040	11
Ar condicionado Split HW	30.000	3.600	11
Ar condicionado Split HW	36.000	3.737	1
Ar condicionado Split Piso-Teto	48.000	6.080	2
Ar condicionado Split Piso-Teto	60.000	7.600	8

Para elaboração dos cálculos de economia de energia foi estabelecido quantidade de dias no ano e horas por dia de uso dos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental com base no calendário acadêmico, cronogramas de aulas do ano de 2019 (utilizado dados de 2019, devido a anormalidade do perfil de consumo do prédio nos anos de 2020 em decorrência das mudanças para atividades *home office*) e levantamento de informações com servidores que trabalham no prédio. A Tabela (4) traz as informações de utilização do sistema de iluminação por ambientes ordenados conforme dias de funcionamento no ano e horas de utilização no dia.

Tabela 4 - Funcionamento do Sistema de Iluminação por dias no ano e horas por dia.

Ambiente	Dias de funcionamento por ano (dias)	Horas de funcionamento por dia (h)
Arquivo e deposito	240	2
Area Circulação auditorio	200	12
Areas de circulação (corredores e escadas) e Hall	240	4
Auditório		
Auditório e suas salas tecnicas, palco e depósito	200	8
Banheiros inferiores e superiores	240	8
Biblioteca + sala de computadores	240	12
Caixa d'água	200	2
circulação das salas multiuso	200	2
CPD	200	8
Iluminação externa - Entrada do Prédio	365	6
Iluminação externa em cima do prédio	365	6
lanchonete	200	11
Rack	200	2
Salas de apoio das salas de informática	200	6
Salas de Aula	200	8
Salas de Informatica	200	10
Salas Multiuso	200	8
Secretaria	240	8
SOU	200	8

O sistema de condicionamento ambiental também teve o levantamento de dias e horas de funcionamento, conforme a Tab. (5). O *set point* (Temperatura para acionamento dos equipamentos de ar-condicionado) utilizado nas salas de aula, salas administrativas e auditório é de 23 °C e para os ambientes de CPD, Laboratório de software e Rack 1 – térreo o *set point* ficou estabelecido em 21 °C.

Tabela 5 - Funcionamento do Sistema de condicionamento ambiental por dias no ano e horas por dia.

Ambiente	Dias de funcionamento por ano (dias)	Horas de funcionamento por dia (h)
Auditorio	240	8
Biblioteca	240	8
CPD	365	24
Laboratorio de software	365	24
Rack 1 - Terreo	365	24
Salas Multiuso 1, 2 e 3	200	8
Salas de apoio I10 e S10	200	6
Salas de aula	200	8
SOU	240	8

Os equipamentos gerais eletroeletrônicos levantados no prédio, estão descritos na Tab.(6), não sendo possível obter dados dos equipamentos que estão no local da lanchonete.

Tabela 6 – Potência dos equipamentos eletroeletrônicos do prédio UAC, por ambientes.

Ambiente	Potencia dos Equipamentos eletroeletrônicos (W)	Area (m)	Power Density (W/m²)
Biblioteca	3510	250,56	14,01
Corredor inferior	750	688,75	1,09
CPD	17610	23,31	755,47
Laboratorio- antiga reprografia (lab.Software)	7050	47,09	149,71
Lanchonete	3500	19,00	184,21
Rack 1 terreo	3000	6,23	481,54
Sala computadores (lab.biblioteca)	2996	27,20	110,15
Salas de Apoio I10 e S10	110	20,70	5,31
Sala I1	110	32,66	3,37
Sala I10 (lab.Informatica)	17280	186,66	92,57
Sala I2, I3	90	66,24	1,36
Sala I4, I5	110	35,65	3,09
Sala I6	10110	71,65	141,10
Sala I7	8400	71,65	117,24
Sala I8	110	35,65	3,09
Sala I9, S9	180	138,08	1,30
Sala Multiuso 1 e 2	1700	19,12	88,91
Sala Multiuso 3	110	22,46	4,90
Sala S1, S2, S3 S4	180	138,08	1,30
Sala S10 (lab.Informatica)	17190	186,66	92,09
Sala S5, S8	110	33,58	3,28
Sala S6, S7	90	64,32	1,40
Secretária	6660	66,48	100,18
SOU	1590	23,31	68,21

4.2 MODELO BASE CRIADO NO *DESIGNBUILDER*

No presente trabalho foi elaborado um modelo base do prédio UAC, conforme a planta do prédio com configurações de materiais e carga térmica dos ambientes, no software *DesignerBuilder*, sendo especificado para a criação do modelo o padrão climático do banco de dados do próprio software com dados do aeroporto de Brasília. A seguir são apresentadas as imagens do prédio simulado nos modos: *Rendered View*, Figs. (4), (5), (6) e (7), em que é apresentada uma visão renderizada do prédio em conjunto com a carta solar da região e *Model Data*, Figs. (8) e (9) sendo apresentado nessa versão as configurações dos materiais de cada área do prédio auxiliando o usuário a identificar a correta disposições das configurações.

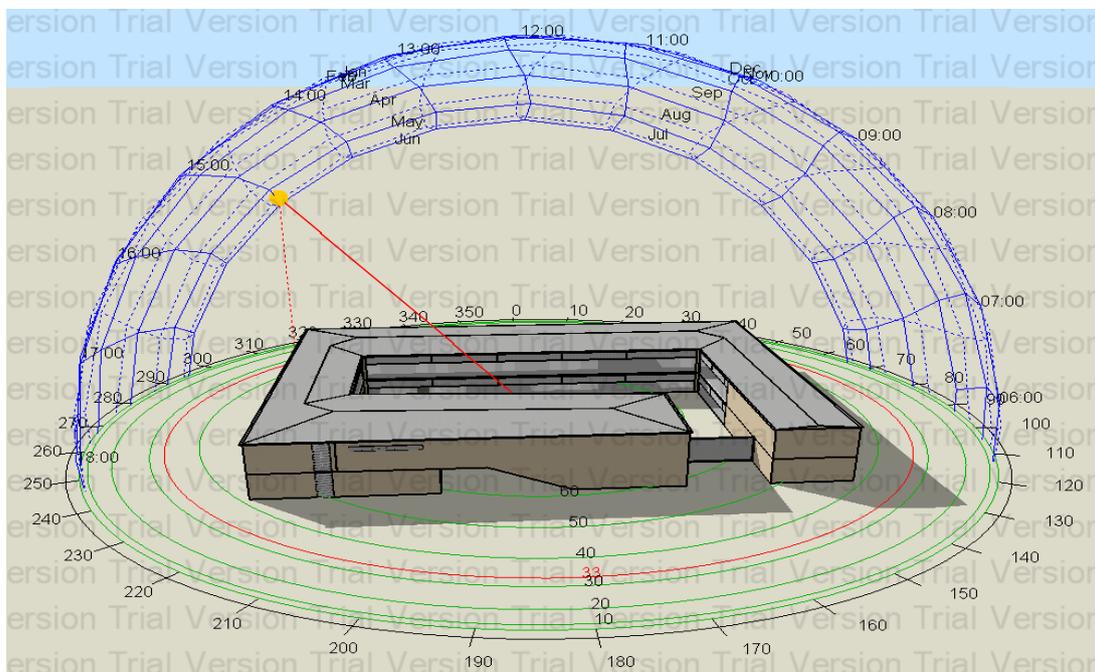


Figura 4 – Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de visão renderizada – Vista frontal. Fonte: (Composição da autora - *DesignBuilder*, 2022).

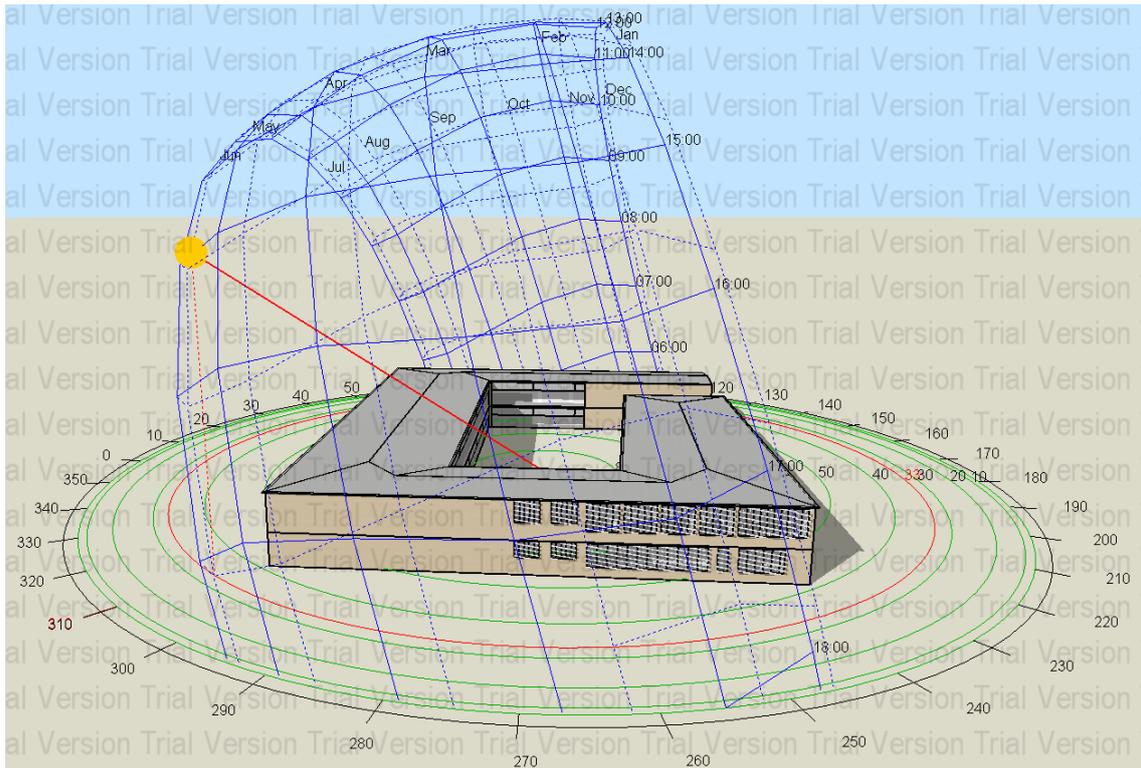


Figura 6 - Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de visão renderizada – Vista lateral esquerda. Fonte: (Composição da autora - *DesignBuilder*, 2022).

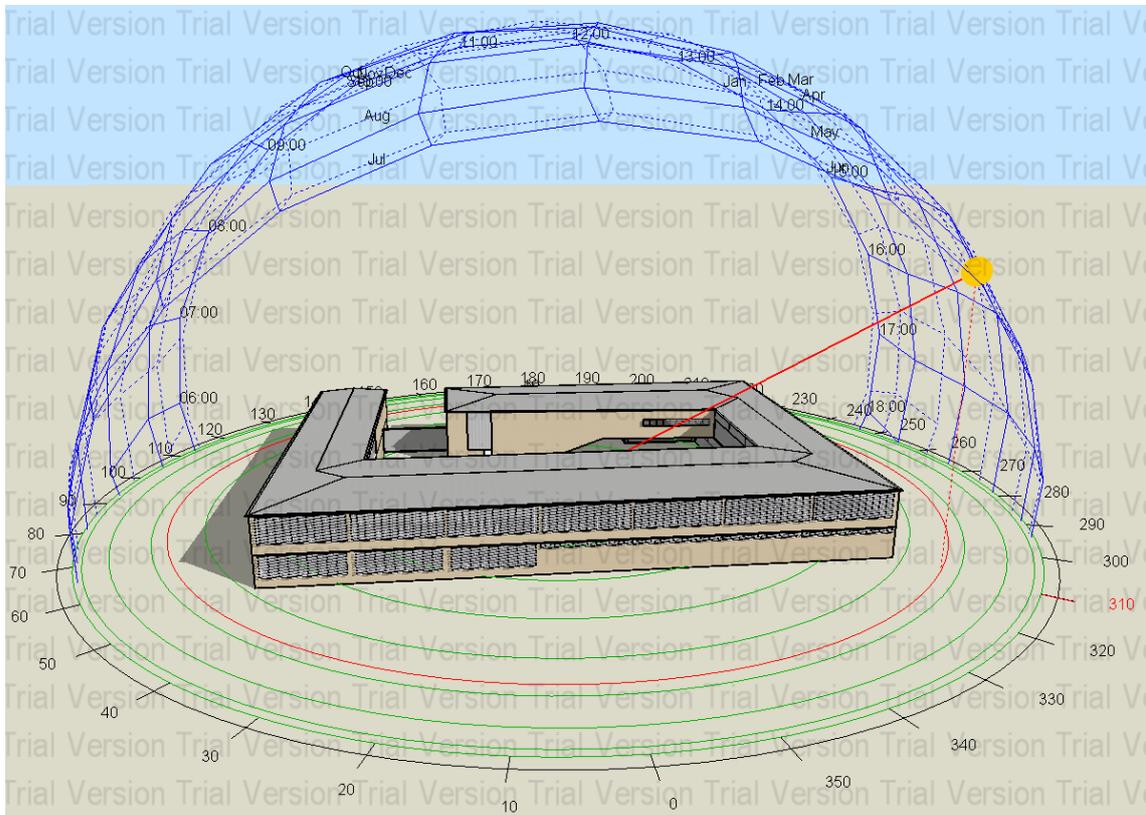


Figura 5 - Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de visão renderizada – Vista posterior. Fonte: (Composição da autora - *DesignBuilder*, 2022).

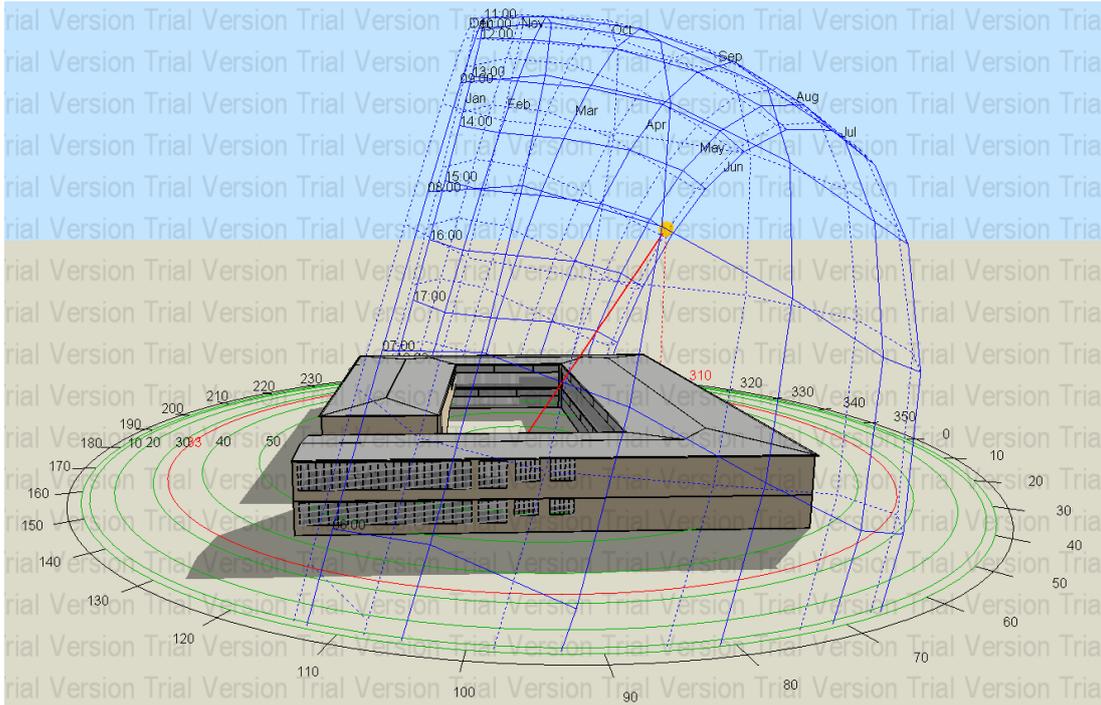


Figura 7 - Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de visão renderizada – Vista lateral direita. Fonte: (Composição da autora - *DesignBuilder*, 2022).

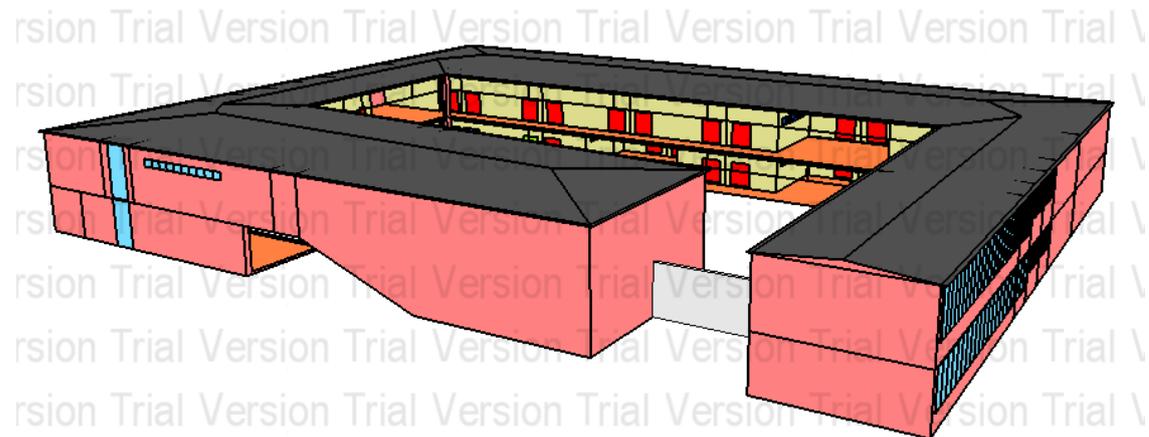


Figura 8- Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de identificação de configuração de materiais – Vista angular lateral direita. Fonte: (Composição da autora - *DesignBuilder*, 2022).

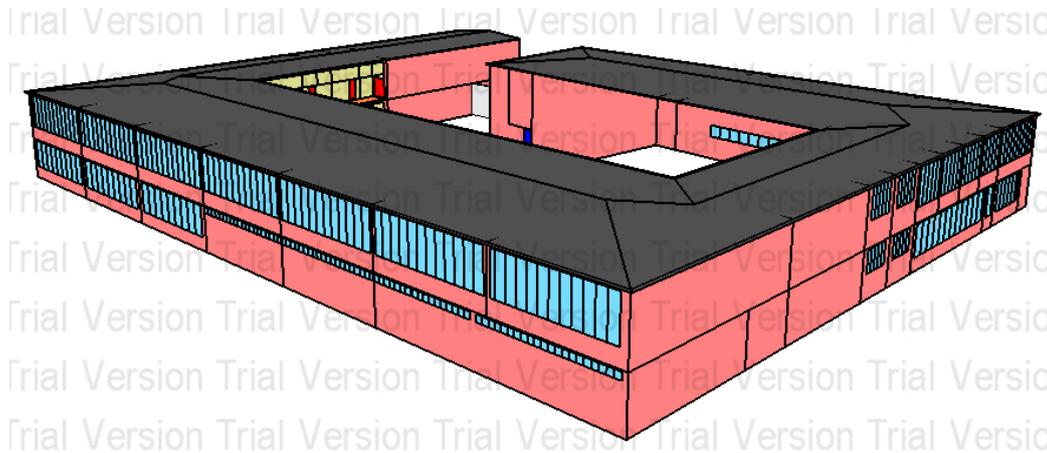


Figura 9 - Imagem do modelo base do prédio UAC no modo de identificação de configuração de materiais – Vista angular lateral esquerda. Fonte: (Composição da autora - *DesignBuilder*, 2022).

Na figura 12 é apresentado uma imagem exemplo para observação da construção das configurações das paredes do prédio.

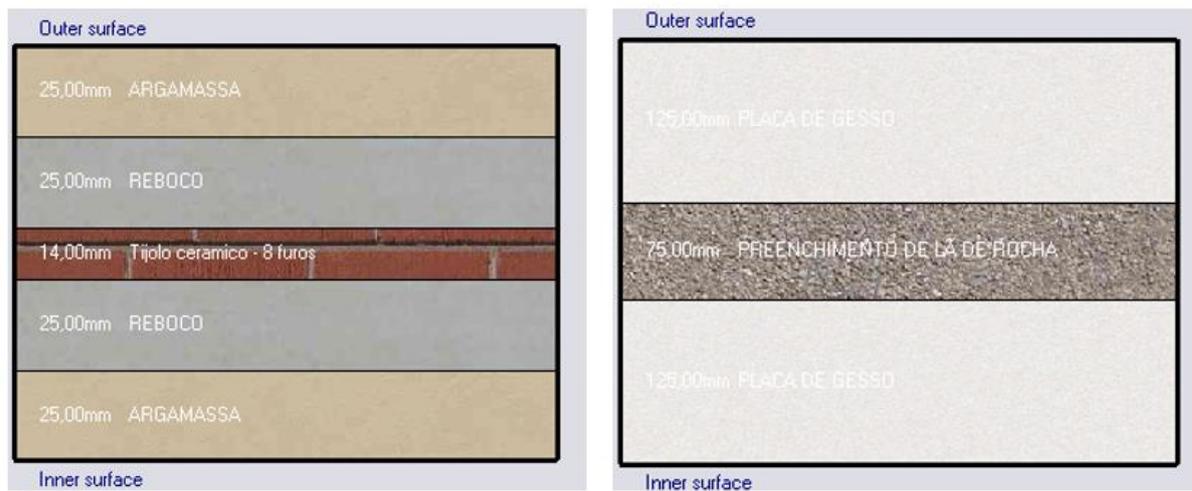


Figura 10 - (a) Composição das paredes externas. (b) Composição das paredes internas. Fonte: (Composição da autora - *DesignBuilder*, 2022).

5 DESCRIÇÃO DAS MUDANÇAS RELIZADAS COM AS AÇÕES DE EE

As ações de EE analisadas nesse trabalho são:

- I. Mudanças no sistema de iluminação, com a troca de lâmpadas Florescentes e de Sódio Vapor por lâmpadas e Refletores de LED (*Retrofit* Iluminação);
- II. Aplicação na parte interna das paredes do prédio de camada de manta de lã de vidro e placa de EPS – Poliestireno Expandido (estudo de caso 1 - intervenção 1);
- III. Troca dos vidros atuais comuns por vidros duplos (estudo de caso 1 - intervenção 2);
- IV. Aplicação das intervenções 1 e 2 ao mesmo tempo (estudo de caso 1 – intervenção 1 e 2)
- V. Troca das telhas atuais por telha termoacústica (estudo de caso 2 – intervenção 3)
- VI. Troca das telhas atuais por telha Top Steel (estudo de caso 2 – intervenção 4)
- VII. Trocar a cobertura atual (concreto maciço com aplicação de selador acrílico e telhas L- 40) (estudo de caso 3).

Na Tabela (7) está descrito os materiais e suas características do caso base e das novas camadas propostas na intervenção 1 do estudo de caso 1.

Tabela 7 - Composição das paredes externas e internas do modelo - caso base.

Material paredes externas	Características	Material paredes internas	
Tijolo cerâmico 6 furos quadrado	Espessura: 90 mm	Placa de Gesso	Espessura: 12,5 cm
	Resistência Térmica: 0,1920 m ² K/W		Densidade.: 800 kg/m ³
	Fonte: (DesignBuilder, 2022)		Calor específico: 1090 J/kg.K
Reboco	Espessura: 5 mm	Preenchimento de lã de rocha	Fonte: (ÇENGEL, 2012)
	Condut. Térm.: 0,17 W/m.K		Espessura: 75 mm
	Densidade.: 500 kg/m ³		Densidade.: 9,6 kg/m ³
	Calor específico: 840 J/kg.K		Calor específico: 710 J/kg.K
	Fonte: (DesignBuilder, 2022)		Fonte: (ÇENGEL, 2012)
Argamassa	Espessura: 25 mm		
	Condut. Térm.: 0,88 W/m.K		
	Densidade.: 2800 kg/m ³		
	Calor específico: 896 J/kg.K		
	Fonte: (DesignBuilder, 2022)		

Tabela 8 - Materiais que serão adicionados na camada interna das paredes no estudo de caso 1 - Intervenção 1

Material	Características
Manta de lã de vidro	Espessura: 50 mm
	Condut. Térm. lã de Vidro: 0,05 W/m.K
	Densidade.: 4,8 kg/m ³
	Fonte: (ÇENGEL, 2012)
Placas de EPS – Poliestireno Expandido	Espessura: 30 mm
	Condut. Térm.: 40 W/m.K
	Densidade: 16 kg/m ³
	Calor específico: 1200 J/kg.K
	Fonte: (ÇENGEL, 2012)

A composição das paredes do modelo elaborado como base é apresentado na Tab. (7) e os materiais que foram adicionados a camada interna de todas as paredes no estudo de caso 1 – intervenção 1 são apresentados na Tab. (8).

Tabela 9 - Materiais e suas características do caso base e propostos estudo de caso 1 - intervenção 2

Material atual	Características	Material Proposto	Características
Vidro comum	Espessura: 6 mm	Vidro duplo de baixa emissividade (com camada central com 13 mm de ar)	Espessura: 25 mm
	Fator solar: 0,7		Fator solar: 0,7
	Transmitância Térmica: 3,779 W/m ² K		Transmitância Térmica: 1,761 W/m ² K
	Fonte: (DesignBuilder, 2022)		Fonte: (DesignBuilder, 2022)

Na tabela 9 é apresentado as características das atuais janelas do prédio e das janelas propostas para o estudo de caso 1 – intervenção 2.

Tabela 10 - Relação de material atual e material proposto para troca na cobertura do Prédio UAC.

Material atual	Características	Material Proposto	Características
Concreto Maciço	Espessura: 200 mm	Telha Termoacústica	Espessura: 0,51 mm
	Resistência Térmica: 0,114 m ² K/W		Dados do poliuretano: Condut. Térm.: 0,03 W/m.K
	Fonte:(LABEEE,2003)		Calor específico: 1670 J/kg.K
Telha L-40 de aço com pintura cinza	Composição: Pintura eletrostática + Aço galvanizado + Pintura eletrostática		Fonte:(ANANDA, 2010)
		Telha TOP STEEL	Espessura: 2 mm
			Dados do asfalto oxidado: Condut. Térm.: 1,15 W/m.K
			Calor específico: 920 J/kg.K
			Massa especif.: 2300 kg/m ³
			Fonte:(BRASILIT, 2010)

Os materiais utilizados nas simulações do estudo de caso 2 – intervenções 3 e 4 e do caso base, em que é proposto a troca da atual cobertura do prédio, têm suas características descritas na Tab. (10).

Para o estudo de caso 3 em que há a análise do impacto do sistema fotovoltaico instalado no prédio, foi posto na simulação “*Component Blocks*”, um tipo de bloco que pode ser criado no *DesignBuilder* para análises de sombreamento e coberturas, quando esse elemento não deve ser considerado como uma nova zona térmica para a simulação. Na Fig. 13 está apresentado a visão renderizada do prédio com a representação dos conjuntos de painéis conforme disposição apresentada no projeto da instalação (informações fornecidas pelos engenheiros responsáveis por esse projeto).

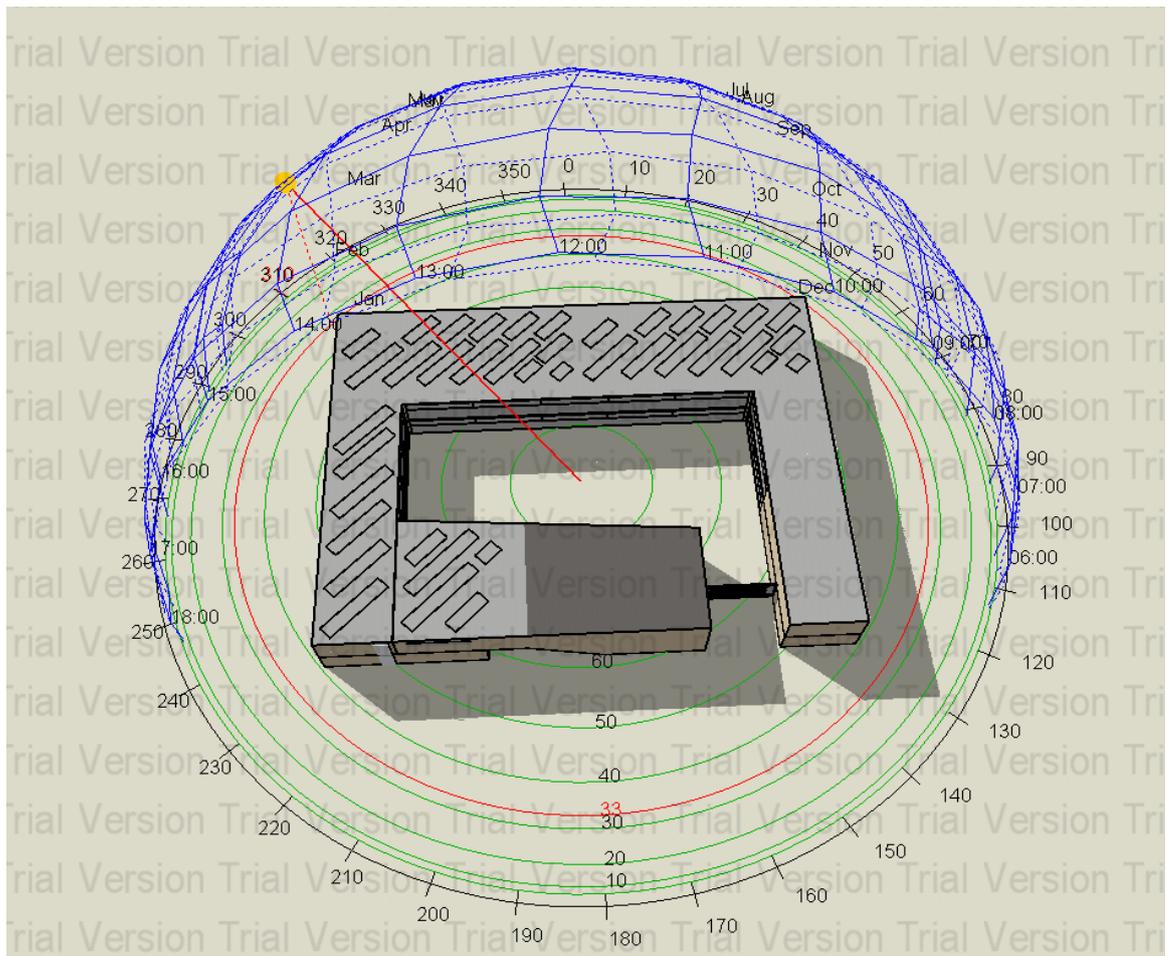


Figura 11 – Imagem da disposição do sistema fotovoltaico instalado no prédio. Fonte: (Composição da autora - DesignBuilder, 2022).

Para as investigações dos estudos de caso 1, 2 e 3 o cenário base utilizado para comparação de resultados foi o mesmo, possuindo como características os materiais apresentados nas tabelas 7, 8 e 9 como “material atual” e com o sistema de iluminação atual (pós *retrofit*) e sistema de ar-condicionado que são apresentados nas tabelas 2 e 3.

6 ESTUDO CASO: PRÉDIO UAC – UNB

6.1 POTENCIAL TEÓRICO DE ECONOMIA MEDIDA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 1 – *RETROFIT* SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

O cálculo do potencial teórico de economia de energia com o *retrofit* do sistema de iluminação, foi estimado utilizando a potência nominal dos equipamentos e o tempo de funcionamento dos mesmos. Sendo assim possível calcular a energia consumida pelos sistemas antes e depois das ações de EE e ter uma estimativa de energia economizada com a mudança.

Com os dados e informações obtidas, que estão descritas no capítulo 3, foi organizado ambientes com características de iluminação similares em sistemas de iluminação numerados de 1 a 32, Tab. (10).

Tabela 11 - Classificação dos sistemas de iluminação.

Ambiente	Classificação dos sistemas de iluminação
Escadas 1	Illum.1
Banheiros inferiores e superiores (20,09 m ²)	Illum.2
Auditório	Illum.3
Salas de Aula (I1 a I9 + S1 a S9)	Illum.4
Salas de Informática I10 e S10 (194,80 m ²)	Illum.5
Salas de apoio I10 e S10	Illum.6
Biblioteca + sala de computadores	Illum.7
Secretaria	Illum.8
Arquivo e depósito	Illum.9
Rack	Illum.10
Lanchonete	Illum.11
Corredor frente ao Obelisco	Illum.12
Corredor Frente Secretaria + corredor em frente ao SOU	Illum.13
Corredores Principal Inferior e Superior	Illum.14
Corredores em frente a I6 e I7 e S6 e S7	Illum.15
Corredores em frente a I10 e S10	Illum.16
Corredor frente rampa	Illum.17
Sala Multiuso 1 (12,75 m ²)	Illum.18
Sala Multiuso 2 (8,26 m ²)	Illum.19
Sala Multiuso 3 (24,24 m ²)	Illum.20
Hall Auditório	Illum.21
SOU	Illum.22
Área Circulação auditório	Illum.23
Salas Técnicas do Auditório	Illum.24

Continuação Tabela 11 - Classificação dos sistemas de iluminação.

Ambiente	Classificação dos sistemas de iluminação
CPD	Illum.25
Laboratório- antiga reprografia	Illum.26
Circulação das salas multiuso	Illum.27
Escadas 2	Illum.28
Caixa d'água	Illum.29
Palco e depósito Auditório	Illum.30
Iluminação externa - Entrada do Prédio	Illum.31
Iluminação externa em cima do prédio	Illum.32

O cálculo da energia consumida (E_c) anualmente antes e depois de fazer o processo de eficiência do sistema de iluminação, bem como, a potência média de ponta (P_{mp}) foram realizados com as Eq.(2) e Eq. (3).

$$E_c = n \times P \times h \times d \quad (2)$$

$$P_{mp} = n \times P \times \left(\frac{hp \times dp}{792} \right) \quad (3)$$

Sendo: n: quantidade de lâmpadas;

P: potência nominal da lâmpada;

h: número de horas de funcionamento diário;

hp: número de horas de funcionamento diário horário de ponta;

d: o número de dias de funcionamento em um ano;

dp: o número de dias de funcionamento em ponta.

Na Equação (3) o fator 792, que aparece dividindo, representa o número total de horas de funcionamento em horário de ponta possível em um ano, deste modo sua função é calcular a porcentagem do tempo de ponta em que o equipamento fica funcionando e assim estimar sua potência em ponta.

Para executar os cálculos os sistemas de iluminação foram organizados em duas tabelas, uma para o período de anterior e outra para o período posterior ao *retrofit*. As tabelas com os sistemas preenchidos são encontradas no Apêndice A. A economia de energia será calculada com base na aplicação da Eq. geral (1) a cada subsistema como mostrado a seguir:

$$EE = \sum_n^m (E_{c_{ar}} - E_{c_{pr}}) \quad (4)$$

Os termos " $E_{c_{ar}}$ " e " $E_{c_{pr}}$ " representam as energias consumidas pelo sistema de iluminação do ambiente antes e pós *retrofit*, respectivamente, "n" identifica qual o sistema dos "m" sistemas totais.

Para a redução da potência em ponta foi utilizada uma equação semelhante.

$$RPP = \sum_{n=1}^m (Dp_{ar} - Dp_{pr}) \quad (5)$$

Em que Dp_{ar} e Dp_{pr} são as demandas em ponta antes e pós *retrofit*, respectivamente.

Na Tabela (11) está descrito os valores encontrados de energia economizada e a redução de demanda na ponta de cada sistema de iluminação. Os cálculos não foram validos para o sistema de iluminação 32, pois esse foi implementado somente no pós *retrofit*.

Tabela 12 - Resultado da economia de energia e da redução de energia na ponta com aplicação de ação de eficiência no sistema de iluminação.

	Redução de Demanda na Ponta (kW)	Energia Economizada (MWh/ano)
Total	3,77	57,58
Ilum.1	0,09	0,38
Ilum.2	0,00	0,86
Ilum.3	0,00	1,57
Ilum.4	0,00	27,27
Ilum.5	0,00	6,14
Ilum.6	0,00	0,23
Ilum.7	0,40	4,15
Ilum.8	0,00	0,86
Ilum.9	0,00	0,03
Ilum.10	0,00	0,01
Ilum.11	0,00	0,21
Ilum.12	0,02	0,09
Ilum.13	0,15	0,63
Ilum.14	0,31	1,23
Ilum.15	0,06	0,25
Ilum.16	0,08	0,31
Ilum.17	0,11	0,18
Ilum.18	0,00	0,15
Ilum.19	0,00	0,10
Ilum.20	0,00	0,41
Ilum.21	0,21	0,25
Ilum.22	0,00	0,20
Ilum.23	0,00	0,31
Ilum.24	0,00	0,41
Ilum.25	0,00	0,41
Ilum.26	0,00	0,31
Ilum.27	0,00	0,01

Continuação Tabela 12 - Resultado da economia de energia e da redução de energia na ponta com aplicação de ação de eficiência no sistema de iluminação.

	Redução de Demanda na Ponta (kW)	Energia Economizada (MWh/ano)
Illum.28	0,02	0,06
Illum.29	0,00	0,01
Illum.30	0,00	1,39
Illum.31	2,32	9,15
Illum.32	—	—

Devido a ausência de condicionamento ambiental em todo o prédio no período anterior a aplicação de *retrofit* do prédio, não foram realizados cálculos teóricos do consumo associado a esse sistema. Sendo a análise energética do sistema de ar-condicionado realizada na comparação entre cenário do caso base e cenários das intervenções propostas nesse trabalho, com a utilização das simulações.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES - CALIBRAÇÃO DOS AMBIENTES MODELADOS

Para realização dos estudos foram realizados cálculos teóricos do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação antes e após aplicação da ação de eficiência energética e depois realizada simulações dos ambientes conforme os dados de potencia dos sistemas elétricos dos ambientes. Neste trabalho não foi possível realizar a calibração das simulações, pois os dados de consumo obtidos englobam todo o campus do Gama, não somente o objeto de estudo, prédio UAC.

7.1 RESULTADOS DA ECONOMIA DE ENERGIA PARA OS AMBIENTES MODELADOS

Primeiramente realizou-se o cálculo da economia de energia dos ambientes modelados e esses resultados foram confrontados com os dados de saída obtidos nas simulações. Esses resultados são apresentados nas seções a seguir.

7.1.1 Resultados Teóricos Esperados para os Ambientes Modelados (Sistema de Iluminação)

As lâmpadas utilizadas antes da aplicação da ação de EE nos ambientes simulados possuíam potência nominal de 15 W (sem reator), 20 W, 32 W e 250 W estas três últimas com reatores com potência de 4 W e 24 W, assim, as lâmpadas apresentam potencias compostas de 15 W, 24 W, 36 W e 274 W. Após o *retrofit* foram usadas lâmpadas e Refletores de LED de 8 W, 9 W, 18 W, 100 W e 150 W, que não necessitam de reator.

A tabela a seguir apresenta o consumo teórico calculado. Ressaltando que foram utilizados os dados presentes na seção anterior para realizar os cálculos.

Tabela 13: Resultados do cálculo teórico do sistema de iluminação antes e depois das AEE (elaborado pela autora).

Consumo de Energia antes da AEE - Resultados Esperados									
		Total	Salas de Aula	Laboratório e Biblioteca	Salas administrativas	Auditório	Iluminação Externa*	Corredores	Banheiros
Energia consumida	MWh/ano	83,97	44,40	6,01	4,94	6,81	14,55	6,11	1,15
Demanda média na ponta	kW	12,13	0,00	0,00	0,00	0,00	5,54	6,59	0,00
Consumo de Energia depois da AEE - Resultados Esperados									
		Total	Salas de Aula	Laboratório e Biblioteca	Salas administrativas	Auditório	Iluminação Externa*	Corredores	Banheiros
Energia consumida	MWh/ano	47,22	19,08	3,15	2,57	3,30	6,04	3,32	0,61
Demanda média na ponta	kW	6,25	0,00	0,00	0,00	0,00	2,76	3,49	0,00
Economia de Energia depois da AEE - Resultados Esperados									
		Total	Salas de Aula	Laboratório e Biblioteca	Salas administrativas	Auditório	Iluminação Externa*	Corredores	Banheiros
Redução de demanda na ponta	kW	5,88	0,00	0,00	0,00	0,00	2,78	2,79	0,00
Percentagem de Redução de demanda na ponta	%	48,47	0,00	0,00	0,00	0,00	50,15	42,32	0,00
Energia economizada	MWh/ano	36,75	25,32	2,86	2,37	3,51	8,51	3,10	0,54
Percentagem de Redução de Energia Consumida	%	43,77	57,03	47,59	48,00	51,55	58,49	50,74	46,67

(*sistema de ilum.32 retirado do calculo)

A tabela apresenta a economia de energia esperada para todo o prédio no valor de 36,75 MWh/ano, que representa uma redução de aproximadamente 44% no consumo de energia com a parte de iluminação do prédio. Os maiores percentuais de redução esperado, com relação ao sistema anterior são: Iluminação externa e salas de aula com economias de 58% e 57%, respectivamente.

O sistema de iluminação externa no cenário pós AEE teve adição de mais um sistema de iluminação, o que acarreta um aumento no consumo de energia no pós AEE. Nessa tabela não foi incluído o sistema 32 (que não existia antes da aplicação da AEE), nos valores do sistema de iluminação externo, para possibilitar a visualização de redução de demanda devido a influência exclusiva da aplicação das AEE.

A partir da análise das substituições realizadas é possível observar que a potência média das lâmpadas de LED corresponde à cerca de metade da potência das lâmpadas fluorescentes antigas de modo que os resultados de EE e RDP indicam uma redução de aproximadamente 44% e 49%, **respetivamente**, o que indica que a metodologia de cálculo apresenta resultados coerentes.

Não foi realizada análise dos sistemas de condicionamento ambiental devido ao baixo nível de condicionamento no período anterior a aplicação das ações de EE.

7.1.2 Resultados das simulações dos Modelados (Sistema de Iluminação)

Devido a impossibilidade de realizar medições reais no prédio com todos os sistemas sendo utilizados, devido à realização de trabalhos remotos ou parcialmente remotos nos anos de 2021 e 2022 em consequência da pandemia de covid-19 e porque a ativação dos sistemas acarretaria um dispêndio energético e consequentemente financeiro muito elevados assim não foi realizada a calibração do modelo.

As tabelas 14 e 15 apresentam a comparação dos valores obtidos na simulação e o valor teórico cálculo para o modelo antes das AEE e depois das AEE, respectivamente.

Tabela 14: Resultados do cálculo teórico e da simulação do sistema de iluminação antes das AEE (elaborado pela autora).

Comparação Estudo de Caso 1 - Antes das AEEs (Iluminação)									
		Total	Salas de Aula	Laboratorio e Biblioteca	Salas administrativas	Auditório	Iluminação Externa	Corredores	Banheiros
Teoria	MWh/ano	83,97	44,40	6,01	4,94	6,81	14,55	6,11	1,15
Simulação	MWh/ano	84,59	44,94	5,94	4,92	6,89	14,55	6,18	1,17
Variação entre Teoria e Simulação (%)	%	0,74	1,22	-1,15	-0,40	1,17	0,00	1,15	1,74

Tabela 15: Resultados do cálculo teórico e da simulação do sistema de iluminação depois das AEE (elaborado pela autora).

Comparação Estudo de Caso 1 - Depois das AEEs (Iluminação)									
		Total	Salas de Aula	Laboratorio e Biblioteca	Salas administrativas	Auditório	Iluminação Externa	Corredores	Banheiros
Teoria	MWh/ano	47,22	19,08	3,15	2,57	3,30	15,19	3,32	0,61
Simulação	MWh/ano	47,60	19,32	3,18	2,60	3,34	15,19	3,35	0,62
Variação entre Teoria e Simulação (%)	%	0,80	1,26	0,95	1,17	1,21	0,00	0,90	1,64

Os resultados apresentam que os resultados das simulações ficaram entre -1,15% e +1,74%. A maior variação negativa foi do resultado antes das AEE do laboratório de software mais biblioteca, onde o resultado da simulação obteve um valor de consumo de energia 1,15% inferior ao cálculo teórico (Tabela A). O maior valor positivo, também ocorreu na simulação antes das AEE, em que o resultado da simulação do consumo dos banheiros ficou 1,74% maior do que o esperado pelos cálculos teóricos. O valor total resultante da simulação antes das AEE ficou 0,74% superior ao esperado e o resultado do pós AEE ficou 0,80% superior. Todos os resultados das simulações ficaram dentro de uma margem de erro aceitável.

Com base nas simulações realizadas antes e depois das AEE no prédio obteve-se os seguintes valores de economia de energia para o sistema de iluminação:

Tabela 16: Resultados simulação do sistema de iluminação antes e depois das AEE (elaborado pela autora).

Estudo de Caso 1 - Antes e depois das AEEs (Iluminação) - Simulação									
		Total	Salas de Aula	Laboratorio e Biblioteca	Salas administrativas	Auditório	Iluminação Externa	Corredores	Banheiros
Antes AEE	MWh/ano	84,59	44,94	5,94	4,92	6,89	14,55	6,18	1,17
Depois AEE	MWh/ano	47,60	19,32	3,18	2,60	3,34	15,19	3,35	0,62
Variação entre antes e depois das AEE (%)	%	-43,73	-57,01	-46,46	-47,15	-51,52	4,40	-45,79	-47,01

O resultado de economia total de acordo com os resultados da simulação foi de 43,73%, valor 0,04% inferior ao esperado pelos cálculos teóricos, que foi de cerca de 43,77%.

Em todas as simulações o erro agregado está dentro da faixa de precisão definida no plano de medição e verificação deste documento (10%), portanto atende aos critérios estabelecidos.

7.2 RESULTADOS ESTUDO DE CASO 1

Os dados de saída analisados no estudo de caso 1, mudanças na envoltória dos ambientes do prédio, foram: consumo total do prédio e do sistema de ar-condicionado e análise da iluminância dos ambientes. Foi utilizado como simulação base para comparação dos resultados, o caso em que o prédio apresenta suas características atuais de composição de envoltória e com o sistema de iluminação de LED e condicionamento ambiental caracterizado nas tabelas 2 e 3, respectivamente. Nas tabelas os resultados de referencia é apresentado como “Dados Base”, sendo comparado com os resultados das simulações com aplicação da “Intervenção 1” (adição de camada interna de lã de vidro e EPS em todas as paredes), depois aplicação da “Intervenção 2” (aplicação de vidros duplos na janela) e por último, aplicação das duas intervenções anteriores simultaneamente sendo nomeada nas tabelas de “Intervenção 1 e 2”, a descrição das intervenções em detalhes é apresentado no Capítulo 5.

7.2.1 Resultados estudo de caso 1 – consumo de energia total

A análise do consumo total do prédio foi realizada com base mensal, sendo utilizado o banco de dados de temperatura do ano de 2012 disponibilizado no *DesignBuilder*. A Tabela 17, apresenta os resultados obtidos para o caso base e para a Intervenção 1.

Tabela 17: Resultados consumo de energia elétrico case base x intervenção 1 (elaborado pela autora).

Consumo Total			
Mês	Dados Base (kWh)	Intervenção 1 (kWh)	Int. 1 - Base (%)
jan	44.853,06	44.020,99	-1,86%
fev	39.794,25	39.054,34	-1,86%
mar	42.997,73	42.195,71	-1,87%
abr	43.166,79	42.365,44	-1,86%
mai	44.853,06	44.020,99	-1,86%
jun	41.311,46	40.540,16	-1,87%
jul	44.853,06	44.020,99	-1,86%
ago	43.925,39	43.108,36	-1,86%
set	42.239,13	41.452,80	-1,86%
out	44.853,06	44.020,99	-1,86%
nov	42.239,13	41.452,80	-1,86%
dez	43.925,39	43.108,36	-1,86%

A aplicação da intervenção 1 teve como resultado a diminuição do consumo total de em todos os meses do ano, apresentando uma redução média de 1,86%.

Tabela 18: Resultados consumo de energia elétrica case base x intervenção 2 (elaborado pela autora).

Consumo Total			
Mês	Dados Base (kWh)	Intervenção 2 (kWh)	Int. 2 - Base (%)
jan	44.853,06	44.853,06	0,00%
fev	39.794,25	39.794,25	0,00%
mar	42.997,73	42.997,73	0,00%
abr	43.166,79	43.166,79	0,00%
mai	44.853,06	44.853,06	0,00%
jun	41.311,46	41.311,46	0,00%
jul	44.853,06	44.853,06	0,00%
ago	43.925,39	43.925,39	0,00%
set	42.239,13	42.239,13	0,00%
out	44.853,06	44.853,06	0,00%
nov	42.239,13	42.239,13	0,00%
dez	43.925,39	43.925,39	0,00%

A aplicação da intervenção 2 não influenciou no consumo de energia elétrica total do prédio, como observado na Tab. 18.

Tabela 19: Resultados consumo de energia elétrica case base x intervenção 1 e 2 (elaborado pela autora).

Consumo Total			
Mês	Dados Base (kWh)	Intervenção 1 e 2 (kWh)	Int. 1 e 2 - Base (%)
jan	44.853,06	44.020,99	-1,86%
fev	39.794,25	39.054,34	-1,86%
mar	42.997,73	42.195,71	-1,87%
abr	43.166,79	42.365,44	-1,86%
mai	44.853,06	44.020,99	-1,86%
jun	41.311,46	40.540,16	-1,87%
jul	44.853,06	44.020,99	-1,86%
ago	43.925,39	43.108,36	-1,86%
set	42.239,13	41.452,80	-1,86%
out	44.853,06	44.020,99	-1,86%
nov	42.239,13	41.452,80	-1,86%
dez	43.925,39	43.108,36	-1,86%

Na análise do cenário com a aplicação das duas intervenções mantem-se o valor de redução associado a intervenção 1, redução média de 1,86%, o que constata a não influencia da intervenção 2 e demonstra que a aplicação das intervenções simultaneamente não agregou novos resultados no consumo de energia.

Observando os dados do consumo de energia elétrica do prédio por mês e com os dados para cada caso estudado é apresentado o Gráfico 3, onde claramente podemos verificar a paridade de consumo entre os cenários: “Dados Base” e “Intervenção 2”, assim como a igualdade na redução de consumo dos cenários: “Intervenção 1” e “Intervenção 1 e 2”.

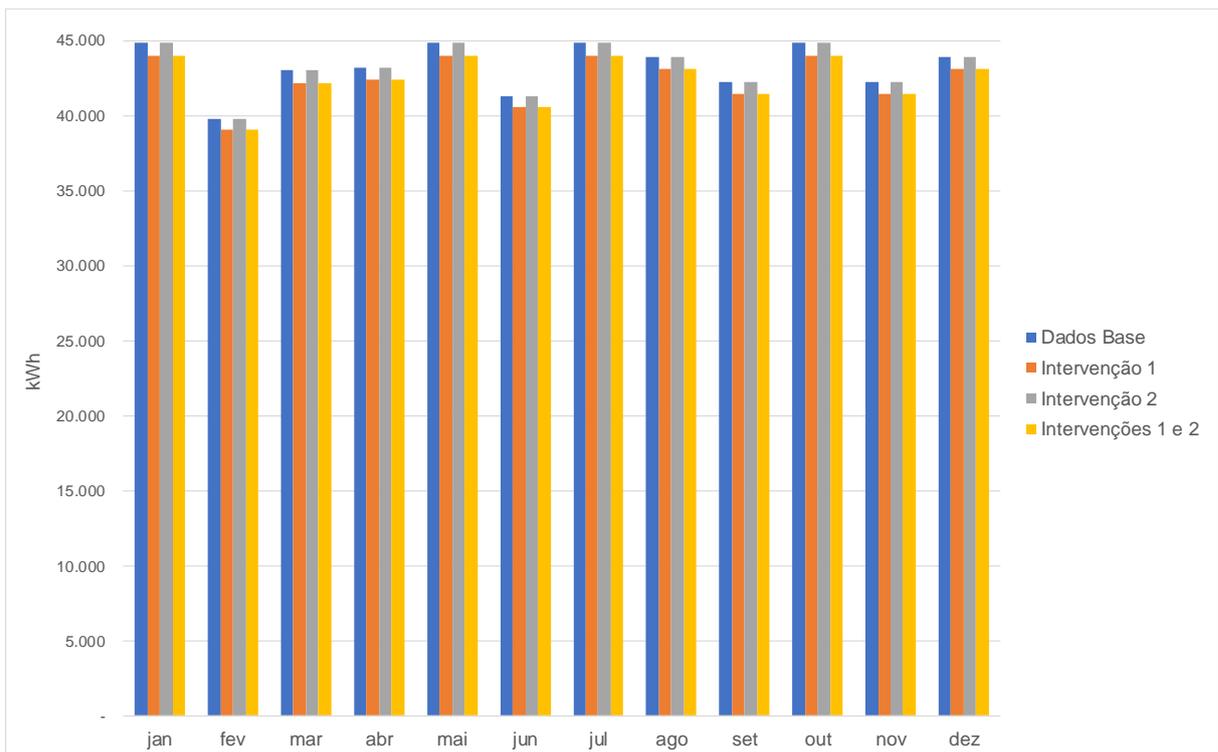


Gráfico 3 - Dados de Consumo de energia elétrica do prédio nas simulações de todos os cenários do Estudo de caso 1. Fonte: (Composição do autor, 2022)

Para verificar o impacto das intervenções no consumo de energia elétrica do prédio com o sistema de condicionamento ambiental, são apresentadas as tabelas a baixo:

Tabela 20: Resultados consumo de energia elétrica com condicionamento ambiental case base x intervenção 1 (elaborado pela autora).

Ar-Condicionado			
Mês	Dados Base (kWh)	Intervenção 1 (kWh)	Int. 1 - Base (%)
jan	12.726,80	12.858,62	1,04%
fev	12.881,18	13.007,68	0,98%
mar	26.269,74	26.794,72	2,00%
abr	28.569,50	28.937,83	1,29%
mai	28.873,47	29.183,41	1,07%
jun	24.421,00	25.183,48	3,12%
jul	19.486,30	19.897,53	2,11%
ago	26.703,25	26.871,94	0,63%
set	29.602,75	29.871,30	0,91%
out	31.889,69	32.468,37	1,81%
nov	27.908,88	28.678,62	2,76%
dez	17.780,35	18.336,35	3,13%

A Tabela 20 demonstra que a intervenção 1 proporcionou um aumento médio no consumo do condicionamento ambiental de 1,74%.

Tabela 21: Resultados consumo de energia elétrica com condicionamento ambiental case base x intervenção 2 (elaborado pela autora).

Ar-Condicionado			
Mês	Dados Base (kWh)	Intervenção 2 (kWh)	Int. 2 - Base (%)
jan	12.726,80	12.967,70	1,89%
fev	12.881,18	12.839,88	-0,32%
mar	26.269,74	26.169,93	-0,38%
abr	28.569,50	28.444,87	-0,44%
mai	28.873,47	28.737,60	-0,47%
jun	24.421,00	24.345,97	-0,31%
jul	19.486,30	19.403,77	-0,42%
ago	26.703,25	26.551,63	-0,57%
set	29.602,75	29.453,81	-0,50%
out	31.889,69	31.749,09	-0,44%
nov	27.908,88	27.803,19	-0,38%
dez	17.780,35	17.752,42	-0,16%

Diferentemente dos resultados para o consumo de energia elétrica total do prédio, em referência ao consumo somente com ar-condicionado a intervenção 2 exibiu uma variação negativa de consumo na maioria dos meses do ano com uma média de redução no valor de 0,21%. O único mês que apresentou aumento do consumo de energia pelo sistema de ar-condicionado foi o mês de janeiro, a investigação dos motivos desse desvio nos valores do mês de janeiro não levou a uma conclusão satisfatória, sendo necessário aprofundar os estudos nessa simulação.

Tabela 22: Resultados consumo de energia elétrico com condicionamento ambiental case base x intervenção 1 e 2 (elaborado pela autora).

Ar-Condicionado			
Mês	Dados Base (kWh)	Intervenção 1 e 2 (kWh)	Int. 1+2 - Base (%)
jan	12.726,80	12.829,16	0,80%
fev	12.881,18	12.964,51	0,65%
mar	26.269,74	26.690,55	1,60%
abr	28.569,50	28.809,42	0,84%
mai	28.873,47	29.043,30	0,59%
jun	24.421,00	25.101,75	2,79%
jul	19.486,30	19.807,38	1,65%
ago	26.703,25	26.709,41	0,02%
set	29.602,75	29.712,93	0,37%
out	31.889,69	32.320,11	1,35%
nov	27.908,88	28.571,46	2,37%
dez	17.780,35	18.310,50	2,98%

Quando estudado a simulação com aplicação simultânea das duas intervenções existe um aumento médio do consumo de energia elétrica pelo sistema de ar-condicionado de 1,33%, valor que fica entre os valores de aumento da intervenção 1 e de redução da intervenção 2, demonstrando que nesse caso uma intervenção influencia na eficiência da outra.

O Gráfico 4 apresenta os dados obtidos nas simulações dos 4 cenários agrupadas pelos meses do ano, podendo ser verificado a redução do consumo na maioria dos meses para a “Intervenção 2”, assim como o aumento do consumo dos cenários: “Intervenção 1” e “Intervenção 1 e 2”. Uma possível explicação para o aumento do consumo do ar – condicionado nas duas últimas intervenções citadas, principalmente na 1, pode ser a disposição dos elementos de isolamento térmico na

camada mais interna das paredes podendo gerar o efeito de reter o calor dos ambientes, exigindo maior performance dos ar-condicionados. A análise de um cenário com aplicação dessas camadas de materiais de isolantes nas camadas mais externas das paredes pode trazer melhor clareza da influência desses materiais.

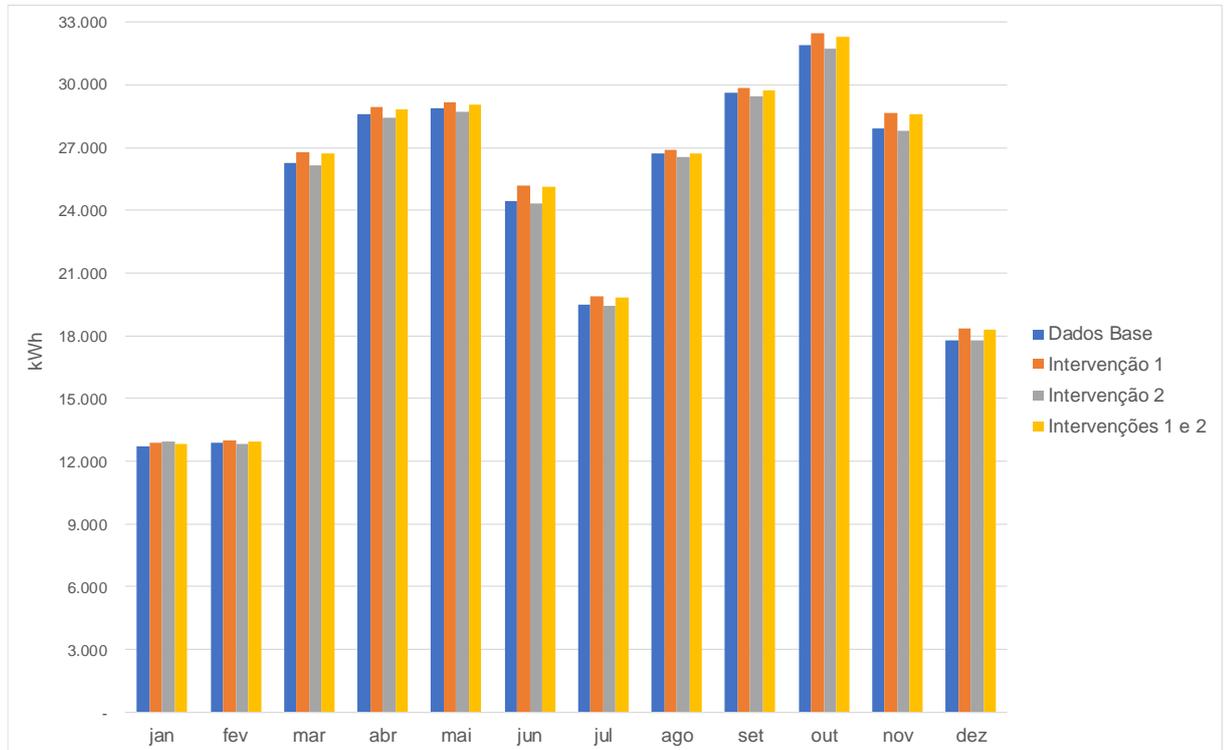


Gráfico 4 - Dados de Consumo do sistema de ar-condicionado do prédio nas simulações de todos os cenários do Estudo de caso 1. Fonte: (Composição do autor, 2022)

7.2.2 Resultados estudo de caso 1 – Iluminação natural

Buscando identificar uma possível influência das intervenções na iluminação natural dos ambientes do prédio, que poderiam influenciar em mudanças no consumo com iluminação. Foi realizado a análise de Fator de luz do dia médio, mínimo e máximo e Iluminância mínima e máxima, os resultados individualizados para todos os ambientes é apresentado no Apêndice B, na Tabela 23 foi colocado os valores totais encontrados.

Tabela 23: Resultados Iluminação natural total de todos os casos analisados (elaborado pela autora).

Iluminação Natural							
Grandeza analisada	Dados Base	Intervenção 1	Intervenção 2	Intervenção 1 e 2	Int. 1 - Base	Int. 2 - Base	Int. 1 e 2 - Base
Fator de luz do dia médio	3,42	3,23	3,12	2,94	-0,20	-0,31	-0,48
Fator de luz do dia mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de luz do dia máximo	42,86	41,75	42,86	41,77	-1,11	0,00	-1,09
Iluminância mínima	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Iluminância máxima	4292,99	4179,84	4291,24	4179,73	-113,15	-1,75	-113,26

Os valores de fator de luz do dia e iluminância mínima não apresentaram variação, sendo seus valores 0,00 em todos os cenários. Com relação a iluminância máxima o maior valor encontrado nas simulações foi no cenário “Dados Base”.

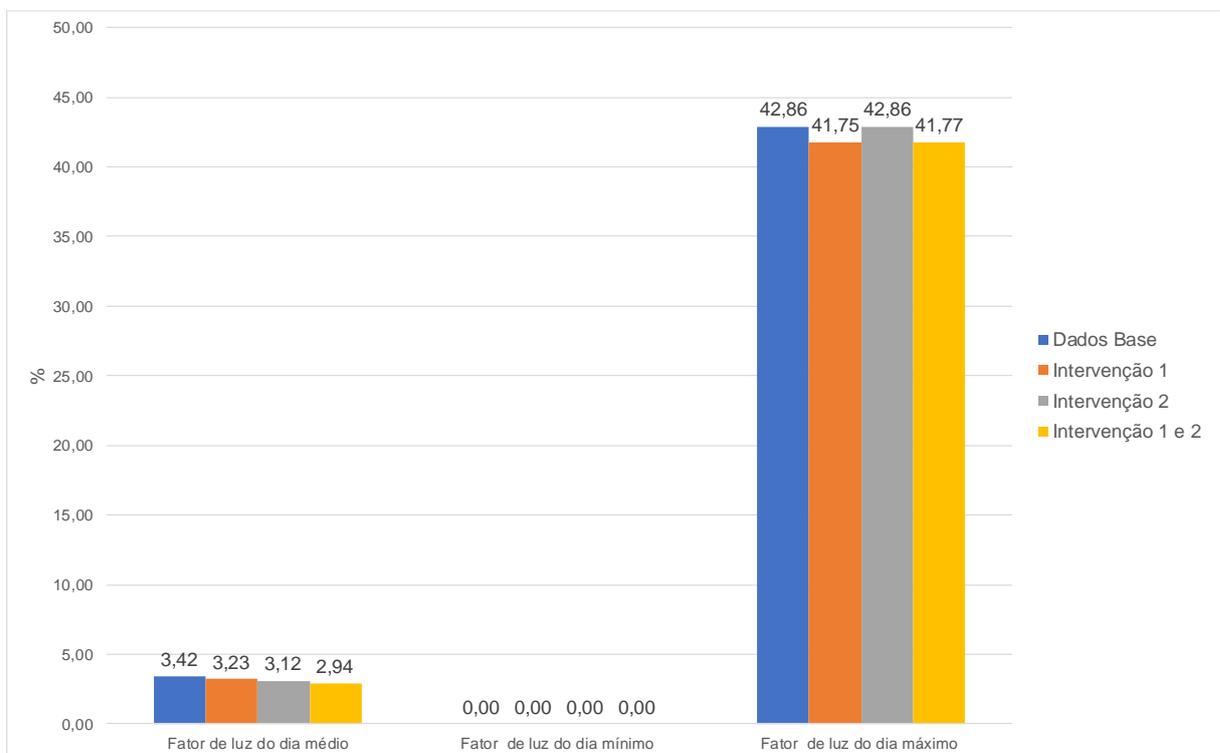


Gráfico 5 - Dados do fator de luz do dia (mínimo, médio e máximo) nas simulações de todos os cenários do Estudo de caso 1. Fonte: (Composição do autor, 2022)

Para uma visualização mais intuitiva dos dados do fator de luz do dia, foi elaborado o Gráfico 5, nesse gráfico é possível observar que o cenário que apresenta maior fator de luz do dia máximo é o “Dados Base”, seguido da “Intervenção 2”. No que se refere ao Fator de luz do dia médio o cenário que apresentou maior variação com relação ao caso base foi o resultado da “Intervenção 1 e 2” possuindo redução de 0,48 p.p..

A maior diferença entre os cenários estudados para o valor de fator de luz do dia e iluminância máximo também ocorreu na comparação entre os valores do cenário com aplicação das duas intervenções em relação ao caso base, apresentando redução de 113,26 lux.

Os dados mostrando redução no fator de luz do dia e iluminância máximo para o cenário “intervenção 1 e 2”, pode desencadear um aumento no consumo de energia para o sistema de iluminação, devido à redução de luz natural. Esse aumento será observado somente se os usuários tiverem o hábito de aproveitar a iluminação natural do prédio.

7.3 RESULTADOS ESTUDO DE CASO 2

Os dados de saída analisados no estudo de caso 2, mudanças na cobertura do prédio, foram: consumo total do prédio e do sistema de ar-condicionado e temperatura média. Foi utilizado os valores de saída referencia a mesma descrita para o estudo de caso 1 (Dados Base) sendo confrontado com os resultados das simulações com aplicação da “Intervenção 3” (telha termoacústica) e aplicação da “Intervenção 4” (telha top steel).

Tabela 24: Resultados consumo de energia total caso base x intervenção 3 (elaborado pela autora).

Consumo Total			
Mês	Dados Base (KWh)	Intervenção 3 (KWh)	Int. 3 - Base (%)
jan	44.853,06	44.853,06	0,00%
fev	39.794,25	39.794,25	0,00%
mar	42.997,73	42.997,73	0,00%
abr	43.166,79	43.166,79	0,00%
mai	44.853,06	44.853,06	0,00%
jun	41.311,46	41.311,46	0,00%
jul	44.853,06	44.853,06	0,00%
ago	43.925,39	43.925,39	0,00%
set	42.239,13	42.239,13	0,00%
out	44.853,06	44.853,06	0,00%
nov	42.239,13	42.239,13	0,00%
dez	43.925,39	43.925,39	0,00%

Tabela 25: Resultados consumo de energia total caso base x intervenção 4 (elaborado pela autora).

Consumo Total			
Mês	Dados Base (KWh)	Intervenção 4 (KWh)	Int. 4 - Base (%)
jan	44.853,06	44.853,06	0,00%
fev	39.794,25	39.794,25	0,00%
mar	42.997,73	42.997,73	0,00%
abr	43.166,79	43.166,79	0,00%
mai	44.853,06	44.853,06	0,00%
jun	41.311,46	41.311,46	0,00%
jul	44.853,06	44.853,06	0,00%
ago	43.925,39	43.925,39	0,00%
set	42.239,13	42.239,13	0,00%
out	44.853,06	44.853,06	0,00%
nov	42.239,13	42.239,13	0,00%
dez	43.925,39	43.925,39	0,00%

Tabela 26: Resultados consumo de energia com ar-condicionado caso base x intervenção 3 (elaborado pela autora).

Ar-Condicionado			
Mês	Dados Base (KWh)	Intervenção 3 (KWh)	Int. 3 - Base (%)
jan	12.726,80	12.726,52	0,00%
fev	12.881,18	12.882,37	0,01%
mar	26.269,74	26.268,38	-0,01%
abr	28.569,50	28.568,78	0,00%
mai	28.873,47	28.869,06	-0,02%
jun	24.421,00	24.418,26	-0,01%
jul	19.486,30	19.482,42	-0,02%
ago	26.703,25	26.702,55	0,00%
set	29.602,75	29.602,44	0,00%
out	31.889,69	31.892,32	0,01%
nov	27.908,88	27.908,08	0,00%
dez	17.780,35	17.783,63	0,02%

Tabela 27: Resultados consumo de energia com ar-condicionado caso base x intervenção 4 (elaborado pela autora).

Ar-Condicionado			
Mês	Dados Base (KWh)	Intervenção 4 (KWh)	Int. 4 - Base (%)
jan	12.726,80	12.725,97	-0,01%
fev	12.881,18	12.880,85	0,00%
mar	26.269,74	26.268,20	-0,01%
abr	28.569,50	28.568,85	0,00%
mai	28.873,47	28.873,33	0,00%
jun	24.421,00	24.423,67	0,01%
jul	19.486,30	19.490,65	0,02%
ago	26.703,25	26.705,95	0,01%
set	29.602,75	29.605,20	0,01%
out	31.889,69	31.889,34	0,00%
nov	27.908,88	27.906,43	-0,01%
dez	17.780,35	17.782,53	0,01%

Os resultados obtidos para consumo de energia total e no consumo somente do sistema de ar-condicionado não tiveram ganhos ou perdas quando aplicado a AEE do estudo de caso 2, como pode ser observado nas Tab. 24, 25, 26 e 27 onde as variações que ocorreram entre as simulações foram de ordem de grandeza ínfimas, podendo ser causados por diferenças de arredondamentos ou margens de erros nos cálculos executados pelo programa.

Tabela 28: Resultados temperatura média caso base x intervenção 3 e 4 (elaborado pela autora).

Temperatura média no prédio			
Mês	Dados Base (°C)	Intervenção 3 (°C)	Intervenção 4 (°C)
jan	22,47	22,47	22,47
fev	22,79	22,79	22,79
mar	22,30	22,30	22,30
abr	21,77	21,77	21,77
mai	20,94	20,94	20,94
jun	19,17	19,17	19,17
jul	18,99	18,99	18,99
ago	20,67	20,67	20,67
set	22,63	22,63	22,63
out	22,55	22,55	22,55
nov	22,11	22,11	22,11
dez	22,02	22,02	22,02

As AEE propostas no estudo de caso 2 também não alteraram a temperatura média das zonas térmicas do prédio, como apresentado na Tab. 28

7.4 RESULTADOS ESTUDO DE CASO 3

No estudo de caso 3 (adição de blocos para representar o sistema fotovoltaico) foram observados: consumo total do prédio e do sistema de ar-condicionado e conforto térmico. Foi utilizado como caso base a simulação do prédio sem o atual telhado, em decorrência de não ter sido possível aplicar o sistema fotovoltaico em cima das telhas.

Tabela 29: Resultados consumo de energia total caso base x cenário com sistema fotovoltaico (elaborado pela autora).

Consumo Total			
Mês	Dados Base (sem telhas atual) (KWh)	Fotovoltaico (KWh)	Fotovoltaico - Base (%)
jan	44.853,06	44.853,06	0,00%
fev	39.794,25	39.794,25	0,00%
mar	42.997,73	42.997,73	0,00%
abr	43.166,79	43.166,79	0,00%
mai	44.853,06	44.853,06	0,00%
jun	41.311,46	41.311,46	0,00%
jul	44.853,06	44.853,06	0,00%
ago	43.925,39	43.925,39	0,00%
set	42.239,13	42.239,13	0,00%
out	44.853,06	44.853,06	0,00%
nov	42.239,13	42.239,13	0,00%
dez	43.925,39	43.925,39	0,00%

Tabela 30: Resultados consumo de energia com ar-condicionado caso base x cenário com sistema fotovoltaico (elaborado pela autora).

Ar-Condicionado			
Mês	Dados Base (sem telhas atual) (KWh)	Fotovoltaico (KWh)	Fotovoltaico - Base (%)
jan	13.247,06	12.946,74	-2,27%
fev	13.515,23	13.151,67	-2,69%
mar	27.795,71	27.017,63	-2,80%
abr	30.897,72	29.899,84	-3,23%
mai	31.188,59	30.168,11	-3,27%
jun	25.168,26	24.557,43	-2,43%
jul	20.427,69	19.823,00	-2,96%
ago	29.402,93	28.286,13	-3,80%
set	32.330,02	31.164,78	-3,60%
out	34.632,22	33.449,07	-3,42%
nov	29.899,51	28.947,88	-3,18%
dez	18.338,29	17.895,70	-2,41%

Como apresentado nas Tab. 29 e 30, o consumo total do prédio não sofreu influência da aplicação do sistema fotovoltaica ao prédio, tendo em vista uma análise somente de economia em decorrência de mudanças de envoltória. Para o consumo do sistema de ar-condicionado houve uma redução média de 3% mostrando que as presenças dos painéis fotovoltaicos na cobertura do prédio podem influenciar em uma redução da temperatura dos ambientes, provavelmente com maior redução da carga do segundo andar do prédio essa hipótese não foi avaliada nesse estudo, porém pode ser explorada em trabalhos futuros.

7 CONCLUSÃO

Primeiramente na elaboração desse trabalho de conclusão de curso realizou-se o levantamento do referencial bibliográfico necessário para embasar o estudo de medição e verificação proposto. Deste modo foram analisadas as particularidades de cada uma das opções (A, B, C e D) apresentadas no PIMVP, sua aplicabilidade e seu processo de realização de modo a entender cada uma delas e permitir a aplicação da opção D de acordo com o proposto no objetivo do trabalho.

Foi realizada as simulações de modelos base de modo a caracterizar os ambientes e criar uma parametrização para realizar as análises dos estudos de caso propostos. Em decorrência das anormalidades do padrão de consumo do prédio durante os últimos anos por causa da pandemia de Covid-19, não foi possível calibrar o modelo de acordo com medições em campo da carga.

Uma primeira análise realizada foi a comparação do sistema de iluminação para período antes e pós *retrofit* obtendo uma variação entre simulação e teoria de 0,04% para a economia esperada, o que demonstra uma boa representação desse sistema no modelo simulado.

No estudo de caso 1 a mudança da envoltória com AEE nas camadas internas das paredes, apresentou um aumento do consumo do sistema de condicionamento ambiental, porém no consumo global de energia apresentou redução quando comparado com os resultados do modelo base. Em relação a mudança das janelas não houve impactos no consumo global do prédio mas apresentou leve redução na carga do sistema de condicionamento ambiental.

No estudo da aplicação concomitante das duas intervenções do estudo de caso 1 foi encontrado aumento no valor do consumo para o sistema de ar-condicionado em um valor intermediário entre os encontrados para as AEE individuais, no globalmente o resultado dessa intervenção seguiu os valores encontrados na primeira intervenção. Com relação a iluminação natural a intervenção 2 apresentou maior redução do fator de luz do dia médio.

As AEE propostas no estudo de caso 2 não impactaram os consumos de energia do ambiente estudado.

A análise do impacto da cobertura da laje do prédio pelo sistema fotovoltaico apresentou redução na carga utilizada para o condicionamento ambiental, porém não foi sentindo nenhum efeito no consumo global.

REFERENCIAL TEÓRICO

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Guia de M&V**, 2014. Primeira revisão, Brasília, Brasil.

ALBERTO, A. F. C. **Simulação e estudo paramétrico de fachadas de dupla pele utilizando o programa *DesigBuilder***. 2015. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

ANANDA. **Catálogo: Ananda** - Qualidade em aço transformado. Piracicaba, 2010.

Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Conservação de Energia - ABESCO. **O que é Eficiência Energética**. Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>. Acessado em: 10 de abril de 2021.

Brasil. **Lei eficiência energética: Lei 10.295 de 2001**. Brasília, Distrito Federal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm. Acessado em: 10 de abril de 2021.

BRASILIT, **Telha *Top steel***. São Paulo, 2010.

Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E e Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro - ABIVIDRO. **Catálogo de propriedades Térmicas e óticas de vidros comercializados no Brasil**. Florianópolis, 2015.

COSTA, M. F. C. C. **Aplicação do *DesigBuilder* à avaliação de soluções de aquecimento e arrefecimento de edifícios para diferentes zonas climáticas portuguesas**. 2013. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática**. 4ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. p. 872 - 874.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R.. **Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações**. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 4, p. 139–154, 2010.

Efficiency Valuation Organization – EVO. **“Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance Conceitos e Opções para Determinação de economias de Energia e de Água”**. 2012. Volume 1. Canadá.

Efficiency Valuation Organization - EVO. **Verification What is M & V**. Disponível em: <https://evo-world.org/en/m-v/what-is-m-v>. Acessado em: 15 de abril de 2021.

ELETROBRÁS. **Procel**. Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Procel.aspx>. Acessado em: 10 de abril de 2021.

EUCATEX. **Catálogo: Sistema Metálico** - A versatilidade do aço nos produtos Eucatex, São Paulo, 2006.

Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE. **Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance**. Rio de Janeiro, 2001.

International Energy Agency – IEA. Energy Efficiency. IEA, 2020.

LABEEE. 2003. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulação no VISUALDOE-3.1**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

MAZZAFERRO, L. **Análise das recomendações da ASHRAE Standard 90.1 para a envoltória de edificações comerciais**. 2015. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; MATOS, M. **Apostila do curso básico do programa Energyplus**. 2009. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Ministério de Minas e Energia - MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas**, 2011. Primeira versão, Brasília, Brasil.

PICCININI, M. S. **Conservação de Energia na Indústria: As políticas adotadas na época da crise energética**. Revista BNDES, p. 153–182, 1994.

PROCELINFO - CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Etiquetagem em Edificações**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3%7D>. Acessado em: 15 de abril de 2021.

ROMÉRO, M. A; REIS, L. B. **Eficiência energética em edifícios**. Barueri, SP: Manole, 2012. (Série sustentabilidade/coordenador Arlindo Philippi).p. 12.

SOUZA, A.; GUERRA, J. C. C.; KRUGER, E. L.. **Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico**. Revista Tecnologia e Sociedade, 1ª edição.ISSN: 1984 - 3526, p. 1–7, 2011.

Universidade de Brasília - Gama. 2021.**Google Maps**. *Google*.Consultado em: 05 de maio de 2021. Website: <https://www.google.com.br/maps/place/Universidade+de+Bras%C3%ADlia++Gama/@-15.9896048,-48.0465862,717m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x935a2a8c49ce3677:0x447f05b6f05fa281!8m2!3d-15.98961!4d-48.0443975>.

Apêndice A: Cálculos teóricos da economia de energia dos sistemas de iluminação do prédio UAC

As tabelas a seguir apresentam os cálculos realizados para a economia de energia teórica a ser obtida com o *retrofit* do sistema de iluminação, seguindo o método apresentada no trabalho.

Tabela A 1 – Resumo dos dados de potência dos sistemas de iluminação e seus respectivos modos de utilização *antes do retrofit*.

		TOTAL	Ilum.1	Ilum.2	Ilum.3	Ilum.4	Ilum.5	Ilum.6	Ilum.7
Tipo de equipamento / tecnologia		-	LFC	LFC	LFC	LFT	LFT	LFT	LFT
Lâmpadas	Potência (W)	-	15	15	15	20	20	32	32
	Quantidade	2.357	56	64	140	1.378	256	12	90
Reatores	Potência (W)	-	0	0	0	4	4	4	4
	Quantidade	-	28	32	70	472	64	6	45
Potência instalada (kW)		61	1	1	2	29	5	0	3
Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		-	4	8	8	8	10	6	12
Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/mês)		-	240	240	200	200	200	200	240
Funcionamento (h/ano)		-	960	1.920	1.600	1.600	2.000	1.200	2.880
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia (h/dia)		-	2	0	0	0	0	0	1
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês (dia/mês)		-	22	22	22	22	22	22	22

Meses de utilização em horário de ponta, em um ano (mês/ano)	-	10	10	10	10	10	10	10	10
Potência média na ponta (kW)	9	0	0	0	0	0	0	0	1
Fator de coincidência na ponta	-	1	0	0	0	0	0	0	0
Energia consumida (MWh/ano)	104	1	2	3	47	11	0	9	
Demanda média na ponta (kW)	9	0	0	0	0	0	0	0	1
	Ilum.8	Ilum.9	Ilum.10	Ilum.11	Ilum.12	Ilum.13	Ilum.14	Ilum.15	
Tipo de equipamento / tecnologia	LFT	LFT	LFT	LFT	LFT	LFT	LFT	LFT	LFT
Lâmpadas	Potência (W)	32	32	32	32	32	32	32	32
	Quantidade	28	4	2	6	6	44	80	16
Reatores	Potência (W)	4	4	4	4	4	4	4	4
	Quantidade	14	2	1	3	3	11	40	8
Potência instalada (kW)	1	0	0	0	0	1	3	1	
Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)	8	2	2	11	4	4	4	4	4
Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/mês)	240	240	200	200	240	240	240	240	240
Funcionamento (h/ano)	1.920	480	400	2.200	960	960	960	960	960
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia (h/dia)	0	0	0	0	2	2	2	2	2

Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês (dia/mês)		22	22	22	22	22	22	22	22
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano (mês/ano)		10	10	10	10	10	10	10	10
Potência média na ponta (kW)		0	0	0	0	0	1	2	0
Fator de coincidência na ponta		0	0	0	0	1	1	1	1
Energia consumida (MWh/ano)		2	0	0	0	0	1	3	1
Demanda média na ponta (kW)		0	0	0	0	0	1	2	0
		Ilum.16	Ilum.17	Ilum.18	Ilum.19	Ilum.20	Ilum.21	Ilum.22	Ilum.23
Tipo de equipamento / tecnologia		LFT							
Lâmpadas	Potência (W)	32	32	32	32	32	32	32	32
	Quantidade	20	12	6	4	16	16	8	8
Reatores	Potência (W)	4	4	4	4	4	4	4	4
	Quantidade	10	6	3	2	8	8	4	4
Potência instalada (kW)		1	0	0	0	1	1	0	0
Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		4	4	8	8	8	4	8	12
Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/mês)		240	240	200	200	200	240	200	200
Funcionamento (h/ano)		960	960	1.600	1.600	1.600	960	1.600	2.400

Horas de utilização em horário de ponta, em um dia (h/dia)	2	2	0	0	0	3	0	0		
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês (dia/mês)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano (mês/ano)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Potência média na ponta (kW)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fator de coincidência na ponta	1	1	0	0	0	1	0	0	0	
Energia consumida (MWh/ano)	1	0	0	0	1	1	0	1		
Demanda média na ponta (kW)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ilum.24	Ilum.25	Ilum.26	Ilum.27	Ilum.28	Ilum.29	Ilum.30	Ilum.31	Ilum.32	
Tipo de equipamento / tecnologia	LFT	LFT	LFT	LFT	LFT	LFT	VdS	VdS	_	
Lâmpadas	Potência (W)	32	32	32	32	32	32	250	250	_
	Quantidade	16	16	16	2	4	2	5	24	_
Reatores	Potência (W)	4	4	4	4	4	4	24	24	_
	Quantidade	8	8	8	1	2	1	5	24	_
Potência instalada (kW)	1	1	1	0	0	0	1	7	_	
Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)	8	8	6	2	4	2	8	6	_	
Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/mês)	200	200	200	200	240	200	200	365	_	

Funcionamento (h/ano)	1.600	1.600	1.200	400	960	400	1.600	2.190	_
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia (h/dia)	0	0	0	0	2	0	0	2	_
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês (dia/mês)	22	22	22	22	22	22	22	22	_
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano (mês/ano)	10	10	10	10	10	10	10	10	_
Potência média na ponta (kW)	0	0	0	0	0	0	0	4	_
Fator de coincidência na ponta	0	0	0	0	1	0	0	1	_
Energia consumida (MWh/ano)	1	1	1	0	0	0	2	14	_
Demanda média na ponta (kW)	0	0	0	0	0	0	0	4	_

Tabela A 2 –Resumo dados de potência dos sistemas de iluminação e seus respectivos modos de utilização pós retrofit.

		TOTAL	Ilum.1	Ilum.2	Ilum.3	Ilum.4	Ilum.5	Ilum.6	Ilum.7
Tipo de equipamento / tecnologia		-	LED Bulbo A-60	LED Bulbo A-60	LED Bulbo A-60	LED Tubular	LED Tubular	LED Tubular	LED Tubular
Lâmpadas	Potência (W)	-	8	8	8	9	9	18	18
	Quantidade	2.387	56	64	140	1.378	256	12	90
Potência instalada (kW)		32	0	1	1	12	2	0	2
Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		-	4	8	8	8	10	6	12

Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/mês)		-	240	240	200	200	200	200	240
Funcionamento (h/ano)		-	960	1.920	1.600	1.600	2.000	1.200	2.880
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia (h/dia)		-	3	0	0	0	0	0	1
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês (dia/mês)		-	22	22	22	22	22	22	22
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano (mês/ano)		-	10	10	10	10	10	10	10
Potência média na ponta (kW)		11	0	0	0	0	0	0	0
Fator de coincidência na ponta		-	1	0	0	0	0	0	0
Energia consumida (MWh/ano)		56	0	1	2	20	5	0	5
Demanda média na ponta (kW)		11	0	0	0	0	0	0	0
		Illum.8	Illum.9	Illum.10	Illum.11	Illum.12	Illum.13	Illum.14	Illum.15
Tipo de equipamento / tecnologia		LED Tubular							
Lâmpadas	Potência (W)	18	18	18	18	18	18	18	18
	Quantidade	28	4	2	6	6	44	80	16
Potência instalada (kW)		1	0	0	0	0	1	1	0
Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		8	2	2	11	4	4	4	4

Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/mês)		240	240	200	200	240	240	240	240
Funcionamento (h/ano)		1.920	480	400	2.200	960	960	960	960
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia (h/dia)		0	0	0	0	3	3	3	3
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês (dia/mês)		22	22	22	22	22	22	22	22
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano (mês/ano)		10	10	10	10	10	10	10	10
Potência média na ponta (kW)		0	0	0	0	0	1	1	0
Fator de coincidência na ponta		0	0	0	0	1	1	1	1
Energia consumida (MWh/ano)		1	0	0	0	0	1	1	0
Demanda média na ponta (kW)		0	0	0	0	0	1	1	0
		Illum.16	Illum.17	Illum.18	Illum.19	Illum.20	Illum.21	Illum.22	Illum.23
Tipo de equipamento / tecnologia		LED Tubular							
Lâmpadas	Potência (W)	18	18	18	18	18	18	18	18
	Quantidade	20	12	6	4	16	16	8	8
Potência instalada (kW)		0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		4	4	8	8	8	4	8	12

Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/mês)		240	240	200	200	200	240	200	200	
Funcionamento (h/ano)		960	960	1.600	1.600	1.600	960	1.600	2.400	
Horas de utilização em horário de ponta, em um dia (h/dia)		3	2	0	0	0	3	0	0	
Dias úteis de utilização em horário de ponta, em um mês (dia/mês)		22	22	22	22	22	22	22	22	
Meses de utilização em horário de ponta, em um ano (mês/ano)		10	10	10	10	10	10	10	10	
Potência média na ponta (kW)		0	0	0	0	0	0	0	0	
Fator de coincidência na ponta		1	1	0	0	0	1	0	0	
Energia consumida (MWh/ano)		0	0	0	0	0	0	0	0	
Demanda média na ponta (kW)		0	0	0	0	0	0	0	0	
		Ilum.24	Ilum.25	Ilum.26	Ilum.27	Ilum.28	Ilum.29	Ilum.30	Ilum.31	Ilum.32
Tipo de equipamento / tecnologia		LED Tubular	LED Cúpula	Refletor LED	Refletor LED					
Lâmpadas	Potência (W)	18	18	18	18	18	18	100	100	150
	Quantidade	16	16	16	2	4	2	5	24	30
Potência instalada (kW)		0	0	0	0	0	0	1	2	5
Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		8	8	6	2	4	2	8	6	6

Apêndice B: Resultados das imulação para obter a iluminação natural do prédio

As tabelas a seguir apresentam os valores obtidos com a simulação para obter quantidade de iluminação natural do prédio.

Tabela B 1 – Resultados das simulações para o Fator de luz do dia médio

Zona	Fator de luz do dia médio						
	Dados Base (%)	Intervenção 1 (%)	Intervenção 2 (%)	Intervenção 1 e 2 (%)	Int. 1 - Base (p.p)	Int. 2 - Base (p.p)	Int. 1+2 - Base (p.p)
I10- Lab.Inf. terreo	3,364	3,154	2,66	2,476	-0,21	-0,70	-0,89
Sala de Apoio I10	3,209	3,01	2,49	2,38	-0,20	-0,72	-0,83
Corredores terreo	5,303	5,026	5,27	5,005	-0,28	-0,03	-0,30
WC femi. terreo direito	1,145	1,165	0,896	0,912	0,02	-0,25	-0,23
WC masc. terreo direito	1,154	1,134	0,906	0,917	-0,02	-0,25	-0,24
Sala I9	2,169	2,142	1,705	1,693	-0,03	-0,46	-0,48
Sala I8	0,016	0,017	0,016	0,016	0,00	0,00	0,00
Sala I7	4,155	3,87	3,25	3,064	-0,29	-0,91	-1,09
Sala I6	4,152	3,839	3,223	3,063	-0,31	-0,93	-1,09
Sala I5	0,015	0,015	0,014	0,015	0,00	0,00	0,00
Sala I4	0,016	0,016	0,016	0,016	0,00	0,00	0,00
Sala I3	0,457	0,328	0,347	0,261	-0,13	-0,11	-0,20
Sala I2	0,443	0,333	0,345	0,261	-0,11	-0,10	-0,18
Sala I1	0,016	0,016	0,015	0,016	0,00	0,00	0,00
Biblioteca	0,287	0,219	0,228	0,177	-0,07	-0,06	-0,11
Lab. Biblioteca	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
WC masc. terreo esquerdo	1,24	1,21	0,971	0,961	-0,03	-0,27	-0,28
WC fem. terreo esquerdo	1,219	1,216	0,957	0,966	0,00	-0,26	-0,25
Secretaria	5,377	5,06	4,274	3,991	-0,32	-1,10	-1,39
Armario serv.gerais	2,99	2,796	2,313	2,272	-0,19	-0,68	-0,72
Lanchonete	5,428	4,999	4,232	3,888	-0,43	-1,20	-1,54
Rack 1 terreo esq.	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Sala S1	2,138	1,983	1,679	1,586	-0,16	-0,46	-0,55
Corredores superior	10,149	9,75	10,137	9,73	-0,40	-0,01	-0,42
Sala S9	2,122	2,006	1,693	1,57	-0,12	-0,43	-0,55
Sala S5	0,019	0,019	0,019	0,019	0,00	0,00	0,00
Sala S8	0,019	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
Sala S2	2,265	2,068	1,781	1,642	-0,20	-0,48	-0,62
Sala S3	2,293	2,118	1,819	1,679	-0,18	-0,47	-0,61
Sala S4	2,3	2,097	1,804	1,665	-0,20	-0,50	-0,64
Sala S6	4,426	4,252	3,57	3,315	-0,17	-0,86	-1,11
Sala S7	4,471	4,185	3,501	3,305	-0,29	-0,97	-1,17
WC masc. esq. superior	1,389	1,379	1,077	1,102	-0,01	-0,31	-0,29
WC masc. dir. superior	1,311	1,284	1,031	1,058	-0,03	-0,28	-0,25
WC fem. esq. superior	1,347	1,345	1,078	1,071	0,00	-0,27	-0,28
WC fem.dir.superior	1,311	1,316	1,04	1,04	0,01	-0,27	-0,27
Sala Multiuso 1 e 2	3,895	3,564	3,078	2,874	-0,33	-0,82	-1,02
Sala de Apoio S10	3,396	3,071	2,667	2,467	-0,33	-0,73	-0,93
Corredor Multiusos	0,059	0,063	0,057	0,059	0,00	0,00	0,00
S10- Lab.Inf. Superior	3,81	3,524	2,975	2,767	-0,29	-0,84	-1,04
Sala Multiuso 3	3,442	3,202	2,74	2,507	-0,24	-0,70	-0,94
SOU	3,355	3,1	2,658	2,386	-0,26	-0,70	-0,97
CPD	3,346	3,064	2,625	2,433	-0,28	-0,72	-0,91
Lab. Software	3,92	3,588	3,099	2,812	-0,33	-0,82	-1,11
auditorio aula	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Salas técnicas auditorio	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
HALL auditorio	0,557	0,499	0,439	0,399	-0,06	-0,12	-0,16
Fator de luz do dia médio	3,424	3,225	3,115	2,941	-0,20	-0,31	-0,48

Tabela B 2 – Resultados das simulações para o Fator de luz do dia mínimo

Zona	Fator de luz do dia mínimo						
	Dados Base (%)	Intervenção 1 (%)	Intervenção 2 (%)	Intervenção 1 e 2 (%)	Int. 1 - Base (p.p)	Int. 2 - Base (p.p)	Int. 1+2 - Base (p.p)
I10- Lab.Inf. terreo	0,185	0,182	0,157	0,224	0,00	-0,03	0,04
Sala de Apoio I10	0,337	0,346	0,278	0,266	0,01	-0,06	-0,07
Corredores terreo	0,223	0,211	0,211	0,195	-0,01	-0,01	-0,03
WC femi. terreo direito	0,345	0,363	0,291	0,329	0,02	-0,05	-0,02
WC masc. terreo direito	0,387	0,328	0,297	0,293	-0,06	-0,09	-0,09
Sala I9	0,226	0,229	0,163	0,195	0,00	-0,06	-0,03
Sala I8	0,006	0,006	0,006	0,006	0,00	0,00	0,00
Sala I7	1,284	1,115	1,019	0,812	-0,17	-0,27	-0,47
Sala I6	1,317	1,116	1,028	0,854	-0,20	-0,29	-0,46
Sala I5	0,005	0,005	0,004	0,005	0,00	0,00	0,00
Sala I4	0,006	0,005	0,005	0,005	0,00	0,00	0,00
Sala I3	0,123	0,089	0,093	0,071	-0,03	-0,03	-0,05
Sala I2	0,117	0,092	0,082	0,072	-0,03	-0,04	-0,05
Sala I1	0,005	0,005	0,005	0,005	0,00	0,00	0,00
Biblioteca	0,043	0,039	0,034	0,036	0,00	-0,01	-0,01
Lab. Biblioteca	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
WC masc. terreo esquerdo	0,254	0,252	0,2	0,198	0,00	-0,05	-0,06
WC fem. terreo esquerdo	0,256	0,251	0,198	0,201	-0,01	-0,06	-0,06
Secretaria	1,308	1,324	1,017	1	0,02	-0,29	-0,31
Armario serv.gerais	1,36	1,335	1,047	1,057	-0,03	-0,31	-0,30
Lanchonete	1,01	0,865	0,759	0,685	-0,15	-0,25	-0,33
Rack 1 terreo esq.	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Sala S1	0,29	0,242	0,23	0,226	-0,05	-0,06	-0,06
Corredores superior	0,271	0,247	0,21	0,204	-0,02	-0,06	-0,07
Sala S9	0,281	0,275	0,213	0,21	-0,01	-0,07	-0,07
Sala S5	0,007	0,006	0,006	0,007	0,00	0,00	0,00
Sala S8	0,006	0,007	0,006	0,006	0,00	0,00	0,00
Sala S2	0,329	0,33	0,265	0,255	0,00	-0,06	-0,07
Sala S3	0,337	0,32	0,267	0,246	-0,02	-0,07	-0,09
Sala S4	0,327	0,311	0,255	0,244	-0,02	-0,07	-0,08
Sala S6	1,688	1,61	1,293	1,197	-0,08	-0,40	-0,49
Sala S7	1,669	1,532	1,32	1,252	-0,14	-0,35	-0,42
WC masc. esq. superior	0,274	0,274	0,212	0,212	0,00	-0,06	-0,06
WC masc. dir. superior	0,372	0,379	0,296	0,291	0,01	-0,08	-0,08
WC fem. esq. superior	0,263	0,262	0,217	0,214	0,00	-0,05	-0,05
WC fem.dir.superior	0,371	0,372	0,288	0,304	0,00	-0,08	-0,07
Sala Multiuso 1 e 2	0,933	0,891	0,795	0,704	-0,04	-0,14	-0,23
Sala de Apoio S10	0,902	0,859	0,676	0,695	-0,04	-0,23	-0,21
Corredor Multiusos	0,033	0,035	0,031	0,032	0,00	0,00	0,00
S10- Lab.Inf. Superior	0,307	0,255	0,238	0,204	-0,05	-0,07	-0,10
Sala Multiuso 3	1,156	1,11	0,904	0,872	-0,05	-0,25	-0,28
SOU	1,124	1,08	0,872	0,872	-0,04	-0,25	-0,25
CPD	1,047	1,057	0,885	0,845	0,01	-0,16	-0,20
Lab. Software	0,688	0,742	0,537	0,566	0,05	-0,15	-0,12
auditorio aula	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Salas técnicas auditorio	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
HALL auditorio	0,053	0,054	0,046	0,041	0,00	-0,01	-0,01
Fator de luz do dia mín. encontrado	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Tabela B 3 – Resultados das simulações para o Fator de luz do dia máximo

Zona	Fator de luz do dia máximo						
	Dados Base (%)	Intervenção 1 (%)	Intervenção 2 (%)	Intervenção 1 e 2 (%)	Int. 1 - Base (p.p)	Int. 2 - Base (p.p)	Int. 1+2 - Base (p.p)
I10- Lab.Inf. terreo	11,634	10,453	9,053	8,106	-1,18	-2,58	-3,53
Sala de Apoio I10	10,032	10,08	7,993	7,542	0,05	-2,04	-2,49
Corredores terreo	39,941	37,065	40,087	37,32	-2,88	0,15	-2,62
WC femi. terreo direito	3,22	3,132	2,647	2,336	-0,09	-0,57	-0,88
WC masc. terreo direito	3,281	3,267	2,401	2,422	-0,01	-0,88	-0,86
Sala I9	11,577	10,604	8,662	9,06	-0,97	-2,92	-2,52
Sala I8	0,037	0,037	0,034	0,036	0,00	0,00	0,00
Sala I7	10,811	10,833	8,92	8,044	0,02	-1,89	-2,77
Sala I6	11,35	10,211	8,861	8,146	-1,14	-2,49	-3,20
Sala I5	0,033	0,034	0,032	0,033	0,00	0,00	0,00
Sala I4	0,036	0,037	0,036	0,037	0,00	0,00	0,00
Sala I3	1,115	0,757	0,816	0,606	-0,36	-0,30	-0,51
Sala I2	1,09	0,75	0,827	0,568	-0,34	-0,26	-0,52
Sala I1	0,036	0,034	0,034	0,032	0,00	0,00	0,00
Biblioteca	1,212	1,221	1,157	1,265	0,01	-0,05	0,05
Lab. Biblioteca	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
WC masc. terreo esquerdo	3,111	3,307	2,283	2,565	0,20	-0,83	-0,55
WC fem. terreo esquerdo	3,187	3,253	2,385	2,507	0,07	-0,80	-0,68
Secretaria	11,468	10,915	9,037	8,35	-0,55	-2,43	-3,12
Armario serv.gerais	5,615	5,373	4,244	4,583	-0,24	-1,37	-1,03
Lanchonete	9,687	9,255	7,419	7,535	-0,43	-2,27	-2,15
Rack 1 terreo esq.	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Sala S1	9,537	9,276	8,153	7,148	-0,26	-1,38	-2,39
Corredores superior	42,864	41,753	42,862	41,771	-1,11	0,00	-1,09
Sala S9	9,628	8,671	7,843	6,933	-0,96	-1,79	-2,70
Sala S5	0,047	0,045	0,046	0,044	0,00	0,00	0,00
Sala S8	0,046	0,043	0,046	0,046	0,00	0,00	0,00
Sala S2	9,846	9,146	7,428	6,762	-0,70	-2,42	-3,08
Sala S3	9,689	9,269	7,73	6,978	-0,42	-1,96	-2,71
Sala S4	9,729	9,079	7,45	7,191	-0,65	-2,28	-2,54
Sala S6	9,478	9,218	7,909	7,012	-0,26	-1,57	-2,47
Sala S7	9,825	9,238	7,145	6,988	-0,59	-2,68	-2,84
WC masc. esq. superior	3,593	3,106	2,835	2,838	-0,49	-0,76	-0,76
WC masc. dir. superior	3,591	3,249	2,498	2,669	-0,34	-1,09	-0,92
WC fem. esq. superior	2,99	3,099	2,717	2,252	0,11	-0,27	-0,74
WC fem.dir.superior	3,449	3,436	2,55	2,606	-0,01	-0,90	-0,84
Sala Multiuso 1 e 2	8,288	8,599	6,811	6,373	0,31	-1,48	-1,92
Sala de Apoio S10	9,902	9,128	7,693	7,277	-0,77	-2,21	-2,63
Corredor Multiusos	0,086	0,082	0,077	0,081	0,00	-0,01	0,00
S10- Lab.Inf. Superior	10,479	10,009	8,036	7,465	-0,47	-2,44	-3,01
Sala Multiuso 3	9,189	7,819	6,749	6,209	-1,37	-2,44	-2,98
SOU	8,367	8,79	7,078	6,019	0,42	-1,29	-2,35
CPD	8,443	7,704	6,889	6,931	-0,74	-1,55	-1,51
Lab. Software	8,94	8,149	7,106	6,213	-0,79	-1,83	-2,73
auditorio aula	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Salas tecnicas auditorio	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
HALL auditorio	3,846	3,418	3,01	2,913	-0,43	-0,84	-0,93
Fator de luz do dia máx. encontrado	42,864	41,753	42,862	41,771	-1,11	0,00	-1,09

Tabela B 5 – Resultados das simulações para iluminância máxima

Zona	Iluminância máxima (lux)						
	Dados Base	Intervenção 1	Intervenção 2	Intervenção 1 e 2	Int. 1 - Base	Int. 2 - Base	Int. 1+2 - Base
I10- Lab.Inf. terreo	1165,3	1046,23	906,81	812,06	-119,07	-258,49	-353,24
Sala de Apoio I10	1004,43	1009,27	800,23	755,35	4,84	-204,20	-249,08
Corredores terreo	3999,64	3711,32	4017,6	3737,58	-288,32	17,96	-262,06
WC femi. terreo direito	322,43	313,34	264,96	233,83	-9,09	-57,47	-88,60
WC masc. terreo direito	328,59	326,9	240,35	242,41	-1,69	-88,24	-86,18
Sala I9	1158,9	1061,51	867,24	907,13	-97,39	-291,66	-251,77
Sala I8	3,69	3,68	3,45	3,56	-0,01	-0,24	-0,13
Sala I7	1081,96	1084,5	893,21	805,43	2,54	-188,75	-276,53
Sala I6	1136,14	1022,87	887,18	815,69	-113,27	-248,96	-320,45
Sala I5	3,3	3,45	3,16	3,29	0,15	-0,14	-0,01
Sala I4	3,55	3,73	3,6	3,66	0,18	0,05	0,11
Sala I3	111,71	75,81	81,64	60,67	-35,90	-30,07	-51,04
Sala I2	109,18	75,11	82,81	56,83	-34,07	-26,37	-52,35
Sala I1	3,63	3,41	3,38	3,23	-0,22	-0,25	-0,40
Biblioteca	121,33	122,14	115,82	126,66	0,81	-5,51	5,33
Lab. Biblioteca	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
WC masc. terreo esquerdo	311,36	331,37	228,62	256,94	20,01	-82,74	-54,42
WC fem. terreo esquerdo	318,86	325,59	238,75	251,04	6,73	-80,11	-67,82
Secretaria	1148,51	1093,58	905,12	836,08	-54,93	-243,39	-312,43
Armario serv.gerais	562,28	537,97	424,84	459,09	-24,31	-137,44	-103,19
Lanchonete	969,79	926,9	742,78	754,43	-42,89	-227,01	-215,36
Rack 1 terreo esq.	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Sala S1	954,98	928,5	816,4	715,68	-26,48	-138,58	-239,30
Corredores superior	4292,99	4179,84	4291,24	4179,73	-113,15	-1,75	-113,26
Sala S9	963,72	868,34	785,01	693,8	-95,38	-178,71	-269,92
Sala S5	4,69	4,49	4,63	4,42	-0,20	-0,06	-0,27
Sala S8	4,62	4,29	4,59	4,61	-0,33	-0,03	-0,01
Sala S2	986,68	916,02	743,97	677,12	-70,66	-242,71	-309,56
Sala S3	969,95	927,92	773,97	698,28	-42,03	-195,98	-271,67
Sala S4	973,8	908,62	745,98	719,87	-65,18	-227,82	-253,93
Sala S6	948,59	922,83	791,89	701,92	-25,76	-156,70	-246,67
Sala S7	983,71	925,38	715,48	699,65	-58,33	-268,23	-284,06
WC masc. esq. superior	359,44	311,06	284,05	284,19	-48,38	-75,39	-75,25
WC masc. dir. superior	359,52	325,32	250,06	267,2	-34,20	-109,46	-92,32
WC fem. esq. superior	299,46	310,25	272,2	225,5	10,79	-27,26	-73,96
WC fem.dir.superior	345,47	344,08	255,18	260,64	-1,39	-90,29	-84,83
Sala Multiuso 1 e 2	829,98	861,09	681,74	638,34	31,11	-148,24	-191,64
Sala de Apoio S10	991,26	913,63	770,18	728,63	-77,63	-221,08	-262,63
Corredor Multiusos	8,63	8,24	7,73	8,1	-0,39	-0,90	-0,53
S10- Lab.Inf. Superior	1048,68	1002,6	804,16	747,39	-46,08	-244,52	-301,29
Sala Multiuso 3	920,77	782,9	675,35	621,6	-137,87	-245,42	-299,17
SOU	837,69	880	708,72	603,01	42,31	-128,97	-234,68
CPD	845,69	771,39	690,07	693,94	-74,30	-155,62	-151,75
Lab. Software	894,85	815,62	711,3	622,23	-79,23	-183,55	-272,62
auditorio aula	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Salas tecnicas auditorio	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
HALL auditorio	384,91	342,44	301,26	291,73	-42,47	-83,65	-93,18
Valor máx. encontrado	4292,99	4179,84	4291,24	4179,73	-113,15	-1,75	-113,26