

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA**

LUCAS AUGUSTO SILVA ARAÚJO

**ANÁLISE ENERGÉTICA DO PRÉDIO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA
UFGD: UMA APLICAÇÃO DO SOFTWARE ENERGYPLUS PARA REDUÇÃO DO
CONSUMO DE ENERGIA**

DOURADOS, 2024

LUCAS AUGUSTO SILVA

**ANÁLISE ENERGÉTICA DO PRÉDIO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA
UFGD: UMA APLICAÇÃO DO SOFTWARE ENERGYPLUS PARA REDUÇÃO DO
CONSUMO DE ENERGIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar de Lima

DOURADOS, 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A663a Araujo, Lucas Augusto Silva

ANÁLISE ENERGÉTICA DO PRÉDIO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UFGD:
UMA APLICAÇÃO DO SOFTWARE ENERGYPLUS PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE
ENERGIA [recurso eletrônico] / Lucas Augusto Silva Araujo. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Aureo Cezar de Lima.

TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

I. Eficiência energética em edificações. 2. EnergyPlus. 3. sistema VRF. 4. brises. I. Lima, Aureo Cezar De. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

LUCAS AUGUSTO SILVA ARAÚJO

**ANÁLISE ENERGÉTICA DO PRÉDIO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA
UFGD: UMA APLICAÇÃO DO SOFTWARE ENERGYPLUS PARA REDUÇÃO DO
CONSUMO DE ENERGIA**

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, pela comissão formada por:

Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar Lima
FAEN – UFGD

Prof. Dr. Christian Souza Barboza
FAEN – UFGD

Ma. Suevellyn Silvério Pscevozniki
Engenheira de Energia

DOURADOS -MS
4 DE DEZEMBRO DE 2024

AGRADECIMENTOS

Da mesma forma que Marco Aurélio, imperador romano, expressou sua gratidão aos seus formadores, familiares, mestres, amigos e inspirações, acredito que reconhecer aqueles que contribuíram para a nossa jornada é essencial. Agradecer àqueles que estiveram ao nosso lado, oferecendo apoio, conhecimento e inspiração, é uma maneira de demonstrar reconhecimento e apreço pelo papel que desempenharam na construção do nosso caminho e na formação do que somos hoje.

Dessa forma, agradeço profundamente aos meus pais, por terem me proporcionado a base sólida para minha formação. Seu apoio incondicional me ofereceu a oportunidade de estudar e crescer em um ambiente de conforto e valores. A eles, devo não apenas a educação, mas também o exemplo diário de virtudes que moldaram meu caráter e trajetória.

Aos meus amigos e ao meu irmão, expresso minha gratidão pelo apoio constante nos momentos difíceis, pelas risadas e pelas experiências únicas e inestimáveis que compartilhamos. Foram eles que, com sua presença e incentivo, tornaram essa jornada desafiadora mais leve e possível de ser superada.

Aos meus mestres, expresso minha profunda gratidão pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos ao longo dos anos. Foi a partir deles que desenvolvi a experiência e a sabedoria necessárias para enfrentar os desafios acadêmicos, expandir minha busca pelo saber e solucionar problemas, habilidades essenciais para o exercício da minha profissão. Em especial, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Aureo Cezar de Lima, por sua dedicação, paciência e valiosas orientações, que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

O desenvolvimento econômico de uma região e do país, assim como o conforto nas edificações, está diretamente associado ao uso da energia, sobretudo, uma vez que dependem de fontes não renováveis, contribuem para o aquecimento global e para as mudanças climáticas. As medidas de gestão e eficiência energética na climatização, iluminação, equipamentos e nas edificações propiciam a redução da demanda energética e da degradação ambiental. Assim, foi desenvolvido neste trabalho uma/a análise do consumo e da eficiência energética do prédio da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados utilizando-se o software *EnergyPlus*. Foi simulada a instalação de brises na fachada Sul, a substituição dos vidros comuns por vidros refletivos, a alteração da cor da pintura externa e a substituição do condicionamento de ar convencional por tipo fluxo de fluido refrigerante variável (VRF). As propostas de eficiência simuladas resultaram em uma redução anual do consumo dos condicionadores de ar de 18,10 MWh, o equivalente a 18,9% do consumo total do prédio, enquanto os brises representaram 3,8%, os vidros 7,0%, a pintura 8,2%, o sistema VRF 21,8%, e as medidas associadas 33,9%. A avaliação econômica, por sua vez, obteve viabilidade para a alteração da pintura do edifício construído e para a substituição do sistema de climatização por VRF para o projeto novo, apresentando um *Payback* descontado de 3 e 9 anos, VPL de R\$ 5.994,03 e R\$ 60.330,97, e TIR de 28,4% e 19,35% respectivamente. Por fim, a simulação no *EnergyPlus* em fase de projeto da edificação majora seus benefícios econômicos e ambientais, enquanto, a implementação de medidas de eficiência energética em edificações existentes apresenta maiores custos, dificuldades técnicas e, em diversas situações, inviabilidade econômica.

Palavras-chave: Eficiência energética em edificações, *EnergyPlus*, sistema VRF, brises.

ABSTRACT

The economic development of a region and the country and comfort in buildings are directly linked to energy use. However, dependence on non-renewable sources contributes to global warming and climate change. Energy management and efficiency measures in HVAC systems, lighting, equipment, and buildings enable reductions in energy demand and environmental degradation. This study developed an analysis of energy consumption and efficiency for the Engineering Faculty building at the Federal University of Grande Dourados using the EnergyPlus software. Simulations included the installation of shading devices (brises) on the south façade, replacing ordinary glass with reflective glass, changing the external paint color, and substituting conventional air conditioning systems with a variable refrigerant flow (VRF) system. The proposed energy efficiency measures resulted in an annual air conditioner reduction of 18.10 MWh, equivalent to 18.9% of the building's total consumption. Individually, the brises contributed 3.8%, reflective glass 7.0%, external paint 8.2%, and the VRF system 21.8%, while combined measures achieved a 33.9% reduction. The economic evaluation demonstrated the feasibility of changing the building's external paint and implementing the VRF system in new projects, with discounted payback periods of 3 and 9 years, net present values of R\$ 5,994.03 and R\$ 60,330.97, and internal rates of return of 28.4% and 19.35%, respectively. In conclusion, simulations during the design phase maximize economic and environmental benefits, while implementing energy efficiency measures in existing buildings incurs higher costs, technical challenges, and, in many cases, economic infeasibility.

Keywords: Energy efficiency in buildings, EnergyPlus, VRF system, brises.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista superior do bloco FAEN/UFGD.....	23
Figura 2 - Planta baixa do piso térreo dividida por tipo de ambiente no bloco FAEN/UFGD em 2024	23
Figura 3 - Planta baixa do segundo piso dividida por tipo de ambiente no bloco FAEN/UFGD em 2024	24
Figura 4 - Fachada norte do bloco FAEN/UFGD.....	26
Figura 5 - Ângulo de instalação dos módulos solar fotovoltaico no segundo piso da FAEN/UFGD.....	27
Figura 6 - Ângulo das brises do piso térreo do prédio da FAEN/UFGD, em 2024	27
Figura 7 - Zonas térmicas do bloco FAEN/UFGD criadas no software SketchUP.....	28
Figura 8 - Fachada norte do modelo 3D do bloco FAEN/UFGD no SketchUP.....	28
Figura 9 - Fachada sul do modelo 3D do bloco FAEN/UFGD no SketchUP	29
Figura 10 - Modelo construtivo da parede de alvenaria para tijolo oito furos	30
Figura 11 - Absortância considerando a cor de pintura da parede	31
Figura 12 - Exemplo do modelo construtivo de uma parede no EnergyPlus	32
Figura 13 - Consumo anual estimado em MWh para o bloco FAEN/UFGD por categoria.....	41
Figura 14 - Consumo mensal de energia elétrica por uso final do bloco FAEN/UFGD	42
Figura 15 - Consumo total mensal do bloco FAEN/UFGD em relação a temperatura ambiente média	42
Figura 16 - Proposta de instalação de brises na fachada Sul do bloco FAEN/UFGD.....	46
Figura 17 - Carta solar para o bloco FAEN/UFGD, em outubro de 2023.....	46
Figura 18 - Consumo para as medidas de eficiência energética propostas individualmente e associadas no prédio FAEN-UFGD	50
Figura 19 - Estratificação do consumo anual para as medidas de eficiência energética propostas no bloco FAEN-UFGD.....	50
Figura 20 - Consumo dos condicionadores de ar atuais e tipo VRF proposto para o prédio FAEN-UFGD	51
Figura 21 - Comparação entre o edifício com todas as modificações propostas e o edifício modificado retirando as brises na fachada sul	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição dos ambientes que integram os pisos do bloco FAEN/UFGD	24
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Absortância solar para diferentes pinturas	31
Tabela 2 - Fator solar e Transmitância térmica de vidros	32
Tabela 3 - Parametrização dos elementos construtivos modelados para a edificação.....	33
Tabela 4 - Cargas elétricas por ambientes do bloco FAEN/UFGD.....	34
Tabela 5 - Iluminação por zona térmica com permanência prolongada no bloco FAEN/UFGD	36
Tabela 6 - Equipamentos de condicionamento de ar por zona térmica do bloco FAEN-UFGD	37
Tabela 7 - Eficiência de condicionadores de ar da marca Philco e Agratto de acordo com sua potência para classificação A	38
Tabela 8 - Uso mensal das instalações e taxa de utilização do bloco FAEN/UFGD em 2023	39
Tabela 9 - Ocupação das zonas térmicas de permanência prolongada do bloco FAEN/UFGD	39
Tabela 10 - Temperatura média mensal do solo na cidade de Campo Grande - MS	40
Tabela 11 - Balanço termoenergético do Laboratório de Engenharia Econômica do prédio FAEN-UFGD em 2023.....	43
Tabela 12 - Balanço termoenergético do gabinete de professor do prédio FAEN-UFGD em 2023	45
Tabela 13 - Eficiência de condicionadores de ar do tipo VRF com condensação a ar que operam somente em refrigeração (sem ciclo reverso) para a classificação A	48
Tabela 14 - Consumo em kWh do condicionamento de ar para as medidas de eficiência energética propostas individualmente e associadas no prédio FAEN-UFGD.....	49
Tabela 15 - Componentes de ganho de calor sensível para um laboratório genérico do modelo modificado da edificação.....	52
Tabela 16 - Componentes de ganho de calor sensível para um gabinete genérico do modelo modificado da edificação.....	52
Tabela 17 - Análise de viabilidade econômica para as medidas e eficiência energética propostas para o prédio FAEN/UFGD.....	55

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

α :	Absortância à Radiação Solar
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BEM:	Balanco Energético Nacional
CB3E:	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
COP:	Coeficiente de desempenho
ENCE:	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE:	Empresa de Pesquisa Energética
FAEN:	Faculdade de Engenharia
FS:	Fator solar
INMET:	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO:	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ICOP:	Coeficiente Integrado de Performance
INI-C:	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
kWh:	Quilowatt-hora
LABEEE:	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
MME:	Ministério de Minas e Energia
MW:	Megawatt
NBR:	Norma técnica
PBE:	Programa Brasileiro de Etiquetagem
Procel:	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Procel Edifica:	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
RTQ-R:	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
RTQ-C:	Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SWERA:	Solar and Wind Energy Resource Assessment
UFGD:	Universidade Federal da Grande Dourados
VRF:	Sistema de Fluxo de Refrigerante Variável (Variable refrigerant flow)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	17
2.1.1	Etiquetagem em eficiência energética	18
2.2	PESQUISAS E TRABALHOS RELEVANTES	18
2.2.1	Eficiência energética em edificações	19
2.3	FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	20
3	SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DO PRÉDIO FAEN-UFGD	22
3.1	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO	22
3.2	SOMBREAMENTO LOCAL	25
3.3	MODELAGEM E SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA	27
3.3.1	Modelo de elementos construtivos da edificação	29
3.3.2	Cargas internas	33
3.3.3	Sistema de iluminação	35
3.3.4	Sistema de condicionamento de ar	36
3.3.5	Rotinas de uso dos ambientes	38
3.3.6	Temperatura do solo	40
3.3.7	Brisas	40
3.3.8	Infiltração e ventilação natural	40
4	SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO	41
4.1	SIMULAÇÃO DO PRÉDIO CONSIDERANDO AS CONDIÇÕES ATUAIS	41
4.1.1	Componentes de ganho de calor no modelo atual da edificação	43
4.2	SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A EDIFICAÇÃO	45

4.2.1	Instalação de brises na fachada Sul	45
4.2.2	Substituição dos vidros comuns por vidros refletivos	47
4.2.3	Alteração da cor da pintura externa	47
4.2.4	Substituição do condicionamento de ar convencional por tipo fluxo de fluido refrigerante variável (VRF)	47
4.3	ASSOCIAÇÃO DAS PROPOSTA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	49
4.3.1	Balanco termoenergético para as medidas de eficiência propostas	51
4.3.2	Sobreposição dos efeitos das propostas de eficiência energética	53
4.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	54
5	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A – PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO DO PAVIMENTO TÉRREO DO BLOCO FAEN/UFGD.....	63
	APÊNDICE B – PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO DO PAVIMENTO SUPERIOR DO BLOCO FAEN/UFGD	64
	APÊNDICE C – INTERFACE ENERGYPLUS COM O MODELO UTILIZADO	65

1 INTRODUÇÃO

Na sociedade contemporânea a energia é indispensável, servindo como a base para o desenvolvimento econômico, proporcionando conforto em ambientes domésticos, facilitando a mobilidade e gerando uma ampla gama de empregos. Ela permeia praticamente todas as atividades humanas, desde o setor industrial até o uso cotidiano de aparelhos eletrônicos. Contudo, a maior parte da energia consumida globalmente ainda advém de fontes não renováveis, como petróleo, carvão e gás natural. Embora sejam altamente eficientes, esses combustíveis fósseis são finitos e, à medida que os recursos se esgotam, surgem preocupações sobre sua disponibilidade futura. Além disso, sua extração e uso em larga escala resultam em severos impactos ambientais, incluindo a emissão de gases de efeito estufa, que contribuem significativamente para o aquecimento global e as mudanças climáticas, tornando a transição para alternativas sustentáveis cada vez mais urgente (Villalva, 2015).

Esses combustíveis fósseis, além de impulsionarem o aquecimento global, geram outros impactos negativos, como a chuva ácida, que prejudica ecossistemas terrestres e aquáticos e compromete a qualidade do solo e da água. A extração e transporte desses recursos também liberam substâncias tóxicas, contaminando o meio ambiente e representando riscos à saúde humana. Paralelamente, a energia nuclear, embora menos poluente em termos de emissões de gases, traz riscos elevados em caso de acidentes, além de problemas relacionados ao armazenamento seguro de resíduos radioativos. Todos esses fatores reforçam a necessidade de explorar fontes renováveis e limpas de energia, que sejam ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis para atender à crescente demanda global (Villalva, 2015).

Sobretudo, apenas aumentar a produção de energia não resolve completamente os desafios relacionados ao consumo crescente. Medidas de economia e ações voltadas à eficiência energética desempenham um papel fundamental na redução do consumo, pois tornam o uso da energia mais inteligente e sustentável. Ao melhorar a eficiência dos sistemas energéticos, como climatização, iluminação e equipamentos industriais, é possível reduzir significativamente a demanda de energia sem comprometer o conforto ou a produtividade. Essas medidas reduzem a necessidade de ampliação dos sistemas de geração e distribuição de energia, contribuem para a estabilidade do fornecimento e, ao mesmo tempo, minimiza os impactos ambientais. Dessa forma, a gestão do consumo de energia torna-se tão importante quanto a geração, promovendo uso equilibrado e sustentável dos recursos disponíveis.

A eficiência energética é um conceito que visa otimizar a utilização de energia, procurando maximizar o aproveitamento dos recursos disponíveis. Quando aplicada a

edificações, esse princípio implica em proporcionar conforto térmico, visual e acústico aos ocupantes, buscando alcançar esses objetivos com o mínimo consumo de energia que a tecnologia atual permite, assim, o setor de edificações deve concentrar esforços para alcançar altos níveis de desempenho.

A gestão energética, por sua vez, consiste em uma série de procedimentos e atividades que podem ser aplicados em organizações industriais, comerciais, administrativas ou de serviços a partir de em um processo contínuo de planejamento, desenvolvimento, verificação e atuação – pode se destacar a aplicação da metodologia disponível em NBR ISO 50001:2018, Sistemas de Gestão de Energia: requisitos com orientações de uso (ABNT, 2018).

Em edifícios comerciais, por exemplo, a gestão energética pode incluir a automação de sistemas de iluminação e climatização, ajustando automaticamente o uso de luzes e ar condicionado com base na ocupação e nas condições de iluminação natural. Em indústrias, ela pode envolver a otimização de equipamentos e processos produtivos, como o ajuste de motores e máquinas para operar apenas quando necessário. Outro aspecto importante, ligado a gestão energética, é a conscientização e o treinamento dos usuários sobre o tema, assim como a realização das auditorias energéticas – essas ações permitem que a organização reduza custos operacionais e minimize seu impacto ambiental, ao mesmo tempo em que melhora seu desempenho energético de forma sustentável e contínua.

A gestão e a eficiência energética apresentam diferenças quando aplicadas na fase de projeto ou em edificações existentes (denominada também *retrofit* energético) – destacando-se a flexibilidade e o custo de implementação em cada fase. Em edifícios construídos, o *retrofit* envolve a adaptação ou a substituição de tecnologias como de iluminação, de climatização e de envoltória (paredes, vidros, telhados), que, considerando as limitações das opções, uma vez que o prédio não foi projetado para estes elementos, apresenta custos mais elevados, assim como a necessidade da retirada do sistema instalado e o seu descarte (WBDG, 2016; RETROFIT ACADEMY, 2024) – destaca-se aqui, sobretudo, a importância da simulação computacional para a verificação da viabilidade técnica e econômica das diferentes medidas de eficiência energética disponíveis para cada edificação.

Por outro lado, na fase de projeto, a gestão e a eficiência energética podem ser integradas a partir da adoção de soluções estruturais. É possível conduzir o projeto, por exemplo, considerando a escolha dos materiais construtivos, o posicionamento e o tamanho das janelas para maximizar a luz natural e minimizar a carga térmica, assim como o dimensionar sistemas de climatização e iluminação adequados aos níveis de eficiência definidos para a edificação.

Ainda nessa etapa, tecnologias como sistemas de automação predial (*Building Management Systems - BMS*) ainda podem ser integradas para monitorar e otimizar o uso da energia (WBDG, 2016; RETROFIT ACADEMY, 2024).

O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL Edifica), criado em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL, tem papel importante para o aumento do desempenho energético de prédios comerciais e residenciais no Brasil. Esse programa incentiva práticas sustentáveis e ambientalmente adequadas que reduzem o consumo de energia em edificações novas e existentes (PBE EDIFICA, 2024). Seu foco considera aspectos como isolamento térmico, iluminação eficiente, sistemas de climatização, uso de energias renováveis, assim como outras medidas que contribuam para a redução do consumo de energia nas construções. De acordo com PBE EDIFICA (2024), estima-se que a energia elétrica consumida em edificações represente 50% do consumo nacional, apresentando um potencial de redução de 50% para novas edificações e de 30% em construções existentes.

O método de simulação computacional, por sua vez, é considerado a abordagem mais flexível e completa para analisar a eficiência energética das edificações, pois permite modelar detalhadamente componentes como sistemas de climatização, iluminação e envoltória. Essa modelagem possibilita a análise de diferentes cenários e estratégias de eficiência energética adaptadas às condições climáticas e operacionais específicas. As simulações, ainda, oferecem previsões precisas do desempenho energético ao longo do tempo, considerando variáveis sazonais e de uso, o que facilita o entendimento dos impactos potenciais das intervenções, permitindo testar e otimizar soluções antes de sua implementação, de forma a reduzir riscos e custos associados a intervenções físicas posteriores (Zhang, 2013).

Desta forma, este trabalho tem como objetivo analisar e propor melhorias no desempenho energético do bloco da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados (FAEN/UFGD) a partir dos projetos fornecidos pela Prefeitura Universitária e levantados *in loco*, tais como, características de envoltória e de sombreamento, carga instalada, regime de utilização dos ambientes e equipamentos, sistema de iluminação e de condicionamento de ar. Para isso, foi criado um modelo do edifício utilizando-se o software de simulação *EnergyPlus* para a identificação dos sistemas de maior potencial para implementação de medidas de eficiência energética a partir de dois cenários – edificação existente e projeto novo, considerando a análise econômica do investimento em cada estratégia proposta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A eficiência energética desempenha um importante papel na redução do consumo de energia, minimizando os impactos ambientais e melhorando a sustentabilidade das edificações. Nesse contexto, a etiquetagem de eficiência energética surge como uma ferramenta importante para classificar e incentivar o uso de edificações e equipamentos mais eficientes. Além disso, a busca por soluções energéticas inovadoras, como a otimização de sistemas de climatização e iluminação, é essencial para aprimorar o desempenho energético dos edifícios. Para apoiar essas decisões, o uso de softwares de simulação, permite a análise detalhada de diferentes cenários e estratégias, oferecendo dados precisos sobre as intervenções mais eficazes na redução do consumo de energia e na melhoria da eficiência energética.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é um conceito amplo e não dispõe de uma única medida quantitativa, podendo ser definida como um conjunto de ações que busca otimizar a relação entre a energia consumida e os serviços ou produtos finais alcançados, aumentando à medida que o consumo de energia para a produção de um serviço ou produto diminui. Isso significa que um edifício é considerado mais eficiente quando proporciona condições de conforto aos usuários com menor consumo de energia, enquanto conforto em edificações são caracterizados pelo controle adequado das variáveis ambientais de iluminação, qualidade do ar, acústica e climatização (Patterson, 1996).

Da mesma forma, para o Instituto Nacional de Eficiência Energética (2020), o conceito trata da manutenção do padrão de qualidade de vida e conforto, sobretudo, com menor gasto energético possível. Nota-se, assim, o destaque para a manutenção do conforto e da funcionalidade, de forma que o uso de novas tecnologias, assim como a gestão energética, surge como solução para a melhoria da eficiência em uma edificação.

As edificações inteligentes, por sua vez, permitem manter o conforto dos usuários, ao mesmo tempo que reduzem os impactos ambientais e o consumo de energia. Sobretudo, um maior benefício é obtido quando sua concepção se dá ainda no projeto da edificação, uma vez que permite considerar fatores como a localização geográfica, os materiais estruturais, os equipamentos utilizados e a posição de portas e janelas para o aproveitamento da luz solar, da circulação de ar, sombreamento, dentre outros. Edificações existentes, por sua vez, restringem-

se ao aproveitamento de novas tecnologias, como a substituição de vidros, lâmpadas, pintura, isolamento acústico e térmico e equipamentos, sobretudo, a partir de custos mais elevados (LABEEE, 2010).

2.1.1 Etiquetagem em eficiência energética

A etiquetagem em eficiência energética é um importante mecanismo utilizado para classificar o desempenho energético de equipamentos e edificações, incentivando o uso de tecnologias mais eficientes e sustentáveis. No Brasil, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) atua como referência para essa classificação, fornecendo aos consumidores informações claras sobre o consumo de energia de diversos produtos, incluindo edificações. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), por sua vez, permite uma fácil visualização da eficiência energética, categorizando produtos e edifícios em classes que vão de “A” (mais eficiente) até “E” (menos eficiente), o que auxilia tanto consumidores quanto projetistas na escolha de soluções que otimizam o uso da energia (PBE EDIFICA, 2024).

A avaliação e a etiquetagem para edifícios, por sua vez, foram criadas em 2014 pelo PROCEL Edifica e o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), sendo esses responsáveis por aprimorar e simplificar o método de avaliação e classificação da eficiência energética de edificações comerciais, de serviços, públicas e residenciais. Suas principais motivações incluem a melhoria do indicador de desempenho e a inclusão da avaliação de edificações de energia quase zero e positiva, de forma a auxiliar os consumidores na escolha do imóvel e promover a geração local de energia renovável (CB3E, 2024).

Em 6 de setembro de 2022, o Ministério da Economia e o INMETRO publicaram a Portaria Consolidada nº 309, aprovando Instruções Normativas e Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, bem como residenciais (INI-C e INI-R) (PBE EDIFICA, 2024).

2.2 PESQUISAS E TRABALHOS RELEVANTES

As propostas de eficiência energética em edificações envolvem soluções práticas e tecnológicas que buscam otimizar o consumo de energia sem comprometer o conforto e a funcionalidade dos ambientes. Essas estratégias variam desde intervenções simples, como a troca de sistemas de iluminação por modelos mais eficientes, até modificações mais complexas,

como a implementação de sistemas avançados de climatização e a melhoria da envoltória térmica do edifício. A automação e o monitoramento dos sistemas, assim como o uso de tecnologias como motores de alto rendimento, vidros refletivos, brises e isolamento térmico representam soluções para a redução da demanda energética, conforme apresentados nessa seção.

2.2.1 Eficiência energética em edificações

A avaliação da eficiência energética de edificações pode ser desenvolvida pelo método prescritivo e pelo método de simulação termoenergética. Essas abordagens oferecem metodologias distintas de análise do desempenho energético, com foco em aspectos como a envoltória, a iluminação e o sistema de condicionamento de ar, permitindo avaliar a eficiência de um projeto, ou de edifícios existentes, assim como identificar oportunidades de melhorias.

A análise da envoltória leva em conta a localização geográfica, os materiais utilizados na edificação e suas propriedades, como transmitância, absorptância, cores, uso de ventilação natural, irradiação e sombreamento. O sistema de iluminação abrange as instalações elétricas, a iluminação natural, a densidade de potência instalada e a automação das lâmpadas, assim como o sistema de condicionamento de ar avalia o conforto térmico do ambiente e os equipamentos utilizados (PBE, 2021).

Mulano (2022), por sua vez, aplicou a simulação termoenergética no 3º Grupamento de Engenharia do município de Campo Grande/MS buscando implementar tecnologias de eficiência energética e sustentabilidade. No projeto de *retrofit* de um pavilhão militar do Exército Brasileiro, para a obtenção da etiqueta nível “A”, segundo a INI-C, o autor utilizou os softwares EnergyPlus e o *DesignBuilder* para simular a substituição e a redução do consumo dos aparelhos de condicionamento de ar e de iluminação a partir de uma etiqueta “B.

Foi simulada a substituição por condicionadores de ar de classificação Procel “A”, lâmpadas de LED e sensores de presença, assim como adotado medidas para redução do consumo de energia na climatização: instalação de manta térmica na cobertura e substituição dos vidros por refletivos – adequados a altas incidências solares. O benefício da utilização do *EnergyPlus* pôde ser constatado considerando a redução do consumo de energia em 13,7% na simulação, ou ainda, de 298.698,18 kWh/ano (nível "B"), para 262.686,90 kWh/ano (nível "A").

Cita-se, ainda, a simulação termoenergética desenvolvida por Pscevozniki (2019) em uma residência na cidade de Dourados-MS utilizando o *EnergyPlus*. A partir do aquecimento de água por coletores solar e a adequada seleção dos equipamentos de iluminação e climatização, a autora obteve um Edifício de Energia Zero que, com consumo anual de 5.266,53 kWh, atendido por um sistema solar fotovoltaico de 4,29 kWp, obteve classificação de eficiência nível “A”. Definindo os materiais construtivos adequados das paredes externas, a autora ainda discute a eficiência do sistema *VRF (Variable Refrigerant Flow)* e o uso do equipamento split e inverter para aumento da eficiência energética da edificação.

Sampaio (2024), por sua vez, buscou o aumento da eficiência através da utilização da iluminação natural no prédio da Faculdade de Engenharia da UFGD. Utilizando o *software* Dialux para a simulação do aproveitamento da iluminação natural, o autor obteve uma economia de 48,6% no consumo de energia no sistema de iluminação, ou ainda, uma redução anual de 7.530,6 kWh, que representa R\$ 3.332,57 evitados na fatura de energia da edificação considerada. Destaca-se que o autor propôs o controle do iluminamento e, consequentemente, da potência dos equipamentos de iluminação LED, por fileiras e por ambientes através de um sistema comercial e de um protótipo utilizando o Arduíno, obtendo o retorno do investimento em 8 e 6 anos, respectivamente.

2.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

A busca por edifícios eficientes e o conceito de sustentabilidade têm transformado as práticas na construção civil. Edifícios sustentáveis, projetados para causar o mínimo impacto ambiental, estão se destacando no mercado e promovendo edificações com maior eficiência energética (LABEEE, 2024). Nesse contexto, a simulação computacional desempenha um papel crucial na concepção e na avaliação de estratégias de eficiência energética, destacando-se o *EnergyPlus* como ferramenta adequada para avaliar o desempenho térmico e energético de edifícios em diferentes cenários de projeto e o *SketchUp* para a modelagem 3D.

Desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, o *EnergyPlus* permite a modelagem detalhada de sistemas de energia, clima, ocupação e construção, oferecendo uma visão abrangente do comportamento térmico e energético de edifícios em diferentes condições e contextos (NREL, 2024). Nesse trabalho o *software* será utilizado para simulação do sistema de climatização – resfriamento, aquecimento e ventilação, tanto natural quanto forçada – iluminação, cargas internas, propriedades térmicas dos materiais e outros elementos.

Duarte (2014) destaca características que posicionam o *EnergyPlus* entre os principais programas de simulação termoenergética, uma vez que:

- permite intervalos de tempo definidos pelo usuário para a interação entre zonas térmicas e o ambiente, e intervalos variáveis para a interação entre zonas térmicas e sistemas de climatização;
- utiliza arquivos climáticos, de entrada e saída em ASCII, incluindo condições ambientais horárias e sub-horárias, além de parâmetros de saída definidos pelo usuário.
- emprega técnicas de solução baseadas no balanço de energia para calcular simultaneamente os efeitos de radiação e convecção nas superfícies internas e externas em cada intervalo de tempo;
- simula a condução de calor em regime transiente através dos elementos da edificação, usando funções de transferência por condução, e modela a transferência de calor pelo solo com modelos computacionais de diferenças finitas e técnicas analíticas simplificadas;
- realiza cálculos detalhados para superfícies transparentes ou translúcidas, incluindo controle de cortinas e balanço de energia por camada dos vidros disponíveis comercialmente; e
- permite configurar sistemas de condicionamento de ar típicos e facilita a comunicação com outros programas de simulação para análises mais detalhadas de componentes específicos da edificação.

Utilizando-se o *SketchUp* para a modelagem 3D do projeto arquitetônico, a integração ao *EnergyPlus* é realizada utilizando-se o *plug-in Euclid* – extensão gratuita e de código aberto para simplificação da criação e modificação das geometrias para modelos energéticos de edificações, adicionando, ainda, recursos de leitura e escrita em outros formatos de modelos energéticos (BigladderSoftware, 2024).

3 SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DO PRÉDIO FAEN-UFGD

Neste Capítulo será desenvolvido um modelo computacional termoenergético utilizando-se os *softwares SketchUP, EnergyPlus* e o *plug-in Euclid* do prédio da FAEN-UFGD, a partir das plantas baixas, elétricas e de climatização disponibilizadas por PU UFGD(2024), simulando-se o consumo energético anual da edificação, assim como, proposto medidas de eficiência energética para as instalações.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO

Esse estudo foi realizado no Prédio da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, Unidade II, situada na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, Rodovia Dourados/Itahum, km 12, localização 22° 11' 55.89" S 54° 55' 57.769" W. Aos arquivos climáticos de Dourados presentes no site do *EnergyPlus* (INMET, 2019) foram adicionados o arquivo climático disponível da cidade de Campo Grande, capital do Estado, para a criação e simulação das condições climáticas diárias específicas (SWERA, 2019).

A região é caracterizada por um verão quente e chuvoso e um inverno frio e seco, situando-se em uma faixa de transição entre os climas mesotérmicos úmidos sem estiagem e tropical úmido. No clima mesotérmico úmido sem estiagem, o mês mais quente tem temperatura média superior a 22 °C e 30 mm de chuva no mês mais seco. O clima tropical úmido, por sua vez, apresenta chuvas no verão e seca no inverno, concentrando 75% das chuvas entre os meses outubro e abril, quando a temperatura média é oscila próximo aos 25 °C. Os ventos predominantes sopram da direção leste, com uma frequência superior a 36%, da direção norte (17%) e nordeste (17%). A umidade relativa do ar apresenta valores próximos a 80% de dezembro a fevereiro, com declínio gradativo a partir de março, atingindo seu valor mínimo no mês de agosto (60%) (INPE, 2024).

A construção do Bloco da Faculdade de Engenharia (FAEN) deu início em 2010, visando atender à demanda dos cursos de engenharia ofertados pela UFGD, contava com gabinetes para professores, salas de reuniões, direção, coordenação e laboratórios educacionais. Sobretudo, a obra foi concluída em 2022, recebendo atualizações dos seus projetos e a inserção de um sistema solar fotovoltaico com função de geração e sombreamento para o piso superior da fachada Norte (Lopes, 2022), Figura 1.

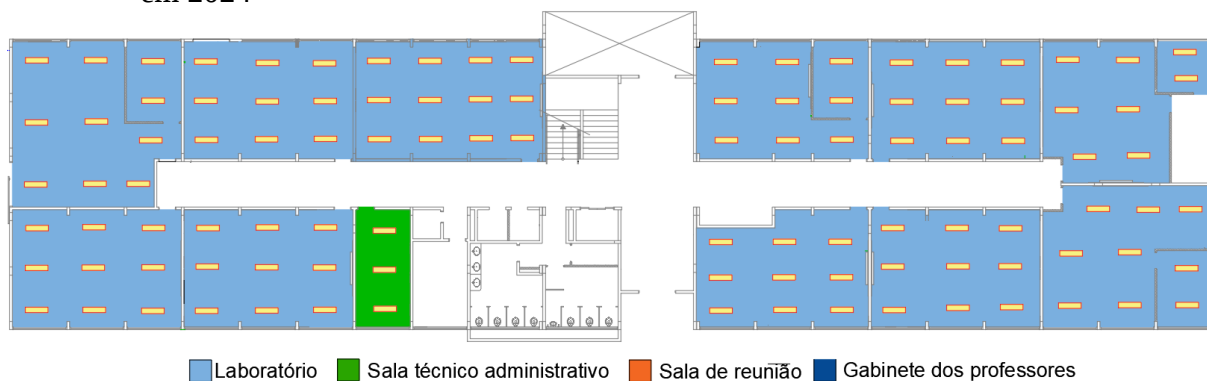
Figura 1 - Vista superior do bloco FAEN/UFGD



Fonte: GoogleMaps, 2024.

O prédio possui dois pisos, contando com 67 espaços funcionais e uma área construída de 2.083,16 m², área de projeção da edificação de 1.045,18 m², área condicionada de 1.407,70 m² e altura de 6,8 (Prefeitura Universitária, 2024), Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Planta baixa do piso térreo dividida por tipo de ambiente no bloco FAEN/UFGD em 2024

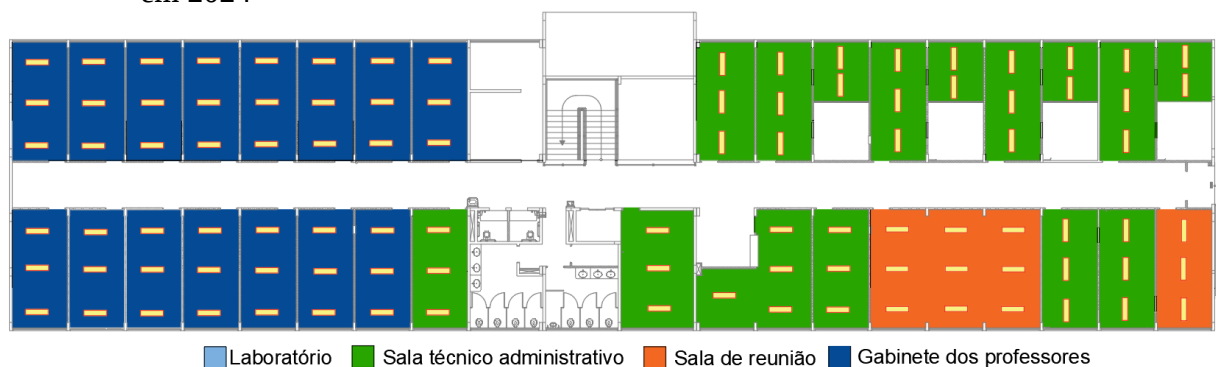


Fonte: Sampaio, 2024.

O primeiro piso da edificação, como apresentado na Figura 2, comporta os laboratórios e possui 36 janelas, 2 portões e 3 portas para o ambiente exterior a edificação. A iluminação consiste-se em 157 luminárias com 2 lâmpadas LED de 20 W cada, totalizando 6.280 W de potência instalada. Os ambientes possuem climatização, com exceção dos banheiros, copa, área de circulação, escadaria e elevador. O prédio conta ainda com um elevador hidráulico de 4 m² para Pessoas com deficiência (PcD) e uma área de escadaria com 17,84 m², conforme o Quadro 1.

O segundo piso, por sua vez, contempla os gabinetes dos professores, as salas de coordenação e direção, possuindo 40 janelas, bem como 142 luminárias, com 2 lâmpadas LED de 20 W cada, totalizando 5.680 W de potência instalada. Os ambientes de ocupação permanente são climatizados, assim, excluem-se a área de circulação, os banheiros, a copa, a escadaria e o elevador. No Quadro 1 são apresentados os ambientes e as áreas da edificação, que serão posteriormente utilizadas para a elaboração do modelo computacional.

Figura 3 - Planta baixa do segundo piso dividida por tipo de ambiente no bloco FAEN/UFGD em 2024



Fonte: Sampaio, 2024.

Quadro 1 – Descrição dos ambientes que integram os pisos do bloco FAEN/UFGD

Quantidade	Zona	Área (m ²)
1º piso		
1	Lab. de qualidade e desenvolvimento do produto	79,65
5	Laboratórios diversos	59,80
1	Lab. Ensino de engenharia de produção	66,15
1	Lab. de impressão e vídeo	19,35
1	Copa	19,35
2	Sanitário para pessoas com deficiência	2,82
1	Sanitário feminino	15,84
1	Sanitário masculino	13,20
1	Sala técnica	3,06
1	Lab. de Videoconferência	55,66
1	Lab. de processos produtivos	56,42
1	Lab. de gerenciamento de produção e confiabilidade	69,60
1	Lab. de processos agroindustriais e ambientais	69,95
1	Circulação	191,03
2º piso		
1	Copa	25,80
1	Sala técnica	3,06

Quadro 1 – Descrição dos ambientes que integram os pisos do bloco FAEN/UFGD (Continuação)

2º piso (continuação)		
Quantidade	Zona	Área (m²)
1	Sala de apoio	25,80
1	Sanitário feminino	15,84
1	Sanitário masculino	13,20
1	Secretaria acadêmica	30,17
1	Coordenação administrativa	19,80
1	Sala de coordenação	9,68
1	Sala de reunião	60,54
1	Sala de reunião	19,81
1	Secretaria da direção	19,79
1	Sala da direção	19,81
2	Sanitário para pessoas com deficiência	2,82
17	Gabinetes dos professores	19,65
4	Sala de secretaria	19,65
3	Sala de coordenação	9,90
2	Sala de coordenação	9,82
1	Circulação	178,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 SOMBREAMENTO LOCAL

As aberturas influenciam diretamente o comportamento térmico das edificações, uma vez que estão intimamente ligadas à irradiação solar, de forma que é necessário a avaliação do grau de exposição e da proteção oferecida por sombreamento (PBE, 2021). Assim, o sombreamento por árvores próximas e pelas características arquitetônicas da própria envoltória, oferecem proteção natural à irradiação, e devem ser considerados no modelo de simulação, em especial associados às janelas, que possuem material construtivo transparente.

As brises, por sua vez, são elementos arquitetônicos construtivos que sombreiam o interior, controlando a incidência de luz solar. Dentre os formatos mais utilizados, destaca-se o formato de lâminas, ou aletas, instalados do lado de fora de janelas ou em fachadas, que, fixos, ou com controle simples, podem reduzir significativamente a entrada de luz natural no ambiente (Sampaio, 2024).

Para o caso em estudo, não há árvores nas proximidades e o prédio encontra-se afastado dos demais, de maneira que não há sombras produzidas por esses elementos. Por outro lado, há

brises fixos instalados no piso térreo da fachada norte e um sistema de geração solar fotovoltaica fixado acima das janelas do piso superior, que também possui essa finalidade (Figura 4).

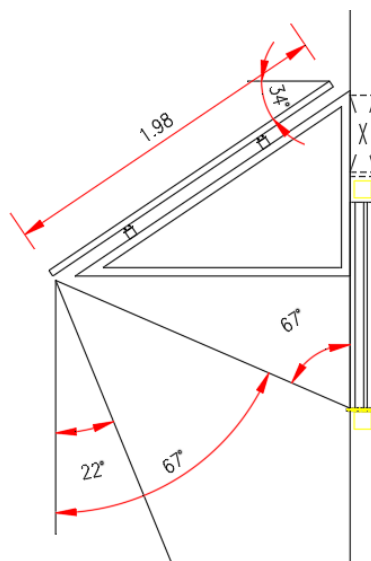
Figura 4 - Fachada norte do bloco FAEN/UFGD



Fonte: Acervo pessoal, 2024.

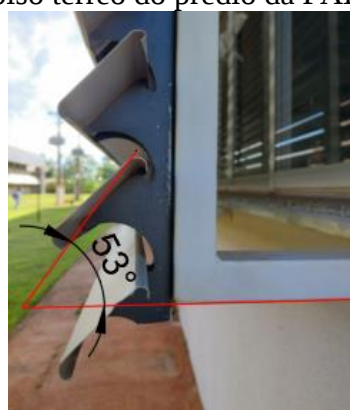
Os módulos solares, instalados no segundo piso, consistem em 56 unidades de 330 Wp, enquanto as brises que compõem o sistema de sombreamento das janelas do térreo são tipo lâmina metálicas horizontais fixas, instaladas na área das janelas, conforme pode ser observado nas Figuras 5 e 6 (Prefeitura Universitária, 2024).

Figura 5 - Ângulo de instalação dos módulos solar fotovoltaico no segundo piso da FAEN/UFGD.



Fonte: Prefeitura Universitária, 2024.

Figura 6 - Ângulo das brises do piso térreo do prédio da FAEN/UFGD, em 2024



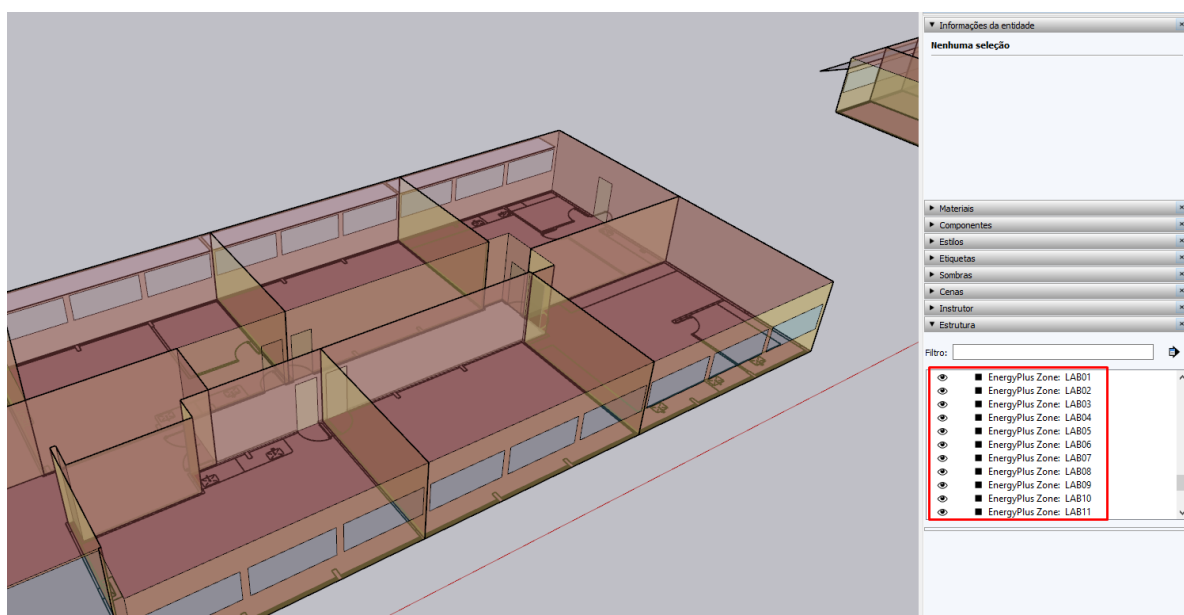
Fonte: Acervo pessoal, 2024.

3.3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

A modelagem e a simulação de uma edificação para a melhoria da eficiência energética iniciam-se pela maquete eletrônica do prédio no *Sketchup* para, então, serem desenvolvidas as simulações no *EnergyPlus*. No primeiro momento é recriado e simulado o ambiente atual do bloco, considerando sua estrutura, características construtivas e cargas. Considerando outras tecnologias disponíveis, possíveis soluções eficientes são exploradas a partir da substituição de elementos, equipamentos, ou sistemas, que são comparadas aos resultados já simulados.

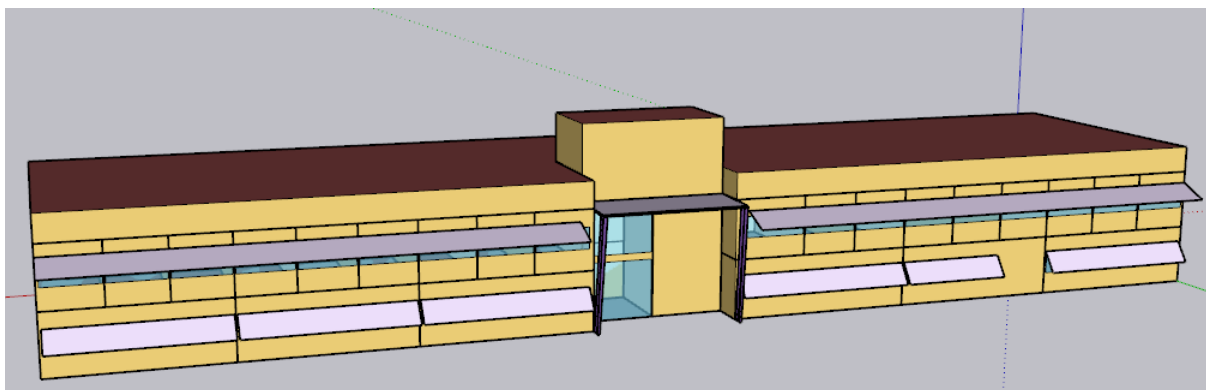
Importando as plantas da edificação do AutoCAD, Apêndices A e B, para o *SketchUP*, são definidas as zonas térmicas: conjunto de ambientes agrupados considerando suas características comuns de carga térmica, iluminação, ocupação, funcionalidade, dentre outros, conforme apresentadas na Figura 7. O estudo dividiu a edificação em 19 zonas térmicas no térreo, 41 no segundo piso e 2 para o telhado, conforme Quadro 1, para analisar detalhadamente o desempenho térmico e energético de cada ambiente. As Figuras 8 e 9 apresentam os modelos 3D desenvolvido no *SketchUP* do prédio para as fachadas Norte e Sul.

Figura 7 - Zonas térmicas do bloco FAEN/UFGD criadas no software SketchUP



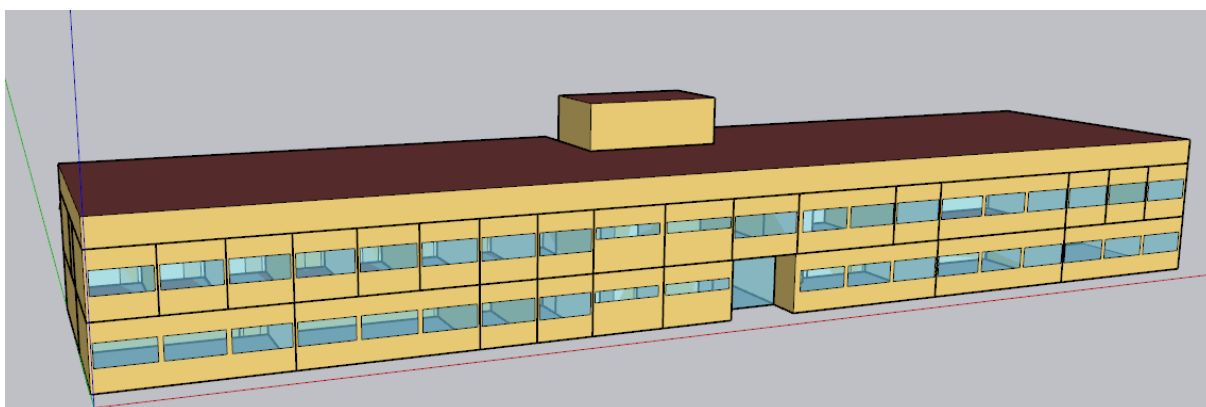
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Fachada norte do modelo 3D do bloco FAEN/UFGD no SketchUP



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Fachada sul do modelo 3D do bloco FAEN/UFGD no SketchUP



Fonte: Elaborado pelo autor.

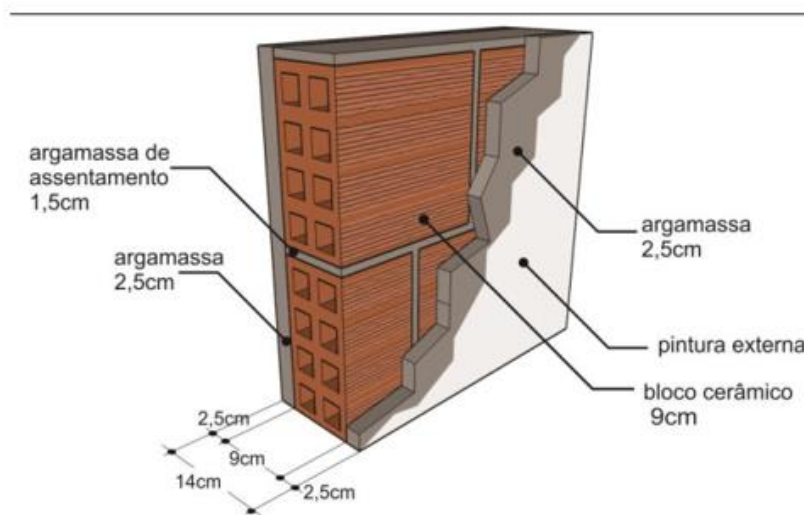
A envoltória modelada consiste em 433 superfícies considerando as paredes internas e externas, piso, teto, telhado, 124 aberturas representando as janelas e portas externas e internas, 62 zonas térmicas e 19 elementos de sombreamento.

3.3.1 Modelo de elementos construtivos da edificação

Considerando que os elementos construtivos disponíveis no *EnergyPlus* não atendem às especificações da edificação em estudo, foi necessário definir os componentes com base nas orientações fornecidas no catálogo de propriedades térmicas (INMETRO, 2013) e pela norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Foi, então, modelada a envoltória considerando paredes em tijolo de cerâmica vazado de 8 furos, com dimensões 9x19x19 cm, 2,5 cm de argamassa de cada lado, representando a transmitância térmica de 2,39 W/m².K e capacidade térmica de 151 kJ/m².K, Figura 10, conforme INMETRO (2013) e PBE (2021).

Figura 10 - Modelo construtivo da parede de alvenaria para tijolo oito furos



Fonte: INMETRO, 2013.

A transmitância térmica (U) refere-se à quantidade de calor, em Watts, que passa de uma face do material para a outra, por metro quadrado a cada Kelvin, ou seja, trata-se do fluxo de calor transmitido por unidade de área ou do inverso da resistência térmica total (R_t em m^2K/W), como mostra a equação 3.1 (ABNT, 2005).

$$U = \frac{1}{R_t} \left(\frac{W}{m^2K} \right) \quad (3.1)$$

A Capacidade térmica, por sua vez, é a quantidade de calor necessário para variar em uma unidade a temperatura em um sistema, podendo ser entendida como a facilidade de retenção de calor. É expressa pela equação 3.2 (PBE, 2021).

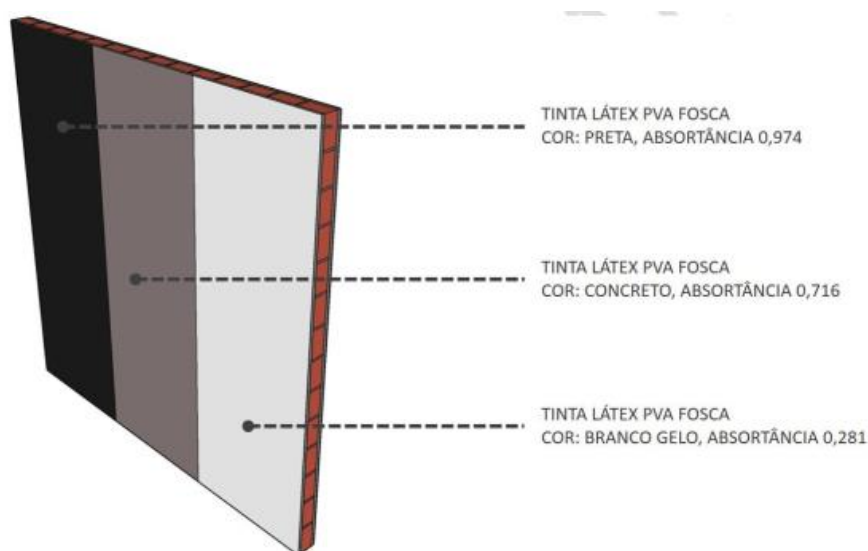
$$CT = e \cdot c \cdot \rho \quad (3.2)$$

Onde, e é a espessura do elemento no sentido transversal do sentido do fluxo de calor [m], c é o calor específico [$kJ/(kg.K)$] e ρ é a densidade do elemento [kg/m^3].

O ar presente nos furos do tijolo foi considerado a partir da composição de uma câmara de ar entre dois elementos cerâmicos, Tabela 3, outrossim, foi desprezado o efeito da argamassa de assentamento. A pintura das fachadas considerou a predominância da cor amarela, que possui absorvância solar de 0,3 (ABNT, 2005). A absorvância solar (α), capacidade do material

em absorver a radiação solar de onda curta, tem valores maiores para paredes, como exemplificado pela Figura 11 (PBE, 2021).

Figura 11 - Absortância considerando a cor de pintura da parede



Fonte: Manual INI-C, 2021.

Observa-se, na Figura 11, que cores mais claras possuem absorptância menores, de forma que, absorvendo menos calor, reduzem o consumo energético da climatização, Tabela 1.

Tabela 1 - Absortância solar para diferentes pinturas

Pintura	Absortância (α)
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
"Alumínio"	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: Adaptado de NBR-15220-2, 2005.

As janelas possuem vidro simples incolor com espessura de 3mm, sobretudo, os vidros das portas das fachadas Norte e Sul do prédio são temperados de 10 mm e as portas internas são fabricadas em madeira.

O Fator Solar (FS), por sua vez, caracteriza os elementos construtivos translúcidos quanto ao ganho de energia solar na edificação, referenciando, de 0 a 1, a porcentagem de energia transferida para o interior da edificação, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Fator solar e Transmitância térmica de vidros

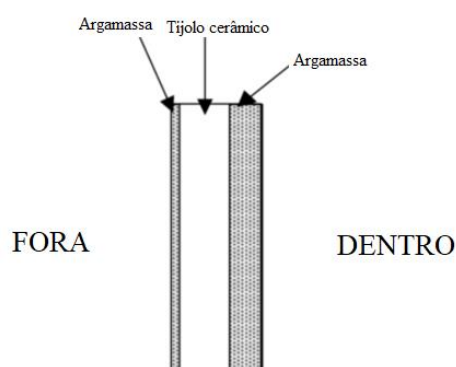
Vidro	Espessura (mm)	Fator solar	Transmitância térmica (W/m ² .K)
Vidro incolor simples	3	0,87	4,70
Vidro temperado	10	0,77	5,56
Vidro refletivo	4	0,22	4,30

Fonte: Lopes, 2022; Mulano, 2022; GUARDIANGLASS, 2021.

Considerou-se piso e teto do primeiro pavimento em uma camada de 10 cm de concreto sobreposta por 1 cm em revestimento cerâmico. O teto do segundo pavimento, por sua vez, foi modelado considerando laje pré-moldada com câmara de ar, enquanto o telhado utilizado foi em telha metálica do tipo sanduiche, com transmitância térmica de 0,59 W/m².K e capacidade térmica de 176 kJ/m².K (ABNT, 2017). As resistências térmicas associadas às camadas de ar foram determinadas a partir da Tabela B.1 disponível na NBR 15220-2:2005, que considera 0,16 m².K/W para fluxo de calor horizontal (paredes) e 0,61 m².K/W para fluxo de calor descendente (cobertura) (ABNT, 2005).

Após a configuração das características dos materiais utilizados na construção, são modelados os elementos da edificação: paredes, portas, janelas, piso e teto. A partir da lista configurada são escolhidos os materiais considerando a direção do fluxo de calor da região mais externa para interna, como exemplificado na Figura 12 e detalhado na Tabela 3. O mesmo se aplica a modelagem das janelas e aberturas.

Figura 12 - Exemplo do modelo construtivo de uma parede no EnergyPlus



Fonte: Adaptado de Bigladder software, 2024.

Tabela 3 - Parametrização dos elementos construtivos modelados para a edificação

Laje entre pisos				
Material	Espessura (m)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
Argamassa de reboco	0,025	1,15	1600	1000
Laje em concreto	0,100	1,44	2400	1000
Argamassa de reboco	0,025	1,15	1600	1000
Piso cerâmico	0,010	0,90	1600	920
Paredes de alvenaria				
Material	Espessura (m)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
Argamassa de reboco	0,025	1,15	1600	1000
Tijolo cerâmica 8 furos	0,0134	0,90	1600	920
Câmara de ar	0,0632	Resistência térmica 0,16 m ² .K/W		
Tijolo cerâmica 8 furos	0,0134	0,90	1600	920
Argamassa de reboco	0,0250	1,15	1600	1000
Cobertura				
Material	Espessura (m)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)
Telha metálica	0,01	230	2700	880
Câmara de ar	> 0,05	Resistência térmica 0,61 m ² .K/W		
Argamassa de reboco	0,025	1,15	1600	1000
Laje em concreto	0,1	1,44	2400	1000
Argamassa de reboco	0,025	1,15	1600	1000

Fonte: Adaptado de NBR-15220-2, 2005.

3.3.2 Cargas internas

Modelada a estrutura civil da edificação, segue a caracterização dos equipamentos elétricos, considerando seu consumo e sua influência na temperatura interna do prédio – desta forma, são configuradas, para cada zona da envoltória, a carga instalada e uso na aba *ElectricEquipment* do *EnergyPlus*. As cargas foram obtidas a partir do projeto elétrico do prédio e de levantamento *in loco* considerando os ambientes de permanência prolongada, definindo-se 0,25 para o fator de simultaneidade das cargas, conforme indicado no projeto, obtendo-se, assim, a Tabela 4.

Tabela 4 - Cargas elétricas por ambientes do bloco FAEN/UFGD

ZONA TÉRMICA	EQUIPAMENTO	Nº	POTÊNCIA(W)	POTÊNCIA TOTAL (W)
1º PISO				
Lab. de videoconferência	Computador	3	100,0	650,0
	Projektor	1	350,0	
Lab. de pesquisas operacionais e simulação	Computador	28	100,0	3.150,0
	Projektor	1	350,0	
Lab. de gerenciamento de produção e confiabilidade	Computador	6	100,0	950,0
	Projektor	1	350,0	
Lab. de ergonomia logística e segurança do trabalho	Computador	28	100,0	3.150,0
	Projektor	1	350,0	
Lab. de processos produtivos	Computador	1	100,0	450,0
	Projektor	1	350,0	
Lab. de ensino de engenharia de produção	Computador	29	100,0	3.250,0
	Projektor	1	350,0	
Lab. de engenharia de fábrica	Serra circular	1	2206,5	15.314,8
	Desempenadeira	1	2206,5	
	Torno copiador	1	735,5	
	Lixadeira de fita	1	735,5	
	Serra de fita	1	735,5	
	Furadeira horizontal	1	1471,0	
	Furadeira de bancada	1	367,8	
	Ferramentas elétricas	5	600,0	
	Serra meia esquadilha	1	1650,0	
	Compressor de ar	1	2206,5	
Lab. de qualidade e desenvolvimento do produto	Centro de usinagem	1	30000,0	38.369,2
	Serra de fita horizontal	1	1691,7	
	Serra de fita vertical	1	735,5	
	Máquina de usinagem	1	2206,5	
	Furadeira de bancada	1	735,5	
	Ferramentas elétricas	5	600,0	
Lab. de processamento de materiais	Injetora de termoplásticos	1	10000,0	31.100,0
	Máquina de conformação	1	10000,0	
	Forno elétrico	1	11000,0	
	Microscópio	1	100,0	
Lab. engenharia econômica	Computador	18	100	2.150,0
	Projektor	1	350	
Lab. de impressão e vídeo	Computador	4	100	400,0

Tabela 4 - Cargas elétricas por ambientes do bloco FAEN/UFGD (Continuação)

ZONA TÉRMICA	EQUIPAMENTO	Nº	POTÊNCIA(W)	POTÊNCIA TOTAL (W)
2º PISO				
Gabinete de professor de 01 a 17	Computador	51	100	13.100,0
	Impressora laser	16	500	
Secretaria de 01 a 04	Computador	8	100	1.300,0
	Impressora laser	1	500	
Coordenação de 01 a 08	Computador	8	100	800,0
Apoio ao docente	Computador	2	100	700,0
	Impressora laser	1	500	
Secretaria acadêmica	Computador	3	100	800,0
	Impressora laser	1	500	
Coordenação administrativa	Computador	2	100	700,0
	Impressora laser	1	500	
Secretaria direção	Computador	1	100	100,0
Direção	Computador	2	100	200,0

Fonte: Prefeitura Universitária, 2024.

De acordo com LABEEE (2006), a fração do calor produzido pelos equipamentos é um valor de difícil obtenção, sobretudo, estima-se 50% de sua potência elétrica, considerando-se, ainda, que todo o calor gerado entre no balanço térmico da zona, ou seja, o calor cedido é igual a zero (*fraction lost* = 0 no *EnergyPlus*). Definiu-se, ainda, que os equipamentos são ligados quando os ambientes estão em uso.

3.3.3 Sistema de iluminação

O sistema de iluminação é configurado a partir da aba de configuração *Lights*, onde, para cada zona térmica são definidos os equipamentos utilizados, assim como sua rotina de utilização. A partir do projeto elétrico, visitas ao prédio e do trabalho desenvolvido por Sampaio (2024) bservou-se o uso de lâmpadas de LED, que apresentam boa eficiência energética, obtendo-se a densidade de potência instalada de iluminação (W/m²) apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Iluminação por zona térmica com permanência prolongada no bloco FAEN/UFGD

1º piso		
Quantidade	Zona	Densidade de carga (W/m ²)
1	Lab. de qualidade e desenvolvimento do produto	5,02
5	Laboratórios diversos	6,02
1	Lab. Ensino de engenharia de produção	7,26
1	Lab. de impressão e vídeo	6,20
1	Sala técnica	5,00
1	Lab. de Videoconferência	6,47
1	Lab. de processos produtivos	6,38
1	Lab. de gerenciamento de produção e confiabilidade	5,17
1	Lab. de processos agroindustriais e ambientais	5,15
2º piso		
Quantidade	Zonas	Densidade de carga (W/m ²)
1	Sala técnica	5,00
1	Sala de apoio	4,65
1	Secretaria acadêmica	3,98
1	Coordenação administrativa	6,06
1	Sala de coordenação	8,26
1	Sala de reunião	5,95
1	Sala de reunião	6,06
1	Secretaria da direção	6,06
1	Sala da direção	6,06
17	Gabinetes dos professores	6,11
4	Sala de secretaria	6,11
5	Salas de coordenação	8,08

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.4 Sistema de condicionamento de ar

Como um país tropical, o Brasil apresenta elevadas temperaturas ao longo do ano, caracterizando a necessidade dos condicionadores de ar, e sua representatividade no consumo energético da edificação. O prédio possui condicionamento nos ambientes de permanência prolongada, com equipamentos de marca Philco e Agratto de nível "A" de selo PROCEL.

A norma NBR 16401 (2008), baseada no ASHRAE Handbook de 2005, estabelece temperaturas operativas entre 22,5 °C a 25,5 °C para unidade relativa do ar entre 60% e 80%, e limites de velocidade do ar variando de 0,15 m/s a 0,25 m/s, sendo, assim, adotado 23 °C para os ambientes condicionados do prédio (ABNT, 2008; ASHRAE, 2005).

Os ambientes ficam climatizados ao longo do funcionamento do prédio (7h às 17h30min), outrossim, são controlados em 23 °C por um termostato, atendendo a metodologia de avaliação INI-C de 10 horas de funcionamento para simulações. A Tabela 6 apresenta o tipo dos equipamentos e a sua potência por zona térmica, cujas eficiências, para selo “A”, são referenciadas na Tabela 7.

Tabela 6 - Equipamentos de condicionamento de ar por zona térmica do bloco FAEN-UFGD

Quantidade de zonas	Zona	Tipo de equipamento	Potência instalada (Btu/h)
1	Lab. de qualidade e desenvolvimento do produto	Split Hi Wall	90.000
1	Lab. de engenharia de fábrica	Split Hi Wall	60.000
1	Lab. de engenharia econômica	Split Hi Wall	60.000
1	Lab. Ensino de engenharia de produção	Split Hi Wall	60.000
1	Lab. de pesquisa operacional	Split Hi Wall	60.000
1	Lab. de logística	Split Hi Wall	60.000
1	Lab. de impressão e vídeo	Split Hi Wall	30.000
1	Lab. de processamento de produto	Split Hi Wall	60.000
1	Lab. de Videoconferência	Split Hi Wall	60.000
1	Lab. de processos produtivos	Split Hi Wall	60.000
1	Lab. de gerenciamento de produção e confiabilidade	Split Hi Wall	90.000
1	Lab. de processos agroindustriais e ambientais	Split Hi Wall	60.000
2	Sala técnica 2	Split Hi Wall	9.000
1	Sala de apoio	Split Hi Wall	18.000
1	Secretaria acadêmica	Split Hi Wall	12.000
1	Coordenação administrativa	Split Hi Wall	15.000
1	Sala de reunião 1	Split Hi Wall	24.000
1	Sala de reunião 2	Split Hi Wall	18.000
1	Secretaria da direção	Split Hi Wall	15.000
1	Sala da direção	Split Hi Wall	15.000
1	Gabinetes dos professores	Split Hi Wall	15.000
4	Sala de secretaria	Split Hi Wall	15.000
6	Salas de coordenação	Split Hi Wall	12.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Eficiência de condicionadores de ar da marca Philco e Agratto de acordo com sua potência para classificação A

Capacidade (Btu/h)	Marca	Função	Categoria	Eficiência
9.000	Philco/Agratto	Frio	Split Hi Wall	3,49
12.000	Philco/Agratto	Frio	Split Hi Wall	3,53
18.000	Philco/Agratto	Frio	Split Hi Wall	3,26
22.000	Philco/Agratto	Frio	Split Hi Wall	3,50
24.000	Philco/Agratto	Frio	Split Hi Wall	3,68
30.000	Philco/Agratto	Frio	Split Hi Wall	3,24

Fonte: INMETRO, 2023.

A modelagem no *EnergyPlus* é realizada utilizando o HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*): HVAC Thermostat, HVAC Zone e HVAC System. O primeiro é configurado, como apresentado, em 23 °C; cria-se e configuram-se, então, as zonas térmicas condicionadas na aba *HVACTemplateZone:Unitary*; e, por fim, em *HVACTemplate:System:Unitary* é definido o funcionamento dos equipamentos considerando as rotinas de atividades de cada ambiente.

3.3.5 Rotinas de uso dos ambientes

A configuração do uso dos ambientes consiste na determinação da densidade de ocupação, iluminação, controles termostáticos, atividades de ocupação, dentre outros, sendo dividido em três partes: descrição diária; descrição semanal e uma descrição anual. A rotina de uso dos ambientes foi determinada a partir do calendário acadêmico da graduação da UFGD (PROGRAD UFGD, 2023), considerando, ainda, Sampaio (2024), o que resulta na Tabela 8.

Conforme pode ser observado na Tabela 8, são considerados 75% de utilização para os laboratórios e gabinetes, 100% para as salas técnico e administrativo e 25% para as salas de reunião e apoio ao discente, para a configuração na aba *schedule* do *EnergyPlus*. O número de pessoas nos ambientes, para a simulação do calor gerado nas áreas de ocupação prolongada, é configurado na aba *People* do *EnergyPlus*, conforme Tabela 9. A taxa metabólica, por sua vez, para atividade de escritório, é estimada em 65 W/m² que, para uma pessoa com 1,8 m² de pele, há emissão de 117 W, de forma que 60% desse valor é o calor radiante (LABEEE, 2006).

Tabela 8 - Uso mensal das instalações e taxa de utilização do bloco FAEN/UFGD em 2023

Meses	Dias letivos	Tempo de utilização (h)			
		Laboratório	Gabinete de professor	Sala técnico administrativo	Reuniões e Apoio ao discente
Janeiro	8	60,0	60,0	80,0	20,0
Fevereiro	21	157,5	157,5	210,0	52,5
Março	27	202,5	202,5	270,0	67,5
Abril	21	157,5	157,5	210,0	52,5
Maio	15	112,5	112,5	150,0	37,5
Junho	25	187,5	187,5	250,0	62,5
Julho	26	195,0	195,0	260,0	65,0
Agosto	27	202,5	202,5	270,0	67,5
Setembro	13	97,5	97,5	130,0	32,5
Outubro	25	172,5	172,5	230,0	57,5
Novembro	25	180,0	180,0	240,0	60,0
Dezembro	18	135,0	135,0	180,0	45,0
Utilização		75%	75%	100%	25%

Fonte: Adaptado de PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO, 2023.

Tabela 9 - Ocupação das zonas térmicas de permanência prolongada do bloco FAEN/UFGD

Quantidade	Zonas 1º piso	Pessoas
1	Lab. de qualidade e desenvolvimento do produto	20
5	Laboratórios diversos	20
1	Lab. Ensino de engenharia de produção	20
1	Lab. de impressão e vídeo	5
1	Sala técnica	2
1	Lab. de Videoconferência	20
1	Lab. de processos produtivos	20
1	Lab. de gerenciamento de produção e confiabilidade	20
1	Lab. de processos agroindustriais e ambientais	20
Quantidade	Zonas 2º piso	Pessoas
1	Sala técnica	2
1	Sala de apoio	2
1	Secretaria acadêmica	2
1	Coordenação administrativa	2
1	Sala de coordenação	2
1	Sala de reunião	10
1	Sala de reunião	3
1	Secretaria da direção	2
1	Sala da direção	2
18	Gabinetes dos professores	3
4	Sala de secretaria	2
5	Salas de coordenação	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.6 Temperatura do solo

Na configuração dos parâmetros de simulação é inserido a temperatura do solo baseada no arquivo climático da cidade de Campo Grande, MS, conforme Tabela 10 (LABEEE, 2011).

Tabela 10 - Temperatura média mensal do solo na cidade de Campo Grande - MS

Mês	Temperatura (°C)
Janeiro	25,26
Fevereiro	25,03
Março	24,31
Abril	23,72
Maio	22,77
Junho	22,44
Julho	22,51
Agosto	23,02
Setembro	23,82
Outubro	24,65
Novembro	25,35
Dezembro	25,67

Fonte: Adaptado de LABEEE, 2011.

3.3.7 Brises

As estruturas externas como varandas, beirais, marquises, pérgulas, vegetação de entorno e brises, entre outras, são geralmente elementos rígidos que controlam a radiação solar antes que ela entre no ambiente. De maneira geral, essas estruturas diminuem a entrada de calor e reduzem o ofuscamento (França, 2012). Considerando as Figuras 8 e 9, o prédio conta com brises no piso inferior e módulos solares no piso superior, ambos na fachada Norte, que são parametrizados no modelo de simulação do *EnergyPlus*.

3.3.8 Infiltração e ventilação natural

Considerando que infiltração se refere a entrada não intencional de ar por aberturas e frestas devido a diferença de pressão e, ventilação dá-se de forma intencional, podendo ainda ser natural ou forçada (mecânica), esses efeitos foram desconsiderados na modelagem da edificação em estudo.

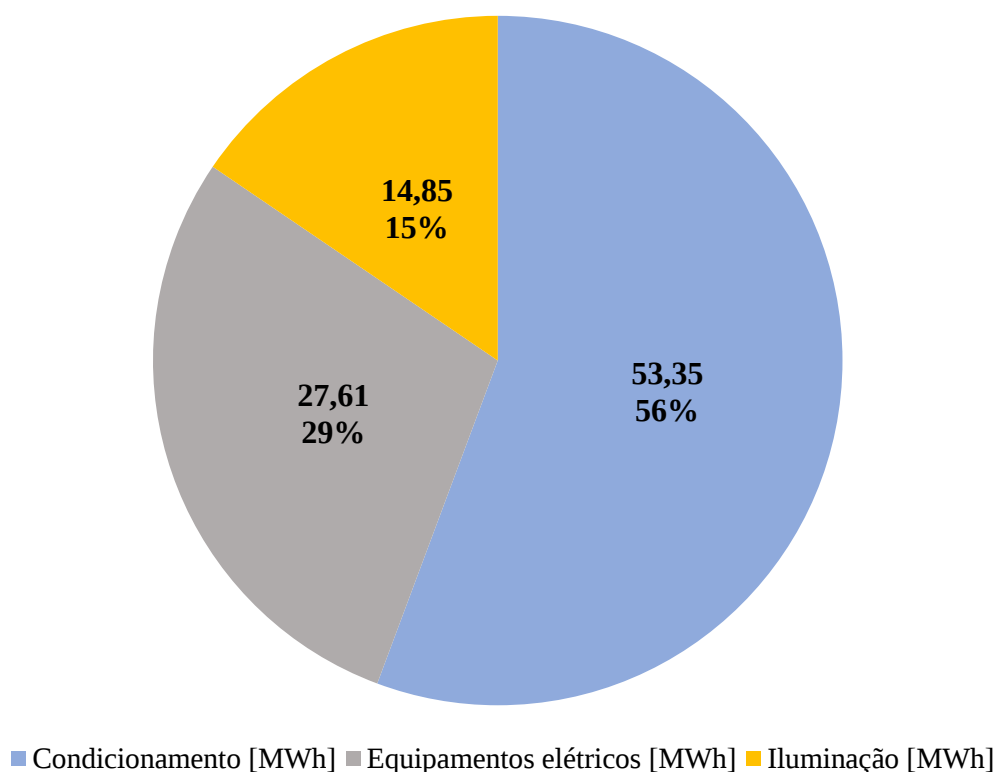
4 SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos da simulação realizada no software *EnergyPlus* considerando, inicialmente, as condições atuais do prédio e, posteriormente, as propostas de alterações de elementos e equipamentos para a melhoria da eficiência energética.

4.1 SIMULAÇÃO DO PRÉDIO CONSIDERANDO AS CONDIÇÕES ATUAIS

O edifício FAEN-UFGD modelado possui 1.553 m² de área condicionada, contemplando a área de permanência prolongada, salas e laboratórios. A partir da simulação, considerando a cargas elétricas dos ambientes, a iluminação e o condicionamento do prédio, foi obtido o consumo anual de 95.811,54 kWh, com distribuição conforme Figura 13.

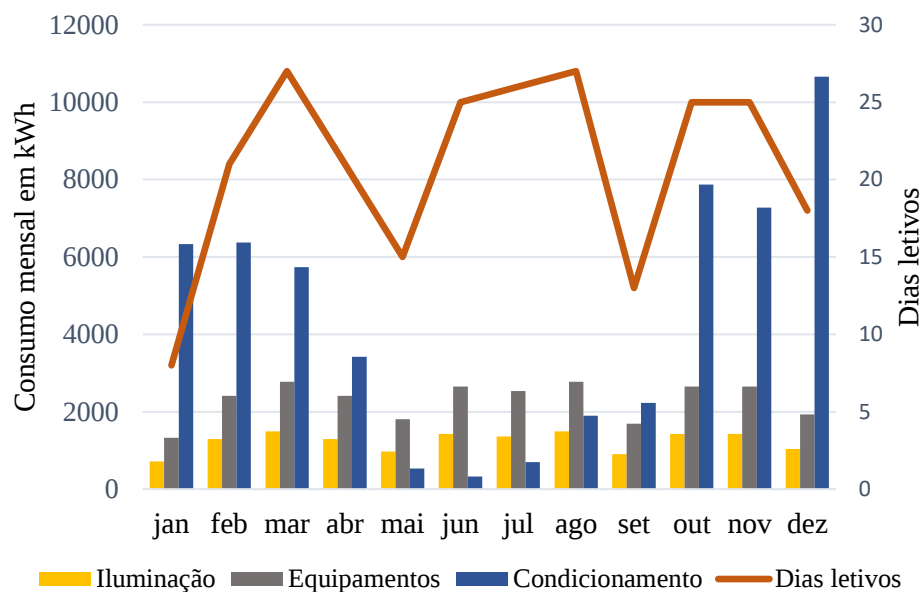
Figura 13 - Consumo anual estimado em MWh para o bloco FAEN/UFGD por categoria



Fonte: Elaborado pelo autor.

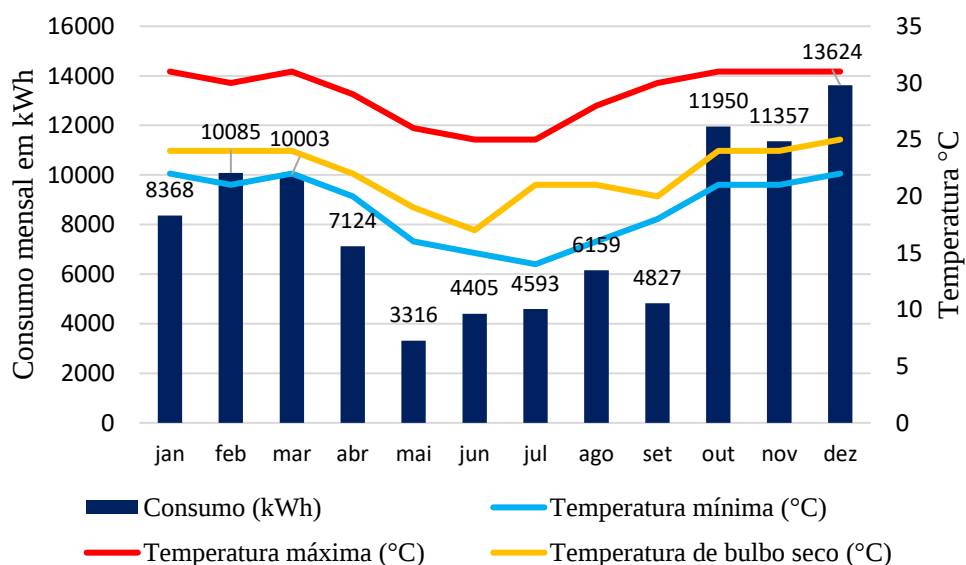
Observa-se que o maior consumo de energia elétrica no prédio está associado ao condicionamento, que representam 56%, seguido pelo consumo dos equipamentos elétricos, com 29%, e pela iluminação, que corresponde a 15% do consumo total anual do prédio – a Figura 14, por sua vez, detalha o consumo mensal por uso final, em relação aos dias letivos, enquanto a Figura 15 associa esse consumo a temperatura ambiente média.

Figura 14 - Consumo mensal de energia elétrica por uso final do bloco FAEN/UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 - Consumo total mensal do bloco FAEN/UFGD em relação a temperatura ambiente média



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CLIMATEMPO, 2024.

Pode ser observado nas Figuras 14 e 15 a variação no consumo energético do sistema de condicionamento de ar associado à temperatura média mensal, uma vez que foi parametrizado a manutenção de 23°C nos ambientes. O consumo dos equipamentos e da iluminação, por sua vez, acompanham o número de dias letivos da unidade acadêmica, com redução nos meses de janeiro, maio, setembro e dezembro, conforme indicado na Tabela 8. A análise em conjunto dos equipamentos apresenta o efeito simultâneo da variação de temperatura e dias letivos, conforme pode ser observado na Figura 15, com predominância do aumento da temperatura e o consequente uso do sistema de condicionamento de ar.

Destaca-se, assim, que o maior consumo de energia, 13.624 kWh, se deu em dezembro, a partir da combinação dos dias letivos, 18, e a maior temperatura média mensal registrada, 25,67°C. Por outro lado, a segunda menor temperatura, registrada em maio, 19 °C, combinado o segundo menor número de dias letivos do ano, 15 dias, resultou no menor consumo, 3.316 kWh, destacando a influência da temperatura no consumo energético da edificação.

4.1.1 Componentes de ganho de calor no modelo atual da edificação

Considerando a grande área do edifício, os ambientes de características semelhantes foram agrupados, sistematizando a análise e permitindo a comparação entre a situação atual e a proposta do trabalho. Para o primeiro piso, foi definido o Laboratório de Engenharia Econômica que, compartilhando características de área, iluminação, condicionamento e cargas semelhantes aos demais ambientes deste pavimento, será utilizado para análise termoenergético conforme representado na Tabela 11.

Tabela 11 - Balanço termoenergético do Laboratório de Engenharia Econômica do prédio FAEN-UFGD em 2023

Ganho de calor sensível anual (GJ)			
Pessoas	Iluminação	Equipamentos	Total
8,57	2,11	3,99	14,67
Calor relativo às Janelas (GJ)			
Adicionado		Removido	
13,72		-1,33	
Balanço de calor por condução em superfície opaca e outros (GJ)			
7,74			
HVAC (GJ)			
-34,80			

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 11 representa o balanço térmico igual a zero do ambiente no ano de 2023, considerando as parcelas de ganho (pessoas, superfícies opacas, iluminação e equipamento e janelas) e retirada de calor (janelas, superfícies opacas e HVAC). Observa-se que se optou em apresentar a energia térmica em GJ, enquanto é utilizado o kWh para energia elétrica, em especial, para evitar erros de comparações diretas entre as duas formas de energia. O ganho de calor sensível total, por sua vez, foi de 14,67 GJ, sendo 58% dessa energia proveniente das pessoas, 14% da iluminação e 28% dos equipamentos elétricos. Adicionalmente, as aberturas representaram um balanço positivo, com ganho de calor pelas janelas de 12,39 GJ.

O balanço energético de uma zona é influenciado pelas "Condução de Superfície Opaca e Outras Adições/Remoções de Calor" que refletem o efeito das paredes, pisos e tetos/telhados na transferência de calor, bem como o impacto do atraso entre os ganhos e perdas de calor e as cargas no sistema de HVAC que serve a zona. Esta métrica ajuda a compreender como as superfícies contribuem para o ganho ou perda de calor em cada intervalo de tempo da simulação, de forma que, valores positivos representam adições de calor, enquanto valores negativos indicam remoções (Bigladder software, 2024). Observa-se, então, que o modelo do Laboratório de Engenharia Econômica resultou em 7,74 GJ devido a adição de calor por condução em superfície opaca.

Assim, o sistema de condicionamento entra em ação para remover o calor residual do ambiente, com o objetivo de alcançar o equilíbrio térmico desejado para a zona. No caso deste ambiente específico, o sistema HVAC foi responsável por uma retirada de calor anual equivalente a 34,80 GJ.

Por fim, a adição de calor por transferência de ar entre zonas, adição de calor por infiltração, remoção de calor por transferência de ar entre zonas, remoção de calor por infiltração e remoção de calor sensível de equipamentos são definidos como nulos no modelo proposto.

O segundo piso da edificação é composto por 18 gabinetes que possuem características semelhantes, de forma que foi estabelecido um gabinete para análise e apresentação dos resultados do balanço termoenergético, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Balanço termoenergético do gabinete de professor do prédio FAEN-UFGD em 2023

Ganho de calor sensível anual (GJ)			
Pessoas	Iluminação	Equipamentos	Total
1,31	0,72	1,67	3,69
Calor relativo às Janelas (GJ)			
Adicionado		Removido	
4,54		-0,46	
Balanço de calor por condução em superfície opaca e outros (GJ)			
1,38			
HVAC (GJ)			
-9,15			

Fonte: Elaborado pelo autor.

O ganho de calor sensível total foi de 3,69 GJ, com 35,4% dessa carga atribuída às pessoas, 19,4% à iluminação e 45,2% aos equipamentos elétricos. As aberturas, em particular, contribuíram para a elevação da temperatura, com um ganho de calor pelas janelas de 4,08 GJ. Assim, nesse ambiente, o sistema HVAC foi responsável pela retirada de calor equivalente a 9,15 GJ para atingir o equilíbrio térmico estipulado.

4.2 SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A EDIFICAÇÃO

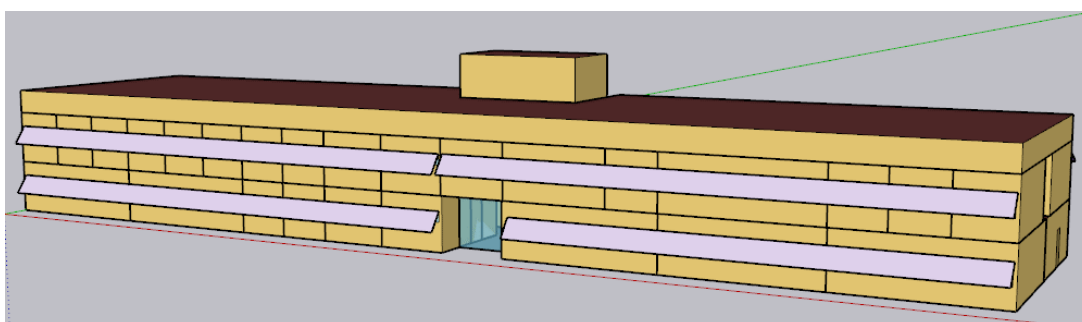
Nesta seção serão simuladas proposta para o aumento da eficiência energética e, consequentemente, redução do consumo de energia anual considerando: instalação de brises na fachada Norte; substituição dos vidros comuns por vidros refletivos; alteração da cor da pintura externa; substituição do condicionamento de ar convencional por tipo fluxo de fluido refrigerante variável (VRF). Ainda serão considerados os efeitos associados das medidas de eficiência propostas.

4.2.1 Instalação de brises na fachada Sul

Considerando o trabalho desenvolvido por Sampaio (2024), que aborda o aproveitamento da luz natural, o autor observou que a ausência de elementos de controle de luminosidade na fachada Sul do prédio permite a entrada de luz difusa, que, combinada com a luz artificial, ultrapassa os 500 lux de iluminância determinados pela norma ABNT NBR 8995

(2013). Assim, associando o iluminamento a entrada de calor pelas aberturas, propôs-se a instalação de brises horizontais semelhantes a Figura 6, com 53° de inclinação, cobrindo a extensão das janelas em ambos os pisos, de maneira a controlar a entrada de radiação solar. As Figuras 9 e 16 apresentam a fachada Sul da edificação sem brises e com os elementos propostos, respectivamente.

Figura 16 - Proposta de instalação de brises na fachada Sul do bloco FAEN/UFGD



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como medida de eficiência energética os brises propostos devem controlar a radiação solar que entra através das janelas, reduzindo o ganho de calor interno e, consequentemente, a carga térmica sobre os sistemas de climatização. A implementação de brises na fachada sul do prédio propicia uma redução no consumo anual de energia, em condicionamento, de 4%, passando de 53.353 kWh para 51.323 kWh. Destaca-se, sobretudo, que, para a latitude $22^\circ 11' 55.89''$ S, e a orientação do plano perpendicular das janelas Norte em 12° L, os benefícios energéticos do uso de brises são mais significativos para a fachada Norte, conforme pode ser observado na Carta Solar da edificação apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Carta solar para o bloco FAEN/UFGD, em outubro de 2023



Fonte: Sampaio, 2024.

4.2.2 Substituição dos vidros comuns por vidros refletivos

Outra estratégia de eficiência energética foi a substituição dos vidros comuns das janelas por refletivos. Esses vidros têm a capacidade de refletir uma parte significativa da radiação solar, reduzindo o ganho de calor do edifício e a carga térmica interna a ser retirada. Conforme apresentado na Tabela 2, enquanto o vidro incolor simples de 3 mm possui Fator Solar 0,87, o do vidro reflexivo de 4 mm é de 0,22, assim como sua substituição permite a redução da Transmitância térmica de 4,7 para 4,3 W/m².K. Desta forma, a partir da simulação da substituição de 244 m² de área de janela com vidro comum por reflexivo, obtém-se a redução de 7% no consumo de energia anual em condicionamento de ar, passando de 53.353 kWh para 49.634 kWh.

4.2.3 Alteração da cor da pintura externa

Como medida de eficiência energética, foi simulada a pintura do edifício na cor branca, alterando da atual amarela, para a redução do ganho de calor resultante da radiação de onda curta através da envoltória. Essa alteração se justifica pela menor absorvância da cor branca (0,2), comparada a cor amarela (0,3), conforme apresentado na Tabela 1, que reflete mais a luz solar do que o amarelo, reduzindo a quantidade de calor absorvido pelo prédio. A alteração da cor para branco proposta propiciou a redução do consumo anual de energia em condicionamento de ar em 8,2%, passando de 53.353 kWh para 48.964 kWh/ano.

4.2.4 Substituição do condicionamento de ar convencional por tipo fluxo de fluido refrigerante variável (VRF)

Destaca-se, aqui, que o projeto de climatização do prédio FAEN-UFGD, originalmente, previa sistema tipo fluxo de fluido refrigerante variável (VRF) – sistema com condensadora única ligada a várias evaporadoras, com capacidade de expansão direta e modular. O sistema contaria com unidades evaporadoras conectadas a uma unidade condensadora, com tubulações com diâmetros entre 6,35 mm e 19,05 mm e isoladas com espuma elastomérica com espessura superior a 13,0 mm, porém, esse projeto não foi realizado, sendo instalados condicionadores de ar convencionais do tipo split (Lopes, 2022).

Desta forma, foi proposta a substituição do condicionamento de ar convencional por tipo VRF como medida de eficiência energética para o prédio da FAEN-UFGD, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Eficiência de condicionadores de ar do tipo VRF com condensação a ar que operam somente em refrigeração (sem ciclo reverso) para a classificação A

Capacidade	Tipo de Aquecimento	Categoria	Eficiência Mínima A
< 19 kW	Todos	Multi-split VRF	3,81 ICOP
≥ 19 kW e < 40 kW	Ausente ou Resistência Elétrica	Multi-split VRF	4,54 ICOP
≥ 40 kW e < 70 kW	Ausente ou Resistência Elétrica	Multi-split VRF	4,37 ICOP
≥ 70 kW	Ausente ou Resistência Elétrica	Multi-split VRF	4,07 ICOP

Fonte: Lopes, 2022.

Segundo Duarte (2014), a eficiência global dos sistemas de climatização do tipo VRF pode atingir valores de Coeficiente de Performance (COP) global entre 3,9 e 4,7, de forma que se consistem em sistemas mais altamente eficientes quando comparados aos convencionais, ainda que com classificação Procel A, Tabela 7. O COP e a Relação de Eficiência Energética (EER) são medidas que indicam a relação entre a energia térmica de refrigeração fornecida pelo sistema e a energia elétrica consumida.

Para a modelagem do sistema no *EnergyPlus*, conforme proposto por Duarte (2014), adotou-se COP igual 4,3, e um ventilador de insuflamento de volume de ar constante, com eficiência de 0,7 e em motor com eficiência de 0,9, que funciona de forma contínua, mantendo vazão de ar constante, mesmo quando a serpentina está fora de operação. A simulação da implementação do sistema VRF propiciou a redução do consumo anual de energia de 21,8%, passando de 53.353 kWh para 41.696 kWh, destacando o benefício energético do uso de sistemas de climatização com COP superiores.

4.3 ASSOCIAÇÃO DAS PROPOSTA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

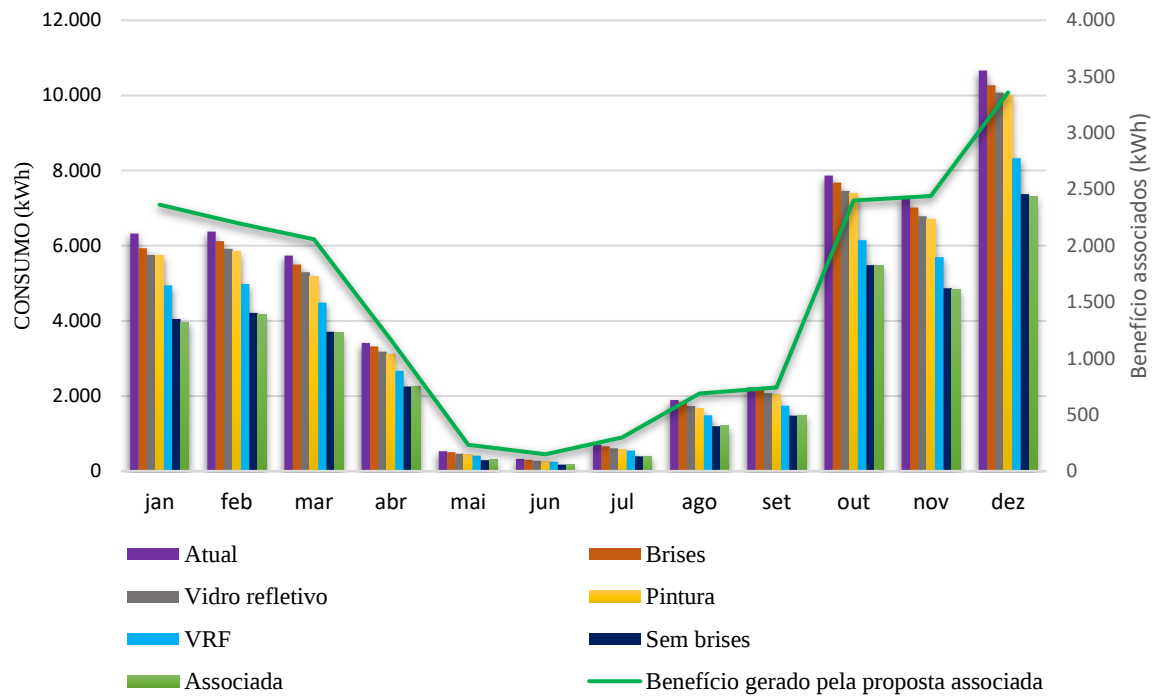
Nesta seção são considerados os efeitos individuais e associados das medidas de eficiência energética propostas para o prédio FAEN-UFGD: instalação de brises na fachada Sul; substituição dos vidros comuns por vidros refletivos; alteração da cor da pintura externa; substituição do condicionamento de ar convencional por tipo fluxo de fluido refrigerante variável (VRF); medidas de eficiência associadas e associadas sem a instalação de brises, conforme apresentado na Tabela 14 e Figuras 18 e 19.

Tabela 14 - Consumo em kWh do condicionamento de ar para as medidas de eficiência energética propostas individualmente e associadas no prédio FAEN-UFGD

Mês	Atual	Brises	Vidro refletivo	Pintura	VRF	Associada	Associada sem brises
janeiro	6.329	5.933	5.757	5.746	4.944	3.965	4.049
fevereiro	6.377	6.122	5.918	5.846	4.982	4.176	4.216
março	5.739	5.499	5.293	5.172	4.486	3.683	3.710
abril	3.416	3.315	3.180	3.093	2.670	2.252	2.250
maio	534	506	468	436	417	299	297
junho	326	300	280	266	254	176	179
julho	699	664	610	579	547	400	396
agosto	1.895	1.844	1.733	1.676	1.483	1.206	1.197
setembro	2.231	2.176	2.072	2.038	1.745	1.488	1.482
outubro	7.871	7.680	7.461	7.403	6.148	5.470	5.478
novembro	7.278	7.018	6.787	6.705	5.691	4.838	4.871
dezembro	10.658	10.266	10.075	10.004	8.329	7.299	7.377
Total	53.353	51.323	49.634	48.964	41.696	35.252	35.502
Média mensal	5.033	4.856	4.733	4.673	4.242	3.678	3.700
Benefício	0	3,8%	7,0%	8,2%	21,8%	33,9%	33,5%

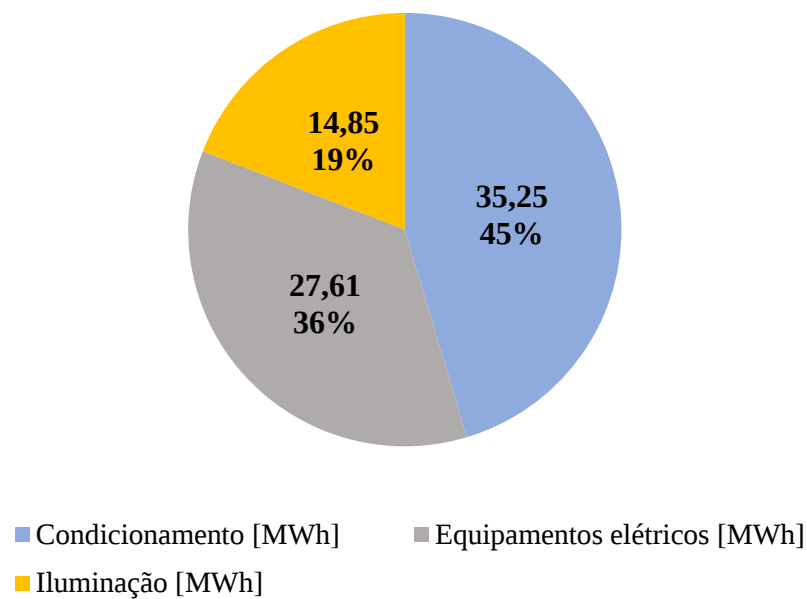
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 - Consumo para as medidas de eficiência energética propostas individualmente e associadas no prédio FAEN-UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor.

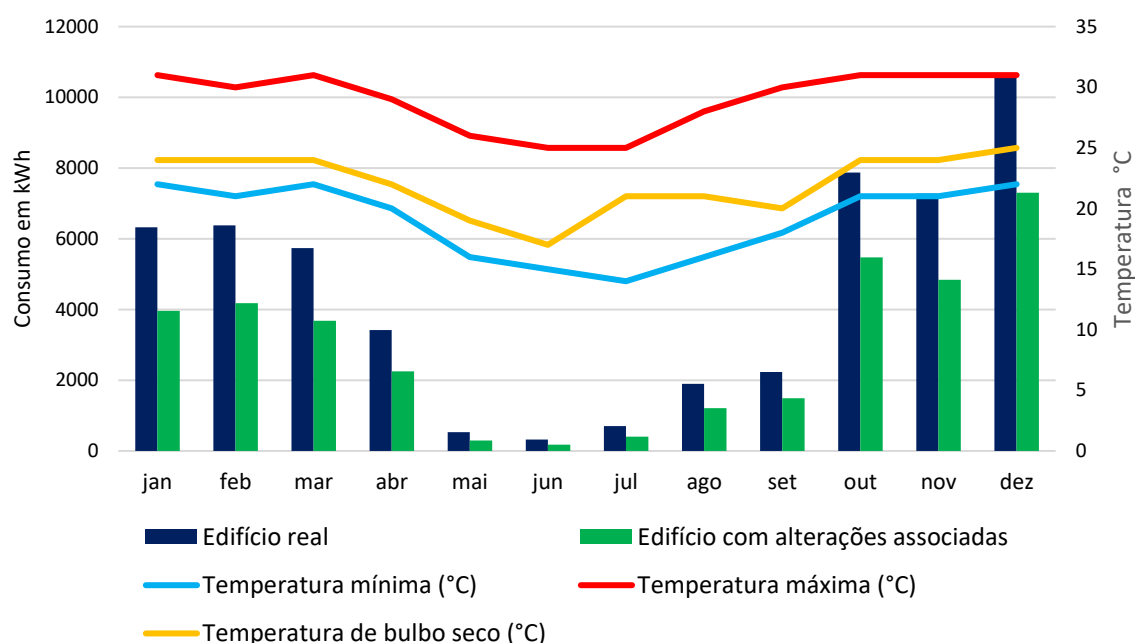
Figura 19 - Estratificação do consumo anual para as medidas de eficiência energética propostas no bloco FAEN-UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a Figura 13, estratificação energética atual, e a Figura 19, simulação de quatro medidas de eficiência, observa-se que se mantém os consumos de energia da iluminação e dos equipamentos elétricos, 14,85 MWh e 27,61 MWh, respectivamente, enquanto o consumo dos condicionadores de ar é reduzido de 18,10 MWh, passando de 53,35 MWh para 35,25 MWh, o que equivale a um benefício de 18,9% relativo ao consumo total atual. Verifica-se a redução percentual do consumo dos condicionadores de ar, passando de 56% para 45%, enquanto a iluminação e os equipamentos aumentam de 15% para 19% e 29% para 36%, respectivamente. Destaca-se ainda, conforme Figura 20, que os maiores benefícios energéticos podem ser observados nos meses de maiores temperatura, justificado pelo uso prolongado do condicionador de ar mais eficiente.

Figura 20 - Consumo dos condicionadores de ar atuais e tipo VRF proposto para o prédio FAEN-UFGD



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1 Balanço termoenergético para as medidas de eficiência propostas

Nesta seção será analisado o balanço termoenergético nas zonas simuladas, Laboratório de Engenharia Econômica e gabinete de professor, considerando as medidas de eficiência propostas, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Balanço termoenergético do Laboratório de Engenharia Econômica do prédio FAEN-UFGD proposto

Ganho de calor sensível anual (GJ)			
Pessoas	Iluminação	Equipamentos	Total
8,59	2,11	3,99	14,69
Calor relativo às Janelas (GJ)			
Adicionado		Removido	
3,69		-0,61	
Balanço de calor por condução em superfície opaca e outros (GJ)			
4,36			
HVAC (GJ)			
-22,13			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 15, quando comparada a Tabela 11, há uma redução de 73,1% no calor adicionado pelas aberturas, passando de 13,72 GJ para 3,69 GJ, destacando o efeito dos vidros refletivos para o aumento da eficiência energética da edificação. Da mesma forma, há redução de 43,7% do calor adicionado por condução em superfície opaca e outros, passando de 7,74 GJ para 4,36 GJ, considerando a pintura branca nas paredes da envoltória da edificação. Desta forma, as medidas de eficiência energéticas propostas para o Laboratório de Engenharia Econômica proporcionam a redução do consumo energético do sistema HVAC em 36,4%, de 34,80 GJ para 22,13 GJ. A Tabela 16, por sua vez, apresenta a análise termoenergética do gabinete de professor.

Tabela 16 - Balanço termoenergético do gabinete de professor do prédio FAEN-UFGD proposto

Ganho de calor sensível anual (GJ)			
Pessoas	Iluminação	Equipamentos	Total
1,32	0,72	1,67	3,70
Calor relativo às Janelas (GJ)			
Adicionado		Removido	
1,15		-0,22	
Balanço de calor por condução em superfície opaca e outros (GJ)			
0,44			
HVAC (GJ)			
-5.08			

Fonte: Elaborado pelo autor.

A medidas de eficiência energética propostas, observando-se agora o gabinete de professor, resultam na redução de 74,6% no calor transmitido pelas aberturas, passando de 4,54 GJ para 1,15 GJ, mais uma vez destacando o efeito dos vidros refletivos, em substituição aos vidros comuns.

A pintura branca, por sua vez, contribui com a redução de 67,9% no calor removido por condução em superfície opaca e outros, de 1,38 GJ para 0,44 GJ. Como resultado, as medidas associadas reduzem a demanda energética do sistema de climatização HVAC em 44,5%, ou ainda, de 9,15 GJ para 5,08 GJ.

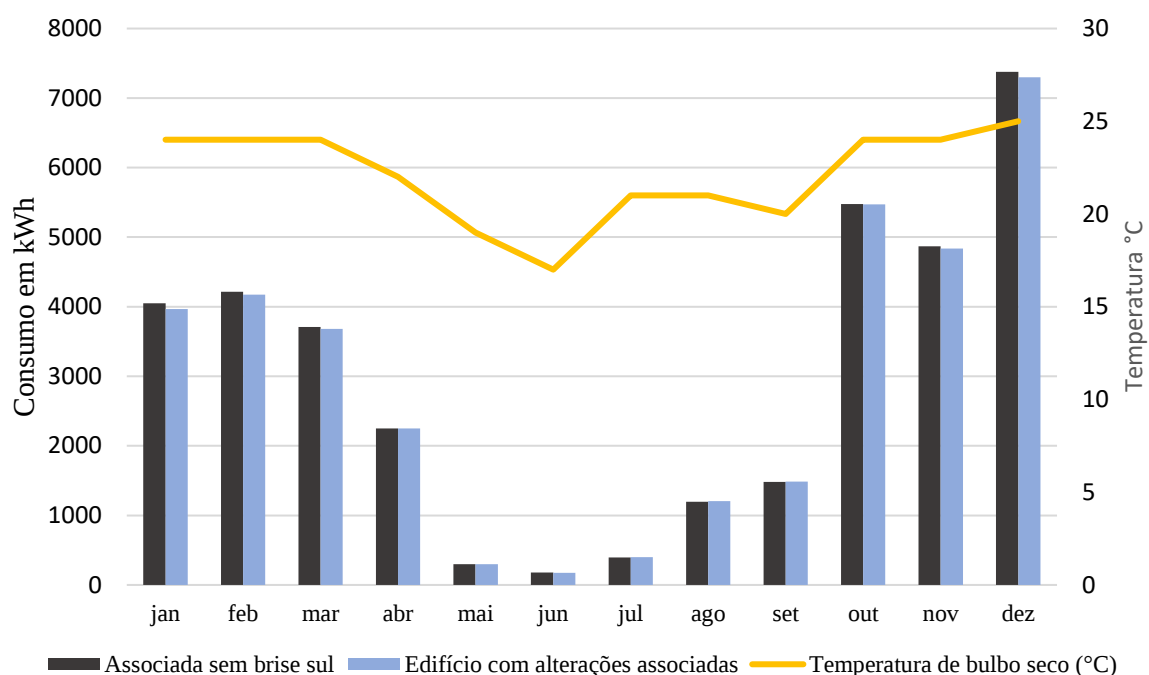
Por fim, considerando-se que o consumo atual simulado para a edificação é de 53.353 kWh (Tabela 14), e que se mantém os equipamentos elétricos e a iluminação, há uma redução de 17.851 kWh devido as medidas de eficiência propostas, o que resulta em um consumo de 35.502 kWh. Assim, implementando-se no prédio da Faculdade de Energia da UFGD brises na fachada Norte, vidros refletivos, cor branca na pintura externa e sistema VRF, obtém-se a redução de 33,5% no consumo da energia térmica e elétrica da edificação.

4.3.2 Sobreposição dos efeitos das propostas de eficiência energética

Para a análise da associação das propostas de eficiência energética é necessária a discussão sobre sobreposição dos efeitos considerando a instalação de brises na fachada Sul e a substituição dos vidros comuns por vidros refletivos. Observando-se que ambas propostas visam reduzir a entrada de radiação solar no ambiente, procedeu-se a comparação da proposta considerando as quatro medidas de eficiência e três alterações no sistema – desconsiderando a instalação dos brises, conforme observado na Figura 21.

A simulação apresentou um impacto associado da substituição dos vidros por refletivos e a instalação dos brises de 0,47%, ou seja, de um consumo anual de 35.252 kWh com os brises, para 35.502 kWh sem esse elemento. Concluindo-se que a primeira exclui a segunda, uma vez que o uso de vidros refletivos dispensa o uso de brises.

Figura 21 - Comparação entre o edifício com todas as modificações propostas e o edifício modificado retirando as brises na fachada sul



Fonte: Elabora pelo autor.

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Nesta seção será empregada a análise de viabilidade econômica Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de retorno descontado (*Payback* descontado) para a verificação das medidas de eficiência energética, a economia de energia e, consequentemente, economia financeira, torna o projeto atrativa ao longo da sua vida útil. Será, então, necessário determinar o custo para a implementação das medidas de eficiência para compará-los a redução dos custos de energia elétrica em dois cenários: edificação existente – remoção e substituição dos sistemas; projeto novo – diferencial do custo das medidas de eficiência energética.

Enquanto o VPL permite obter o valor presente dos fluxos de caixa ao longo do estudo, quanto maior valor, mais atrativo o projeto, a TIR representa o juro limite para o qual o investimento ainda é viável economicamente (quando o VPL = 0); e o *Payback* descontado determina o período necessário para que o retorno financeiro (em Valor Presente) iguale-se ao investimento inicial, sendo esperado um curto espaço de tempo.

Considerando que a UFGD possui geração solar fotovoltaica, são definidos dois custos: o relativo à concessionária Energisa e um associado às parcelas mensais equivalentes ao custo do sistema de geração. Assim, de acordo com Sampaio (2024), o preço médio da energia fornecida pela concessionária Energisa é de 1,537 R\$/kWh, enquanto o custo associado à energia solar, incluindo parcelas do investimento e operação, é de 0,526 R\$/kWh. Dessa forma, o preço médio ponderado da energia utilizada no edifício é de 0,935 R\$/kWh.

A Taxa de Atratividade, por sua vez, foi calculada considerando a Selic de agosto de 2024 (Banco Central do Brasil, 2024) e o IPCA acumulado até janeiro de 2024 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024). Considerou-se, ainda, o reajuste da tarifa da energia acima da inflação, conforme descrito por Mairhofer (2023), de 1,5%, sobretudo, ponderando essa taxa a parcela da energia fornecida pela Energisa e de geração própria, o aumento anual resultante é de 0,61% (Sampaio, 2024).

A Tabela 17 apresenta os valores necessários para realizar as modificações em dois cenários distintos: o primeiro cenário refere-se ao edifício atual, já construído, enquanto o segundo considera um prédio novo, onde o investimento é calculado pelas diferenças dos custos entre o sistema atual e as medidas de eficiência simuladas. Para calcular o custo do sistema VRF foi utilizado o valor de referência de R\$ 0,37 por BTU instalado, conforme Ferrari (2023). Os custos de material e mão de obra para pintura e brises foram baseados nos valores de R\$ 4,77 e R\$ 525,22 por m², respectivamente (CYPE Ingenieros, 2024), e o vidro refletivo considerado com valor de R\$ 390,26 por m², conforme Mulano (2022).

Tabela 17 - Análise de viabilidade econômica para as medidas e eficiência energética propostas para o prédio FAEN/UFGD

Modificação	Investimento (R\$)	Benefício (R\$)	Taxa SELIC (%)	IPCA (%)	Reajuste (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback Descontado
Cenário considerando edifício construído								
PINTURA	11.715,12	4.103,72	10,50%	4,51%	5,12%	5.994,03	28,40%	3
BRISE	64.602,06	1.898,05				-41.182,97	0,28%	-
VIDRO	95.222,40	3.477,27				-52.318,16	2,15%	-
VRF	324.625,00	10.899,30				-190.144,03	1,41%	-
Cenário considerando edifício novo								
VIDRO	55.245,44	3.477,27	10,50%	4,51%	5,12%	-12.341,20	7,54%	-
VRF	74.150,00	10.899,30				60.330,97	19,35%	9

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da Tabela 17 pode se observar que, para o projeto existente, apenas a alteração na pintura do edifício, considerando um período de análise de 5 anos, apresentou-se economicamente viável, com um VPL de R\$ 5.994,03, o TIR de 28,40%, e *Payback* descontado de 3 anos. O retorno econômico pode ser justificado considerando o baixo custo do investimento, R\$ 11.715,12, e o elevado benefício obtido, R\$ 4.103,72, devido a redução da absorvência da pintura clara.

O sistema de climatização VRF, brises e vidros refletivos, por sua vez, considera um período de análise de 20 anos, baseado na vida útil do sistema VRF (HITACHI, 2024). Verificou-se, sobretudo, para o prédio existente, como medidas de eficiência energética não viáveis, uma vez que o VPL se apresentou negativo, a TIR inferior à taxa Selic, e o *Payback* descontado superior a 20 anos.

Destaca-se que os resultados podem ser justificados considerando que os elementos construtivos e equipamentos como o vidro, os brises e o sistema de condicionamento de ar possuem elevado investimento, e sua substituição ainda envolve sua retirada com seus adequados descartes, aumentando o custo das medidas de eficiência energética. Outro ponto a ser observado constitui-se da economia de energia obtida pelos condicionadores de ar, uma vez que os existentes são de classificação Procel "A", o que diminui o benefício de substituí-los.

Para o cenário de uma edificação nova, por sua vez, o custo do investimento comparado ao benefício é reduzido, uma vez que se considera as diferenças pagas nos elementos e equipamentos, desprezando, ainda, o custo de retirada e instalação, que integra o custo da obra. Nesse cenário, com um VPL de R\$ 60.330,97, TIR de 19,35% e *Payback* em 9 anos, a utilização do sistema de climatização tipo VRF é viável, sobretudo, com baixa atratividade, haja vista o elevado tempo de retorno.

Por outro lado, a substituição dos vidros, mesmo no cenário de projeto novo, permanece inviável economicamente com VPL negativo de R\$ 12.341,20, TIR de 7,54%, e *Payback* superior a 20 anos. Esse resultado pode ser justificado devido ao elevado custo dos vidros reflexivos e à presença de brises na fachada norte, que, reduzindo a entrada da radiação solar, diminui os benefícios dessa medida de eficiência energética por sobreposição de efeitos. Destaca-se, por fim, que os efeitos visuais indesejados de radiação solar no interior do prédio FAEN-UFMG foram abordados por outras medidas não simuladas nesse trabalho – a utilização de insulfilme e a instalação de persianas nos ambientes; sobretudo, essas medidas reduzem o desconforto visual, todavia o calor ganho pelas aberturas continua sendo retirado pelo sistema de condicionamento de ar.

5 CONCLUSÃO

O conforto nos ambientes domésticos e as necessidades do comércio e da indústria são dependentes da energia, assim como sua disponibilidade está associado, e conduz, ao desenvolvimento econômico de uma região e do país. Sobretudo, essa energia provém de fontes não renováveis, como petróleo, carvão e gás natural, que contribuem significativamente para o aquecimento global e as mudanças climáticas; do mesmo modo, quando produzidas por fontes renováveis, ainda produzem impactos negativos, sobretudo, em menor extensão e consequências.

Observa-se que medidas de gestão e eficiência energética na climatização, iluminação, equipamentos e nas edificações somam-se as ações para a redução da demanda e da necessidade de expansão da geração de energia elétrica – renovável ou não, de forma a reduzir as pressões e a degradação ambiental. Assim, neste trabalho foi determinado, inicialmente, o consumo energético do prédio da Faculdade de Engenharia da UFGD, para, a partir de simulações utilizando-se o software *EnergyPlus*, propor alternativas de eficiência energética e, considerando sua avaliação, concluir sobre a viabilidade econômica.

O software *EnergyPlus*, permitindo a modelagem termoenergéticas da edificação, levou a análise e a comparação do consumo atual do prédio e após a implementação das medidas de eficiência energéticas propostas – assim, proporcionou as informações necessárias para o desenvolvimento de um projeto técnico e econômico sustentável. As propostas consistiram na instalação de brises na fachada Sul, substituição dos vidros comuns por vidros refletivos, alteração da cor da pintura externa e substituição do condicionamento de ar convencional por tipo fluxo de fluido refrigerante variável (VRF).

A simulação das quatro medidas de eficiência, considerando a manutenção dos consumos de energia da iluminação e dos equipamentos elétricos de 14,85 MWh e 27,61 MWh, respectivamente, resultaram na redução anual do consumo dos condicionadores de ar de 53,35 MWh para 35,25 MWh, ou ainda, 18,10 MWh, o equivalente a 18,9% do consumo total do prédio. Sobretudo, os maiores benefícios energéticos foram observados nos meses de maiores temperatura, considerando a maior eficiência e o uso prolongado do condicionador de ar tipo VRF. Detalhadamente, os brises representaram um ganho de eficiência energética de 3,8%, os vidros 7,0%, a pintura 8,2%, o sistema VRF propiciou 21,8%, enquanto as medidas associadas incluindo a instalação dos brises 33,9% e, sem esse elemento, 33,5%, caracterizando a sobreposição dos efeitos desse último ao benefício da instalação dos vidros refletivos.

Ainda foi desenvolvida a análise termoenergética de dois ambientes representativos da edificação: o laboratório de Engenharia Econômica no piso térreo e o gabinete de professor no piso superior. Observou-se, para o primeiro ambiente, uma redução de 73,1% no calor adicionado pelas aberturas, destacando o efeito dos vidros refletivos para o aumento da eficiência energética da edificação; redução de 43,7% do calor adicionado por condução em superfície opaca e outros, considerando a pintura branca nas paredes da envoltória da edificação. Assim, as medidas de eficiência energética propostas proporcionam a redução do consumo energético do sistema HVAC em 36,4%. De forma similar, as medidas associadas ao gabinete de professor reduziram a demanda energética do sistema de climatização em 44,5%.

A avaliação econômica das medidas de eficiência energética propostas, por sua vez, considerando a redução do consumo energético, e seu benefício financeiro, obteve viabilidade para a alteração da pintura do edifício construído e para a substituição do sistema de climatização VRF para o projeto novo, com 3 e 9 anos de *Payback* descontado, respectivamente. Observou-se que a existência de climatizadores com selo Procel “A” e o elevado custo de substituição dos sistemas existentes, conduziram a inviabilidade econômica do sistema VRF no prédio construído, com VPL negativo de R\$ 190.144,03 e TIR de 1,41%. Por outro lado, para uma edificação nova, considerando somente as diferenças dos elementos e equipamentos, com VPL de R\$ 60.330,97, TIR de 19,35%, conclui-se que a utilização do sistema de climatização tipo VRF é viável, sobretudo, com baixa atratividade, haja vista o tempo de retorno de nove anos.

Os resultados obtidos sublinham a importância do desenvolvimento de projetos sustentáveis para edificações a partir da simulação de equipamentos, elementos construtivos e estruturais considerando a eficiência energética, os impactos ambientais e econômicos. Por outro lado, intervenções em edificações existentes apresentam maior custo de implementação, conduzindo a dificuldades técnicas e inviabilidade de medidas como substituição de vidros, ou mesmo implantação de novas tecnologias de climatização.

Propõe-se, por fim, como trabalhos futuros, a análise da influência de diferentes cores de pintura no consumo de energia, de vidros com outras propriedades de reflexão e seus custos de instalação. Sugere-se, ainda, o estudo da integração de sistemas de geração de energia fotovoltaica como fonte complementar a edificação, assim como a análise da automação e controle inteligente da iluminação, climatização e equipamentos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior.** Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Guia para Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 50001 – Gestão de Energia.** São Paulo: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, NBR 16401-2.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 50001:2018: Sistemas de gestão de energia — Requisitos com orientações para uso.** Rio de Janeiro, ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:2005 – Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, da resistência térmica e da absorvância térmica de elementos que compõem a edificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASHRAE. **ASHRAE Handbook: Fundamentals - SI edition, Chapter 8, Thermal Comfort.** Atlanta, Ga.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning, Atlanta, Ga.: ASHRAE, 2005.

ASHRAE STANDARD 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy.** Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxa Selic. 2024. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 5 out. 2024.

BIG LADDER SOFTWARE. **Big Ladder Software.** Disponível em: <https://bigladdersoftware.com/>. Acesso em: 5 set. 2024.

CLIMATEMPO. **Climatologia de Dourados - MS.** 2024. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/213/dourados-ms>. Acesso em: 10 out. 2024.
PBE Edifica. **Manual de aplicação da INI-C: edificações comerciais, de serviços e públicas.** Versão 1, junho de 2021. Com base na Portaria nº 42/2021.

CB3E – CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Sobre.** Disponível em: <https://cb3e.ufsc.br/sobre>. Acesso em: 3 out. 2024.

CYPE INGENIEROS S.A. CYPE 2024. Disponível em: <https://cype.com/>. Acesso em: 5 out. 2024.

DUARTE, V. C. P.; LAMBERTS, R. **Comparação do desempenho energético de sistemas de climatização para uma edificação comercial em Florianópolis/ SC, UFSC**, Florianópolis, 2014.

FERRARI, Lorenzo Negrelli. **Estudo de viabilidade econômica da substituição de condicionadores de ar do tipo split por sistema VRF**. Instituto Federal do Espírito Santo, ES, 2023.

FRANÇA, J. G. F. **A importância do uso da iluminação natural como diretriz nos projetos de arquitetura**. 2012.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 10 set. 2024.

GUARDIAN GLASS. Guardian Industries: novos produtos e inovações em vidro. 2021. Disponível em: <https://www.guardianglass.com/>. Acesso em: 3 set. 2024.

Hitachi Air Conditioning. **Catálogo técnico de sistemas VRF Set Free**. Disponível em: <https://www.hitachiaircon.com.br/produtos/sistema-vrf>. Acesso em: 3 set. 2024.

INPE. **SONDA. Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais**. Disponível em: <https://sonda.ccst.inpe.br/index.html> Acesso: 10 out, 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE): **Índices de condicionadores de ar**. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Atlas da eficiência energética Brasil 2020 – Relatório de indicadores**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020-relatorio-de-indicadores>. Acesso em: 5 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IPCA e INPC: janeiro de 2024**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 5 out. 2024.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos de Dourados - MS: arquivo climático**. 2019. Disponível em: <https://energyplus.net/weather>. Acesso em: 1 set. 2024.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros**. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/etiquetagem> Rio de Janeiro: INMETRO, 2013. Acesso em: 02 out. 2024.

LAMBERTS, R. [et al.]. **Casa eficiente: simulação computacional do desempenho termo-energético**, UFSC/LabEEE, Florianópolis, 2010.

LABEEE. **Relatório técnico da base de simulações para o RTQ-R. Relatório Técnico: RT_LABEEE-2011/02**. Florianópolis, 2011. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 10 set, 2024.

LABEEE. **A busca por edifícios eficientes e o conceito de sustentabilidade. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.** Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/sustentabilidade>. Acesso em: 5 out. 2024.

LOPES, Izabelle Morales. **Edificação eficiente: comparação entre os métodos de etiquetagem de 2014 e 2021 no bloco da FAEN – UFGD.** Universidade Federal da Grande Dourados, MS, 2022.

MULANO, Giuliano Riva. **Ações de retrofit para a obtenção do nível “A” de eficiência energética em uma edificação militar.** Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2022.

MAIRHOFER, I. B. F. **Análise de Desempenho da Usina Solar Fotovoltaica Instalada na Universidade Federal da Grande Dourados.** Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2023.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL). **EnergyPlus Energy Simulation Software.** Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 29 set. 2024.

PESSOA, J. L. N.; GHISI, E; LAMBERTS. **Estado da Arte em Eficiência Energética: Iluminação e Envoltória.** Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações, CB3E. julho, 2013.

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO. **Calendário Acadêmico de Graduação.** Disponível em: <<https://portal.ufgd.edu.br/pro-reitoria/prograd/calendario-academico>>. Acesso em: 03 set. 2024.

PREFEITURA UNIVERSITARIA. **Portal UFGD.** Disponível em: <https://portal.ufgd.edu.br/setor/prefeitura_universitaria/index>. Acesso em: 03 set. 2024.

PBE Edifica. **Sobre o PBE Edifica.** Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 25 set. 2024.

PSCEVOZNIKI, Suewellyn Silvério. **Edificação de energia zero: proposta de uma residência utilizando o software EnergyPlus.** Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2019.

PATTERSON, M. G. **What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues.** *Energy Policy*, v. 24, p. 377-390, 1996.

RETROFIT ACADEMY. **Retrofit or New Build? - Summary - Net Zero Carbon Guide.** Disponível em: <https://www.netzerocarbondguide.co.uk>. Acesso em: 25 set. 2024.

SAMPAIO, Felipe Pajeu. **Eficiência energética no sistema de iluminação do prédio da Faculdade de Engenharia - UFGD: estudo de caso considerando a iluminação natural.** Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2024.

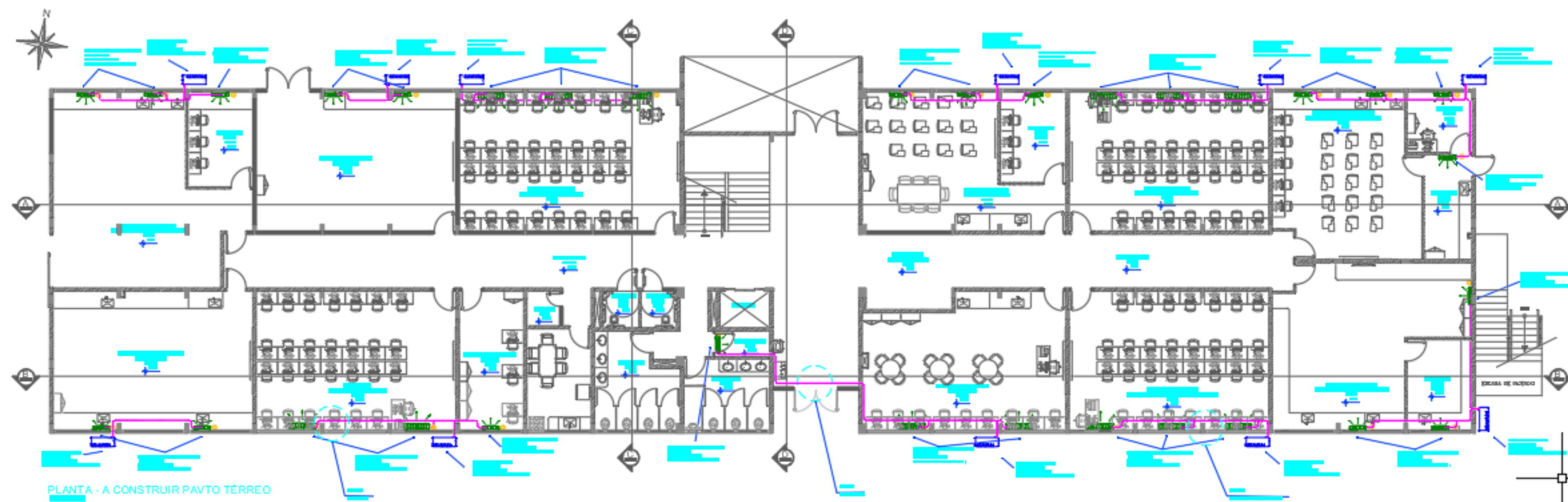
SWERA. **Dados climáticos de Campo Grande – MS**. 2019. Disponível em: <https://energyplus.net/weather>. Acesso em: 1 set. 2024.

VILLALVA, Marcelo Gomes. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Livraria da Física, 2015.

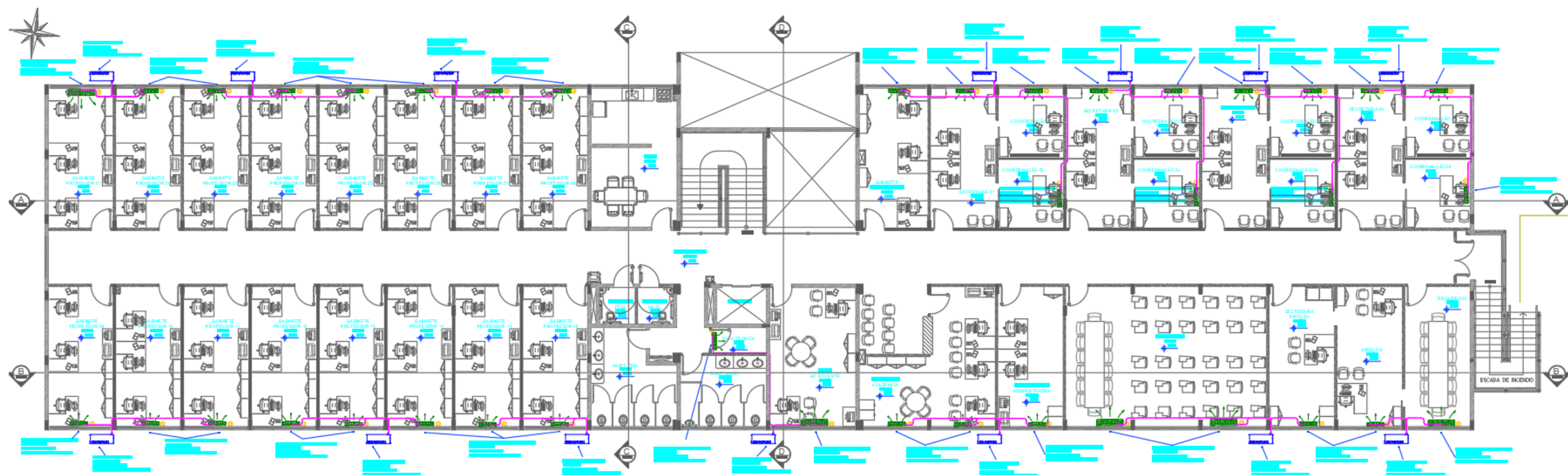
Whole Building Design Guide. ***Retrofitting existing buildings to improve sustainability and energy performance***. WBDG, 2016. Disponível em: <https://wbdg.org/resources/retrofitting-existing-buildings-improve-sustainability-and-energy-performance>. Acesso em: 25 set. 2024.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. **Introdução ao EnergyPlus**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2006.

APÊNDICE A – PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO DO PAVIMENTO TÉRREO DO BLOCO FAEN/UFMG

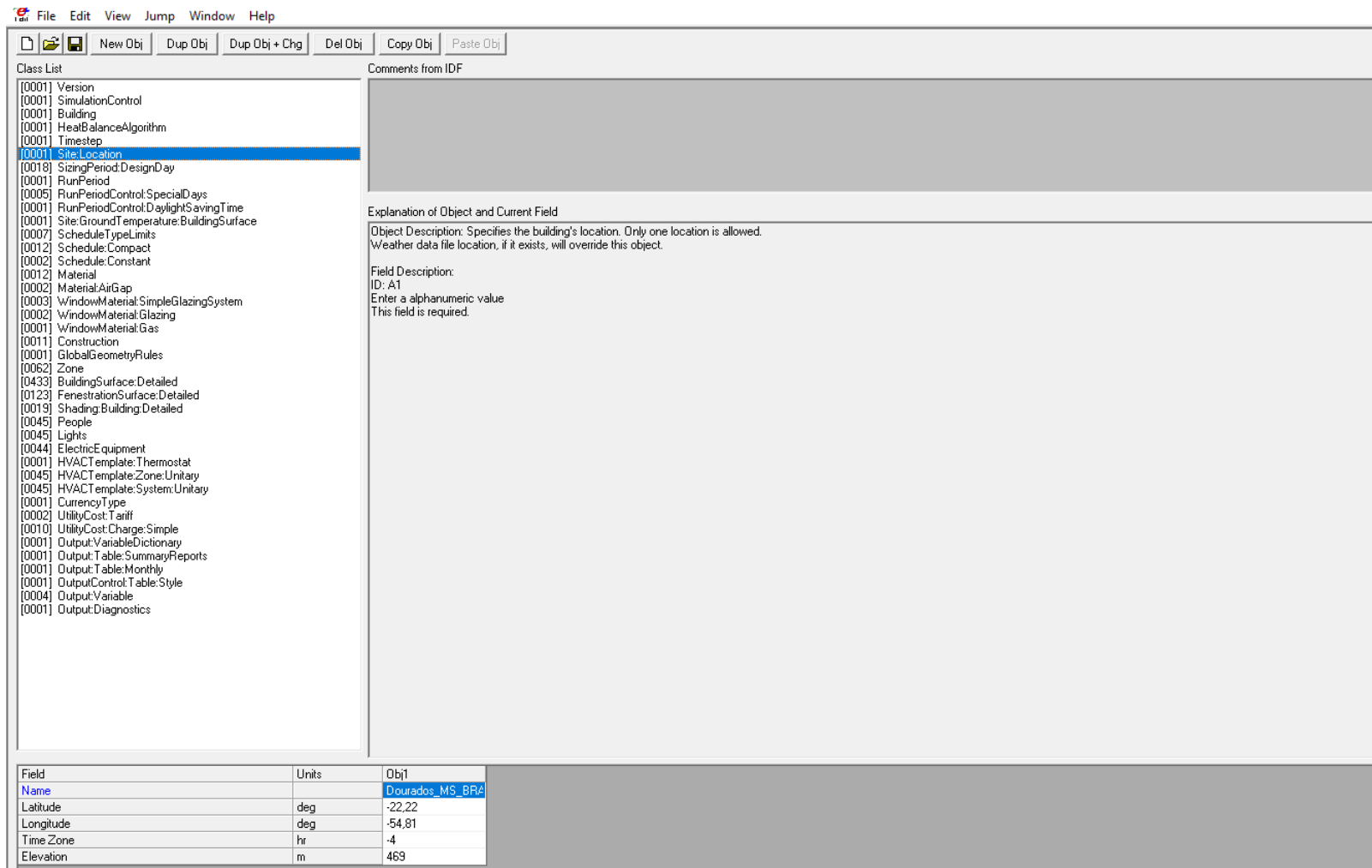


Fonte: Prefeitura Universitária, 2024.



Fonte: Prefeitura Universitária, 2024.

APÊNDICE C – INTERFACE ENERGYPLUS COM O MODELO UTILIZADO



Fonte: Elaborado pelo autor.