



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DO GAMA - FGA

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO EM
AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ATRAVÉS DE
SIMULAÇÕES TERMOENERGÉTICAS**

Autora: Juliana Leite de Queiroz
Orientadora: Loana Nunes Velasco

Brasília, DF

2021



Juliana Leite de Queiroz

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE
AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ATRAVÉS DE
SIMULAÇÕES TERMOENERGÉTICAS**

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

Orientadora: Profa. Dra. Loana Nunes Velasco

Brasília, DF

2021

Juliana Leite de Queiroz

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE
AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ATRAVÉS DE
SIMULAÇÕES TERMOENERGÉTICAS**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade do Gama, da Universidade de Brasília, em 28/05/2020, apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Profª. Dra. Loana Nunes Velasco
Orientadora

Prof. Dr. Alex Reis
UnB, FGA

Profª. Dra. Maria Vitória Duarte Ferrari
UnB, FGA

Dedico este trabalho a todos que,
de alguma forma, plantaram uma
boa semente na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu condições, força e coragem para conseguir vencer os obstáculos e chegar até aqui.

Aos meus pais, que trabalharam para que eu tivesse condições e acesso a um estudo de qualidade, que sempre me apoiaram durante a faculdade e me incentivam a sonhar alto e que, principalmente, são meu esteio e segurança, me inspirando como ser humano e profissional. À minha irmã Gabriela, pela amizade e companheirismo, a toda minha família por sempre me acompanhar e incentivar. Aos meus sogros, por me acolherem com tanto carinho e atenção durante a faculdade, me dando suporte na jornada.

Ao meu companheiro Icaro, pelo apoio incondicional, por todo amor, paciência e força dedicados a mim, por ser meu companheiro de vida, de fé e de profissão e por ter me mostrado que a vida é melhor com as pessoas certas e com engenharia.

À minha orientadora Loana, pelo apoio e instrução durante a faculdade e principalmente durante a elaboração deste trabalho e pelas oportunidades profissionais e acadêmicas. Aos professores doutores convidados, por aceitarem participar da avaliação e pelo apoio durante a graduação.

A todos que contribuíram de alguma forma na minha caminhada, espero um dia poder retribuir.

“Fazer mais com menos energia.

Isso é eficiência energética.”

ABESCO

RESUMO

O Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL é uma das maiores políticas públicas de incentivo à implementação de ações de eficiência energética e diminuição do desperdício de energia elétrica do país. Os projetos executados pelo PEE tem como principais usos finais iluminação, condicionamento ambiental e refrigeração. O presente trabalho tem o objetivo de avaliar a economia gerada pelas seguintes ações: brises, películas, pintura da cobertura com tinta branca para redução da carga térmica dos edifícios. A medição e verificação da economia de energia gerada pelas ações sugeridas é feita de acordo com a Opção D do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance, através de uma simulação calibrada no *software Design Builder* e do cálculo da Relação Custo Benefício das ações. O estudo de caso é o prédio da Faculdade de Tecnologia da UnB que recebeu recursos para o Projeto Prioritário de PEE e P&D da ANEEL e apresenta um potencial de economia ainda maior se aplicadas as ações sugeridas. O resultado da simulação é de uma economia anual de 43,97 MWh/ano ou 5,38% do consumo total do edifício. A relação custo benefício calculada para o conjunto das três ações é de 2,17.

Palavras-chave: Ações de Eficiência Energética, Relação Custo-Benefício, brise, película, tinta branca em coberturas.

ABSTRACT

The Energy Efficiency Program (“PEE”) from ANEEL it’s a major public policy of incentivisation to implement energy efficiency actions and decrease electrical energy waste in the country. The projects executed by PEE have the main final uses like illumination, environmental conditioning and refrigeration. This present paper has the objective to evaluate the amount of economy generated from actions: brise-soleil, windows films, and covering the rooftop with white paint to reduce the thermal charge in the buildings. The measurement and verification of the energy economy generated from suggested actions will be done according to the D Option of International Performance Measurement and Verification Protocol, by a calibrated simulation in the software Design Builder and the calculation of the cost-benefit relation. The case study is the building of “Faculdade de Tecnologia” of UnB, which received resources to the Priority Project of PEE and P&D from ANEEL, and shows an economy 's potential even higher if the new actions have applied. The simulations result in an economy of 43,97 MWh/year or 5,38% of the total consumption of the building. The cost-benefit relation calculated for the three actions applied together is 2,17.

Key words: Energy Efficiency Practices, Energy Development, Cost-Benefit Relation, brise-soleil, window films, white painting on roofs.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Gráfico da quantidade de projetos por uso final
- Figura 2 - Fases da M&V no projeto de PEE
- Figura 3 - Consumo de um edifício antes, durante e depois de um projeto de EE
- Figura 4 - Edifício da Faculdade de Tecnologia
- Figura 5 - Modelo de simulação construído do Prédio da FT
- Figura 6 - Foto de sala de aula da FT
- Figura 7: Tipos de brise-soleil
- Figura 8 - Porcentagem de reflexão da radiação solar em relação ao ângulo da incidência da luz
- Figura 9 - Porcentagem de reflexão do espectro solar visível em relação ao ângulo da incidência da luz solar.
- Figura 10 - Porcentagem de reflexão dos raios UV em relação ao ângulo da incidência da luz solar
- Figura 11 - Reflexão dos raios infravermelhos em relação ao ângulo da incidência da luz solar
- Figura 12 - Absortância solar para diferentes materiais e cores
- Figura 13 - Absortância solar para diferentes materiais e cores
- Figura 14 - Cotas usadas para a simulação dos brises
- Figura 15 - Modelo de Brise simulado
- Figura 16 - Vista lateral do edifício com brises instalados.
- Figura 17 - Vista lateral do edifício com brises instalados.
- Figura 18 - Modelo construído com cobertura na cor branca
- Figura 19 - Gráfico de economia gerada pelas ações
- Figura 20 - Gráfico da economia gerada por cada modelo de película
- Figura 21 - Gráfico da economia gerada por cada ação

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para escolha das opções do PIMVP

Tabela 2 - Economia gerada pelo Projeto Prioritário por Uso Final na FT

Tabela 3 - Economia de energia por bloco por uso final

Tabela 4 - Comparação do percentual de redução de ganho solar em diferentes sistemas

Tabela 5 - Diferença da temperatura do ambiente após a instalação do brise

Tabela 6 - Definições de grandezas

Tabela 7 - Parâmetros utilizados na simulação do brise

Tabela 8 - Propriedades das películas usadas na simulação

Tabela 9 - Parâmetros para simulação de películas

Tabela 10 - Propriedades da camada de tinta usada na simulação

Tabela 11 - Propriedades da camada de tinta usada na simulação

Tabela 12 - Economia gerada por cada modelo de película

Tabela 13 - Economia gerada por cada ação simulada

Tabela 14 - Quadro geral de economia e consumo depois de cada ação

Tabela 15 - Relação custo benefício para cada ação

LISTA DE SIGLAS

- AEE** - Ação(ões) de Eficiência Energética
- ANEEL** - Agência Nacional de Energia Elétrica
- CPP** - Chamada Pública de Projetos
- EE** - Eficiência Energética
- FT** - Faculdade de Tecnologia da UnB
- GD** - Geração Distribuída
- M&V** - Medição e Verificação
- MME** - Ministério de Minas e Energia
- OPEE** - Observatório de Projetos de Eficiência Energética
- P&D** - Programa de Pesquisa e Desenvolvimento
- PBE** - Programa Brasileiro de Etiquetagem
- PEE** - Programa de Eficiência Energética
- PIMVP** - Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
- PP** - Projeto Prioritário
- PROCEL** - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
- PROPEE** - Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
- RCB** - Relação Custo-Benefício
- REN** - Resolução Normativa

Introdução	12
Objetivo	13
Revisão Bibliográfica	14
Programa de Eficiência Energética	14
Medição e Verificação	17
Estudo de Caso - UnB Faculdade de Tecnologia Campus Darcy Ribeiro	22
Projeto realizado na FT	24
Novas Ações de Eficiência Energética	25
Brise Soleil	27
Películas	29
Influência da cor da cobertura	32
Metodologia	35
Simulações	36
Relação custo-benefício	37
Definição do modelo base	38
Ações analisadas	38
Definição das variáveis para simulação	39
Parâmetros para simulação	39
Brise Soleil	39
Películas	42
Pintura da cobertura	43
Resultados	45
Modelo Base	45
Modelos de películas	46
Ações de eficiência energética	47
Relação Custo Benefício	48
Conclusão	50
Trabalhos futuros	51
Referências Bibliográficas	52

1. Introdução

No Brasil, a Lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000 dispõe e regulamenta a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e em eficiência energética (PEE) por parte das concessionárias de energia elétrica em diversos tipos de consumidores através de chamadas públicas de projeto. Desde a sanção da lei, foram realizados mais de cinco mil projetos de eficiência energética em todo território nacional, visando promover o uso racional da energia elétrica em todos os setores da economia, incentivando o uso de novas tecnologias e criação de hábitos saudáveis no uso da energia.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece critérios para execução dos projetos de Eficiência Energética através dos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE), documento respaldado pela Resolução Normativa nº 920, de 23 de fevereiro de 2021, que estipula as diretrizes para os projetos realizados pelo programa. Além disso, a ANEEL disponibiliza o Observatório de Projetos de Eficiência Energética (OPEE), uma plataforma *online* com informações enviadas pelas concessionárias. Um levantamento feito no Observatório dos projetos realizados entre 2015 e 2021 mostra que os principais usos finais das ações de eficiência energética são: Iluminação, Condicionamento Ambiental, Refrigeração e instalação de geração de energia a partir de fontes incentivadas. Considerando isso, é visível a demanda por novas Ações de Eficiência Energética e novas tecnologias que permitam a otimização dos sistemas existentes e melhorem a Relação Custo-Benefício dos projetos.

Assim, o início da presente pesquisa se dá em uma lacuna do PEE, onde é possível explorar outras ações de eficiência energética além das usualmente realizadas nos projetos atuais, como: uso de películas e brise soleil nas aberturas para redução do calor ambiente e consequente redução do uso de condicionamento de ar, troca de equipamentos, acessórios e condutores antigos e/ou danificados, ações de conforto térmico, como o uso de cores claras nos cômodos, estudo da cobertura, automação do sistema de condicionamento de ar, entre outros.

O estudo de caso deste trabalho será o edifício da Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília, que participou do Projeto Prioritário e Estratégico de PEE e P&D, Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Ensino Superior da ANEEL, que teve como objetivo o estudo da eficiência energética na FT e no Laboratório de Engenharia Elétrica (SG-11), através de ações em iluminação, condicionamento de ar e

geração por fontes incentivadas, além da criação de um sistema de monitoramento com a instalação de multimedidores para levantar dados das variáveis de consumo e da própria rede de energia.

Em paralelo com o projeto executado pelo PEE, foi feito um Trabalho de Conclusão de Curso que teve como escopo a análise da economia de energia gerada pelas ações no edifício da FT através do método de Medição e Verificação (M&V) de simulação calibrada (Opção D) do Protocolo de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) com simulações termo energéticas (Honorato, 2019). O presente trabalho prevê utilizar o modelo de simulação construído e os resultados obtidos por Honorato na economia de energia como ponto de partida para a simulação de novas ações no edifício da FT.

Inicialmente, será levantado o histórico dos projetos já realizados no PEE, os respectivos Usos Finais, a Relação Custo-Benefício e a análise de como o projeto se comporta com o passar do tempo, além de referenciais na literatura e pesquisas já feitas na área. Por fim, será utilizado o método de simulação calibrada (Opção D) do PIMVP para a simulação energética das ações sugeridas com o auxílio do software DesignBuilder, a fim de prever o comportamento do projeto e constatar a viabilidade das ações.

1.1. Objetivo

Analisar a relação custo-benefício de novas ações de eficiência energética através de simulações termoenergéticas, no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL, tendo como estudo de caso a Faculdade de Tecnologia da UnB.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Programa de Eficiência Energética

No ano 2000, a ANEEL deu início ao Programa de Eficiência Energética (PEE), uma iniciativa que tem como objetivo promover o melhor uso da energia elétrica nos setores da economia, por meio de projetos que visam a eficiência do sistema e o incentivo a novas tecnologias, visando uma boa relação custo-benefício. O PEE representa o maior montante de recursos disponível para projetos de eficiência energética do país, com o aporte de mais de R\$570 milhões por ano (ANEEL, 2020).

O programa ganhou destaque com a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, que oficializou o estímulo à elaboração de projetos de eficiência energética em vários setores da economia, incluindo as categorias de poder e serviços públicos, industrial, comércio e serviços, residencial, rural e educacional, além disso também oficializou o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento, que leva as concessionárias e permissionárias de energia a investirem em projetos de inovação tecnológica relacionados ao setor, o que até o ano de 2019 resultou na publicação de mais de 3,9 mil artigos científicos, 1.200 trabalhos de pós-graduação e mais de 325 patentes e registros de propriedade intelectual, além do financiamento direto de projetos em universidades públicas e institutos. (ANEEL, 2020)

O objetivo do PEE é, entre outros, o incentivo ao uso consciente da energia através da diminuição do desperdício e otimização dos processos, demonstrando à população a importância e a acessibilidade da eficiência energética, além de evitar reformas no sistemas de transmissão e distribuição de energia e racionar o consumo nos setores econômicos, a fim de evitar, também, o colapso no sistema atual.

Os projetos são selecionados a partir de uma Chamada Pública de Projetos. A regulamentação vigente para a elaboração dos editais é emitida pela própria ANEEL. A partir de 23 de fevereiro de 2021 entrou em vigor a Resolução Normativa nº 920, que aprova os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) atuais.

Os critérios previstos em edital incluem todos os aspectos, documentos e procedimentos necessários para a aprovação e a adequada execução do projeto. Além disso, é necessária a apresentação do plano de Medição e Verificação e do cálculo da Relação Custo Benefício do projeto seguindo as instruções dadas em cada edital, para garantir a economia das ações. O processo de Medição e Verificação deve ser feito por empresas

certificadas e capacitadas neste serviço seguindo critérios estabelecidos no Módulo 8 do PROPEE. Assim, a garantia da economia é validada pela emissão do relatório de Medição e Verificação, pela auditoria externa obrigatória, e pela avaliação final do projeto. Esse mecanismo de averiguação gera resultados confiáveis para o PEE, que, até o ano de 2019, somou mais de 4850 projetos de eficiência energética, que, juntos, economizaram mais de 63 TWh de energia e retiraram 2.8 GW de demanda na ponta da rede (ANEEL, 2019).

2.1.1. Usos Finais e Ações de Eficiência Energética

Uso final é o nome dado às categorias de projeto de acordo com a finalidade de cada ação realizada. As ações são separadas de acordo com cada uso final, como iluminação e refrigeração, por exemplo, assim como a Relação Custo-Benefício (RCB), que é calculada considerando a execução e os resultados das ações em uso final. De acordo com a REN nº 920 de 2021 da ANEEL, as ações realizadas devem estar dentro de um dos usos finais a seguir:

A. Melhoria nas instalações - troca de equipamentos por modelos mais eficientes para melhor desempenho energético em cada categoria abaixo:

a. Iluminação

- i. substituição de equipamentos: lâmpadas, reatores e luminárias;
- ii. instalação de dispositivos de controle: interruptores, sensores de presença, dimmers;
- iii. maior aproveitamento da iluminação natural com redução da carga da iluminação artificial;
- iv. outras ações, como adequação da instalação elétrica;

b. Condicionamento Ambiental - substituição de equipamentos individuais ou equivalentes;

c. Sistemas motrizes - substituição de motores elétricos por modelos mais eficientes, com ou sem adaptação da potência nominal;

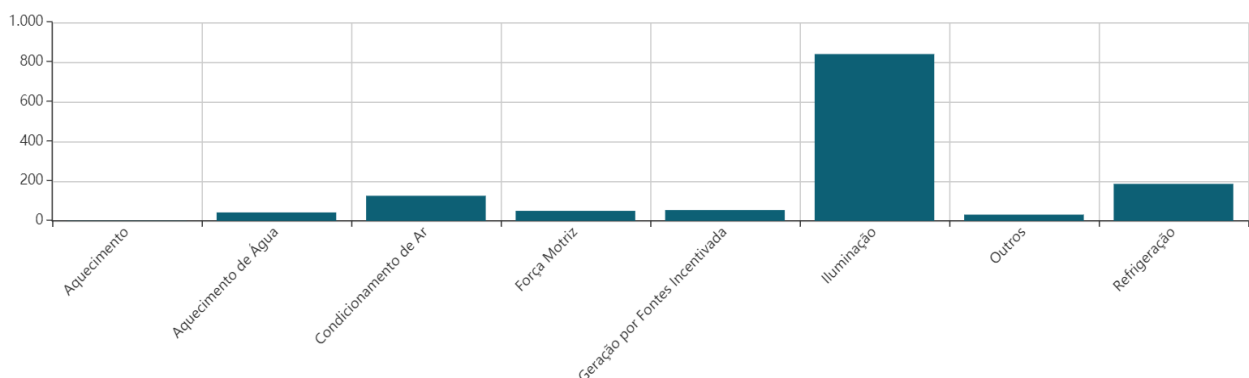
d. Sistemas de refrigeração - substituição de equipamentos individuais de pequeno porte, ou modernização de processos;

B. Aquecimento Solar de Água - sistemas com reservatórios de até 200 litros;

- C. Gestão energética - implantação ou melhoria de sistema de gestão da energia, através de medidas de conscientização, treinamento e capacitação, campanhas de mobilização, divulgação de resultados, aquisição ou melhoria de sistema de controle;
- D. Geração de energia elétrica com fontes incentivadas - instalação de qualquer usina geradora que dependa de fontes que se enquadrem na REN nº 482 de 2012 e suas alterações;
- E. Bônus para equipamentos eficientes - incentivo à troca de equipamentos energeticamente ineficientes por outros mais eficientes.
- F. Reciclagem de resíduos - evitação do descarte de materiais e consequente ganho energético com o reuso de alumínio, cobre, ferro, papel, plástico, PET, aço, vidro e componentes eletrônicos derivados do projeto.

De acordo com a Figura 1, extraído do Observatório da ANEEL, os usos finais mais comumente contemplados em projetos do PEE são: Iluminação, Condicionamento de Ar e Refrigeração, esse cenário é resultado das ações que são, em sua maioria, a substituição de equipamentos por modelos mais eficientes de lâmpadas, ares condicionados e refrigeradores.

Figura 1 - Quantidade de projetos por uso final



Fonte: OPEE - Observatório ANEEL, 2021

A substituição de equipamentos é, de certa forma, a primeira ação a ser pensada na concepção de um projeto de eficiência energética, por se tratar de uma ação com benefícios facilmente calculados e resultados imediatos. No entanto, uma vez que todos os equipamentos do edifício forem considerados eficientes, há ainda diversas soluções para otimizar os sistemas e economizar energia até que se atinja o nível ótimo de eficiência possível.

2.2. Medição e Verificação

Atualmente a principal autoridade no mundo no que tange Medição e Verificação de projetos de eficiência energética é a Efficiency Valuation Organization (EVO - Organização de Avaliação de Eficiência), uma sociedade privada sem fins lucrativos que tem como objetivo oferecer métodos normalizados para quantificar e gerir os riscos e benefícios associados a ações de eficiência energética, energias renováveis e uso de água. Em 2012, a EVO publicou o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), documento que descreve os métodos para elaboração de planos de M&V, além de práticas de medição, cálculo e relatório de economia (EVO, 2012).

A ANEEL prevê a obrigação do uso dos métodos estabelecidos pelo PIMVP nos projetos executados pelo PEE, para garantia da medição da economia de energia gerada. Assim, cada diagnóstico energético de projeto deve conter o Plano de M&V correspondente.

O Protocolo define Medição e Verificação como sendo o “processo de utilização de medições para determinar, de modo seguro, a economia real criada dentro de uma instalação individual por um programa de gestão de energia.” A energia economizada não pode ser medida diretamente, uma vez que ela é a parcela de energia ausente no consumo. Assim, a economia deve ser calculada pela comparação do consumo medido antes e depois da implementação das ações.(EVO, 2012)

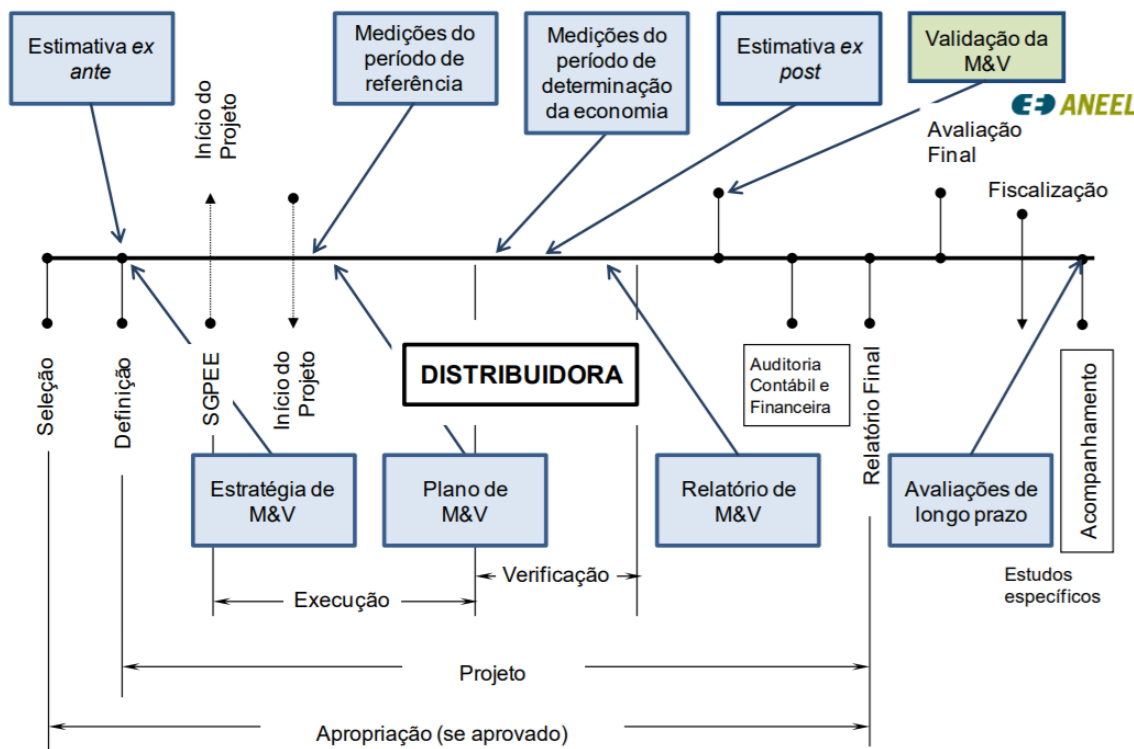
A ANEEL reafirma a importância das regras estabelecidas pelo PIMVP nos resultados dos projetos de PEE, pois eles representam a redução real de consumo e demanda conseguidas com as ações, que serão usadas para a avaliação final do projeto. (ANEEL, 2013)

Dentre os objetivos da M&V estão o aumento da economia gerada, incentivo ao financiamento de projetos de eficiência energética, melhoria em projetos de engenharia, funcionamento e manutenção, gerência de orçamentos energéticos, e a compreensão do

público sobre gestão de energia como ferramenta de política pública, este último diretamente ligado ao PEE. (EVO, 2012)

A Figura 2, do Módulo 8 do PROPEE, retrata a linha do tempo com os pontos onde devem ser aplicadas as etapas de M&V (quadros em azul e verde) em um projeto do PEE.

Figura 2 - Fases da Medição e Verificação no projeto de PEE



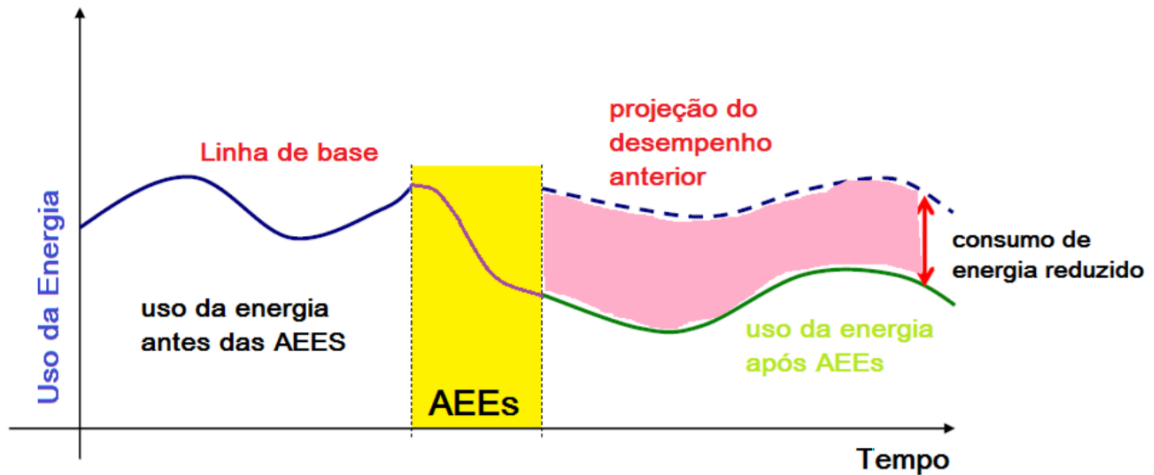
Fonte: PROPEE - Módulo 8

A economia de energia é a diferença calculada entre o consumo do edifício antes e o consumo depois da implantação das ações, considerando possíveis mudanças no perfil de consumo. Portanto, é necessária a coleta de dados na edificação antes do início do projeto, ou seja, é feita uma medição durante a chamada ‘linha de base’, que corresponde a um período de atividade que deve, obrigatoriamente, incluir um ciclo completo de funcionamento da edificação, com os pontos máximo e mínimo de consumo, esse período é definido de acordo com a rotina de consumo do edifício. A Figura 3 representa o consumo da energia antes, durante e depois das ações em um edifício, mostrando a representação da economia gerada e medida de fato pelo projeto (em vermelho).

A medição acontece da seguinte maneira: o consumo medido na linha de base é projetado para o período de ‘determinação da economia’, que é o período depois das ações

que também deve incluir um ciclo inteiro de funcionamento do edifício, desconsiderando o período de execução do projeto.

Figura 3 - Consumo de um edifício antes, durante e depois de um projeto de EE



Fonte: ANEEL, 2018

A economia de energia é calculada como sendo a diferença entre o consumo na linha de base, antes das ações, projetado e o consumo real do período de determinação da economia, depois das ações. Há ainda a consideração de ajustes não previstos no projeto inicial, como a instalação de novos equipamentos ou alteração da ocupação do edifício como o atual advento do teletrabalho, para que tais alterações não influenciem na medição final da economia.

Deve-se ainda delimitar a fronteira de medição do sistema, que pode englobar o edifício inteiro com todos os sistemas e equipamentos ou apenas uma ou algumas ações separadamente. Nesse caso deve ser levado em consideração o efeito interativo, que é a influência de uma ação sobre o resultado de outra.

2.2.1. Opções de Medição e Verificação

De acordo com o Protocolo de M&V, a economia de energia de um projeto de eficiência energética pode ser medida seguindo um ou mais dos procedimentos a seguir:

- Leitura da fatura de energia da concessionária ou órgão competente;
- Instalação de medidores que separam uma ação do restante da instalação;
- Medições de parâmetros para cálculo do consumo de energia, como potência e tempo de uso dos equipamentos;
- Medição de sinais que representam o consumo de energia em determinados equipamentos;
- Simulação termoenergética calibrada por softwares, com dados reais da edificação;
- Estimativa de alguns valores, a partir de parâmetros de cada ação, no caso de haver uma grande dificuldade na medição, ou condições que impeçam a realização de qualquer método citado acima.

O Protocolo PIMVP apresenta quatro Opções que separam os métodos supracitados de medição para determinar a economia resultante de um projeto (A, B, C e D). Os diferenciais e as estratégias de cada Opção estão descritos abaixo:

Opção A - Medição em campo de parâmetros chave e estimativa do restante dos parâmetros, ocorrendo a medição isolada de um equipamento ou sistema definindo a fronteira de medição para cada um.

Opção B - Medição em campo de todos os parâmetros envolvidos no cálculo antes e depois da realização das ações.

Opção C - Medição do consumo da instalação como um todo, sem especificação de equipamentos ou outras fronteiras. Geralmente são utilizados os medidores da concessionária de energia ou medidores próprios e é considerada a economia de consumo total do edifício, sendo incluídas todas as variáveis, mesmo as não relacionadas com as ações realizadas.

Opção D - Simulação energética do consumo da instalação através da calibração e parametrização de um modelo em um software de simulação com as características do edifício real e simulação do modelo antes e depois da realização das ações de eficiência de modo a prever a economia de energia alcançada pelas mesmas de modo geral ou por categoria.

O Quadro 1 elenca os casos e critérios nos quais cada Opção de medição deve ser aplicada, para escolha do projetista. A Opção deve ser escolhida de acordo com a necessidade de cada cliente, considerando critérios como a fronteira de medição, facilidade da medição de equipamentos, disponibilidade do próprio edifício, confiabilidade dos resultados, objetivo da medição, entre outros.

Tabela 1- Critérios para escolha das opções do PIMVP

Características do projeto da AEE	Opção sugerida			
	A	B	C	D
Necessidade de avaliar individualmente as AEEs	X	X		X
Necessidade de avaliar apenas o desempenho energético de toda a instalação			X	X
Economia prevista inferior a 10% do medidor da concessionária	X	X		X
A importância de algumas variáveis determinantes do padrão de uso da energia não é clara		X	X	X
Os efeitos interativos da AEE são significativos ou não podem ser medidos			X	X
Muitas alterações futuras previstas dentro da fronteira de medição	X			X
É necessária uma avaliação do desempenho energético a longo prazo	X		X	
Dados do período da linha de base indisponíveis				X
Pessoal sem formação técnica deve compreender os relatórios	X	X	X	
Competência de medição disponíveis	X	X		
Competências de simulação por computador disponíveis				X
Experiência de leitura das faturas de energia de concessionárias e realização de análise de regressão disponíveis			X	

Fonte: PIMVP - EVO, 2012

De acordo com a Figura, é possível observar que a Opção D é indicada para oito de doze critérios, considerando a acessibilidade e confiabilidade do método de simulação calibrada.

2.3. Caracterização do estudo de Caso - UnB Faculdade de Tecnologia Campus Darcy Ribeiro

O edifício objeto do presente estudo é a Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (FT). A construção, mostrada na Figura 4, continua como na concepção original, sem muitas mudanças significativas no projeto arquitetônico externo. O edifício é constituído por quatro anfiteatros e cerca de oitenta ambientes entre salas de aula e laboratórios.

Figura 4 - Edifício da Faculdade de Tecnologia



Fonte: Google Earth, 2021

O uso dos espaços e as demandas inerentes mudaram desde a fundação da Faculdade de Tecnologia, em 1964, tendo sido adequados, tanto em espaço físico como na rede elétrica. Nesse processo, as adequações foram feitas sem visão sistêmica e de forma separada, ambiente por ambiente, resultando em impactos negativos sobre a eficiência energética, o desempenho térmico e causando sobrecarga na rede elétrica local.

Considerando que o padrão de consumo mudou e a demanda dos equipamentos instalados nos diversos laboratórios e salas de aula cresce a cada ano, foi necessária uma readequação considerando a eficiência energética da FT.

Assim, em 2018, a UnB participou do Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento: Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior, realizado pelo edital da Chamada nº 001/2016 da ANEEL, executado pela Companhia Energética de Brasília (CEB-D), que teve como objetivo a maior eficiência dos sistemas elétricos dos prédios da FT e do pavilhão SG11, o monitoramento energético e identificação dos perfis de consumo, incluindo a realização de palestras e programas de incentivo ao uso consciente da energia elétrica.

As ações realizadas no projeto incluem a troca de 4.264 lâmpadas incandescentes ou fluorescentes por lâmpadas LED, a substituição de 208 aparelhos de condicionamento de ar por modelos mais eficientes, instalação de uma planta fotovoltaica com potência de 150 kWp, instalação de 33 multimedidores em pontos estratégicos da rede, além do desenvolvimento de uma plataforma online para acompanhamento de consumo e análise de dados. O projeto foi desenvolvido e supervisionado pela Profa. Dra. Loana Velasco, em parceria com alunos da Faculdade do Gama e da FT (Secom UnB).

O projeto teve início em janeiro de 2018, sendo concluído no final de 2019. De acordo com a Tabela 3, adaptada do Observatório da ANEEL, a energia total economizada pelo projeto é de 644,03 MWh/ano. Considerando o Custo Evitado de Energia da época sendo 344,92 R\$/MWh (OPEE) chega-se ao valor economizado por ano com o projeto de R\$ 222.138,83, como resultado das ações realizadas nos prédios da FT e SG-11.

Tabela 2 - Economia gerada pelo Projeto Prioritário por Uso Final na FT

	Energia Economizada (MWh/ano)	Demanda Reduzida Ponta (kW)	RCB
Iluminação	201,69	25,29	0,49
Condicionamento Ambiental	257,98	0,3	1,04
Fontes Incentivadas	184,36	0	1,28
Total	644,03	25,58	0,96

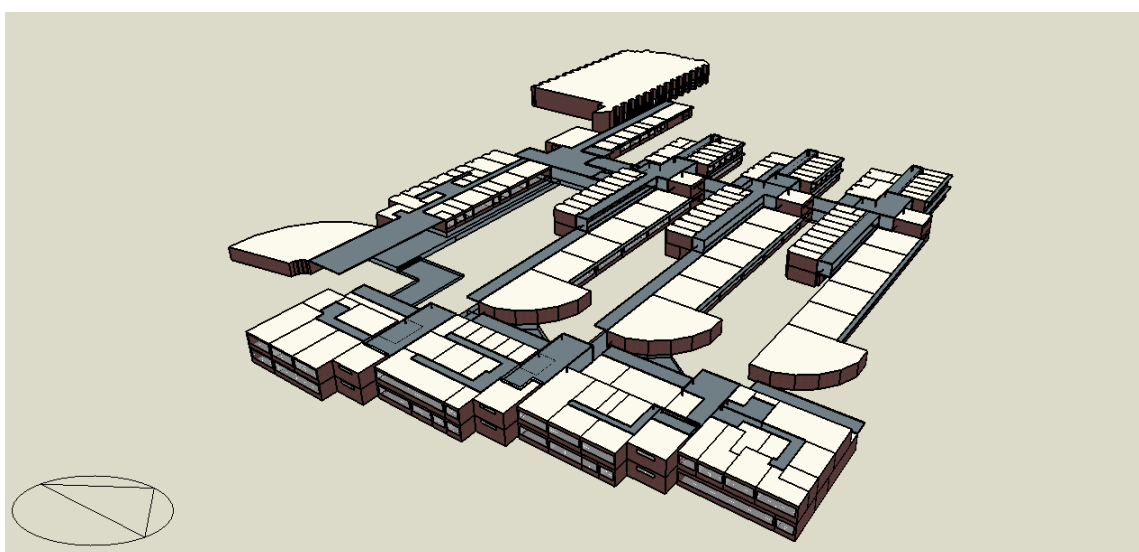
Fonte: Própria - Dados do Observatório da ANEEL

2.3.1. Projeto realizado na FT

O modelo de simulação utilizado no presente estudo é de autoria de Honorato (2019), cujo trabalho foi desenvolvido com o objetivo de simular e comprovar a economia gerada pelo Projeto Prioritário no prédio da Faculdade de Tecnologia, usando a Opção D do PIMVP. O software utilizado na simulação termoenergética foi o Design Builder V6 1.2.004.

O modelo foi dividido em sete blocos de edifícios por limitações da versão do software e de processamento e posteriormente foi feita uma simulação global na versão completa. A Figura 5 mostra o edifício da FT modelado no software.

Figura 5 - Modelo de simulação construído do Prédio da FT



Fonte: Própria - Adaptado de Honorato, 2019.

Antes da realização do projeto de Eficiência Energética, que incluiu as ações de troca de lâmpadas, condicionadores de ar e instalação de planta fotovoltaica, o consumo total simulado na FT foi de 1.041,54 MWh/ano. Depois da realização das ações citadas, o consumo simulado passou a ser de 824,67 MWh/ano (Honorato, 2019). Resultando em uma economia anual de 216,87 MWh, ou 20,82% do consumo total, como mostrado na Tabela 3, onde os resultados estão separados em iluminação e condicionamento para cada um dos blocos da simulação.

Tabela 3 - Economia de energia por bloco por uso final

Bloco	Economia Cond. Amb. (MWh/ano)	Variação	Economia Ilum. (MWh/ano)	Variação
FT1	34,49	1,120%	27,63	0,722%
FT2	14,86	0,722%	18,34	1,195%
FT3	12,66	2,076%	16,93	0,176%
FT4	16,83	0,825%	28,63	1,625%
FT5	4,32	0,370%	6,82	0,103%
FT6	11,51	2,509%	7,43	0,391%
FT7	9,62	0,176%	6,8	0,845%
Total por ação	104,29	3,637%	112,58	2,344%
Economia total global (MWh/ano)				216,87

Fonte: Própria - adaptada de Honorato, 2019.

O consumo final do edifício da FT previsto após a realização das ações foi de 824,67 MWh/ano. Esse valor será usado como base no presente estudo para a realização de novas simulações considerando outras ações de eficiência energética. Para fins de simplificação, o modelo e o consumo resultante de (Honorato, 2019) serão citados neste estudo como Modelo e Consumo Originais.

3. Ações de Eficiência Energética

De acordo com levantamento feito no Observatório da ANEEL, até 2019, no Brasil, foram realizadas as seguintes ações de eficiência energética dentro do PEE: troca de

equipamentos, como lâmpadas, motores, aparelhos de ar condicionado, instalação de plantas fotovoltaicas, aquecimento de água através de coletores solares, distribuição de equipamentos eficientes para população de baixa renda como lâmpadas, geladeiras, aquecedores e chuveiros, entre outros. Assim, no contexto nacional do PEE, há ainda usos finais que não foram explorados e ações nunca executadas em projetos de eficiência energética, o que abre espaço para o início de estudos e análises de novas ações para que sejam adicionadas à lista de ações permitidas e incentivadas pelo PEE, depois de verificada a real economia gerada pelas mesmas.

Conforto térmico pode ser definido como um estado de bem-estar físico e mental que expressa total satisfação com o ambiente, ou ainda, a condição global de uma pessoa na qual ela não prefira sentir nem mais calor nem mais frio (LabEEE, 2022). Ações de eficiência energética devem levar em consideração a variável humana na economia de energia, analisando o conforto térmico e o bem-estar das pessoas que frequentam o espaço por um certo período de tempo. No Brasil, grande parte do conforto térmico se dá pelo controle do calor nos ambientes usando estratégias variadas. Na Tabela 4, estão algumas ações realizadas nas aberturas dos edifícios e suas respectivas reduções percentuais de calor.

Tabela 4 - Comparação do percentual de redução de ganho solar em diferentes sistemas

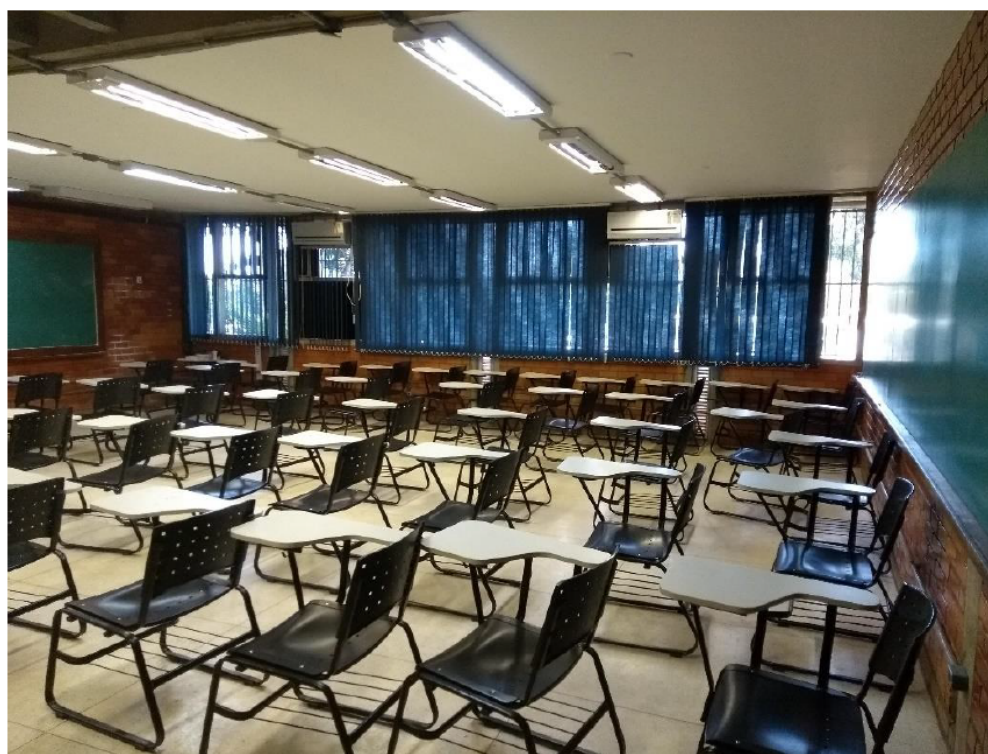
SISTEMAS DE PROTEÇÃO SOLAR	PERCENTUAL DE REDUÇÃO DOS GANHOS DE CALOR SOLAR (em vidro simples transparente de ¼")
Brise-soleil*	75 a 90%
Vidros e películas reflexivos	37 a 68%
Vidros com pigmentos reflexivos	26 a 37%
Vidros de espectros seletivos	37 a 58%
Persianas internas de cores brilhantes com palhetas semi-abertas	30%
Persianas internas de cores médias com palhetas semi-abertas	22%
Cortinas internas translúcidas	54%
Cortinas internas opacas de cores claras	59%
Cortinas internas opacas de cores escuras	15%

** corretamente dimensionado em relação aos ângulos solares, afastado das superfícies de vedação e sem continuidade estrutural.*

Fonte: Maragno, 2016.

É possível perceber que as duas melhores ações para redução de calor são o uso de brise-soleil com redução de até 90% e películas refletivas com 68%, enquanto que as piores são persianas de cores médias com 22% e cortinas opacas de cores escuras com apenas 15% de redução. A Figura 6 mostra uma fotografia tirada em 2019 de uma sala de aula da FT, onde é possível observar o uso de persianas escuras nas janelas além do uso de cores escuras nas paredes, ou seja, pode-se ver que há fatores de construção, decoração e envoltória que contribuem significativamente para o aumento da carga de calor nos ambientes do edifício e tais fatores podem ser substituídos por opções com melhor desempenho e que não vão prejudicar as atividades realizadas no prédio.

Figura 6 - Foto de sala de aula da FT



Fonte: Honorato, 2019

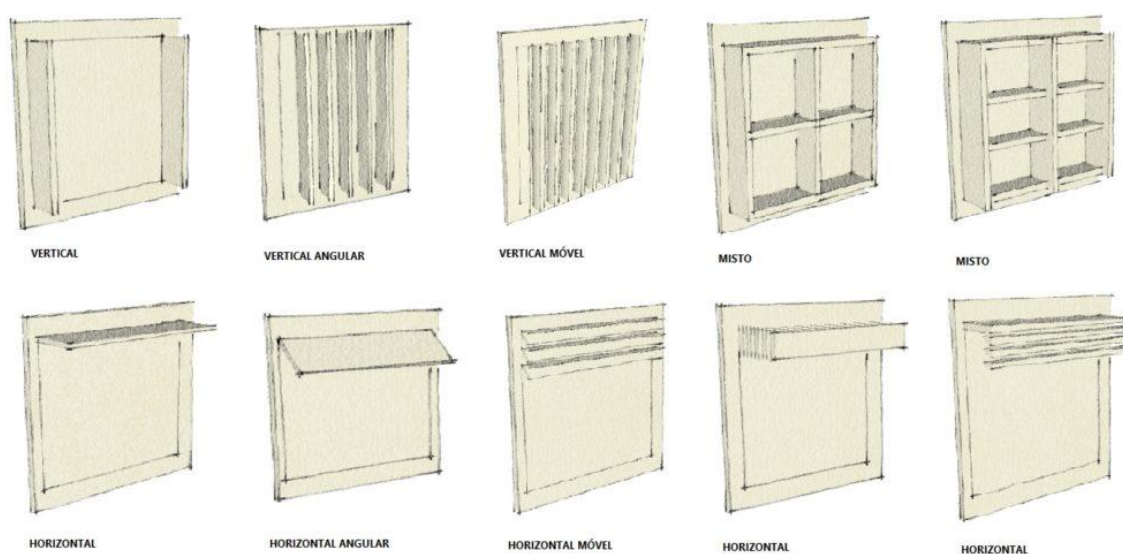
Nesse contexto, serão apresentadas as ações de eficiência energética levantadas neste estudo com potencial relação custo-benefício para satisfazer os critérios de desempenho estabelecidos no PEE e passarem a fazer parte da lista de ações do programa como opções viáveis para economia de energia nos edifícios.

3.1. Brise Soleil

Do francês, bloqueador solar ou quebra-sol, o brise-soleil ficou conhecido depois que o arquiteto Le Corbusier começou a usá-lo em suas obras. O equipamento consiste em uma série de lâminas, móveis ou fixas, verticais e/ou horizontais, feitas de diversos materiais, instaladas nas fachadas dos edifícios que controlam a entrada da radiação solar nos ambientes, considerando também o critério estético da construção. (Gomes, 2016)

Gomes (2016) apresenta critérios de escolha do brise para cada tipo de fachada. Alguns modelos estão mostrados na Figura 7.

Figura 7: Tipos de brise-soleil



Fonte: SustentArqui, 2017

Os brises fixos são mais econômicos em relação aos brises com lâminas móveis por apresentarem menor número de peças na montagem e também são indicados para locais públicos por não permitirem a variação na angulação pelo usuário, o que contribui para o aumento da vida útil do equipamento. Os modelos móveis são úteis para situações em que seja interessante fazer o ajuste da radiação solar que entra no ambiente ao longo do dia, indicados para fachadas leste e oeste. (Gomes, 2016)

Os horizontais proporcionam o sombreamento quando o sol está alto, ou seja, em torno de meio dia, por isso são indicados para edificações no hemisfério sul, nas fachadas voltadas para o Norte. Os verticais protegem as aberturas do sol lateral, no período da manhã ou da tarde. Os mistos, por sua vez, são indicados para as fachadas que recebem muita insolação tanto do sol alto quanto do sol lateral. O tipo de material e a cor dos brises também influencia no desempenho, podem ser de madeira, alumínio, chapas metálicas, concreto

armado, entre outros. As lâminas podem ser curvas ou planas e assumir diversas cores, ressaltando que cores claras tendem a refletir a radiação solar, enquanto as escuras tendem a absorvê-la. (Maragno, 2000)

Gomes (2016) realizou um experimento de instalação de brises horizontais em fachada oeste e demonstrou os resultados obtidos em comparação ao uso do condicionamento de ar no mesmo período, estabelecendo uma relação custo-benefício para a ação executada. A Tabela 5 apresenta a variação da temperatura medida em diferentes horários do dia antes e depois da instalação do brise, mostrando as variações máxima e mínima.

Tabela 5 - Diferença da temperatura do ambiente após a instalação do brise

HORÁRIO	TEMPERATURA (°C)		
	SEM BRISE	COM BRISE (Variação mínima)	COM BRISE (Variação máxima)
13:00	27,84	25,84°C	22,84°C
16:00	30,76	28,76°C	25,76°C
18:00	32,15	30,15°C	27,15°C

Fonte: Dados coletados na pesquisa, 2016.

Fonte: Gomes, 2016

É possível perceber a diferença de 2°C a 5°C da temperatura do ambiente apenas com a instalação de brise nas janelas e consequente redução no uso de condicionamento ambiental artificial.

“Os brises são considerados eficientes quando impedem a entrada de raios solares num determinado período e ao mesmo tempo permitem a entrada da luz natural difusa em quantidade suficiente para poder dispensar a iluminação artificial.” - (Braga, 2005)

No PEE, a ANEEL regulamenta o uso final “maior aproveitamento da iluminação natural com redução da carga da iluminação artificial”, por isso os brises já são teoricamente aceitos como medida de diminuição da iluminação e condicionamento artificial do ambiente.

3.2. Películas

As películas ou filmes plásticos são usados na arquitetura de edifícios tanto residenciais quanto comerciais com foco na estética, segurança e conforto, pois têm a capacidade de reduzir a carga térmica e luminosa que passa por uma superfície transparente mantendo o conceito da fachada e reduzindo a necessidade do uso de climatização artificial.

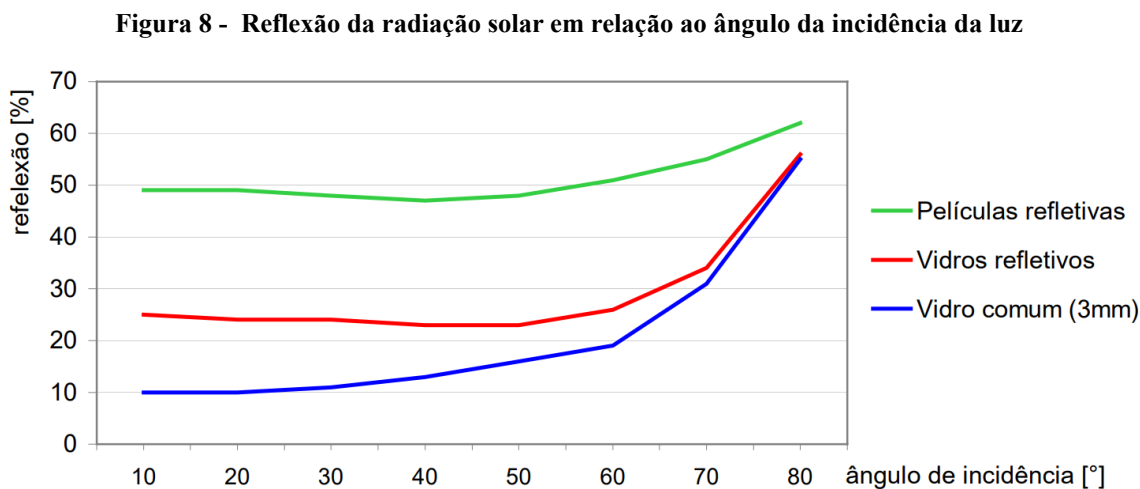
Atualmente, é possível encontrar películas que refletem até 99% da radiação infravermelha e ultravioleta e diminuem o calor nos ambientes e o ofuscamento da radiação solar direta, impactando diretamente o conforto térmico e visual dos ambientes.

Existem vários tipos de películas e filmes plásticos para diversos fins: películas de segurança que impedem o estilhaçamento do vidro e promovem a privacidade, películas refletivas que reduzem ganhos energéticos, películas para edifícios residenciais, comerciais, veículos, entre outros.

(Braga, 2005) realizou um trabalho experimental comparando a reflexão de três materiais em vários ângulos de luz solar direta: película refletiva, vidro refletivo e vidro comum. O resultado está expresso nos gráficos a seguir.

A. RADIAÇÃO SOLAR

A Figura 8 mostra a comparação da porcentagem de reflexão da radiação solar dos três materiais em relação ao ângulo da incidência da luz solar.



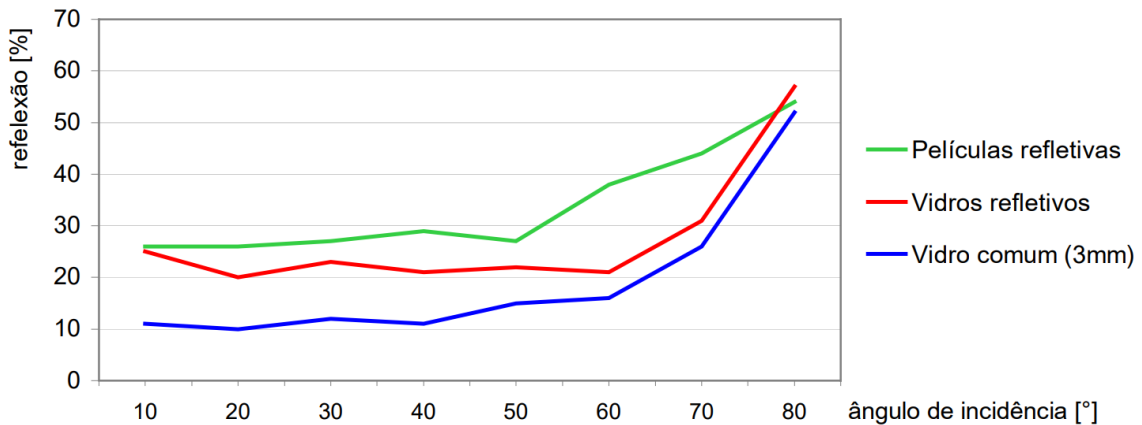
Fonte: Braga, 2005.

Vê-se que as películas apresentam maior reflexão com relação aos outros materiais. A porcentagem de reflexão permanece em torno de 50% para as películas contra 25% e 15% dos outros materiais.

B. LUZ VISÍVEL

A Figura 9 compara a porcentagem de reflexão da luz visível dos três materiais em relação ao ângulo da incidência da luz solar.

Figura 9 - Reflexão do espectro solar visível em relação ao ângulo da incidência da luz solar



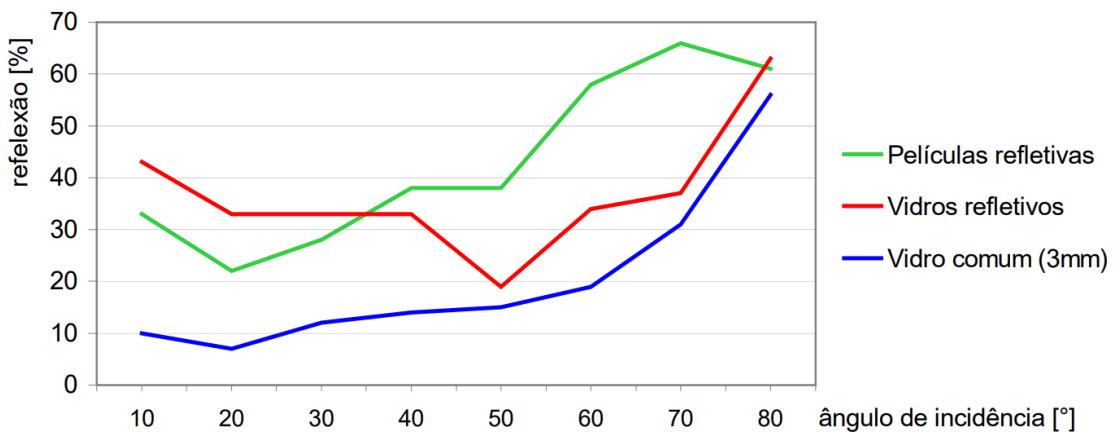
Fonte: Braga, 2005.

A porcentagem de reflexão das películas manteve-se maior em relação aos demais materiais: 34% contra 27% de vidros refletivos e 19% do vidro comum.

C. RAIOS ULTRAVIOLETA (UV)

A Figura 10 compara a porcentagem de reflexão de raios ultravioleta dos três materiais em relação ao ângulo de incidência da luz solar.

Figura 10 - Reflexão dos raios UV em relação ao ângulo da incidência da luz solar

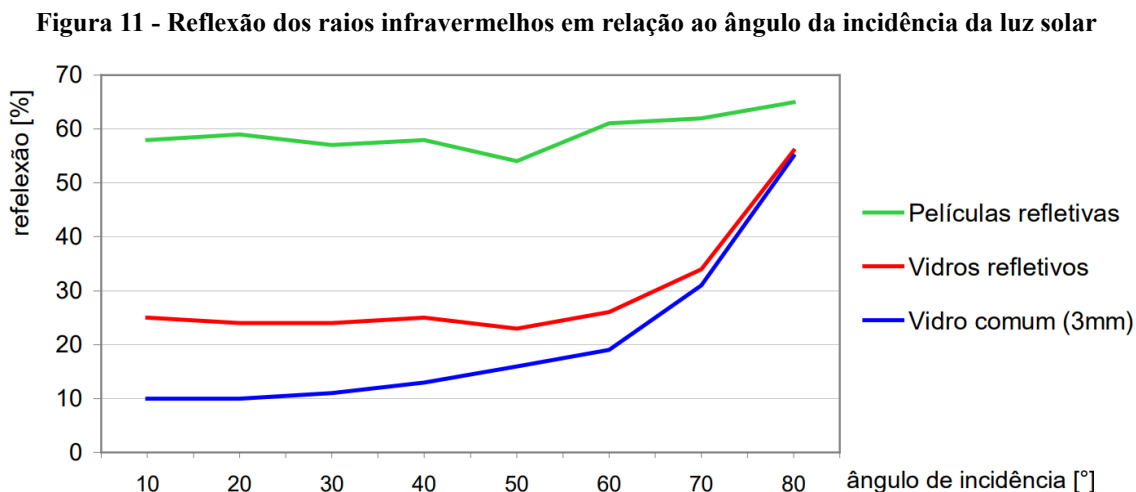


Fonte: Braga, 2005.

Percebe-se uma diferença menor entre os três materiais. Até a luz solar atingir a inclinação de 35°, os vidros refletivos refletem mais, para ângulos maiores, as películas ainda apresentam melhor performance.

D. RAIOS INFRAVERMELHOS

A Figura 11 compara a porcentagem de reflexão de raios infravermelhos dos três materiais em relação ao ângulo de incidência da luz solar.



Fonte: Braga, 2005.

Considerando que os raios infravermelhos são os principais responsáveis pelo aquecimento dos ambientes, é possível concluir que as películas são o melhor material para evitar a absorção de calor através das aberturas dos edifícios, pois apresentam uma porcentagem de reflexão de quase 60% para os ângulos de inclinação contra 20% e 30% dos outros materiais.

Portanto, as películas refletivas são mais indicadas que vidros refletivos ou vidros comuns quando se deseja evitar a absorção de calor solar e manter a entrada da luz visível, prezando o conforto térmico e visual do ambiente.

3.3. Influência da cor da cobertura

Em um edifício o consumo energético do condicionamento ambiental pode ser reduzido com a diminuição da carga de calor que entra pela envoltória. O ganho de calor depende de fatores como a radiação solar incidente, a absorptância, emissividade e reflectância da superfície, e estes, por sua vez, estão associados às cores e aos materiais das superfícies dos componentes da envoltória (DORNELLES, 2008).

A ABNT NBR 15220-1 define absorptância, emissividade e reflectância como mostrado na Tabela 6:

Quadro 2 - Definições de grandezas

Absortância	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície
Emissividade	Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura
Reflectância	Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície

Fonte: Própria

A cobertura é a maior responsável pelo ganho de calor externo dos ambientes, considerando que está em exposição permanente à radiação solar. Para que uma cobertura seja energeticamente eficiente, o material deve apresentar alta refletância à radiação solar e/ou alta emissividade, o que implicará em baixas temperaturas superficiais, diminuindo a carga de calor que entra nos edifícios (PEREIRA et. al.,2019).

BELEZA (et.al.,2020) reiteram que revestimentos com alta refletância e emissividade elevadas, ou seja, os que refletem maior parte da radiação solar e irradiam o calor absorvido são a melhor opção para redução do ganho de calor.

Uma cobertura eficiente pode ser obtida com a aplicação de um revestimento refletivo sobre a superfície do telhado, como uma pintura branca ou a aplicação de uma tinta com pigmento refletivo. A cor branca apresenta a maior taxa de reflectância solar em relação às outras cores, com valor de 0,8, o que indica uma estratégia potencial para reduzir o calor e o consumo energético em edifícios. (BELEZA et.al.2020)

A cor dos elementos construtivos de um edifício está intimamente ligada à absorptância solar do material (ProjetEEE, 2021). A Figura 12 mostra uma lista com o valor da absorptância de várias cores de tintas de diversos materiais analisados por (DORNELLES,2008).

Figura 12 - Absortância solar para diferentes materiais e cores

Tipo	Número	Cor	Nome	α	Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrílica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	46,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	15,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4		47		Pêssego	39,5
	09		Concreto	74,5		48		Alecrim	64,0
	10		Flamingo	49,5		49		Azul bali	48,9
	11		Jade	52,3		50		Branco Neve	10,2
	12		Marfim	33,6		51		Branco Gelo	29,7
	13		Palha	36,7		52		Camurça	55,8
	14		Pérola	33,0		53		Concreto	71,5
	15		Pêssego	42,8		54		Marfim	26,7
	16		Tabaco	78,1		55		Marrocos	54,7
	17		Terracota	64,6		56		Mel	41,8
Acrílica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7	57		Palha	27,2	
	19		Amarelo Terra	68,6	58		Pérola	22,1	
	20		Azul	79,9	59		Pêssego	35,0	
	21		Branco Gelo	36,2	60		Telha	70,8	
	22		Cinza	86,4	61		Vanila	23,9	
	23		Cinza BR	61,1	62		Amarelo Canário	25,2	
	24		Crepúsculo	66,0	63		Areia	35,7	
	25		Flamingo	47,3	64		Azul Profundo	76,0	
	26		Marfim	33,9	65		Branco Neve	16,2	
	27		Palha	39,6	66		Branco Gelo	28,1	
	28		Pérola	33,9	67		Camurça	53,2	
	29		Preto	97,1	68		Cerâmica	65,3	
	30		Telha	69,6	69		Concreto	71,6	
	31		Terracota	68,4	70		Flamingo	44,4	
	32		Verde Quadra	75,5	71		Marfim	24,5	
	33		Vermelho	64,2	72		Palha	26,4	
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3	73		Pérola	22,9	
	35		Amarelo Terra	61,4	74		Pêssego	29,8	
	36		Areia	39,0	75		Preto	97,4	
	37		Azul angra	32,3	76		Vanila	27,7	
	38		Bianco Sereno	26,6	77		Verde Musgo	79,8	
	39		Branco	11,1	78		Vermelho Cardinal	63,3	

* As imagens das cores aqui apresentadas podem não representar com exatidão a cor da tinta quando aplicada sobre as superfícies construtivas.

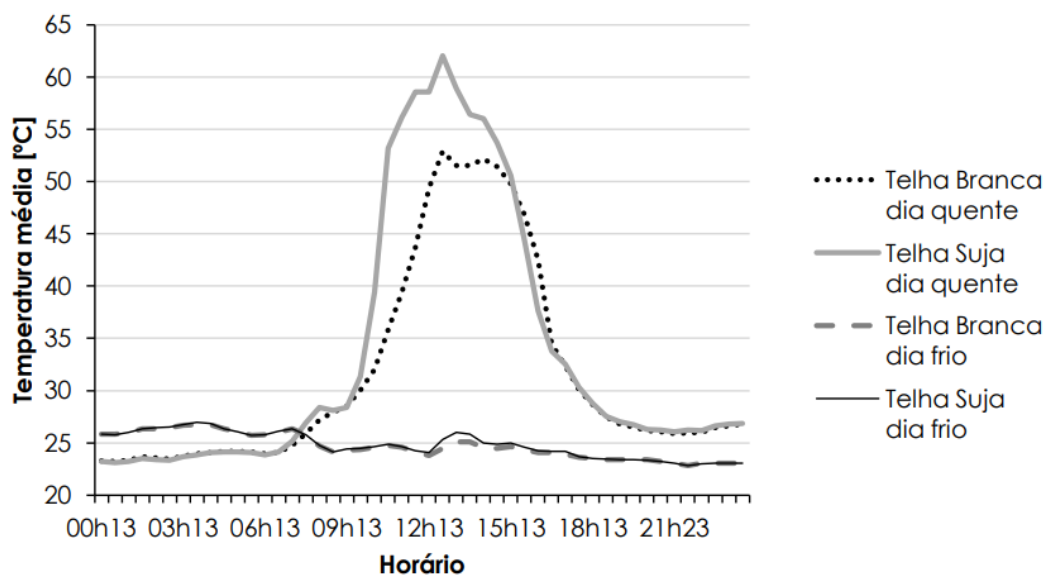
* α : 300 a 2500 nm (Espectro solar total).

Fonte: DORNELLES, 2008.

Percebe-se que a cor com menor índice de absortância é a Tinta Acrílica Fosca Branco Neve, com valor de 10,2, ou seja, a cor absorve apenas 10,2% do total de radiação solar que incide sobre a superfície.

(BELEZA et.al.2020) realizaram um experimento onde compararam a temperatura de quatro tipos de telhas de fibrocimento ao longo do dia. O experimento comparou telhas pintadas de branco e telhas antigas sem pintura com sujeira acumulada ao longo dos anos. O resultado está na Figura 13.

Figura 13 - Absortância solar para diferentes materiais e cores



Fonte: Beleza et.al, 2020.

Percebe-se que o pico de dias quentes ocorre entre 12h e 15h e que a maior temperatura alcançada pela telha branca é quase 10° C menor que a temperatura máxima da telha suja, mostrando a eficiência da cor branca em diminuir a carga térmica da superfície e, conseqüentemente, do ambiente.

4. Metodologia

A primeira etapa foi o levantamento das informações dos programas de incentivo, processos de fiscalização, políticas públicas e iniciativas privadas para o fomento da eficiência. Depois, no escopo no Programa de Eficiência Energética da ANEEL, foram levantados dados como quantidade de projetos executados, energia economizada, demanda retirada de ponta, valor investido nos projetos, com um destaque para os Usos Finais e as Ações de Eficiência Energética aprovadas pelos editais. De posse dessas informações, foi feita uma análise da perspectiva de crescimento do PEE, considerando tipos de consumidor, usos finais mais conhecidos e a economia gerada por cada um, e para esse fim, foi utilizado

o estudo de caso da Faculdade de Tecnologia da UnB, onde foi realizado um projeto de eficiência energética, financiado pelo PEE, cujos usos finais foram iluminação, condicionamento de ar e fontes incentivadas.

Posteriormente, foram levantadas ações além das que são aceitas em editais de PEE atualmente, envolvendo a arquitetura do edifício, uso de luz e ventilação natural e reforma em estruturas antigas. As ações inicialmente estudadas incluem o uso de brise soleil e/ou películas nas janelas onde há maior incidência solar, uso de cores claras nas paredes e coberturas dos ambientes, uso de automação do condicionamento de ar em período sem ocupação, entre outras ações que não são utilizadas, ainda, no PEE. O objetivo foi encontrar resultados obtidos e ratificados por protocolos de M&V que comprovassem a economia gerada pelas diferentes ações, para que pudessem ser usados como passo inicial para o presente estudo.

Assim, foram escolhidas ações dentre as opções levantadas, e delas será calculada a RCB usando o método de simulação calibrada (Opção D) do PIMVP. Por fim, será feita a análise da implantação das ações e da relação custo-benefício do investimento.

4.1. Simulações

4.1.1. Opção D de Medição

A Opção D do Protocolo PIMVP foi escolhida para a realização do presente estudo e para medição dos resultados por apresentar grande versatilidade por se tratar de simulação computacional e torna possível a análise tanto de várias ações separadas quanto a influência global de uma ação sobre a outra, além da possibilidade de simulação de diversos cenários, obtendo resultados satisfatoriamente próximos à realidade sem a execução de fato das ações.

4.1.2. Software de Simulação

O software utilizado na simulação é o DesignBuilder v07.102, um software de interface gráfica usado para simulações termoenergéticas, onde é possível desenhar o modelo do edifício além de apenas programar parâmetros numéricos para a simulação. O cálculo dentro do Design Builder é feito pelo plug-in EnergyPlus, que gera os resultados numéricos da simulação e transfere para a interface do Design Builder, onde as informações

são apresentadas de forma didática e visual ao usuário em gráficos e mapas de temperatura, por exemplo.

4.2. Relação custo-benefício

A relação custo-benefício representa a razão entre o custo anualizado necessário para a implantação do projeto e seu benefício, economia da energia anualizada, considerando a vida útil dos equipamentos instalados. Essa relação é um fator determinante na aprovação do projeto nos editais de PEE, pois em alguns editais, a RCB geral do projeto não deve exceder o valor 1.0, dependendo da modalidade do projeto, esse valor pode variar de acordo com cada concessionária. A RCB das ações simuladas no presente estudo foi calculada utilizando as fórmulas apresentadas na seção 3.12 do Módulo 7 do PROPEE da ANEEL, como descrito a seguir. A Equação 1 mostra a razão que resulta na RCB.

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (1)$$

onde:

CA_T significa custo anualizado total (R\$/ano);

BA_T significa benefício anualizado total (R\$/ano).

O custo anualizado total representa o valor investido na ação por ano de vida útil dos equipamentos e é calculado usando o fator de recuperação do capital (FRCu) que considera uma taxa de desconto estipulada no Plano Nacional de Energia vigente na data em questão.

A taxa de desconto considerada no presente estudo é de 8%, seguindo o último edital de PEE disponível para o Distrito Federal. (Neoenergia, 2022)

O benefício anualizado total é calculado pela Equação 2:

$$BA_T = (EE * CEE) + (RDP * CED) \quad (2)$$

onde:

EE significa energia anual economizada pelas ações (MWh/ano);

RDP significa demanda evitada na ponta (kW/ano);

CEE significa custo unitário evitado da energia (R\$/MWh)

CED significa custo unitário evitado de demanda (R\$/kW).

Os valores de CEE e CED são obrigatoriamente estipulados pela ANEEL e são valores calculados anualmente para cada concessionária e para cada tipo de consumidor,

seguindo procedimento estabelecido no Módulo 8 do PROPEE. Os valores de CEE e CED utilizados neste estudo são do Edital de PEE da Neoenergia 2022.

CEE - R\$ 404,53/MWh

CED - R\$ 362,17/kW

A vida útil deverá ser definida com base em dados fornecidos pelos fornecedores do equipamento ou em estudo que apure de forma confiável o tempo de vida a ser realizado por iniciativa da ANEEL.

4.3. Definição do modelo base

Considerando que o modelo construído representa o edifício da FT depois das ações de energia, foi necessário ainda estabelecer uma base depois que o projeto foi feito, pois houve a alteração de alguns fatores como a instalação da usina fotovoltaica, que influencia no desempenho térmico do edifício como um todo, visto que placas proporcionam sombreamento na cobertura e refletem parte do calor, reduzindo a carga térmica nos ambientes internos.

Além disso, foi realizada a simulação com as persianas nas janelas das salas de aula, e o resultado foi que com o uso de persianas traz uma maior carga térmica ao ambiente, aumentando o consumo de ar condicionado e iluminação, assim, o modelo inicial usado no presente estudo irá considerar o edifício sem as persianas, pois uma vez que forem realizadas as ações previstas neste estudo, as persianas se tornam redundantes além de pouco eficientes.

Portanto, o modelo base onde serão feitas as simulações para as ações sugeridas contará com seguintes alterações que não constam no Modelo Original, sendo elas:

- instalação da planta fotovoltaica, onde os painéis serão alocados de acordo a Figura 4, que mostra a vista superior do edifício real
- retirada das persianas

Para simplificação, a partir deste ponto, o modelo resultante depois de ambas as ações será considerado o Modelo Base e será usado para a simulação das demais ações deste estudo.

4.4. Ações analisadas

Considerando o que foi levantado até aqui, as ações com potencial para economizar energia no edifício são:

- Brise Soleil - instalação de brises nas aberturas do edifício, com lâminas de alumínio horizontais e fixas.
- Películas - instalação de películas térmicas nas aberturas, com elevado grau de reflexão da radiação infravermelha incidente.
- Pintura da cobertura - pintura do telhado do edifício na cor Branco Neve com o material Tinta Acrílica Fosca, própria para telhados e ambientes externos.

4.5. Definição das variáveis para simulação

Para que os resultados das simulações computacionais sejam válidos e próximos do valor real, devem ser definidos parâmetros e variáveis no software para cada ação simulada. A seguir será apresentado o passo a passo de como as ações foram parametrizadas na simulação.

5. Desenvolvimento

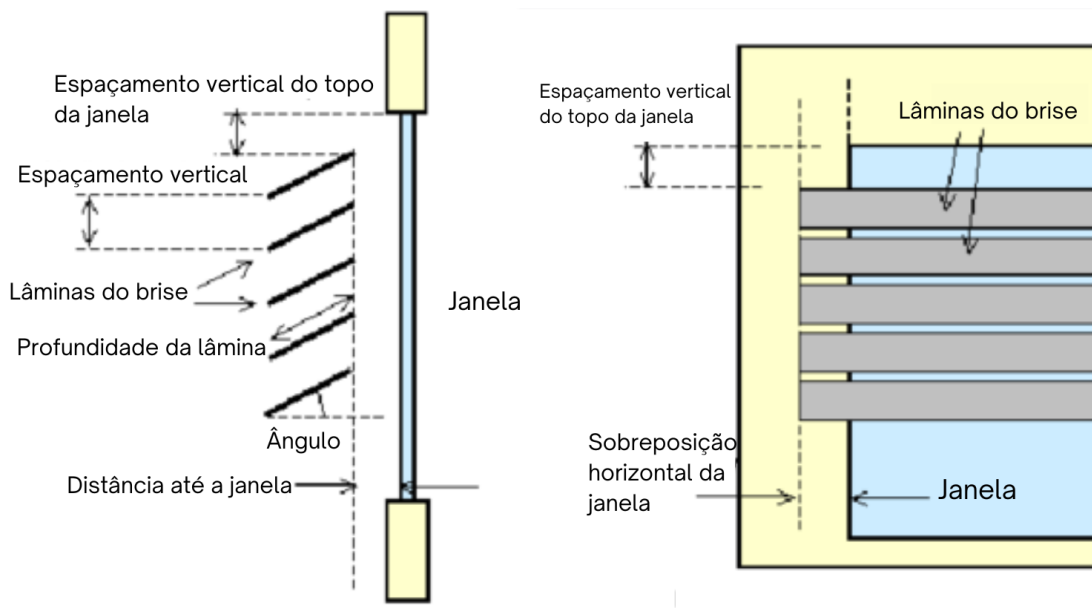
5.1. Parâmetros para simulação

A seguir serão descritos os parâmetros utilizados no software para simular cada ação citada.

5.1.1. Brise Soleil

Para a configuração do brise, foi necessário inserir informações de medidas e do material utilizado, como quantidade de lâminas, distanciamento da janela, espaçamento entre as lâminas, condutividade, entre outros. Esses valores seguiram as informações adquiridas no catálogo do fornecedor do modelo estudado. A Figura 14 mostra as cotas de entrada necessárias para a simulação.

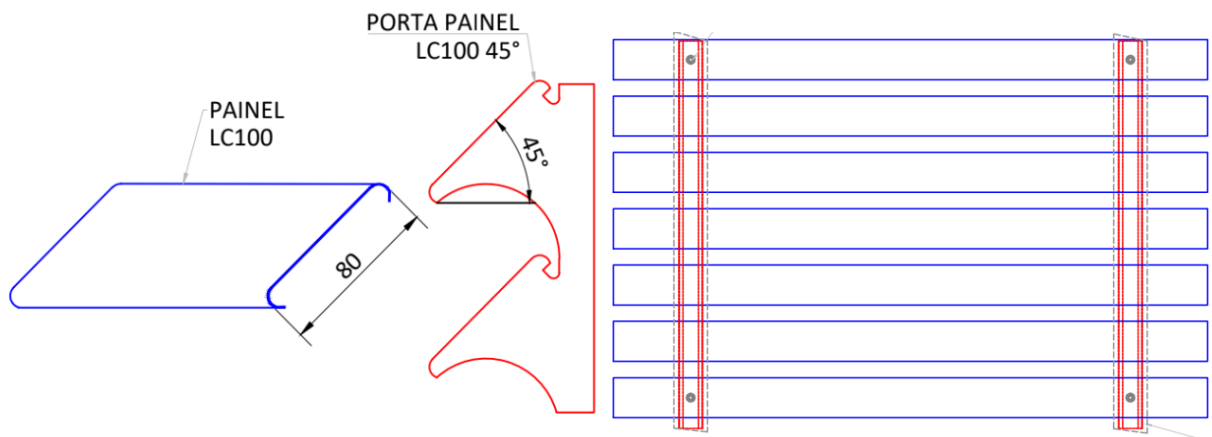
Figura 14 - Cotas usadas para a simulação dos brises



Fonte: Openings - DesignBuilder.

A Figura 15 mostra o modelo de brise simulado, com algumas medidas e cotas do catálogo do fornecedor.

Figura 15 - Modelo de Brise simulado



Fonte: Catálogo do fornecedor

O material da lâmina do brise escolhido é alumínio por possuir boa relação custo benefício, além de alta durabilidade e resistência a intempéries, aumentando sua vida útil.

A Tabela 6 mostra os principais parâmetros de entrada utilizados na simulação

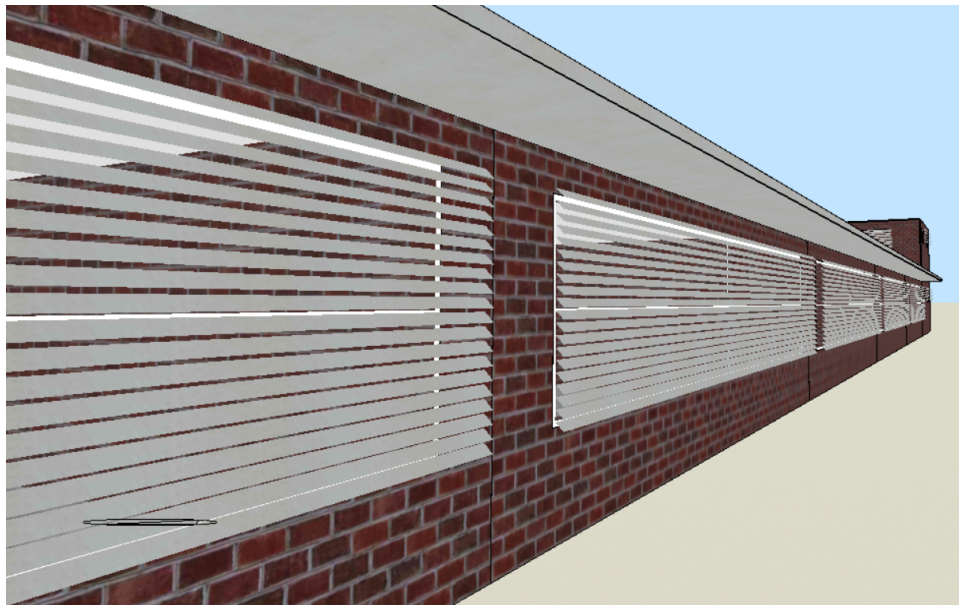
Tabela 7 - Parâmetros utilizados na simulação do brise

Orientação	Horizontal
Grau de mobilidade	Fixo
Inclinação com a horizontal	45°
Largura da lâmina	8 cm
Material	Alumínio
Condutividade	204 W/mK (Protolab)
Vida útil	30 anos (Fornecedor)

Fonte: Própria.

A Figura 16 mostra uma vista lateral em detalhe das janelas do edifício com os brises instalados no modelo construído no DesignBuilder.

Figura 16 - Vista lateral do edifício com brises instalados



Fonte: Própria.

5.1.2. Películas

Foram simulados quatro modelos de películas com características semelhantes em busca da melhor performance para o edifício em questão. O software possui um extenso banco de dados que é mundialmente alimentado pelos usuários, pelas próprias empresas e órgãos interessados. Os modelos escolhidos com base em catálogos de fornecedores constavam no banco de dados do software, e continham também os parâmetros necessários para a simulação. Os parâmetros de cada película simulada estão mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Propriedades das películas usadas na simulação

Película	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Espessura (mm)	2,98	2,99	3,16	2,983
Condutividade (W/mK)	0,98	0,974	0,95	0,97
Transmitância solar	0,212	0,123	0,118	0,207
Transmitância solar externa	0,434	0,524	0,527	0,453
Transmitância solar interna	0,498	0,624	0,615	0,502
Transmitância da luz visível	0,283	0,163	0,169	0,281
Transmitância da luz visível externa	0,458	0,593	0,579	0,466
Transmitância da luz visível interna	0,454	0,594	0,579	0,462
Transmitância infravermelha	0	0	0	0
Emissividade externa	0,84	0,84	0,84	0,84
Emissividade interna	0,738	0,712	0,66	0,731

Fonte: Própria.

Para a simulação, as películas foram adicionadas na camada interna dos vidros das aberturas do Modelo Base. Conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros para simulação de películas

Camada Externa	Vidro original do projeto
Camada Interna	Película
Garantia	10 anos (Fornecedor)

Fonte: Própria

5.1.3. Pintura da cobertura

Para a simulação da pintura da cobertura do edifício, foi necessário adicionar uma camada de tinta Acrílica Fosca Branco Neve sobre a última camada dos telhados do Modelo Base. Assim, foi criado um material acrílico sólido com as especificações necessárias e adicionado à camada mais externa das coberturas. As especificações da camada de tinta criada estão na Tabela 10.

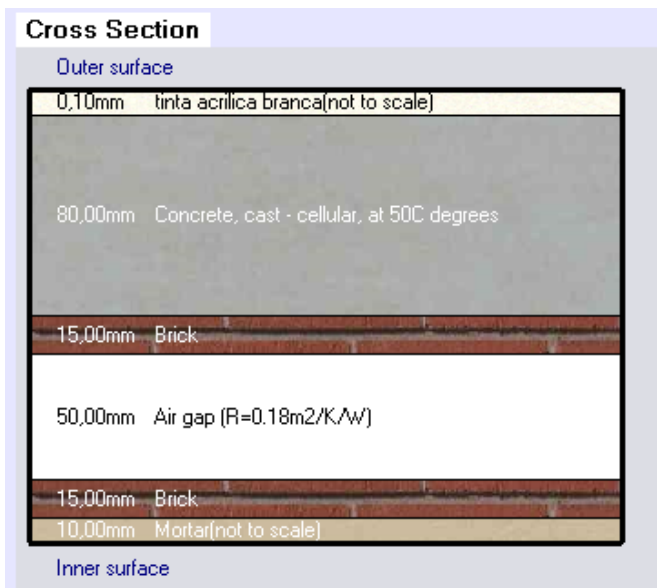
Tabela 10 - Propriedades da camada de tinta usada na simulação

Tipo de material	Tinta Acrílica Fosca (DORNELLES,2008)
Cor	Branco neve (DORNELLES,2008)
Espessura	1mm (USP, Civil)
Emissividade	0,9 (Lamberts,20)
Absortância	0,102 (DORNELLES,2008)
Reflectância	0,8 (BELEZA et.al,2020)
Vida útil	3-5 anos (Fornecedor)

Fonte: Própria.

A Figura 17 mostra um exemplo do corte lateral do material de um dos telhados do modelo. Na imagem é possível ver os outros materiais que constituem o telhado e a adição da camada de tinta na superfície externa (superior) fora de escala.

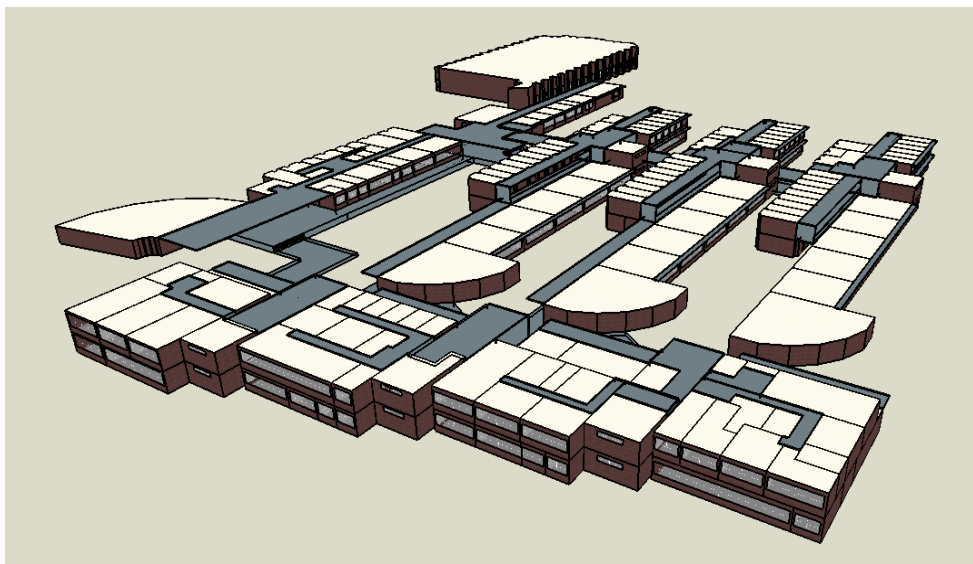
Figura 17 - Vista lateral do edifício com brises instalados



Fonte: Própria.

A Figura 18 mostra o edifício completo modelado com a cobertura na cor branca.

Figura 18 - Modelo construído com cobertura na cor branca



Fonte: Própria.

6. Resultados

A seguir serão apresentados os resultados das simulações realizadas e o cálculo da RCB.

6.1. Modelo Base

Inicialmente, foi definido um Modelo Base posterior ao Modelo Original considerando a instalação da usina fotovoltaica e a retirada das persianas das janelas. A economia gerada por cada uma dessas ações e pelo efeito conjunto de ambas está mostrada na Tabela 11.

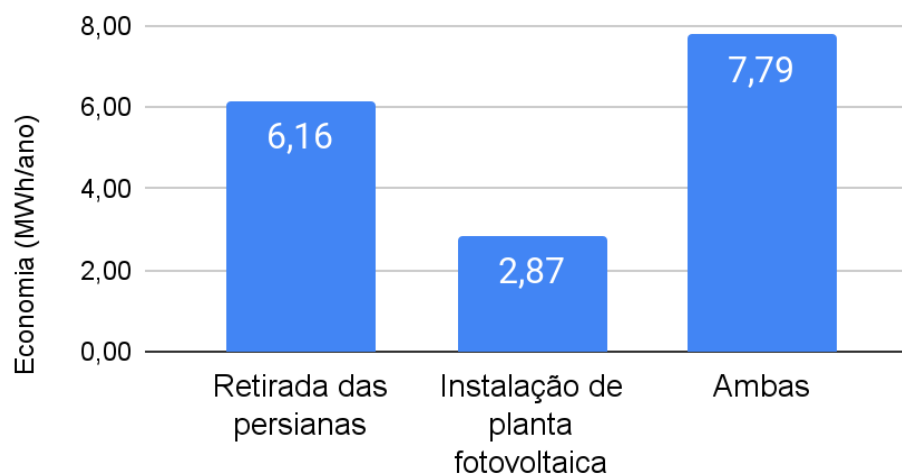
Tabela 11 - Propriedades da camada de tinta usada na simulação

Ação	Economia (MWh/ano)
Retirada das persianas	6,16
Efeito da instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura	2,87
Ambas ações combinadas	7,79

Fonte: Própria.

Os valores de energia economizada estão expressos no gráfico da Figura 19.

Figura 19 - Gráfico de economia gerada pelas ações



Fonte: Própria.

Percebe-se que a economia causada pelas ações juntas não é necessariamente a soma das economias de cada uma quando separadas. Isso acontece porque quando são realizadas mais de uma ação em uma instalação pode haver interações entre elas que alterem o resultado na economia da energia. Essas interferências no resultado são chamadas de efeitos interativos. (Honorato, 2019)

6.2. Modelos de películas

A Tabela 12 mostra o resultado da economia simulada para cada modelo de película estudado.

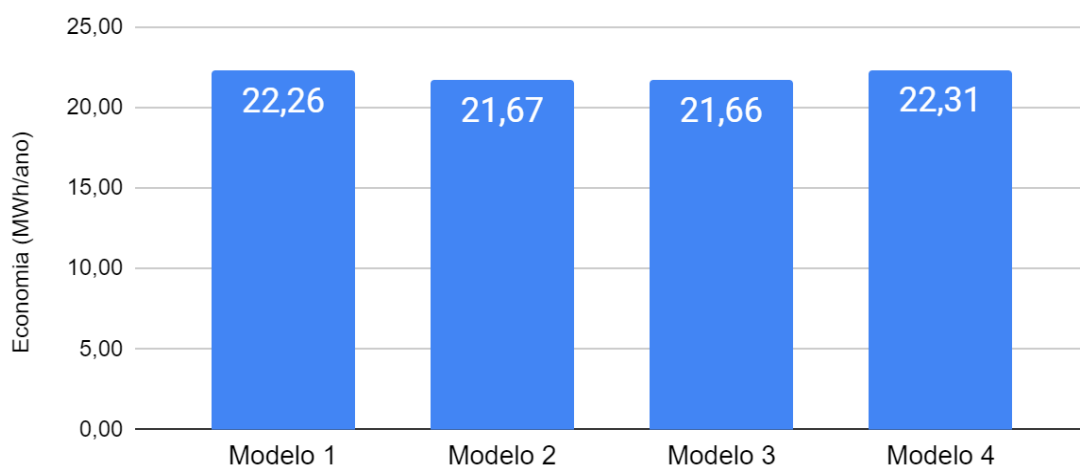
Tabela 12 - Economia gerada por cada modelo de película

Película	Economia (MWh/ano)
Modelo 1	22,26
Modelo 2	21,67
Modelo 3	21,66
Modelo 4	22,31

Fonte: Própria.

Os valores estão em forma de gráfico na Figura 20.

Figura 20 - Gráfico da economia gerada por cada modelo de película



Fonte: Própria.

Considerando que a economia gerada pelos quatro modelos difere em menos de 3% entre eles, será considerado apenas o Modelo 4 para simulações posteriores e cálculo da RCB.

6.3. Ações de eficiência energética

A Tabela 13 mostra a economia gerada por cada ação de eficiência energética simulada, assim como o resultado global do efeito das três ações combinadas.

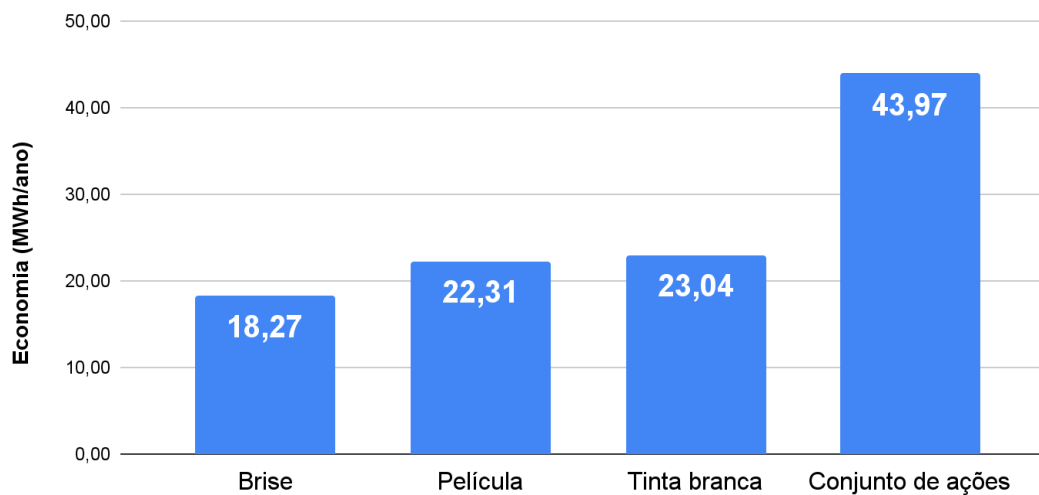
Tabela 13 - Economia gerada por cada ação simulada

Película	Economia (MWh/ano)
Brise	18,27
Película Modelo 4	22,31
Pintura da cobertura	23,04
Conjunto de ações	43,97

Fonte: Própria.

A Figura 21 mostra os valores expressos em gráfico.

Figura 21 - Gráfico da economia gerada por cada ação



Fonte: Própria.

Percebe-se novamente que o valor global economizado pelo conjunto das três ações não é a soma das economias das ações separadamente, e isso se deve aos efeitos interativos das ações umas nas outras.

A Tabela 14 mostra um quadro geral do consumo e da economia percentual depois de cada ação estudada incluindo as ações consideradas para definição do modelo base: retirada das persianas e instalação dos painéis fotovoltaicos na cobertura.

Tabela 14 - Quadro geral de economia e consumo depois de cada ação

Ações	Consumo (MWh/ano)	Economia (MWh/ano)	Economia (%)
Consumo Original	824,668	0	0
Retirada das persianas	818,51	6,16	0,75%
Instalação de painéis fotovoltaicos	821,80	2,87	0,35%
Retirada das persianas e instalação de painéis fotovoltaicos (Modelo Base)	816,88	7,79	0,94%
Brise	800,23	18,27	2,24%
Película	794,61	22,31	2,73%
Tinta branca	793,84	23,04	2,82%
Conjunto de ações	772,91	43,97	5,38%

Fonte: Própria.

A economia de energia resultante do conjunto das três ações estudadas representa 5,38% do consumo anual do edifício.

6.4. Relação Custo Benefício

A Tabela 15 mostra a economia anual, o benefício e o custo anualizados de cada ação estudada e apresenta a Relação Custo Benefício calculada para cada uma delas e para o conjunto de ações.

Tabela 15 - Relação custo benefício para cada ação

AÇÃO	ECONOMIA (MWh/ano)	Benefício anualizado (R\$/ano)	Custo anualizado (R\$/ano)	RCB
BRISE	18,27	R\$ 7.392,33	R\$ 14.213,78	1,92
PELÍCULA	22,31	R\$ 9.024,46	R\$ 17.084,16	1,89
PINTURA DA COBERTURA	23,04	R\$ 9.318,45	R\$ 39.892,27	4,28
CONJUNTO DE AÇÕES	43,97	R\$ 17.786,88	R\$ 38.544,89	2,17

Fonte: Própria.

A ANEEL estipula que para que o projeto seja aceito no PEE, a RCB não deve exceder o valor de 1.0. No entanto, há casos em que a RCB ultrapassa esse valor e o projeto ainda se torna viável, dependendo do tipo de aplicação.

Portanto, os valores de RCB para brise e película separadamente se mostraram otimistas, próximos do valor de referência, 1,0. Percebe-se ainda que a pintura tem a maior RCB e, se aplicada como uma única solução, se torna praticamente inviável, mas se aplicada em conjunto com outras ações, a RCB do projeto atinge um valor aceitável de 2,17. A pintura apresenta o maior valor de RCB pois tem o menor tempo de vida útil entre as três e mesmo tendo a maior economia anual dentre as ações, o custo anualizado se torna maior.

7. Conclusão

O objetivo do trabalho é analisar a relação custo benefício de ações de eficiência energética no prédio da FT através de simulações termoenergéticas feitas a partir de um modelo criado e validado. O resultado das ações propostas em conjunto foi de uma economia anual de 43,97 MWh ou 5,38%. Porém a relação custo benefício, considerando custos de implantação e vida útil, mostra que apenas duas ações são viáveis se aplicadas separadamente, apresentando uma RCB menor que 2,0. Considerando o valor de implantação e a vida útil, a pintura da cobertura não se mostra viável, pois necessita de constante manutenção incluindo limpeza do telhado e aplicação de outras camadas de tinta. Já o uso de brises e películas tem boa relação custo benefício, que vai depender diretamente do custo do material e da mão de obra utilizados. Além disso, a RCB gerada pelo conjunto das três ações se mostra otimista, mostrando que é possível ter um resultado melhor quando há a combinação de vários fatores.

Portanto, no âmbito do PEE, e considerando os valores de RCB, as ações se mostram viáveis e representam um primeiro passo para o incentivo do estudo de novas ações de eficiência energética no Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

8. Trabalhos futuros

Sugere-se a simulação de outras formas de materiais para isolamento térmico da cobertura, como espuma térmica, manta isolante, outros tipos de tinta, telhado verde entre outros.

Além disso, uma sugestão é a simulação de outros modelos de películas reflexivas, outras cores e materiais tanto quanto outros modelos e materiais de brises, como polímeros, outros metais ou concreto, incluindo também a utilização de lâminas móveis que se adequem à altura solar ao longo do dia.

Outra opção é simular a pintura também de paredes e piso de cores mais claras, uma vez que o prédio estudado apresenta componentes de construção com cores escuras como tijolos aparentes.

Realização de estudo luminotécnico e conforto visual dos ambientes depois da instalação dos brises e películas.

Por fim, realizar um estudo de automatização do condicionamento artificial para que o sistema seja utilizado apenas quando necessário e que o ambiente esteja nas condições ideais para trabalho do equipamento.

9. Referências Bibliográficas

ANGARITA. J.A.C.; VELASCO. L.N.; FILHO. A.L.F.; **Ações de Eficiência Energética Associadas à Geração Distribuída - Estudo de Caso: Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.** 2ª Edição. Brasília. 2020.

ÂMBITO JURÍDICO. **A Conferência de Estocolmo e o pensamento ambientalista: como tudo começou.** Disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/a-conferencia-de-estocolmo-e-o-pensamento-ambientalista-como-tudo-comecou/#_ftn1> Acesso em: maio de 2021.

ANEEL. **Chamada 001/2016 Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”.** Diário Oficial. Brasília. 2016

ANEEL. **Quantidade de Projetos que Compõem os Índices.** Observatório do Programa de Eficiência Energética. Disponível em:<<https://www.siasc.org.br/webOpee/Indicator/ProjectQuantity>> Acesso em: 21 de maio de 2021.

ANEEL. **Resolução Normativa 482 de 17 de Abril de 12.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial. Brasília. 2012

ANEEL. **Resolução Normativa 920 de 23 de Fevereiro de 2021.** Aprova os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE e revoga a Resolução Normativa nº 556, de 18 de junho de 2013, o art. 1º da Resolução Normativa nº 830, de 23 de outubro de 2018, e a Resolução Normativa nº 892, de 11 de agosto de 2020. Diário Oficial. Brasília. 2021

ANEEL. **Repositório de Projetos.** Observatório do Programa de Eficiência Energética. Disponível em:<<https://www.siasc.org.br/webOpee/ProjectRepository>> Acesso em: 21 de maio de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**. Desempenho térmico de edificações, Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro. 2005.

BELEZA, A.A.S.; MICHELS, C.. **Análise da refletância e do desempenho térmico de tinta reflexiva aplicada em cobertura de telhas fibrocimento**. 2020, Porto Alegre. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

BRAGA, D.K., **Arquitetura residencial das superquadras do Plano Piloto de Brasília: aspectos de conforto térmico**. 2005. Brasília. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.

BRASIL. **Lei 13.203 de 3 de maio de 2016**. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética. Diário Oficial. Brasília. 2016

BRASIL. **Lei 9.991 de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial. Brasília. 2000

BRASIL. **Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Diário Oficial. Brasília. 2001

CEB. **Edital Chamada Pública de Projetos PEE 001/2020**. 2020. Disponível em: <<https://www.neoenergiabrasilia.com.br/sobre-nos/sobre/Documents/edital%20cp%20pee%202020.pdf>> Acesso em: abril de 2021

DORNELLES, K. A.. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação de dados para tintas látex, acrílica e PVA**. 2008. Tese Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

Efficiency Valuation Organization – EVO. **Protocolo Internacional de Medição e**

Verificação de Performance Conceitos e Opções para Determinação de economias de Energia e de Água. Canadá.2012.

GOMES.D.M.M. **Análise de Simulação de Uso do Brise-Soleil Como Sistema de Controle Termal de uma Fachada.**Trabalho de Pós-Graduação. Centro Universitário de Brasília. 2016. Disponível em:<<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/12318/1/51500353.pdf>> Acesso em: 15 de maio de 2021

HONORATO. J.P.A.. **Medição e verificação: Uma análise da utilização de simulação computacional para avaliar os resultados da eficiência energética.** 2019. Brasília. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília.

INMETRO. **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros.** Anexo V da Portaria N° 50/2013. Disponível em:<file:///C:/Users/julia/Google%20Drive/UnB/2020-02/TCC1/AnexoVRAC_CatalogoPropriedadesTermicas%20v03SET2013.pdf> Acesso em: 24 de maio de 2021

LabEEE. **Conforto Térmico.** Laboratório de Eficiência em Edificações. 2022. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/conforto-termico>> Acesso em: maio de 2022

LAMBERTS. R.. **Desempenho Térmico de edificações Aula 9: Desempenho térmico de paredes e coberturas.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Disponível em:<<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula-Desempenho%20termico%20paredes%20e%20coberturas.pdf>> Acesso em: setembro de 2022.

MARAGNO, G. V. **Eficiência e forma do brise-soleil na Arquitetura de Campo Grande -MS.** 2000. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

NEOENERGIA. EDITAL PEE 2022 **Edital Chamada Pública de Projetos PEE 001/2022.** Disponível em <>Acesso em: setembro de 2022

PEREIRA, C.D.; SIQUEIRA, W.F.; **Desempenho Térmico De Coberturas De Fibrocimento em Estado Natural E Submetidas A Pintura De Cor Branca.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Unievangélica. Anápolis, 2019.

PROJETEEE. **Glossário.** Absortância. Disponível em: < <http://projeteee.mma.gov.br/glossario/absortancia>> Acesso em: 24 de maio de 2021.

PROTOLAB. **TABELA DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.** Laboratório de Propriedades Termofísicas e Prototipação. Disponível em <<http://www.protolab.com.br/Tabela-Conductividade-Material-Construcao.htm>>. Acesso em: setembro de 2022.

SECOM UNB. **Centro de monitoramento energético passa a funcionar na Universidade de Brasília.** 2019. Disponível em: <<https://noticias.unb.br/76-institucional/3769-centro-de-monitoramento-energetico-passa-a-funcionar-na-universidade-de-brasilia>> Acesso em: abril de 2021.

UnB. **História.** Faculdade de Tecnologia. Disponível em: <http://ft.unb.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=104.> Acesso em: abril de 2021

USP. Tecnologia e Gestão da Produção de Obras Civis: Edifícios. **Sistemas de Pintura, Conceituação, sistemas de pintura, desempenho e planejamento.** Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075774/mod_resource/content/1/Aula%2025%20-%20Pintura-R2.pdf#:~:text=A%20pintura%20na%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civl,total%20%E4%B8%891%2C0%20mm> Acesso em: setembro de 2022.