

Utilização de BIM na melhoria do desempenho energético em edifícios comerciais

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.24>

Rodrigo C. Betim¹, Maria João Falcão Silva²,
Fernando F. S. Pinho³

¹ *NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA | Portugal*

² *Laboratório Nacional de Engenharia Civil | Portugal*

³ *CERIS | NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA | Portugal*

Resumo

O Building Information Modeling (BIM) oferece uma nova abordagem nos processos de controlo e gestão de toda a informação criada e desenvolvida na fase de projeto pelas várias especialidades, bem como por todos os intervenientes durante o ciclo de vida dos edifícios, através da criação de um modelo digital. A reabilitação de edifícios tem vindo a crescer nos últimos anos e é atualmente uma das áreas com maior investimento a nível mundial. Um dos principais objetivos da reabilitação de edifícios é aumentar o seu ciclo de vida, consumindo menos material e energia, em comparação com os recursos exigidos pelas novas construções. A eficiência energética dos edifícios nos últimos anos tem sido abordada em todo o mundo como um dos fatores fundamentais para uma melhor utilização dos recursos naturais e, consequentemente, para a redução da pegada de carbono.

O principal objetivo deste trabalho é evidenciar a importância da reabilitação energética de edifícios, através do desenvolvimento de modelos energéticos baseados em ferramentas BIM. O procedimento adotado pode servir como guia prático noutras situações e projetos semelhantes pela sua facilidade de aplicação a outros edifícios. O trabalho apresentado consiste na simulação energética em BIM de uma intervenção do uso e ocupação de uma grande área comercial, na área metropolitana de Lisboa. Prevê-se, com o procedimento proposto, apresentar a comparação entre ganhos de desempenho em termos de eficiência energética, considerando o período de retorno do investimento e custos associados a nova alternativa de reabilitação, assim como o balanço a análise da emissão de CO₂.

Palavras-chave: BIM; Reabilitação energética de edifícios; Edifícios comerciais; Eficiência energética.

1. Introdução

Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo total de energia na Europa, e representam um terço das emissões globais de gases de efeito estufa [1]. Reabilitar é tornar os edifícios mais eficientes, permite atingir vários objetivos em simultâneo, seja pela redução do consumo de energia e das emissões de gases com efeito estufa, seja pelo aumento da vida útil dos edifícios, com consequente rentabilização dos recursos ambientais já investidos [2, 3].

O BIM incorpora muitas das funções e ferramentas necessárias para modelar o ciclo de vida de uma edificação, através da construção de um modelo virtual preciso e digital, com características físicas e funcionais, que permite a troca eficiente de dados dentro dos processos de conceção, construção e manutenção de um determinado ativo construído [4]. Dada a riqueza da informação, o modelo digital pode ser aplicado ao sector da reabilitação, ao utilizar a dimensão BIM 6D que permite executar análises energéticas detalhadas, avaliar o impacto ambiental, realizar medições e verificações com vista a um melhor desempenho energético [5].

Este artigo pretende apresentar uma proposta de guião para a construção de modelos de energia para edifícios a serem reabilitados e que pode ser aplicado a qualquer ferramenta BIM de análise energética, sendo apresentadas diretrizes e informações que são atribuídas ao modelo, e que podem ser alteradas e comparadas ao longo do processo de elaboração dos projetos, com o objetivo de definir, no final, quais opções mais adequadas, tendo em conta o custo de investimento, de exploração, de manutenção e do desempenho energético que contribui com a pegada de carbono.

2. Enquadramento conceptual

A quantidade de informação envolvida em qualquer projeto de construção e a necessidade de controlar tempos, custos e desperdícios, estabeleceu e fortaleceu o BIM como parte integrante do setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), com vista à promoção da interoperabilidade de informação e uma comunicação adequada entre as várias equipas envolvidas nos projetos. O BIM pode ser adotado em qualquer fase do ciclo de vida de um empreendimento, nomeadamente nas fases de projeto, construção e/ou exploração [6].

Os modelos paramétricos são características do BIM que agregam grandes vantagens para os intervenientes no setor. Dado que são definidos parâmetros para um objeto, ao alterar algum desses parâmetros, a mudança repete-se de forma automática em todos os objetos semelhantes, permitindo assim a possibilidade de se testar várias alternativas e avaliar os seus efeitos nas construções. É de referir que são estes parâmetros que permitem a extração de informações, como tabelas de quantidades de materiais [5].

O BIM tem sido utilizado em diversos estudos de reabilitação energética ao longo dos anos, comprovando desta forma os benefícios da utilização desta metodologia

em análises deste tipo. Reabilitar do ponto de vista energético consiste em otimizar a eficiência dos sistemas de climatização e iluminação, de forma a reduzir o custo associado ao consumo atual de energia e, se possível, recorrer à introdução de dispositivos que permitam o aproveitamento de energia a partir de fontes renováveis. [7] Em casos de estudo recentemente publicados, for possível comparar de forma rápida e eficaz diferentes soluções de reabilitação através do acesso a informação prévia como os consumos, o balanço energético e o impacto ambiental. Estas informações permitem que, ainda numa fase inicial, o projetista, o dono de obra e empreiteiro possam decidir de forma mais sustentada as suas ações de forma a otimizar todo o projeto e intervenções de reabilitação [5]. É de referir ainda um estudo que estabelece fases distintas e sequenciais para a elaboração do modelo de energia em projetos de reabilitação, apresentando premissas de implantação e integração de dados entre o modelo BIM e o software de simulação de energia. É ressalvada também a necessidade de criar sistemas que permitam calibrar a simulação de energia usando dados de contas reais de serviços públicos. Ao utilizar o BIM, torna-se possível elaborar opções para uma renovação com enfoque na componente energética onde o modelo final deve ser baseado em análises de custo-benefício detalhadas que incluem considerações ambientais (economia de energia), bem como fatores económicos, como retorno sobre o investimento ou período de retorno [8].

3. Guia orientativo para simulação energética em BIM

Na sequência do caso de estudo que envolve a reabilitação dos sistemas de climatização de um edifício comercial, observou-se a necessidade de se ter mecanismos digitais de simulação em BIM, para avaliar as condições reais de funcionamento do edifício existente e comparar com as possíveis alterações do projeto de reabilitação. O guia foi dividido em quatro etapas:

3.1. Etapa 1 (construção e validação do edifício existente)

Corresponde à obtenção e estruturação da informação dos dados do edifício existente, sendo importante a validação do modelo com base no consumo real das contas do serviço público (Figura 1).

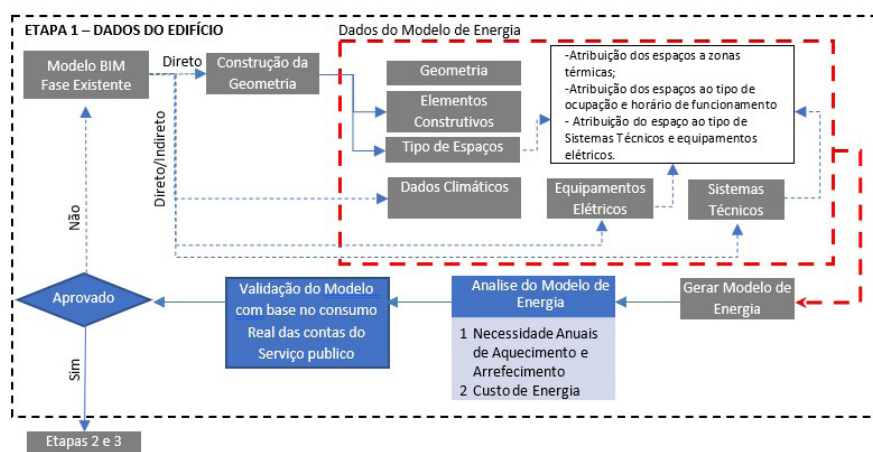


Figura 1
Fluxo de trabalho da Etapa 1 (Edifício existente) para criação e análise da simulação energética em BIM, adaptado de [9].

Os materiais dos elementos construtivos devem ter as seguintes propriedades claramente definidas: espessura, e (m), condutividade térmica, λ [W/(m.K)], calor específico, c (J/g.°C) e massa volúmica, ρ (kg/m³) para os cálculos da resistência térmica, R (m².K/W) e coeficiente de transferência de calor, U [W/(m².K)], para vãos envidraçados os parâmetros complementares são designadamente transmissão de luz visível e fator solar [10]. É preciso saber o tipo de espaço a que cada ambiente pertence e definir parâmetros como área por pessoa, ganho de calor (sensível e latente) por pessoa, perfis de ocupação, taxas de ventilação, períodos de utilização dos equipamentos elétricos, tipo de zona térmica que se define como o espaço ou conjunto de espaços passíveis de serem considerados em conjunto devido às suas similaridades em termos de perfil de utilização dos sistemas técnicos. O sistema técnico é definido como o conjunto dos equipamentos associados ao processo de climatização, incluindo o aquecimento, arrefecimento e ventilação natural, mecânica ou híbrida, a preparação de águas quentes sanitárias e a produção de energia renovável, bem como, nos edifícios de comércio e serviços, os sistemas de iluminação e de gestão de energia, os elevadores e as escadas rolantes [11].

Após inserir os dados e gerar o modelo de energia através da ferramenta de análise, são obtidas informações das necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento para serem transformadas em custo de energia e comparadas com o consumo real das contas do serviço público referente ao sistema de climatização, após a validação do modelo os dados de consumo são armazenados para serem utilizados na Etapa 3 e o modelo segue para a Etapa 2.

3.2. Etapa 2 (alternativa de reabilitação ao modelo existente)

A segunda etapa é destinada a elaboração de alternativas de reabilitação do modelo da Etapa 1 com aplicação dos regulamentos vigentes (Figura 2).

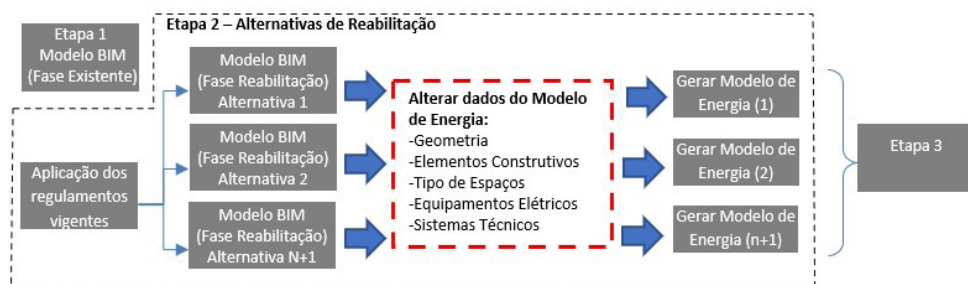


Figura 2
Fluxo de trabalho da Etapa 2 para criação e análise da simulação energética em BIM, adaptado de [9].

Em Portugal, a primeira legislação com preocupação relativa ao comportamento térmico e eficiência energética de edifícios, data de 1990, com a publicação do Decreto-Lei 40/90. Desde então, a regulamentação tem estado em constante alteração e reformulação, devido tanto à transposição das Diretivas Europeias, como pelas preocupações em adotar metodologias mais eficientes e que procurem traduzir um melhor comportamento do edifício [13]. Atualmente, vigora o Decreto-Lei 101D/2020, que revogou o Decreto-Lei 118/2013, e define os novos requisitos aplicáveis aos edifícios para melhoria do seu desempenho energético.

Ainda na Etapa 2 são feitas alterações nos parâmetros dos dados do modelo de energia de acordo com cada alternativa de reabilitação. Após gerar os modelos de energia, os dados das análises devem seguir para a Etapa 3.

3.3. Etapa 3 (análise comparativa do consumo de energia dos modelos de energia)

A terceira etapa refere-se à comparação entre os modelos de energia do edifício existente (Etapa 1) com os modelos de energia gerados para cada opção de intervenção de reabilitação (Etapa 2), analisando as necessidades anuais de energia ao longo de todo o ano, os respetivos custos de energia, consumo de energia primário e as emissões de CO₂. A necessidade de energia tem o objetivo de mostrar a influência de aquecimento e arrefecimento existente no edifício para cada mês do ano, sendo possível estudar os fatores de maior influência na necessidade do uso de climatização e sugerir alterações para a sua minimização, auxiliando na escolha das soluções construtivas, assim como dos sistemas de climatização e equipamentos, tendo em vista uma maior eficiência energética da edificação [14]. Na realização de um estudo energético em edifícios, é importante analisar também a emissão de gases de efeito estufa (CO₂) que o consumo de energia provoca, e pensar em alternativas que possam auxiliar a reduzir este consumo.

3.4. Etapa 4 (análise financeiras entre os modelos de energia)

A quarta etapa corresponde à análise do nível ótimo de rentabilidade, definido como o desempenho energético que leva ao menor custo ao longo do ciclo de vida económico estimado. Tendo como princípio o comparativo dos dados obtidos da Etapa 3 da necessidade de energia e o cálculo do custo global (custo de investimento, manutenção e os custos de exploração do edifício ao longo do seu período de vida) das opções estudadas no edifício, obtém-se a análise do nível ótimo de rentabilidade [7]. Através destes dados pode-se extrair o período de retorno do investimento para cada análise e encontrar quais soluções satisfazem o melhor desempenho energético e financeiro.

4. Resultados do caso de estudo

4.1. Localização e caracterização geral

O Caso de Estudo corresponde a uma superfície comercial, localizada na Área Metropolitana de Lisboa, onde se prevê alterações na utilização e ocupação na região do Food Court, e consequentemente, alterações ao nível dos consumos de energia do sistema de climatização. A área do caso de estudo (Etapa 1 – Edifício existente) corresponde a 3.283m², contemplando estabelecimentos de restauração, sendo que para a Etapa 2 (Alternativa de reabilitação) a área do estudo reduz cerca de 53,79% o que corresponde a 1.517m², contemplando estabelecimentos de retalho. As áreas do estudo estão representadas na Figura 3.

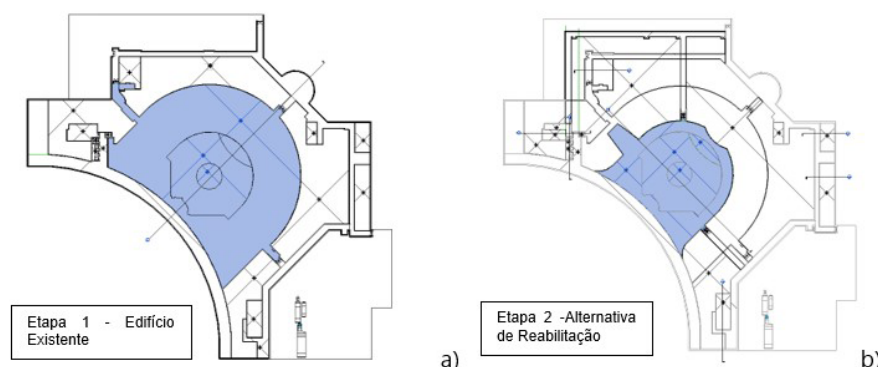


Figura 3
Áreas para Caso de Estudo: a) Etapa 1 (Edifício Existente); b) Etapa 2 (Alternativa de Reabilitação).

4.2. Construção do Modelo Existente

Foi realizado uma análise do Relatório do Certificado Energético do edifício em estudo e durante a visita ao local, por forma a produzir um modelo o mais aproximado possível das condições reais e atuais de uso e ocupação do edifício existente. O modelo de arquitetura para o estudo de caso foi simplificado, contendo apenas paredes, lajes, telhado, forros, portas e vão envidraçados; elementos estruturais como pilar e vigas não foram considerados neste modelo.

Tendo por base a metodologia BIM, uma grande vantagem do Revit, programa utilizado neste estudo de caso, é a possibilidade de criar, com precisão aprofundada, materiais que representam a realidade das suas propriedades térmicas, as quais podem ser editadas caso necessário. O programa realiza um cálculo automático da resistência térmica dos componentes construtivos, R , a partir das espessuras e valores de condutibilidade térmica de cada camada de material. Entretanto o programa não conta as resistências térmicas superficiais interiores e exteriores dos elementos no cálculo da resistência térmica total de ambiente a ambiente, R_e , e, conseqüentemente, no coeficiente de transmissão térmica, U [14], conforme indicado nas publicações do LNEC (ITE50). Assim, foi inserido uma camada interna e externa nos elementos construtivo com espessuras e parâmetros para considerar a resistência térmica superficial e averiguar os valores dos coeficientes de resistência térmica (R) e de transmissão térmica (U), no Revit, com base no documento ITE50.

Na construção do modelo existente é importante criar zonas térmicas e configurar os espaços do projeto, pois as cargas internas do edifício são provenientes do tipo de espaço, sendo possível configurar de acordo com as características de uso, ocupação e o tipo de condição de climatização. Para os dados de ocupação foi feita uma análise das informações obtidas pelo programa de gestão energética WiseMetering, fornecido pela empresa que administra o edifício, o que proporcionou maior assertividade na construção do modelo existente.

4.3. Análise e validação do modelo de energia com o consumo real

Uma forma encontrada para validar o modelo de energia do edifício existente com os dados reais de consumo foi através da análise do relatório de cargas térmicas do Revit de aquecimento e arrefecimento. Foi adotado que os equipamentos funcionam 16h em função da ocupação e horário de funcionamento do edifício, e durante os 365 dias do ano que gera um total de 4.480.588 kWh/ ano. Através dos dados fornecidos de 2019 pela empresa que administra o edifício, foi possível obter o consumo de energia térmica de água fria das UTA's da região do Food Court no total de 4.417.966 kWh/ano. Portanto o desvio obtido foi de 1,4%, assim o modelo em condições reais é válido, pois o desvio é de 10% em relação ao consumo energético do edifício ao longo do ano [15].

4.4. Modelação da alternativa de reabilitação

Um dos grandes recursos dos programas BIM é a capacidade de acumular informações em diferentes fases do projeto. Sendo assim, é possível utilizar o modelo desenvolvido na Seção 4.4 e criar uma nova fase no Revit, a que foi dado o nome de "Alternativa de Reabilitação". Nesta fase foram realizadas diversas alterações no projeto como retirada de parede e lajes (demolição), criação de novos elementos construtivos (paredes, lajes, pisos, portas). A Figura 4.24 apresenta as alterações no Piso 2 e no Piso 3 com relação à arquitetura, mostrando o contraste da parte nova (vermelho) e da parte a ser demolida (amarelo). O Piso 1 não sofreu alterações.



Figura 4
Projeto da Alternativa de Reabilitação.

Foram criadas novas zonas térmicas em função dos novos espaços e devido as alterações de uso e ocupação, já o tipo de sistema de climatização foi mantido por possuir características adequadas de funcionamento dos novos espaços e zonas térmicas. Para a realização da simulação dinâmica, os valores do coeficiente de transmissão térmica (U) da cobertura, parede e pisos internos e da fachada envidraçada foram mantidos, tendo os valores do U de todas as paredes externas sido redefinidos para

fazer a verificação do valor de referência do U de acordo com a regulamentação vigente [A Portaria n.º 17-A/2016].

4.5. Comparação entre modelos de energia (etapa 1 vs etapa 2)

Nesta seção apresenta-se a comparação dos dados gerados nos modelos de energia do edifício existente e a alternativa de reabilitação, onde o foco é verificar qual o impacto da carga de arrefecimento para a área do Food Court que foi modificado e reduzida para uma área de saguão em função da modificação do tipo de ocupação (restauração para retalho).

Os dados apresentados na Tabela 1 mostram a influência da alteração de ocupação. Verifica-se uma redução: i) de área e volume em 53%; ii) do valor do consumo em cerca de 44%; iii) do impacto do número de pessoas em apenas 31%.

Tabela 1
Dados Comparativo Edifício Existente x Alternativa de Reabilitação.

Fases (Edifício)	Nº de Pessoas	Volume (m ³)	Área (m ²)	Carga de Arrefecimento (kWh/ano)
Existente	1817	25062	3.282	4480588
Alternativa de Reabilitação	1248	11771	1.517	2523522
Diferenças	-569	-13291	-1765	-1957066
Desvio [%]	-31,3	-53,0	-53,8	-43,7

Através do relatório de carga térmica do Revit é possível identificar quais as componentes que mais contribuem para as necessidades de arrefecimento (Figura 5)

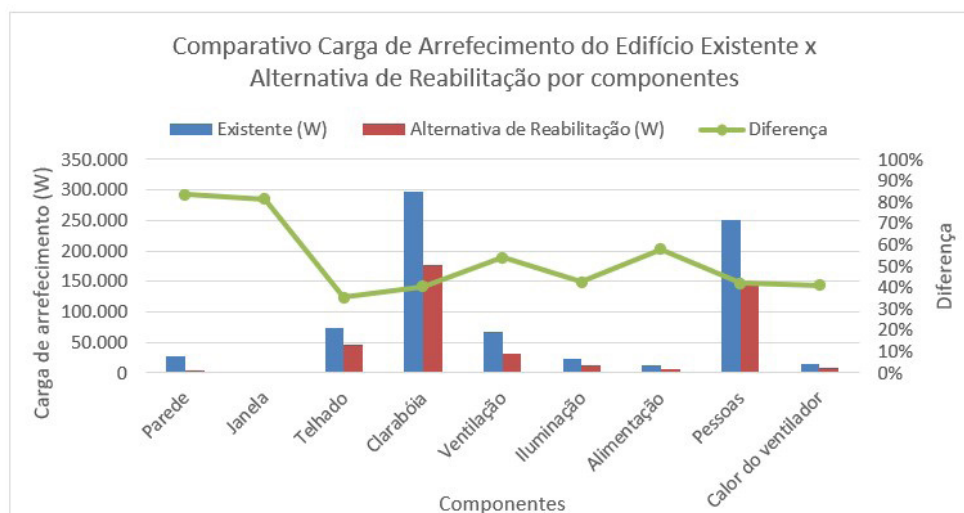


Figura 5
Carga de arrefecimento por componentes (Edifício existente x Alternativa de Reabilitação).

Nesta etapa é feito o comparativo da energia primária (Ep) e do Custo de Energia para os dados do edifício existente e da alternativa de reabilitação, representados na Tabela 2.

Fases (Edifício)	Área	Nvc (kWh/m ² .ano)	Ep (kWh/m ² .ano)	kgCO ₂ / ano	Custo Energia [€/kWh] /ano
Edifício Existente (a)	3282	1365	512	241831	191449
Alternativa de Reabilitação (b)	1517	1663	623	136202	107827
Diferenças (b-a)		298	112	105629	-83623
Desvio		22%	22%	-44%	-44%

Tabela 2

Análise comparativa de Energias do Edifício Existente x Alternativa de Reabilitação.

Com os dados obtidos, ao analisarmos os valores Ep (kWh/m².ano), pode-se afirmar que o consumo de energia da Alternativa de Reabilitação por metro quadro esta 22% maior que a do edifício existente, podendo ter como fator influência a alteração do uso e ocupação do espaço. Outro ponto de análise da Tabela 2 é que ao analisarmos o custo de energia no ano total, em função da área do edifício existente ser maior o custo de energia da alternativa de reabilitação é 44% menor que o consumo de energia do edifício existente.

4.6. Análise financeiras entre os modelos de energia (Etapa 4)

Para este estudo foi feito uma análise sobre a alternativa de reabilitação já definida para a área do Food Court, e o propósito foi demonstrar o impacto desta alternativa em comparação com as condições existentes do edifício. Neste caso, como se trata de uma solução (alternativa de reabilitação) já adotada não tendo outras soluções (alternativas), o custo ótimo acaba sendo o da alternativa de reabilitação. Os cálculos a seguir não levaram em consideração os custos de manutenção tanto do edifício existente quanto da alternativa de reabilitação, na Tabela 3 representa os resultados do custo global de acordo com o regulamento delegado (UE) N° 244/2012 para 20 anos, tendo como taxa de desconto de 4% de juros (constante) e apresenta o período de retorno do investimento conforme Despacho (extrato) n.º 15793-L/2013 [16].

Dados	Edifício existente	Alternativa de reabilitação
Área útil (m ²)	3282	1517
Custo de Investimento (€)	0,00	1552324
Custo de Investimento (€)/m ²	0,00	1023
Custo Global (Cg) (€)	4662330	4178206
Custo Global (Cg) (€/m ²)	1421	2754
Custo de Exploração (20 anos)	4662331	2625882
Fator de Desconto (Rd,i)		0,46
Período de Retorno		15 Anos

Tabela 3

Análise do Custo Global e do Período de Retorno.

Ao analisar o Custo Global (Cg) (€/m²), verificou-se que a alternativa de reabilitação não apresenta ganhos financeiros comparados com o valor do Edifício existente. Por outro lado, ao analisarmos o custo Custo Global (Cg) (€) ao longo de 20 anos o custo de exploração é maior do edifício existente em função da área ser maior, onde é possível obter o período do retorno do investimento para este setor do edifício em 15 anos.

Conclusões

Aliar o BIM à análise energética de um edifício reabilitado, permite validar soluções mais sustentáveis para o ambiente que maximizem o potencial do edifício, tornando-as mais vantajosas não só para o dono de obra, como para todos os intervenientes e/ou gestores do edifício.

O sistema de climatização é influenciado pelos ganhos térmicos das envolventes e pelo tipo do espaço e ocupação, como visto nos resultados obtidos; desta forma, este trabalho proporciona um mecanismo para auxiliar os gestores para avaliar se as características dos materiais e equipamentos atendem às necessidades do projeto e do cliente. A análise feita em função do consumo de energia por metro quadrado e do custo global por metro quadrado, demonstrou que a solução adotada para o modelo da alternativa de reabilitação em função das necessidades de energia do novo uso do espaço, apresentou condições inferiores comparada com o edifício existente.

O objetivo deste artigo foi de servir, para a classe académica e dos profissionais do setor, como um guia orientativo para a construção de um modelo de energia, onde se apresentam os principais parâmetros térmicos e normativos para elaborar um modelo de energia de um edifício existente, validar este modelo energético e extrair informações para uma melhor análise das cargas térmicas do edifício existente e das soluções propostas de reabilitação.

Referências

- [1] Brandão de Vasconcelos, A; Pinheiro, M D; Manso, A; & Cabaço, A (2016) EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building Energy and Buildings, <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.006>
- [2] Prosil, L (2017) A sustentabilidade na reabilitação de um edifício habitacional – caso de estudo, Dissertação de Mestrado Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal
- [3] Resolução do Conselho de Ministros nº 53/2020, Plano Nacional Energia e Clima 2030
- [4] Eastman, C; Teicholz, P; Sacks, R; Liston, K (2011) BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd Edition
- [5] Silva, S (2019) Aplicação do BIM à Reabilitação Energética de um Edifício Público, Dissertação de Mestrado, FCT NOVA, Lisboa, Portugal
- [6] Pandeli, C; Kylili, A; Fokaides, P A (2020) Building information modelling applications in smart buildings: From design to commissioning and beyond

- A critical review, *Journal of Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.12.1766> 8
- [7] Almeida, M; Ferreira, M; Rodrigues, A (2013) Metodologia para determinação de soluções de custo ótimo *Revista Materiais de Construção*
- [8] Khaddaja, M; Srour, I (2016) Using BIM to Retrofit Existing Buildings, *Proceeding Engening*, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.192>
- [9] Jungsik, C; Jihye, S ; Minchan, K; Inhan, K (2016) Development of openBIM-based energy analysis software to improve the interoperability of energy performance assessment Automation in Construction, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.07.004>
- [10] Isayeva, A (2018) Aplicação do BIM à Avaliação e Gestão da Eficiência Energética de Edifícios Públicos Dissertação de Mestrado, Univesidade de Aveiro, Portugal
- [11] Pretti, A (2019) Interoperabilidade BIM e BEM: Avaliação de eficiência do sistema na análise energética de edifícios, Dissertação de Pós Graduação, Universidade do Espírito Santo, Brasil
- [12] Moreira, P (2020) Transposição da Nova Diretiva Europeia EPBD2018 para a regulamentação térmica em Portugal, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto, Portugal
- [13] Decreto-Lei nº 101-D/2020, Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944
- [14] Queiroz, G. R. de. (2016) Análise Da Interoperabilidade Entre Os Programas Computacionais Autodesk Revit E Energyplus Para a Simulação Térmica De Edificações. Retrieved from <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7939>
- [15] J de J da C Gomes (2012) Simulação dinâmica detalhada de um grande edifício no âmbito do RSECE, Dissertação de Mestrado , Universidade do Minho
- [16] Betim, R. (2022) BIM na reabilitação energética de edifícios comerciais. Aplicação a sistemas de climatização, Dissertação de Mestrado, FCT NOVA, Lisboa, Portugal.