

DIEGO FAVARO CORREIA MACHADO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTRATÉGIAS DE
RETROFIT E SEUS IMPACTOS NA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NO EDIFÍCIO ACADÊMICO II - UNIFESP,
BAIXADA SANTISTA – SP**

Trabalho apresentado à banca examinadora da Universidade Federal de São Paulo, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Petróleo e Recursos Renováveis, sob a orientação do professor Doutor Fernando Ramos Martins.

Santos,

2018

RESUMO

O consumo de energia vem crescendo ao longo dos últimos anos, o que, diante da preocupação ambiental e a busca pelo aproveitamento racional de nossos recursos, se tornou um dos desafios significativos para os próximos anos. O setor da construção tem grande relevância neste cenário, justificado pelo aumento populacional, desenvolvimento tecnológico, mudanças nos níveis de conforto e tempo gasto sob habitações. A eficiência energética é adotada por muitos países como um caminho para conter esse consumo e proporcionar um futuro de baixo carbono. Através do *retrofit*, construções antigas ou ineficientes podem atualizar seus sistemas e obterem melhores desempenhos energéticos. Edifícios educacionais são apontados como locais de aplicação do *retrofit*, na tentativa de otimizar o consumo de sistemas como de iluminação e climatização, os quais normalmente tem grande participação no consumo total do edifício. Por se tratar de uma análise complexa uma vez que envolve a interação dos elementos da construção com a zona climática na qual está inserida, as simulações computacionais são consideradas uma ferramenta de apoio a tomada de decisão em projetos de *retrofit*. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram simuladas diferentes estratégias de *retrofit* para Unidade Educacional II do *campus* Baixada Santista da UNIFESP. Os resultados obtidos mostram caminhos para otimização do desempenho energético do prédio, auxiliando na tomada de decisão e contribuindo para o planejamento futuro do orçamento da Universidade.

Palavras Chave: Eficiência Energética, Estratégias de *Retrofit*, Zonas Climáticas, Simulações numéricas.

ABSTRACT

Energy consumption has been growing in the long term in recent years. The environmental issue and the search for the rational use of resources is a challenge for the next years. The construction industry has great relevance in this scenario taking into consideration the population increase rate, the technological development, the time spent under housing, and the requirements for the human comfort. Energy efficiency approach has been adopted by many countries to support conscious consumption and , to boost the low-carbon energy market. By means of retrofit procedures, old or inefficient buildings can have their systems updated and optimized regarding the energy consumption. Educational buildings are natural targets to retrofit procedures to optimize the energy consumption of lighting and air conditioning systems. In general, these systems represent the largest energy load in such buildings. The retrofit procedures require a complex analysis due to the interaction between the building elements and the typical climate features at the building location. The computational methods are a good alternative to support planning and evaluation steps of the retrofit. With this in mind, this study aimed at to analyze several retrofit strategies proposed to the Educational Building II of the Brazilian Federal University of São Paulo located in Santos/SP, a coastal city in the Southeastern region of Brazil. The obtained results provided alternative measures to improve the energy performance of the building.

Keywords: Energy efficiency, Retrofit strategies, Climate zones, Numerical simulations

1. INTRODUÇÃO

O crescimento contínuo do consumo de energia e suas consequências em termo de impacto ambiental, principalmente em países desenvolvidos e em desenvolvimento, proporcionam desafios significativos para os próximos anos. Dados divulgados pela Agência Internacional de Energia (IEA) apontam que, durante as últimas duas décadas, o consumo da energia primária cresceu cerca de 49% e a emissão de CO₂, 43%, com um aumento anual entre 1,8% e 2%. [1]. A demanda global de energia deve avançar em um terço em relação aos atuais até 2035 [2] em razão do acelerado crescimento populacional nos países em desenvolvimento, a ampliação dos setores industriais, a mudança nos níveis de conforto e do tempo gasto nos interiores de edifícios.

As mudanças climáticas induzida pela humanidade intensificou-se nos últimos 50 anos e tem provocado alterações em nosso ambiente, principalmente em grandes centros urbanos [3].

No Brasil, condições climáticas e características ambientais favoráveis

incentivam a utilização de fontes renováveis de energia, que atualmente representam cerca de 65,2% da geração no país [7]. Embora este cenário seja positivo, quando analisamos os últimos anos, percebemos uma redução da participação de fontes renováveis devido as limitações hídricas e o crescimento do consumo de energia nas últimas décadas.

Neste cenário, o consumo de energia em edifícios tem intensificado a preocupação para o setor da construção em todo mundo [4]. As edificações têm grande participação do consumo final de energia no Brasil, 42%, sendo relevante para qualquer programa de conservação de energia [5]. Diversas instituições internacionais sugerem que a eficiência energética é o melhor caminho para manter a demanda de energia sob controle e viabilizar um futuro de baixo carbono [6].

O Ministério de Minas e Energia (MME) publicou, em 2011, um plano nacional de eficiência energética com objetivo de promover a redução em até 10% no consumo brasileiro de energia previsto para as próximas décadas. No Brasil, ainda existem barreiras que dificultam o desenvolvimento da eficiência energética, como a falta de informação sobre as melhores tecnologias e o custo benefício associado

a elas, além da necessidade de mudança na mentalidade sobre o desperdício da energia elétrica [7]. No setor de construção civil, muito pouco tem sido feito em termos de projetos de eficiência em edificações.

Buscando aprimorar edificações já construídas e ineficientes energeticamente, o *retrofit* consiste na modernização ou atualização dos sistemas implantados, através da incorporação de novas tecnologias que proporcionem maior eficiência operacional e energética [8]. Dentre os potenciais pontos de intervenção, são listados os sistemas de aquecimento, resfriamento, iluminação e elementos do envoltório [9]. Edifícios bem administrados proporcionam a economia de energia e redução das emissões atmosféricas [11].

De acordo com a IEA, edifícios educacionais tem grande participação no consumo energético sendo potenciais locais para implementação de estratégias de *retrofit* [9]. As edificações para uso educacional apresentam um consumo de energia derivado de seu tempo de uso, número de alunos atendidos e quantidade de funcionários na instituição. Assim as estratégias *retrofit* podem ser uma oportunidade de atualização do edifício ou dos sistemas nele incorporados para

maximizar a vida útil da edificação e proporcionar maior eficiência energética [5]. Frequentemente, estas abordagens são negligenciadas pela falta de conhecimento nos investimentos necessários e das estratégias de economia adequadas [10].

O clima é um elemento-chave que influencia diretamente a utilização da energia em edifícios. Assim, construções em diferentes ambientes podem apresentar diversas soluções para a economia de energia [12]. Uma das medidas utilizadas para avaliar ganhos de eficiência alcançados com uma determinada solução é a simulação numérica que possibilita avaliar as interações dinâmicas entre o clima externo e o edifício. A simulação permite avaliar e comparar estratégias, que sejam apropriadas ao local sob o ponto de vista do desempenho energético do edifício, com base em ampla variedade de cenários arquitetônicos. Os resultados das simulações fornecem o suporte técnico para estratégias a serem aplicadas no edifício em estudo [13].

Visando analisar os impactos de diferentes estratégias de *retrofit* na eficiência energética no Edifício Acadêmico II, UNIFESP – Baixada Santista, foram simuladas diferentes mudanças usando o *software*

EnergyPlus, através da interface do *DesignBuilder*. O *EnergyPlus* é um *software* utilizado para simulação energética de edificações. O *software DesignBuilder* funciona como uma interface amigável para uso do *EnergyPlus* de modo a facilitar o procedimento de avaliação e diagnóstico de estratégias para intervenção na edificação fazendo uso de um modelo de construção virtual.

1.1 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO

O zoneamento bioclimático surgiu com a necessidade de informações confiáveis e consistentes sob o ponto de vista ambiental para o estabelecimento de recomendações e estratégias construtivas voltadas para determinadas regiões do país. A norma NBR 15220 estabelece o conceito de Zoneamento Bioclimático para o território brasileiro apresentando recomendações e diretrizes construtivas para adequação climática de edificações [14].

O zoneamento bioclimático brasileiro está apresentado na Figura 1 e compreende 8 regiões classificadas de Z1 a Z8, sendo as primeiras referentes a regiões frias e as últimas a regiões com temperaturas mais elevadas no território brasileiro. A NBR 15220 classifica os

climas segundo parâmetros e condições de conforto térmico em função de parâmetros como tamanho e proteção de aberturas (janelas), vedações externas (paredes e coberturas) e estratégias de condicionamento térmico passivo [10] [14].

Como apresentado na figura 1, o Brasil possui diferentes zonas bioclimáticas, classificadas de Z1 a Z8.

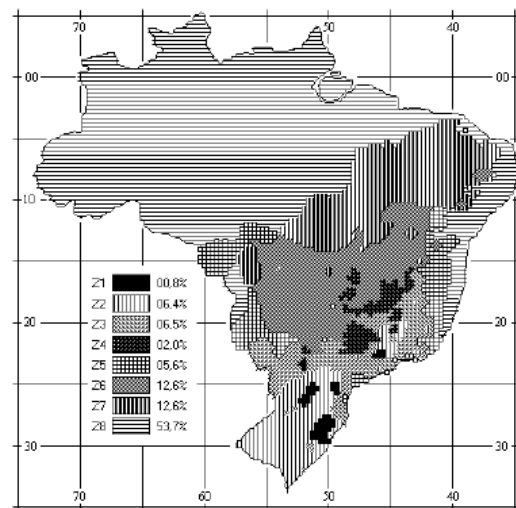


Figura 1 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro estabelecido na normatização NBR15220.

1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA EDIFICAÇÃO

A eficiência energética em edifícios é resultado de um *design* inteligente, levando em consideração as condições climáticas locais. As variáveis climáticas têm participação importante no desempenho energético da edificação, afetando diretamente em cerca de 40% a 80% do consumo de energia [7], [15]. Os

parâmetros específicos relacionados às características do edifício que estabelecem uma interface com o ambiente externo são determinantes para seu desempenho energético. Os principais parâmetros que modulam o consumo energético estão relacionados à temperatura, iluminação e o envoltório da construção.

Os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) nos edifícios desempenham um importante papel em reduzir ou aumentar o consumo. Em um edifício convencional, o sistema HVAC contribui com cerca de 60% das contas de energia elétrica no ano, segundo a Associação Brasileira de refrigeração, ar condicionado, ventilação e aquecimento (ABRAVA). Neste sentido, um dos focos do setor de construção civil no Brasil é a otimização dos sistemas de ar condicionado, devido ao importante papel consumidor que ocupa nas construções. P.O.Fanger (1967) estabelece variáveis diretas para o sistema térmico, como temperatura do ar, radiação solar média, movimentação da massa de ar e umidade relativa no interior da construção [7].

O sistema de iluminação também tem papel relevante neste cenário, responsável por cerca de 19% da energia

global consumida no edifício [16]. Diversos projetos aplicados ao setor de construção buscam identificar o melhor sistema de iluminação e obter ganhos com a redução da participação da iluminação no consumo final de energia [5] [17].

Além destes parâmetros, o *design* e materiais utilizados na construção, quando planejados, podem desempenhar papel estratégico nos edifícios, conferindo melhor aproveitamento da iluminação natural e de outros recursos ambientais locais [18].

1.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A interação entre elementos de *design*, mudanças climáticas, diferentes usuários, sistemas HVAC e iluminação, são de difícil análise. Desta forma, podem ser investigados utilizando um simulador computacional. Diversos tipos de *softwares* foram desenvolvidos, porém o *EnergyPlus* é altamente difundido para trabalhos de avaliação de desempenho energético de construções em todo mundo. O *DesignBuilder* é um ambiente computacional para simulação de energia no edifício, e utiliza o mecanismo de simulação do *EnergyPlus*. Estes *softwares* são destinados a executar a análise energética das construções, levando em consideração a

demanda de aquecimento, resfriamento, energia elétrica e acessórios incorporados ao envoltório da edificação [19]. Os métodos de simulação são geralmente divididos em três grandes categorias: técnicas analíticas, laboratoriais e reais, sendo a terceira a mais precisa (compara os resultados da simulação com valores reais) [8].

Zomorodian e Tahsildoost (2018) simularam edifícios com fachada dupla em climas quentes e secos para análise do consumo de energia e emissões de carbono utilizando o *DesignBuilder* [20]. El-Darwish e Gomma (2017) realizaram uma análise de diferentes estratégias de *retrofit* em edifício no Egito [10]. Diversos trabalhos referentes a avaliação de ventilação natural, mudanças em padrões do envoltório e outros estudos foram realizados utilizando simulação numérica computacional [8].

1.4 RETROFIT

Medidas utilizadas para a otimização e atualização dos sistemas de uma construção, chamadas de *retrofit*, podem ser uma forma de proporcionar maior eficiência energética as construções antigas ou que necessitem de melhorias. Como apresentado por Westphal, et al (2002), em sua proposta

de *retrofit* para o sistema de iluminação artificial da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) que reduz o consumo e proporciona uma economia de 9,5% para universidade. [5].

Diversos outros estudos apontam o *retrofit* como fundamental, pois possibilita otimizar o desempenho energético através da incorporação de estratégias como isolamento térmico, envidraçamento, sistemas de climatização entre outros. [10]. Modrego et al (2018), apresentou propostas de melhoria no edifício da Universidade Politécnica da Catalunha (UPC) na Espanha, focadas no *retrofit* de paredes opacas das fachadas e do telhado da construção [21].

Hestnes et al (2002) avaliou diferentes estratégias de *retrofit* para dez edifícios de escritórios em países europeus. Neste projeto, foram considerados melhorias nos sistemas de climatização, utilização de tecnologias de arrefecimento passivo e melhorias no sistema de iluminação. Através da análise, os autores identificaram respostas diferentes de acordo com a localidade e clima predominante [22]. Desta forma, as estratégias devem levar em consideração o ambiente onde a construção está inserida, pois a zona

bioclimática tem influência direta no desempenho [10].

2. METODOLOGIA

2.1 ESPECIFICAÇÃO DO EDIFÍCIO

Este estudo foi desenvolvido para o Edifício Acadêmico II utilizado pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) na cidade de Santos, São Paulo – BR. O edifício possui cinco pisos com uma área de 786 m² por andar. A Figura 2 ilustra o modelo do Edifício elaborado para uso no *software DesignBuilder*.

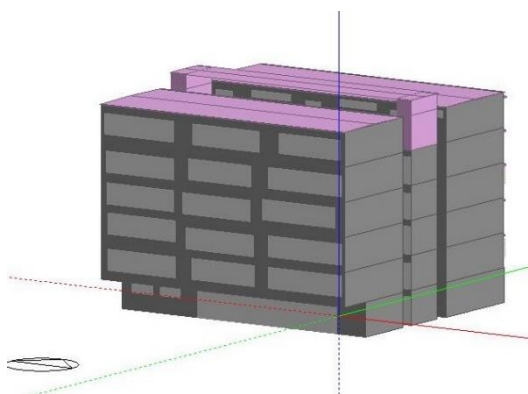


Figura 2: Edifício Acadêmico II da UNIFESP modelado no simulador *DesignBuilder*.

2.2 PROPRIEDADES DA CONSTRUÇÃO

Os espaços utilizados para simulação incluem salas de aula, laboratórios, banheiros, biblioteca, salas de escritório e auditório.

O estudo assume o seguinte perfil para a edificação: Paredes internas em

drywall com revestimento de gesso, vidros externos únicos simples com películas protetoras na fachada e bloqueio de Sol na parte traseira do edifício, ausência de cortinas, utilização de sistema de climatização de ambiente baseados em equipamentos *split* + mecânica localizados por zonas, telhado de polietileno na parte central do edifício, e fibrocimento no restante. O sistema de iluminação está baseado principalmente em lâmpadas fluorescentes.

2.3 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS LOCAIS

O Edifício Acadêmico II está localizado na cidade Santos, região litoral do estado de São Paulo – Brasil. A região apresenta latitude 23°56'26" Sul e longitude 46°19'47" Oeste. O clima local é caracterizado como quente e úmido. A simulação utiliza a base de dados climáticos do LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) da Universidade Federal de Santa Catarina referente as características da zona bioclimática 5, onde a cidade de Santos está localizada Como podemos observar na Figura 1.

2.4 OCUPAÇÃO DO AMBIENTE

A ocupação do prédio é um fator importante que influencia seu

desempenho energético. O edifício é utilizado como unidade educacional da Universidade Federal de São Paulo, entre 8:00 e 23:00, de segunda a sexta-feira. Com base nestas informações, a porcentagem de utilização horária do edifício foi definida pela base do *software EnergyPlus*.

2.5 SISTEMA DE RESFRIAMENTO

O sistema de climatização do prédio utiliza de ar condicionado do tipo *Split* simples com apoio de ventiladores simples. Para efeitos de simulação durante o desenvolvimento do estudo, a utilização do sistema ar condicionado e ventilação mecânica foi padronizada para todos os ambientes do edifício. Os dados de consumo deste sistema foram incorporados utilizando a base do simulador.

2.6 SIMULAÇÃO

Utilizando o *software DesignBuilder*, foram inseridos dados de entrada referentes ao prédio em estudo. O banco de dados do programa foi utilizado para estabelecer padrões de materiais, equipamentos e dinâmica de habitação.

Foram construídos cenários de *retrofit* para o edifício, alterando elementos presentes na arquitetura original com base em estratégias que

influenciam o consumo de energia. Desta forma, serão analisados os dados de consumo, geração de CO₂ e Conforto térmico em cada cenário. As estratégias utilizadas foram:

- A- **Prateleira de Luz:** remoção dos bloqueio de luz solar na parte traseira do edifício e utilização de uma projeção horizontal em direção ao ambiente externo , aumentando sua exposição à radiação direta e dessa forma, enquanto sombreia a porção inferior, ela reflete a luz incidente na sua superfície através da porção superior da janela em direção ao teto, sendo refletida com maior profundidade para o ambiente interior.
- B- **Cortinas:** Remoção dos bloqueios de luz na parte traseira da construção e utilização de cortinas internas semi-opacas para atenuar a luz solar.
- C- **Sistema de Climatização:** Alteração do sistema *Split* + ventilação mecânica por um sistema de fluxo variável de refrigeração (VRF).
- D- **Sistema de Iluminação:** Substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de *led* em todas as áreas do edifício.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CENÁRIO INICIAL

Inicialmente foi simulado o edifício em suas condições atuais, assim poderemos estabelecer comparações entre as estratégias simuladas com os resultados encontrados nas condições atuais de uso do edifício. Com esta análise poderemos identificar quais são os reais impactos na eficiência energética do prédio produzidos em cada cenário.

A simulação do cenário atual indicou o consumo total anual do Edifício Acadêmico II é da ordem de 273 MWh/ano. O histórico de consumo de eletricidade indicado pela análise das contas de energia aponta um consumo de 220 MWh. Esta diferença entre o cenário simulado e o real é considerado adequado, uma vez que utilizamos dados padrões na simulação. Para efeitos comparativos, não teremos complicações, pois os cenários A, B, C e D, serão comparados com o cenário inicial simulado. Além do consumo, a

simulação fornece outros dados como emissão de CO₂ e a temperatura média do ar no interior do edifício. A Tabela 1 lista os dados principais produzidos pela modelagem do cenário atual neste trabalho.

CENÁRIO INICIAL	
Consumo Total (Mwh/ano)	273
Emissão de CO ₂ (Kgx10 ³)	165
Temp. Méd. do Ar (°C)	23,7

Tabela 1: Resultados fornecidos pela simulação numérica para o cenário inicial do Edifício Acadêmico II da UNIFESP.

O gráfico 1 nos mostra a relevância dos sistemas de iluminação e climatização para a edificação, consumindo cerca de 76% da energia total do ano. A iluminação (38%) representa um consumo de 105,8 MWh, enquanto a climatização (38%) representa 104,9 MWh. Além destes sistemas, existe o consumo dos aparelhos eletrônicos, principalmente computadores na unidade (20%) e outros gastos com aquecimento.

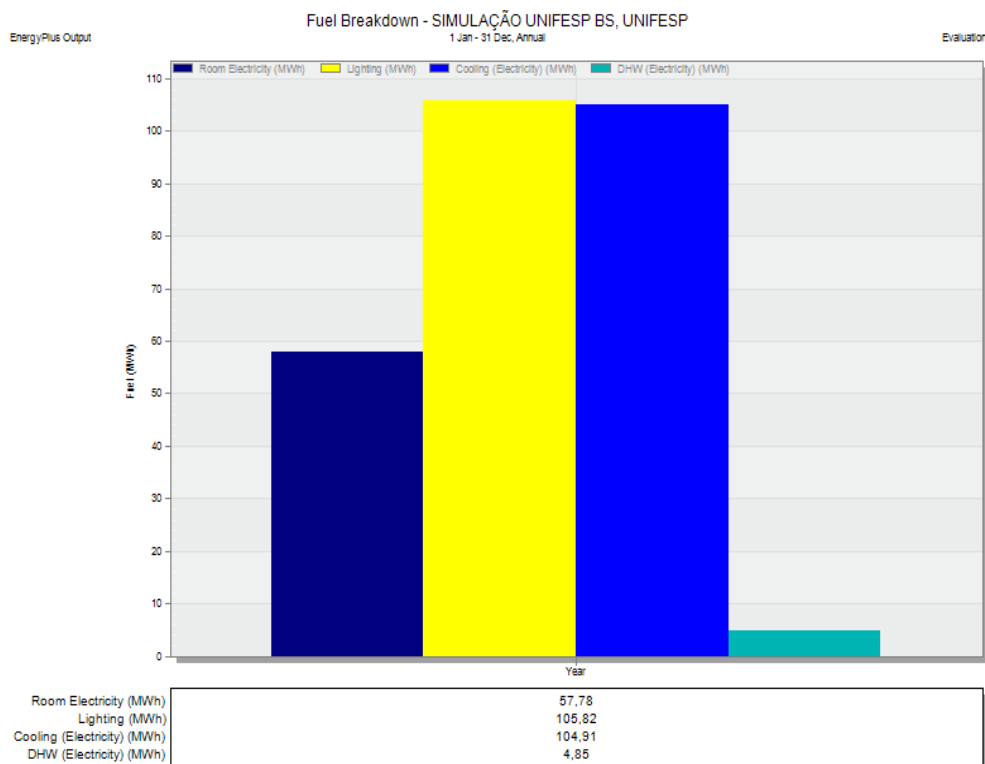


Gráfico 1: Consumo energético por sistema fornecido pela simulação numérica do cenário inicial com o DesignBuilder.

3.2 CENÁRIO A

Com o objetivo de proporcionar maior aproveitamento dos recursos naturais para a iluminação e ventilação do Edifício, esta estratégia substituiu os bloqueios de luz solar na face posterior do edifício por projeções horizontais externas, chamadas de “Prateleiras de luz”. Utilizando os dados bioclimáticos locais, o uso de prateleiras pode facilitar a entrada de luz e ventilação natural no ambiente, e foram recomendadas pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) [23].

Com a simulação, o consumo da unidade foi reduzido para 270 MWh no ano, 3 MWh menor do que o cenário inicial. Os dados de emissão de CO₂ apresentaram valores de 1×10^3 kg a menos do que o objetivo no cenário atual do edifício. Esta estratégia obteve ganhos no sistema de resfriamento do ambiente, pois causou uma redução na participação total do consumo deste sistema para valores da ordem de 102,1 MWh no ano. Estes ganhos são proporcionais ao aumento da participação da ventilação natural na construção, devido a remoção dos bloqueios traseiros. Além disso, embora existam ganhos no consumo do sistema

de climatização, a temperatura média de ar teve um leve aumento devido a maior incidência de luz direta do Sol no interior do edifício.

CENÁRIO A - PRATELEIRA DE LUZ	
Consumo Total (MWh/ano)	270,5
Emissão de CO2 (x10 ³ kg)	163,9
Temp. Méd. do Ar (°C)	24,1

Tabela 2: Resultados fornecidos pela simulação numérica para o cenário A

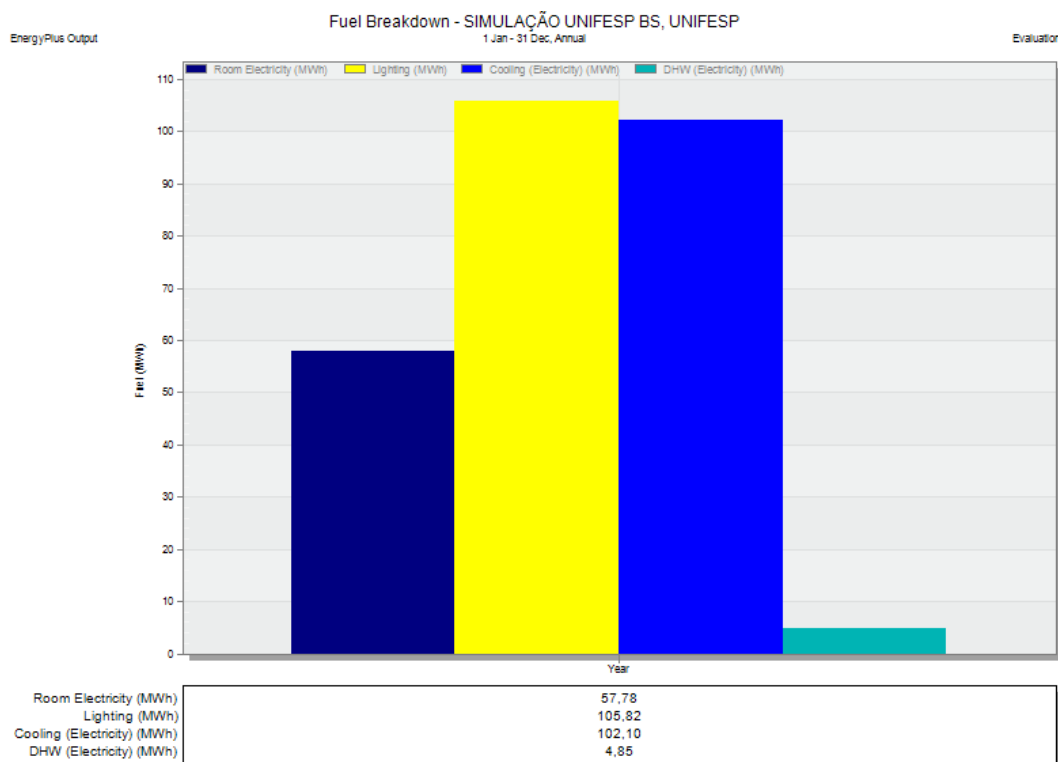


Gráfico 2: Consumo energético por sistema fornecido pela simulação numérica do cenário A com o DesignBuilder.

3.3 CENÁRIO B

Assim como cenário A, está opção busca o aproveitamento eficiente dos recursos naturais no edifício em estudo. Neste cenário os mesmos bloqueios de luz solar foram substituídos por cortinas semi-opacas instaladas nos ambientes internos da face posterior do edifício. Embora a radiação solar direta influencie no conforto do ambiente, as

cortinas buscam interagir de modo equilibrado com o ambiente e trazer otimização do consumo dos sistemas. Assim como as prateleiras de luz, o uso de cortinas é uma estratégia recomendada pelo LABEEE para a zona bioclimática onde o edifício está localizado.

O consumo de energia estimado, após a simulação do cenário B, foi de

270 MWh, o que representou uma redução de 3 MWh de consumo. Assim como a primeira estratégia (cenário A), houve redução de 1×10^3 kg no total anual de emissões de dióxido de carbono (CO₂). Os ganhos de eficiência energética estão relacionados ao sistema de climatização do edifício, com o aumento da participação da ventilação natural, mas devido ao aumento da radiação direta, a temperatura média do ar sofreu leve aumento atingindo 24,2 °C. Assim como na estratégia A, a remoção dos bloqueios de luz solar

influenciaram no sistema de resfriamento, mas não resultaram em ganhos no consumo de iluminação artificial. O consumo de energia pelos sistemas de iluminação e resfriamento ainda representam cerca de 76% do total no ano.

CENÁRIO B - CORTINAS INTERNAS	
Consumo Total (Mwh/ano)	270,1
Emissão de CO ₂ (Kg $\times 10^3$)	163,7
Temp. Méd. do Ar (°C)	24,2

Tabela 3: Resultados fornecidos pela simulação numérica para o cenário B.

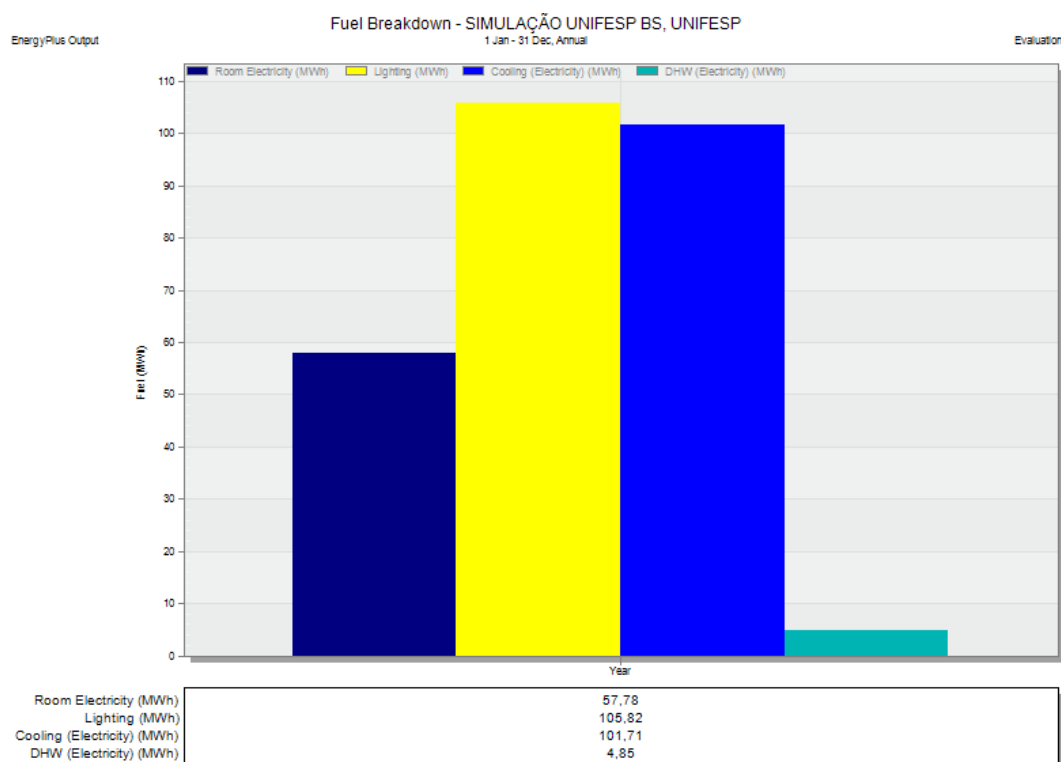


Gráfico 3: Consumo energético por sistema fornecido pela simulação numérica para o cenário B com o DesignBuilder..

3.4 CENÁRIO C

O sistema de climatização, como observamos no cenário inicial, tem grande participação no consumo total do edifício. Desta forma, estratégias de *retrofit* podem agregar impactos positivos ao sistema. O Ministério de Minas e Energia realizou um estudo sobre diversas alternativas de condicionamento de ar disponíveis no mercado, apontando o Sistema de Fluxo Refrigerante Variável (VRF) como promissor na busca por eficiência energética. O VRF é composto de pelo menos uma unidade condensadora que fornece gás refrigerante para as unidades evaporadoras. Através deste sistema é possível realizar o resfriamento de edifício sem a necessidade de água, torres de resfriamentos, bombas e tubulações hidráulicas. O sistema é composto por quatro componentes: Unidade condensadora, Unidades evaporadoras, tubulações e ramificações de cobre, além de um sistema de comunicação e controles [8].

Com a utilização desta estratégia, na substituição do sistema *Split* + ventilação mecânica atual, o consumo energético anual do edifício foi de 233 MWh, o que representa uma redução de 40 MWh/ano. As emissões de CO₂ projetadas pela simulação sofrem redução de 24x10³ kg quando comparada ao cenário considerado como inicial. O sistema de resfriamento do ambiente obteve ganhos em desempenho, mantendo a temperatura média de ar igual ao cenário inicial, porém com um consumo de energia 39% menor (64,6 MWh/ano).

CENÁRIO C - SISTEMA HVAC	
Consumo Total (Mwh/ano)	233
Emissão de CO ₂ (Kgx10 ³)	141,2
Temp. Méd. do Ar (°C)	23,7

Tabela 4: Resultados fornecidos pela simulação numérica para o cenário C.

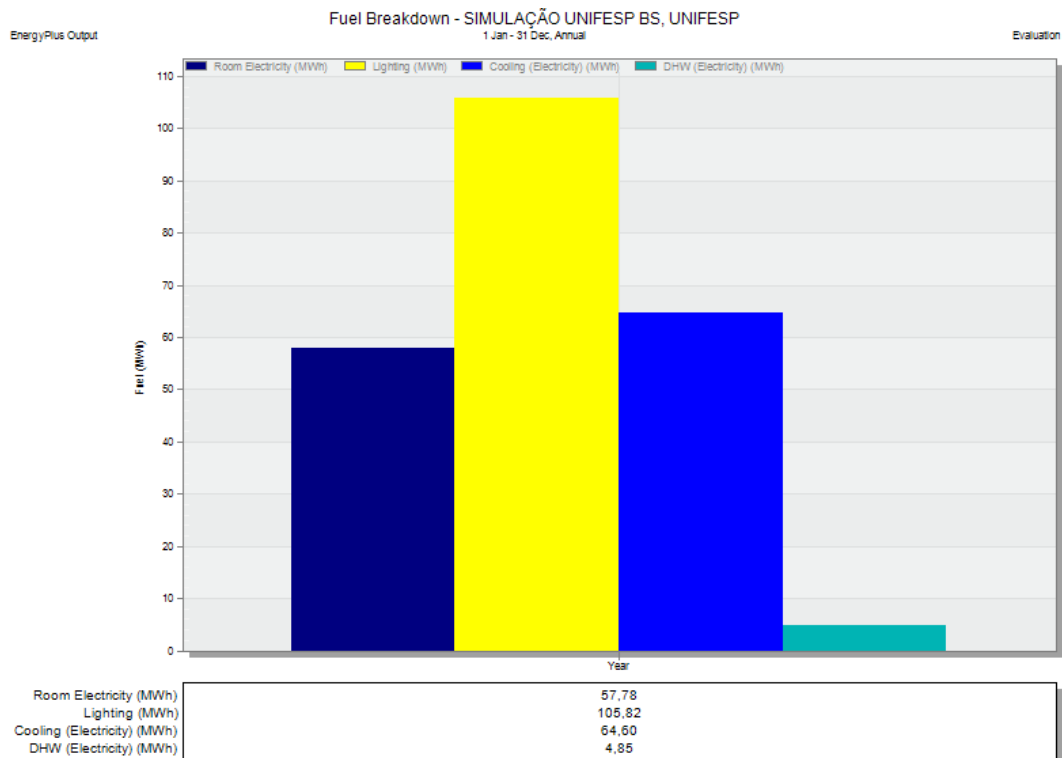


Gráfico 4: Consumo energético por sistema fornecido pela simulação numérica para o cenário C com o *Designbuilder*.

3.5 CENÁRIO D

O sistema de iluminação artificial possui grande relevância no consumo global do edifício. Desta forma, o sistema de iluminação necessita de intervenções para otimização de seu desempenho. Westphal, et al (2002) realizou estudo que apresentou ganhos relevantes simulando o uso de lâmpadas de *led* no edifício educacional da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) [5]. Neste cenário D utilizou a estratégia de substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de *led*.

Os resultados indicaram o consumo total do edifício foi de 246,8

MWh/ano, significando uma redução de 26 MWh/ano. A utilização de lâmpadas mais eficientes reduziu em 27% o consumo deste sistema comparado com o cenário inicial. A redução nas emissões de CO₂ acompanhou o comportamento energético diminuindo em 16x10³ kg por ano.

Além disso, a simulação numérica indica uma leve redução na temperatura média do ar, contribuindo para o conforto térmico no interior do edifício. O sistema de resfriamento, com a mudança teve um aumento de consumo de 2 MWh/ano. Este aumento

no consumo do sistema de resfriamento necessita de maior investigação para entender sua relação com o *retrofit*.

CENÁRIO D - SISTEMA LED	
Consumo Total (Mwh/ano)	246,8
Emissão de CO2 (Kgx10 ³)	149,6
Temp. Méd. do Ar (°C)	23,6

Tabela 5: Resultados fornecidos pela simulação numérica para o cenário D

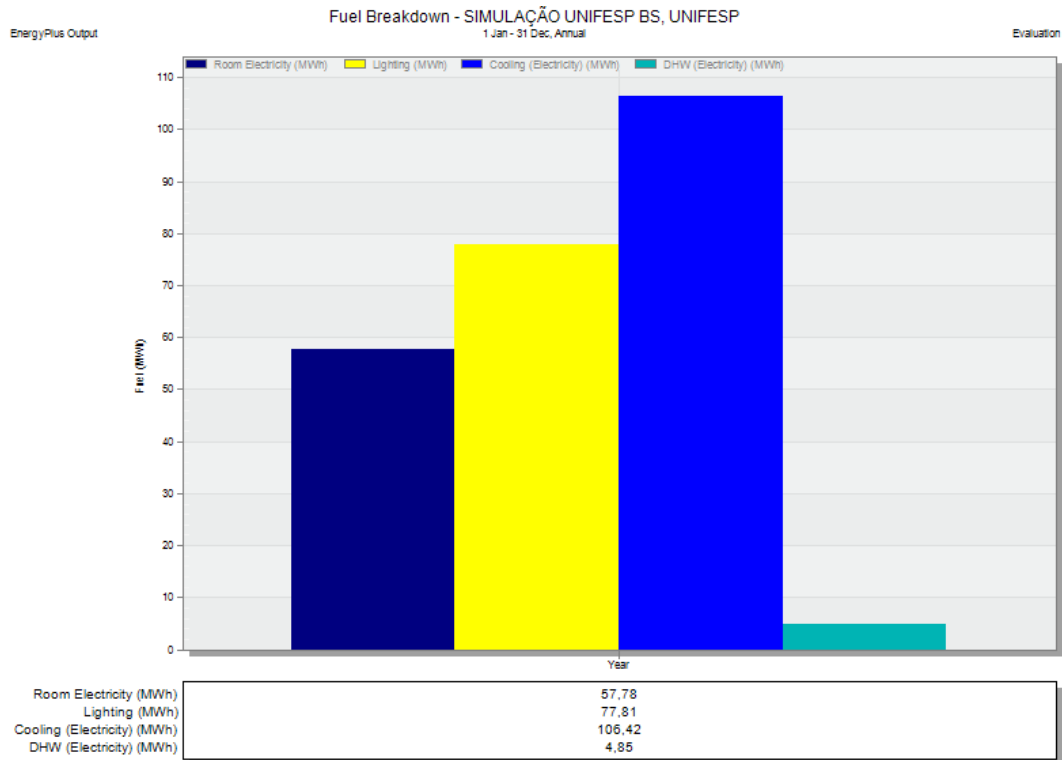


Gráfico 5: Consumo energético por sistema fornecido pela simulação numérica para o cenário D com o *Designbuilder*.

4. CONCLUSÃO

Medidas que proporcionem maior eficiência energética nas construções, são fundamentais diante do crescimento exponencial do consumo nas últimas décadas e projeções futuras. O *retrofit* pode ser uma saída para otimizar e modernizar sistemas e desta

forma melhorar o desempenho energético de edifícios.

A adequação de edifícios tem importância relevante nas ações de eficiência energética devido ao elevado consumo de energia em diversos estudos

desenvolvidos pela comunidade acadêmica.

As estratégias de *retrofit* devem interagir com os elementos da construção e com a zona bioclimática em que a construção esta localizada, de modo gerar ganhos de desempenho na estrutura. Os sistemas de iluminação e climatização apresentam elevada participação no consumo de energia total, desta forma significam possibilidades reais de melhoria. Analisando as estratégias simuladas neste trabalho para o Edifício Acadêmico II do *campus* Baixada Santista da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), observou-se ganhos em eficiência energética em todos os cenários, porém com intensidades diferentes em cada caso.

Os cenários A e B proporcionaram redução do consumo de energia, porém não houve ganhos significativos para o edifício. Nestes cenários, apesar de haver redução do consumo de energia em razão do aumento da ventilação natural, o incremento de radiação direta do Sol provocou uma elevação da temperatura média do ar no ambiente interno que resultou em maiores gastos com climatização dos ambientes.

Os cenários C e D, modificaram sistemas importantes do consumo do prédio e se mostraram os mais relevantes diante dos cenários analisados, com redução no consumo de 40 MWh/ano e 26 MWh/ano respectivamente. Além disso, se mostraram relevantes no controle do conforto térmico, mantendo a temperatura média de ar inferiores o no mesmo patamar do cenário inicial. As emissões de CO₂, diferente dos primeiros cenários, tiveram quedas expressivas em relação as condições iniciais adotadas para o edifício.

Este trabalho oferece um auxílio para o processo de tomada de decisão para aplicação do *retrofit* no Edifício Acadêmico II. No entanto, outros estudos são necessários para avaliar a viabilidade técnica e econômica para implementação dos cenários C e D na otimização dos sistemas de iluminação e climatização de ambientes. Considerando o custo atual da energia elétrica para pelo Universidade, a economia gerada pela combinação dos dois cenários (iluminação e climatização) seria da ordem de R\$27.495,00 por ano.

O uso de geração fotovoltaica, conectada ou não à rede, são outros cenários também precisam ser investigados num estudo futuro com o

intuito de concluir um levantamento mais completo para o aumento do desempenho energético do Edifício Acadêmico II do *campus* Baixada Santista da UNIFESP. A instalação de um sistema de geração fotovoltaica apresenta impacto não apenas no consumo de energia do edifício, mas também na capacitação dos profissionais das áreas de Engenharia Ambiental e Engenharia de Petróleo formados pela universidade.

5.0 REFERÊNCIAS

- [1] Péres-Lombard, L. Et al. A review on buildings energy consumption information. *Energy and buiklings* 40 (2008) 394 – 398.
- [2] Fossatu, M.; Et al. Building energy Efficiency: An overview of the Brazialian residential labeling scheme. *Renewable and sustainable energy reviews* 65(2016) 1216-1231.
- [3] Khatami, N; Et al. Improving termal comfort and indoor air quality through minimal interventions in office buildings. *Energy procedia* 111 (2017) 171-180.
- [4] Crawley, D.B. Estimating the impacts of climate change and urbanization on building performance. *Jornal of Building performance simulation* (2008).
- [5] Westphal, F. S.; Marinosky, D. L.; et al. Proposta de *retrofit* para o sistema de iluminação artificial da UFSC. IX encontro nacional de tecnologia no ambiente construído – Entac (2002).
- [6] Ramos, A; Gago, A; Et al. The Role of information for energy efficiency in the residential sector. *Energy economics* 52(2015) S17-S29.
- [7] Oliveira, L. S.; Et al. Proposed business plan for energy efficiency in Brazil. *Energy Police* 61(2013) 523-531.
- [8] Gonçalves, I. P. Relação custo benefício de medidas de conservação de energia em *retrofit* de edifício de escritório na zona bioclimática 02. Dissertação, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas-RS. Brasil (2017).
- [9] Mardookhy, M.; Sawhney, R.; Et al. A study of energy efficiency in residential buildings in Knoxville, Tennessee. *Journal of cleaner production* 85 (2014) 241-249.
- [10] El-Darwish, I.; Gomaa, M. Retrofitting strategy for buildings envelopes to achieve energy efficiency. Departamento f Architetura, Faculty of Engineering, Tanta University, Egypt. *Alexandria Engineering Journal* 56 (2017) 579-589.
- [11] Golbazi, M; Et al. Energy efficiency of residential buildings in the U.S:

Improvement potential beyond IECC. *Building and environment* 142(2018) 278-287.

[12] Wash, A. ; Et al. Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs. *Building and Environment* 112 (2017) 337-350.

[13] Crawley, D. B.; *Building Performance Simulation: A Tool for Policymaking*. Energy Systems Research Unit Department of Mechanical Engineering University of Strathclyde Glasgow, Scotland, UK. (2008).

[14] Desempenho Térmico de Edificações, parte 03: Zoneamento biclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitação unifamiliars de interesse social. NBR 15220 – ABNT (2003).

[15] Im, J.; SEO, Y.; Et al. Energy efficiency in U.S. residential rental housing: Adoption rates and impact on rent. *Applied energy* 205 (2017) 1021-1033.

[16] Ye, X. Xia, L.; Et al. Optimal Maintenance planning for sustainable energy efficiency lighting retrofit projects by a control system approach. *Control Engineering Practice* 37 (2015) 1-10.

[17] Lobão, J. A.; Devezas, T.; Et al. Energy efficiency of lighting

installations: Software application and experimental validation. *Energy reports* 1 (2015) 110-115.

[18] Yuan, Y.; Yu, X.; Et all. Bionic building energy efficiency and bionic green architecture: A review. *Renewable and sustainable energy reviews* 74 (2017) 771-787.

[19] Klimczak, M. Bojarski, J. Et al. Analysis of the impact of simulation model simplifications on the quality of low-energy buildings simulation results. *Energy & Buildings* 160 (2018) 141-147.

[20] Zomorodian, Z. S.; Tahsildoost, M. Energy and carbon analysis of double skin facades in the hot and dry climate. *Journal of Cleaner Production* 197 (2018) 85-96.

[21] Casquero-Modrego, N. Goñi-Modrego, M. Energy retrofit of an existing affordable building envelope in Spain, case study. *Sustainable cities and Society* 44 (2019) 395-405.

[22] Hestnes, A. G. Kofoed, N. U. Effective retrofitting scenarios for energy efficiency and comfort: results of the design and evaluation activities within the office project. *Building and Environment* 37 (2002) 569-574.

[23] LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Link: <http://projeteee.mma.gov.br/>.

