

**INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E DE GESTÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DA CONSTRUÇÃO**

JÚLIA CARVALHO ALVARENGA

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO FINANCEIRA NA DECISÃO DE
VIABILIDADE DE INVESTIMENTO EM REABILITAÇÃO ENERGÉTICA EM UM
EMPREENHIMENTO**

BRAGANÇA

2021

APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO FINANCEIRA NA DECISÃO DE VIABILIDADE DE INVESTIMENTO EM REABILITAÇÃO ENERGÉTICA EM UM EMPREENDIMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia da Construção do Instituto Politécnico de Bragança (IPB) no contexto do programa de Dupla Diplomação com o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG) como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia da Construção.

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Lopes

Co-orientador:

Prof. Dr. Rui Alexandre Fig. de Oliveira

BRAGANÇA

2021

AGRADECIMENTOS

Por meu trabalho concluído, agradeço ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG pela oportunidade e por me proporcionarem condições de realizar um mestrado no Instituto Politécnico de Bragança – IPB, e agradeço também ao IPB pela oportunidade, por me receberem e terem dado o suporte necessário para que eu concluísse mais essa etapa.

Agradeço também ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Lopes e ao meu co-orientador Prof. Dr. Rui Oliveira pelos ensinamentos, ao Prof. Dr. Orlando Soares pela ajuda de grande valor, e a todos os professores que me auxiliaram durante a pesquisa.

Agradeço aos meus pais, familiares e amigos do Brasil que torceram por mim e se fizeram presentes mesmo de longe, e aos amigos de Portugal que caminharam comigo nessa jornada e fizeram com que esse processo fosse mais leve.

RESUMO

As empresas estão recorrendo cada vez mais a instrumentos financeiros para gerir seus negócios a fim de impulsionar seu desenvolvimento, sua eficiência de gestão e seus resultados, de forma que a avaliação financeira de empreendimentos vem ganhando destaque nas decisões de investimento. A base lógica é que a tomada de decisões deve ser fundamentada em informações que considerem resultados a longo prazo. Outro grande investimento das empresas nos dias atuais, se dá no âmbito da esfera de sustentabilidade e ambiental, sendo que um empreendimento que se adequa às normas sustentáveis ganha vantagem competitiva no mercado, se tornando uma questão estratégica que gera oportunidades de negócios. Tendo isso em vista, esse trabalho teve como objetivo analisar a aplicação de métodos de avaliação financeira na decisão de investimentos de reabilitação energética em um empreendimento, por meio da modelagem e simulação de consumo energético de uma edificação no software DesignBuilder, com a interface Energy Plus. Os resultados desse trabalho indicaram vantagens em se adotar algumas das medidas de mudanças sugeridas, ao se obter um bom retorno de investimento, em termos de tempo de retorno e nos benefícios gerados, sendo que outras medidas não se demonstraram ser financeiramente viáveis para serem implementadas. Com isso, concluiu-se que há necessidade de aplicação de métodos financeiros para a análise de viabilidade de investimentos de forma a não se obter prejuízos. Algumas sugestões para futuro desenvolvimento na área de reabilitação energética foram também propostos.

Palavras-chave: Avaliação financeira; benefícios; custos; investimento; reabilitação energética; setor de construção.

ABSTRACT

Companies have been increasingly using financial instruments to manage their businesses in order to boost their development, managerial efficiency and results, in the way that financial evaluation of projects has been gaining prominence in investment decisions. The rationale is that companies have to make decisions based on information that considers long-term results. Another major area of investment by companies nowadays is in the sustainability and environmental sphere, and a project that complies with sustainable standards gains a competitive advantage in the market, becoming a strategic issue that generates business opportunities. With this in mind, this work aimed to analyse the application of financial evaluation methods in the decision to invest in an energy rehabilitation project, through the modelling and simulation of energy consumption of a building in the DesignBuilder software, with the Energy Plus interface. The results of this work showed advantages in adopting some of the suggested measures of changes, as they generated a good return on investment, both in terms of time and of financial benefits, whereas other measures were not considered financially feasible to be implemented. In this way, it is concluded that there is a need to apply financial methods for the analysis of the viability of investment in order to not obtain losses. Some suggestions for further development were put forward.

Keywords: Benefits; building rehabilitation; construction sector costs; financial evaluation; investment.

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Consumos de energia a considerar no IEEs e IEEt..... | 31 |
| Quadro 2 - Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo de edifício e a sua situação. | 32 |
| Quadro 3 – Municípios de Alto Trás-os-Montes. | 42 |
| Quadro 4 – Critérios para a determinação da zona climática de inverno. | 42 |
| Quadro 5 – Critérios para a determinação da zona climática de verão..... | 42 |
| Quadro 6 – Valores de referência e declives para ajuste de altitude para estação de aquecimento..... | 44 |
| Quadro 7 – Valores de referência e declive para ajuste de altitude na estação de arrefecimento. | 44 |
| Quadro 8 – Consumos de energia anual no edifício sem intervenção (Cenário 0). .. | 47 |
| Quadro 9 – Consumo de energia anual no edifício implementado com cada medida de melhoria (kWh). | 48 |
| Quadro 10 – Alterações no consumo energético. | 48 |
| Quadro 11 – Custo de isolamento das paredes (€/m ²)..... | 52 |
| Quadro 12 – Custo de revestimento das paredes (€/m ²). | 52 |
| Quadro 13 – Custo de isolamento da cobertura (€/m ²). | 53 |
| Quadro 14 – Custo de lâmpadas LED, (€/unidade)..... | 54 |
| Quadro 15 – Custos do sistema de aquecimento a gás (€/unidade)..... | 54 |
| Quadro 16 – Orçamento de bomba de calor (€/unidade). | 55 |
| Quadro 17 – Custos de investimento das medidas de melhoria. | 55 |
| Quadro 18 - Custos anuais de eletricidade e gás natural no edifício sem intervenção e para cada medida de melhoria (€)..... | 56 |
| Quadro 19 – Cálculo de redução de custos (€). | 57 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Fluxograma do método de procedimentos. | 36 |
| Figura 2 – Vista frontal da edificação. | 39 |
| Figura 3 – Projeto da cave. | 39 |
| Figura 4 – Projeto do rés do chão. | 40 |
| Figura 5 – Projeto do primeiro pavimento. | 40 |
| Figura 6 – Projeto do segundo pavimento..... | 40 |
| Figura 7 – Projeto do aproveitamento da cobertura. | 41 |
| Figura 8 – Corte da edificação. | 41 |
| Figura 9 – Zonas climáticas de inverno (esquerdo) e verão (direito) no continente. . | 43 |
| Figura 10 – Modelo em 3D do edifício do Seminário de São José..... | 46 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| ABC | Análise de Benefício-Custo |
| BC | Banco Central do Brasil |
| BL | Benefícios Líquidos |
| BTU | British Thermal Unit |
| CAPM | Modelo de Precificação de Ativos de Capital |
| CFC | Clorofluorcarboneto |
| CUB | Custo Unitário Básico |
| ELPRE | Estratégia de Longo Prazo de Renovação de Edifícios |
| EM | Estados Membros |
| EPS | Poliestireno expandido |
| GD | Graus-dias |
| GES | Grande edifício de comércio e serviço |
| HCFC | Hidroclorofluorcarbonetos |
| IBGE | Índice Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICB | Aglomerado negro de cortiça |
| IEE | Indicador de Eficiência Energética |
| IGP | Índice Geral de Preços |
| INCC | Índice Nacional do Custo da Construção |
| INPC | Índice Nacional de Preços ao Consumidor |
| IPA | Índice de Preços ao Consumidor |
| IPCA | Índice de Preços ao Consumidor Amplo |
| IVA | Imposto sobre valor agregado |
| LCC | Custo do Ciclo de Vida |
| LDA | Limitada |
| LTRS | <i>Long-term Renovation Strategies for Mobilising Investment in the National Stock of Buildings</i> |
| MW | Lã mineral |
| NS | <i>Net Savings</i> |
| NUTS | Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos |
| PEFC | <i>Programme of Endorsement for Forest Certification Schemes</i> |
| PES | Pequeno edifício de comércio e serviço |

| | |
|-------|---|
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PUR | Espuma de poliuretano |
| PRE | Plano de Racionalização Energética |
| RCCTE | Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios |
| RECS | Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços |
| REH | Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| TMA | Taxa Mínima de Atratividade |
| UE | União Europeia |
| VPL | Valor Presente Líquido |
| WACC | Custo Médio Ponderado do Capital |
| XPS | Poliestireno extrudido |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------------|------------------------------------|
| % | Porcentagem |
| °C | Graus Celsius |
| α | Alfa |
| β | Beta |
| θ | Teta |
| € | Euro |
| A | Ampère |
| B | Benefícios |
| C | Custos |
| cm | Centímetros |
| dB | Decibeis |
| E | Leste |
| g | Gramas |
| L | Litros |
| lm | Lúmens |
| h | Horas |
| m | Metros |
| m ² | Metros quadrados |
| m ³ | Metros cúbicos |
| mm | Milímetros |
| N | Norte |
| NE | Nordeste |
| NW | Noroeste |
| K | Kelvin |
| k | kilo |
| kg | Quilogramas |
| km | Quilômetros |
| S | Sul |
| SE | Sudeste |
| SW | Sudoeste |
| U | Coeficiente de transmissão térmica |

| | |
|---|-------|
| V | Volt |
| W | Oeste |
| W | Watts |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | ENQUADRAMENTO DO TEMA | 1 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 4 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 4 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 4 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA..... | 5 |
| 1.4 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO..... | 7 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 8 |
| 2.1 | AVALIAÇÃO FINANCEIRA DE INVESTIMENTOS | 8 |
| 2.1.1 | Investimento | 8 |
| 2.1.1.1 | Risco..... | 9 |
| 2.1.1.2 | Custo de Oportunidade..... | 10 |
| 2.1.2 | Taxa de Desconto..... | 10 |
| 2.1.2.1 | Taxa de Desconto Nominal e Taxa de Desconto Real | 12 |
| 2.1.2.2 | Como estabelecer a taxa de desconto? | 13 |
| 2.1.3 | Inflação na Avaliação Financeira | 16 |
| 2.1.4 | Métodos de Avaliação Financeira..... | 18 |
| 2.1.4.1 | Taxa Interna de Rentabilidade - TIR..... | 18 |
| 2.1.4.2 | Payback | 19 |
| 2.1.4.3 | Life Cycle Cost | 20 |
| 2.1.4.4 | Benefícios Líquidos | 23 |
| 2.1.4.5 | Análise de Benefício-Custo (ABC)..... | 24 |
| 2.2 | REABILITAÇÃO ENERGÉTICA | 25 |
| 2.2.1 | Fatores Associados à Intervenção | 26 |
| 2.2.2 | Medidas de Reabilitação Energética | 28 |
| 2.2.3 | Enquadramento Legal..... | 29 |
| 2.2.3.1 | Legislação relevante da área..... | 29 |
| 2.2.3.2 | Metodologia de cálculo..... | 30 |
| 3 | METODOLOGIA | 34 |
| 3.1 | ABORDAGEM ADOTADA NA INVESTIGAÇÃO | 34 |
| 3.2 | ESTUDO DE CASO..... | 37 |
| 3.2.1 | Caracterização do Empreendimento | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.2 Zona Climática | 41 |
| 3.3 SIMULAÇÃO DINÂMICA | 45 |
| 4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ENERGIA | 46 |
| 5 AVALIAÇÃO FINANCEIRA DOS INVESTIMENTOS DE RENOVAÇÃO ENERGÉTICA | 49 |
| 5.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO E ASSUNÇÕES | 49 |
| 5.2 CUSTOS DE EQUIPAMENTOS E DE ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO | 51 |
| 5.3 CUSTOS DE ENERGIA | 55 |
| 5.4 RETORNO FINANCEIRO DOS INVESTIMENTOS DE RENOVAÇÃO ENERGÉTICA | 56 |
| 5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 61 |
| 6 CONCLUSÃO | 62 |
| 6.1 SUMÁRIO DA DISSERTAÇÃO | 62 |
| 6.2 PRINCIPAIS CONCLUSÕES..... | 63 |
| 6.3 SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS | 64 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 65 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA

A indústria da construção civil gera grande impacto na economia de um país. Ela tem grande influência no Produto Interno Bruto (PIB) e é responsável pela geração de empregos e elevação da renda nacional. Segundo Gularte (2017), em 2013, no Brasil, esse setor movimentou 5,4% do PIB do país, e o seu macrosetor, que inclui a produção de materiais de construção, representou 11,3% do PIB, e, ainda, foi responsável por cerca de 7,3% dos empregos gerados. Taves (2014) aponta que, durante uma crise econômica, o setor tem grande capacidade de absorver contingente de mão-de-obra com pouco ou nenhuma formação, contribuindo para a redução da taxa de desemprego, além de movimentar outros setores que fornecem produtos e serviços para essa indústria. Porém, Serrado (2017) informa que desde 2014 o Brasil sofre crise econômica, com retração de 2,3% do PIB e de 5,5% na atividade de construção, no primeiro semestre de 2017. Em Portugal, o setor da construção representou, em 2015, cerca de 11% das empresas nacionais, foi responsável por 9% do número de pessoas em serviço e por 6% do volume de negócios (TEIXEIRA *et al.*, 2019).

As empresas desse setor estão inseridas em um ambiente volátil, em que as mudanças ocorrem de forma rápida. Segundo Caldas (2004), por ser um setor de base, a construção civil sofre grande influência das alterações que ocorrem na economia de um país, passando de um estado de recessão para um estado de crescimento com muita velocidade. Somado a isso, há a influência da globalização e das inovações tecnológicas, que aumentam a velocidade com que o mercado se atualiza e se modifica, exigindo que as empresas deem mais foco ao seu desempenho para terem maior competitividade (COSTA, 2017).

Ao considerar-se o contexto do Brasil, a construção civil, no entanto, ainda possui uma cultura muito arcaica. O funcionamento dessa indústria ainda é baseado nos resultados de sucessos passados e os seus métodos de trabalho são repetições da forma do trabalho anterior. Assim, uma indústria que enfrenta altos riscos em seu dia

a dia e elevados custos de investimentos, utiliza-se de métodos empíricos para a tomada de decisão e de improviso para o planejamento, caracterizando uma má gestão (CALDAS, 2004).

Nesse sentido, como forma de impulsionar seu desenvolvimento, sua gestão e seus resultados, as empresas estão investindo cada vez mais em instrumentos financeiros para gerir seus negócios e, assim, a avaliação financeira está ganhando destaque. Nesse cenário, torna-se essencial a tomada de decisões de investimentos fundamentadas em informações de qualidade e que considerem resultados a longo prazo, devido ao longo ciclo de produção do setor, que, segundo Caldas (2004), gira em torno de trinta meses. Para que isso aconteça, é imprescindível que se tenha conhecimento dos principais princípios econômicos dos mercados financeiros.

Além do grande destaque à abordagem económica atualmente, há também uma grande preocupação quanto aos quesitos de sustentabilidade e ambientais. A sociedade está cada vez mais preocupada com o futuro do meio-ambiente e um empreendimento que se adequa às normas sustentáveis ganha vantagem competitiva no mercado, tornando a sustentabilidade um assunto também de questão estratégica das empresas e que gera oportunidades de negócios (PEINADO *et al.*, 2014).

Segundo Teixeira *et al.* (2019), o sector de construção, numa perspetiva mundial, é responsável pelo consumo de 75% dos recursos naturais e o sector de edifícios (residenciais e de serviços) são responsáveis pelo consumo de cerca de 40% dos recursos minerais, 40% de energia e 16% da água total consumida anualmente. Em Portugal, os edifícios de habitação e serviços foram responsáveis por 29% do consumo de energia final em 2016 (ADENE, 2018).

Nesse âmbito, a reabilitação de edificações já existentes é uma forma de atingir objetivos de sustentabilidade, pois representa uma oportunidade para a integração de estratégias de eficiência energética nos edifícios, que reduzirão o impacto de consumo energético dos edifícios sobre o meio-ambiente, melhorará a qualidade do ar no interior dos edifícios (FERREIRA, 2009), além de contribuir para a redução de custos no gasto com energia na habitação.

Sendo o consumo de energia uma questão de grande relevância para a sustentabilidade, a eficiência energética se torna um dos focos ao se abordar esse tema, em que se destaca a importância de se otimizar o uso de energia, tanto a nível de sua produção, como a nível da redução de seu consumo relativo (MACHADO, 2014).

Tendo isso em vista, o presente trabalho abordará a reabilitação energética de um empreendimento, ao fazer a comparação do consumo energético anual para diferentes situações, que incluem o cenário de consumo energético ineficiente e as implementações de medidas de melhoria energética, e recorrerá aos métodos de avaliação financeira para avaliar os impactos econômicos causados por essas intervenções.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo geral a análise da aplicação de métodos de avaliação financeira na decisão de investimentos de reabilitação energética em um empreendimento.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos que se almeja alcançar nesse trabalho são os seguintes:

- Realização dos cálculos de consumo de energia da edificação;
- Aplicação dos métodos de avaliação financeira do investimento em reabilitação energética;
- Avaliação dos resultados obtidos;
- Discussão da viabilidade do investimento.

1.3 JUSTIFICATIVA

O cenário mundial atual de globalização, que inclui novas tecnologias e inovações surgindo a todo momento, cria um ambiente de mudanças muito rápidas em diversos setores da economia. Assim, as empresas precisam se adaptar às exigências do mercado e buscar métodos para aumentar sua competitividade. Desse modo, os empreendimentos da construção civil estão investindo cada vez mais na gestão do desempenho da empresa, de forma a melhorar os planejamentos e monitorar os objetivos, as metas e as estratégias (COSTA, 2003).

Segundo Goldman (2004), o planejamento no setor financeiro fornece informações quanto a viabilidade econômica do empreendimento e previsões das despesas da construção em períodos de interesse.

Com isso, uma das maneiras de a empresa obter vantagem competitiva no mercado é com a utilização de métodos financeiros para a avaliação dos investimentos a longo prazo, o que viabilizará redução de custo e controle do retorno financeiro esperado. Para isso, se torna importante os estudos e pesquisas acerca desses métodos para se validar o conhecimento dessa área da economia.

Outra abordagem desse trabalho são as alternativas sustentáveis na construção civil, tema esse muito difundido nos dias de hoje. A preocupação atual com o meio-ambiente por parte da população faz com que as empresas tenham que se adaptar a essa demanda como forma de também obter vantagem competitiva no mercado, além da possibilidade de também reduzir custos com essas medidas.

A reabilitação energética de edifícios já construídos é uma alternativa viável para atender as necessidades de sustentabilidade e economia. Machado (2014) cita a eficiência energética como sendo a otimização do consumo de energia, e, assim, a adoção de medidas que visem melhorar a utilização de energia se torna muito importante nesse contexto.

Silva (2013) cita a estimativa de que a reabilitação profunda dos edifícios existentes na Europa poderia poupar cerca de 32% do total de energia primária consumida e afirma que o setor dos edifícios em Portugal continuará ineficiente caso não se intervenha nos edifícios existentes.

Esses fatores fazem com que os estudos acerca desse tema tenham cada vez mais aplicabilidade no mercado, sendo importante trazer visibilidade para essa técnica, no sentido de fomentar a reabilitação energética e o crescimento econômico.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura dessa dissertação é constituída pelo Capítulo 1, que consiste na introdução do contexto em que se situa o tema, os objetivos gerais e específicos do estudo e a justificativa da relevância do tema para a pesquisa. Após, é descrito, no Capítulo 2, o referencial teórico, no qual foi realizada a revisão da literatura para embasamento da dissertação, que inclui os aspetos teóricos de avaliação financeira de investimentos, como o conceito de investimentos, de risco e de custo de oportunidade, bem como de taxas de desconto real e nominal e de inflação. Foram descritos também alguns dos métodos de avaliação financeira, tais como a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), o *Payback*, o *Life Cycle Cost* (LCC), os Benefícios Líquidos (BL) e a Análise Benefício-Custo. Além disso, inclui-se no referencial teórico, a revisão da literatura acerca das medidas de reabilitação energética, seu enquadramento legal e a metodologia de cálculo utilizada para esse ponto.

Ademais, no Capítulo 3, é explicitada a metodologia da pesquisa, sendo especificadas a abordagem adotada na investigação, a caracterização do empreendimento e da zona climática do local, e a simulação dinâmica utilizada. São ainda descritos, nos Capítulos 4 e 5, respectivamente, os resultados da simulação dinâmica de energia e os resultados da avaliação financeira de investimentos de renovação energética, em que, neste último, são assinalados os métodos de avaliação adotados, os custos de equipamentos e de elementos de construção, os custos de energia e, por fim, avaliado o retorno financeiro dos investimentos.

Por último, o Capítulo 6 refere-se à discussão dos resultados e a conclusão do trabalho, bem como indicam-se sugestões para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse tópico tem a finalidade de apresentar a revisão da literatura utilizada para esse trabalho de dissertação. Esse capítulo será dividido em duas seções, em que, na primeira seção, serão apresentados os conceitos de avaliação financeira e seus métodos, bem como os assuntos ligados à viabilidade de investimento na construção. Na segunda seção, será apresentado o referencial teórico acerca do setor da energia elétrica e das reabilitações energéticas.

2.1 AVALIAÇÃO FINANCEIRA DE INVESTIMENTOS

2.1.1 Investimento

O investimento pode ser definido com uma alocação de capital de um empreendimento para determinado fim, visando gerar rentabilidade para a empresa, torná-la mais competitiva ou melhorar sua capacidade produtiva a longo prazo. Outra forma de se conceituar o investimento é como uma escolha entre opções, em que a preferência será definida por um custo de oportunidade (GULARTE, 2017).

Para se tomar a decisão de aceitar ou rejeitar um investimento, o investidor deve avaliar os investimentos possíveis no mercado que gerem um retorno próximo ao esperado do investimento analisado.

A análise do investimento é caracterizada como um estudo prévio de um projeto com o intuito de estimar os gastos e os benefícios obtidos com determinado investimento, para auxiliar na tomada de decisão e alocar esses gastos de forma eficaz (SCHUCH *et al.*, 2016). Ramos (2016) define o gasto de capital como um desembolso a fim de gerar resultados econômico em um período de um ano ou mais e que pode ser utilizado para expansão, substituição ou renovação de um sistema, equipamento ou empreendimento.

Ramos (2016) descreve ainda que, quando um empreendimento possui capital em abundância, a escolha do investimento se torna mais fácil, podendo a empresa investir em mais de um projeto. Na prática, porém, as empresas normalmente possuem capital limitado para alocar em novos projetos e investimentos. Considerando esse cenário,

podemos citar algumas formas de investimentos realizada pelas empresas, entre eles está o investimento economicamente independente, que consiste em aquisições de equipamentos; o investimento com restrição orçamentária, quando dois ou mais projetos não podem ser viabilizados ao mesmo tempo por falta de recursos; e o investimento mutuamente excludente, em que a aceitação de um projeto resulta na exclusão dos demais.

2.1.1.1 Risco

Sendo o investimento um desembolso feito por uma empresa a fim de se obter um retorno financeiro a longo prazo, quanto maiores forem os ganhos com esse investimento, mais atrativo ele será. No entanto, o retorno do investimento é incerto e, por isso, está associado ao risco de não se concretizar. Assim, ao decidir investir, o investidor pode ser atraído pelo retorno, mas desencorajado pelo risco. O risco pode ser minimizado quanto maior for o nível de informação que o investidor tiver sobre o investimento em questão (SILVA, 2019).

O risco pode ser definido de diferentes maneiras por diferentes autores. Schuch *et al.* (2016) cita que risco está associado à variabilidade do retorno do investimento, que pode gerar ganhos ou perdas, e esse risco pode ser minimizado quanto mais correta a previsão da análise do investimento. Silva (2019) descreve que risco pode ser definido como a probabilidade de o esperado não acontecer, ou seja, o risco da perda financeira, então, quanto maior a certeza do retorno esperado ocorrer, menor será o risco. Rodrigues *et al.* (2014) cita que risco pode ser descrito como variância estatística ou desvio-padrão de resultados, e, por isso, mesmo não se obtendo um resultado totalmente certo, pode-se estimar os resultados, não sendo considerado incerteza. Esse autor também cita que o risco pode ser considerado como a possibilidade de que algo desfavorável ocorra, mas também pode ser a probabilidade de um retorno inesperado, seja positivo ou negativo.

Harzer *et al.* (2014) aborda a questão de que os planejamentos de uma empresa são feitos com base em expectativas do futuro, já que não se pode ter certeza sobre este. A avaliação do risco em um empreendimento ou investimento deve ser uma competência do gestor e do investidor, que devem considerar a existência do risco de mudanças inesperadas acontecerem. Para tomar decisões com maior grau de certeza

e diminuir a probabilidade de o inesperado ocorrer, o investidor deve aumentar o número e a qualidade de informações que dispõe (HARZER *et al.*, 2014).

2.1.1.2 Custo de Oportunidade

O custo de oportunidade em uma decisão de investimento é o valor do melhor investimento abandonado para que o investimento escolhido fosse aceito, ou seja, o retorno esperado de um investimento deve ser, no mínimo, igual ao custo de oportunidade (GULARTE, 2017).

Ao se decidir entre diversas opções de investimento, o investidor deve avaliar as possibilidades e escolher aquela que oferece um retorno maior e, assim, o custo de oportunidade pode ser considerado o quanto uma empresa deixou de ganhar ao escolher outro investimento em detrimento desse, sendo uma comparação entre a alternativa escolhida e alternativa rejeitada (RODRIGUES *et al.*, 2014).

Vale ressaltar que o custo de oportunidade, além de ser uma forma de avaliação econômica da empresa, também serve como forma de avaliação administrativa para os gestores ao fornecer informações com relação à taxa de retorno nos investimentos, decisão de investir, formação de preço de venda, e outros (RODRIGUES *et al.*, 2014).

2.1.2 Taxa de Desconto

As taxas de desconto são parâmetros usados para atribuir valor ao dinheiro ao longo do tempo, considerando que há uma mudança significativa no valor monetário que influencia a economia e, conseqüentemente, as decisões de investimento e, dessa forma, devem ser levadas em consideração nas tomadas de decisões.

Pode-se definir a taxa de desconto como o indicador que compara o retorno de um investimento, ou a porcentagem que traz a valor presente um fluxo de capital projetado, para assim ser comparado a demais opções de investimento disponíveis. A taxa de desconto é o cálculo aplicado sobre um valor futuro para determinar sua equivalência no presente. Esse método é usado para a análise de retorno de investimentos e essa ponderação é necessária porque, em finanças, dois valores só

são comparáveis se forem considerados em um mesmo período de tempo (RUEGG & MARSHALL, 1990).

A taxa de desconto é usada em avaliações financeiras que possuem diferentes alternativas de investimentos com diferentes custos iniciais e diferentes fluxos de caixa em diferentes momentos futuros. Dessa forma, ao trazer todos os valores para valor presente, é possível se fazer uma comparação realista entre as alternativas, auxiliando na decisão de qual alternativa escolher.

Ruegg & Marshall (1990) cita que o processo de desconto é importante para avaliar investimentos na construção porque os custos e benefícios desse setor normalmente possuem um tempo de duração extenso e, ao avaliar quantias no tempo presente e no tempo futuro sem considerar a variação monetária existente ao longo do tempo, pode acarretar em decisões não econômicas.

O valor da taxa de desconto é um ingrediente chave na avaliação econômica, visto que a taxa de desconto tem grande influência na decisão de se aceitar ou rejeitar um projeto e o quanto será gasto nesse projeto. Se essa taxa é determinada de forma errada e considerada muito alta, alguns projetos que seriam economicamente viáveis serão rejeitados e, caso seja considerada muito baixa, alguns projetos que não são econômicos poderão ser aceitos.

Na prática, quando se tem uma taxa de desconto alta, menos atrativo é o investimento, já que, quanto maior for a taxa de desconto, para se obter no futuro um valor de mesma relevância no presente, esse valor terá que ser cada vez maior, ou seja, quanto maior a taxa de desconto, menor será o valor presente para o valor de uma quantia futura e maior terá que ser os benefícios ou menor os custos para que o projeto valha a pena (RUEGG & MARSHALL, 1990).

O cálculo do valor presente equivalente a uma quantidade de valor no futuro pode ser feito utilizando a fórmula demonstrada na Equação 1 a seguir.

$$P = \frac{F}{(1 + D)^n} \quad (1)$$

Em que,

P - valor presente;

F - valor futuro;

D - taxa de desconto; e

n - período de tempo.

2.1.2.1 Taxa de Desconto Nominal e Taxa de Desconto Real

O fato de os custos estarem expressos em valor atual ou valor constante, irá definir se a taxa de desconto será nominal ou real. Caso seja utilizado o valor atual, a taxa de desconto será nominal, ou de mercado, ou seja, será considerada a inflação nos dados. Caso seja utilizado o valor constante, será utilizada a taxa de desconto real, que desconsidera a inflação nos dados. Os resultados serão idênticos caso seja utilizada uma ou outra, contanto que a inflação seja abordada de forma correta nos fluxos de caixa e nas taxas de desconto (RUEGG & MARSHALL, 1990).

A Equação II demonstra a operação de desconto para uma amostra futura utilizando valor atual e taxa de desconto nominal.

$$P = \frac{F_{atual}}{(1 + D)^n} \quad (II)$$

Em que,

P - valor presente;

F_{atual} - valor futuro em valor atual;

D - taxa de desconto nominal, incluindo inflação; e

n - período de tempo.

Para o uso do valor constante, deve-se fixar uma data de referência para se basear os cálculos, sendo essa data normalmente a data em que a análise econômica é feita. A Equação III, a seguir, demonstra os cálculos desses valores.

$$P = \frac{F_{constante}}{(1 + d)^n} \quad (III)$$

Em que,

P - valor presente;

$F_{constante}$ - valor futuro em valor constante;

d - taxa de desconto real, excluindo inflação;

n - período de tempo.

Ainda, é importante destacar que a taxa de desconto e a taxa de inflação utilizadas deve ser a mesma para estimar os custos e para estimar os benefícios.

2.1.2.2 Como estabelecer a taxa de desconto?

A taxa de desconto deve refletir a taxa de retorno do melhor investimento semelhante ao investimento em questão, ou seja, deve refletir o custo de oportunidade que os investidores obtêm quando renunciam ao retorno do próximo melhor investimento para investir em outro projeto (RUEGG & MARSHALL, 1990).

Saber mensurar a taxa de desconto é primordial para avaliar um projeto, já que ela o definirá como viável ou não, e o seu mal dimensionamento pode dar a falsa impressão de ganho ou impossibilitar a execução do projeto. Entendendo o conceito, logo se vê que uma taxa de desconto muito elevada exige um retorno do projeto mais acentuado, pois, a longo prazo, o valor precisará ter uma crescente cada vez mais acentuada para compensar a taxa elevada.

Para se definir a taxa de desconto, pode-se usar alguns parâmetros como o TMA, o WACC e o CAPM. Ainda, pode-se utilizar a taxa de juros média de mercado, rendimentos pagos pelos títulos do tesouro nacional e o risco atrelado ao empreendimento. É determinante saber mensurar a taxa de desconto e usar parâmetros reais e alcançáveis para determiná-la, já que o maior erro que incide na recusa do projeto é o mal dimensionamento da taxa de desconto.

A Taxa Mínima de Atratividade, ou TMA, pode ser definida como a taxa de desconto resultante de uma política dos administradores de uma empresa, sendo ela um percentual mínimo de retorno de um investimento exigido pelo empreendedor (SILVA, 2019). A TMA, então, será a menor taxa de retorno aceitável de um investimento.

A escolha da TMA irá exercer influência direta no valor presente do investimento, podendo ser decisiva para se aceitar ou rejeitar um investimento, com isso, sua escolha deve ser feita com cautela, podendo ser mais difícil sua definição para empresas grandes e complexas.

No Brasil, um modelo frequentemente utilizado para se determinar essa taxa é o de considerar a taxa básica de juros mais a taxa de risco. Silva (2019) cita, ainda, que a TMA é o custo de tomar fundos emprestados para investimentos ou a taxa de retorno do investimento alternativo de baixo risco, o custo de oportunidade. No entanto, não há consenso de como deve ser calculada a TMA, podendo ela ser uma taxa livre de risco ou pode representar o custo de capital da empresa. O custo de capital não é definido pela própria empresa, mas, sim, pelo meio que ela obtém seus recursos financeiros, podendo ser uma média dos custos de oportunidade do capital próprio e pelo capital de terceiros (SILVA, 2019).

O WACC é o custo médio ponderado do capital pelo qual o nível de atratividade de um investimento é analisado, sendo calculado o retorno esperado de um projeto, que posteriormente será comparado a outras aplicações, em que o valor do WACC deve ser mais atrativo que as outras opções. A fórmula do WACC é representada na equação IV.

$$WACC = \frac{E}{V} \times Re + \frac{D}{V} \times Rd \times (1 - Tc) \quad (IV)$$

Em que,

Re - custo do capital;

Rd - custo da dívida;

E - valor de mercado do patrimônio da empresa;

D - valor de mercado da dívida da empresa;

V = E + D - valor total de mercado do financiamento da empresa (patrimônio e dívida);

E/V - porcentagem de financiamento que é patrimônio;

D/V - porcentagem de financiamento que é dívida; e

Tc - taxa de imposto corporativo.

Utilizando o WACC para definir a taxa de retorno, considera-se o custo de captação de recurso e o retorno definido pelo acionista para o capital que ele investe na companhia, já havendo um histórico de operação. Pode-se assumir a taxa de retorno do acionista, juntando esses dois valores e se obterá uma taxa de desconto que traduz a operação da empresa, sendo ela realista. Uma vez aplicada a taxa de desconto ao

fluxo de capital do empreendimento, pode-se ter seu valor presente líquido e, assim, pode-se compará-lo a opções de mercado.

O *Capital Asset Pricing Model*, ou Modelo de Precificação de Ativos de Capital, é a ferramenta utilizada para projetar o custo do capital próprio e indica qual deve ser o retorno esperado de um determinado investimento, com base em seu risco, para que este seja aceitável.

Segundo Silva (2019), o risco total de um ativo pode ser diversificável (não sistemático) ou não diversificável (sistemático), em que o risco diversificável representa os riscos que afetam poucas empresas e o risco não diversificável representa os riscos que afetam todo o mercado. O risco diversificável pode ser eliminado na elaboração da carteira de ativos, sendo considerado apenas o risco não diversificável no cálculo do CAPM. A formulação está explicitada na Equação V.

$$E(r) = R_f + \beta * (E(rm) - R_f) \quad (V)$$

Em que,

$E(r)$ - expectativa de retorno;

R_f - taxa de longo prazo livre de risco;

$E(rm)$ - expectativa de retorno de mercado;

β - risco de mercado.

O coeficiente β é um indicador do grau de variabilidade do retorno do ativo em relação à variação do retorno do mercado (SILVA, 2019). Esse coeficiente pode ser determinado por meio de uma análise gráfica ou a partir de dados históricos de comparação do retorno do ativo em comparação com os do mercado, conforme a equação VI.

$$\beta = \frac{COV(E(r),E(rm))}{\sigma_m^2} \quad (VI)$$

Em que,

σ_m^2 - variância dos retornos de mercado.

A expectativa de retorno de mercado é o índice que mede a rentabilidade do mercado. No Brasil, usa-se como base o IBOVESPA dos últimos 10 anos. Entretanto, esse método não é muito usual para investimentos relacionados à construção.

2.1.3 Inflação na Avaliação Financeira

A inflação é um aumento geral no valor dos preços dos bens e serviços que resulta na diminuição do poder de compra de uma moeda e a taxa de inflação é uma medida percentual que demonstra essa subida dos preços medindo a variação dos preços entre diferentes períodos. Uma inflação muito elevada pode criar um ambiente desfavorável para investimentos e para a geração de empregos.

Já a deflação, representa uma queda geral no valor dos preços dos bens e serviços em um longo período de tempo, aumentando o poder de compra de uma moeda. No entanto, a ênfase da análise estará na inflação, e não na deflação, já que a inflação tem prevalecido na última metade do século XX, e muitos economistas acreditam que a economia moderna tende à inflação.

No cálculo do aumento médio dos preços gerais, o preço dos produtos em que se gasta mais, como eletricidade, possui maior peso, e o preço dos produtos em que se gasta menos possui menor peso. A ponderação desses preços é determinada em função da média de despesa de consumo da população. Esse cálculo é feito todos os meses e os valores somados mostram qual a inflação acumulada do ano.

As causas da inflação podem ser o aumento exagerado de um bem básico, como o petróleo; o aumento do consumo, aumentando a procura por um produto ou causando escassez, o que aumenta seu preço; e a emissão de papel-moeda pelo governo para cobrir as dívidas do Estado, pois, quando isso acontece, há um aumento no volume do dinheiro em circulação no mercado, mas não há criação de riqueza ou aumento de produção (Oner, 2018). E, quando o preço de um bem aumenta, há um impacto na economia, o que acaba por influenciar o aumento dos preços das mercadorias em geral.

Ainda, as causas da inflação podem ser por presença de monopólios, pois, ao se ter um número reduzido de empresas ofertando produtos ou serviços em uma economia, as que possuem o monopólio do mercado determinam os preços pela falta de concorrência, e, com o controle de preços nas mãos de poucas empresas, a

tendência é o aumento dos valores cobrados. E pelo aumento dos custos de produção, que são repassados aos consumidores e a produção abaixo da demanda.

Os tipos de inflação podem ser divididos em quatro:

- Inflação de Demanda: caracterizado pelo excesso de demanda em relação à oferta. Ocorre principalmente quando existe um aumento no poder aquisitivo dos cidadãos que não é acompanhado pelo mercado, ou seja, quando não existe disponibilidade suficiente de bens para atender a demanda de compra da população;
- Inflação de Custos: ocorre quando há um aumento no custo de matéria-prima de um produto;
- Inflação Inercial: quando já há uma inflação e a população acredita que essa subida de preços irá continuar acontecendo, havendo, assim, aumento dos preços pelos comerciantes por acreditarem que a inflação ainda está alta, e esse aumento de preços de forma antecipada causa mais aumento da inflação;
- Inflação estrutural: a subida de preços é causada por uma falta de eficiência na infraestrutura nos processos de produção.

No Brasil, alguns dos índices usados para o cálculo da inflação são o IGP (Índice Geral de Preços), o IPA (Índice de Preços no Atacado), o INPC (Índice Nacional de Preços ao Consumidor), o IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo), o INCC (Índice Nacional do Custo da Construção) e o CUB (Custo Unitário Básico).

O IPCA é usado para verificar a variação nos preços dos produtos que estão disponíveis no mercado. De acordo com o Banco Central do Brasil (BC), o IPCA é o marcador oficial da inflação no país. Para o cálculo do índice, são observados os valores gastos com o custo de vida de famílias com renda até quarenta salários mínimos nas principais capitais do Brasil. O Índice é medido todos os meses pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O IGP-Mercado é utilizado para acompanhar mensalmente e anualmente a variação de preços dos produtos e verificar os índices de inflação. Por meio do IGP-M e do acompanhamento da inflação, é possível verificar se há aumento ou diminuição do poder de compra da moeda, ou seja, se ela está em um momento econômico de valorização ou desvalorização. Já o IGP-Disponibilidade Interna mede a variação de preços desde as matérias-primas agrícolas e industriais até de bens e serviços para o consumidor final.

2.1.4 Métodos de Avaliação Financeira

Os métodos financeiros descritos nesse tópico são as formas de cálculos utilizados para se fazer a avaliação financeira do projeto de investimento.

2.1.4.1 Taxa Interna de Rentabilidade - TIR

A taxa interna de rentabilidade, ou TIR, pode ser definida como a taxa de desconto que iguala o Valor Presente Líquido a zero. Segundo Silva (2019), ela representará a rentabilidade de um investimento se todos os benefícios líquidos puderem ser reinvestidos em algum investimento que gere o mesmo retorno que a própria TIR. Para que o VPL seja positivo, a TIR deverá ser superior à taxa mínima de atratividade, a TMA.

Harzer *et al.* (2014) acredita que a definição da TIR tem sido mal interpretada por vários autores e financistas. Esses autores ao descrevem a TIR como a taxa que mede a rentabilidade de um projeto em um determinado período de tempo, indicam que os recursos dos fluxos de caixa seriam reinvestidos à própria TIR, porém, segundo Harzer *et al.* (2014), a melhor solução para reinvestir os recursos dos fluxos de caixa seria em relação à TMA, por ser considerada uma taxa de baixo risco.

Harzer *et al.* (2014) ainda cita algumas vantagens do uso da TIR, como o fato de ser um cálculo simples, de não ser sensível à TMA e, por ser uma taxa e não um valor absoluto, é uma medida útil da eficácia de um projeto. No entanto, a TIR possui uma limitação, que, ao se comparar dois projetos, o projeto com uma TIR alta pode significar um VPL baixo, dependendo da TMA utilizada, não sendo um bom método para a classificação de projetos. Esse desacordo entre TIR e VPL pode acontecer quando se compara projetos com diferentes momentos de fluxos de caixa, em que um projeto pode ter maior parte dos fluxos de caixa nos primeiros anos e o outro projeto pode ter maior parte dos fluxos de caixa nos últimos anos. No entanto, segundo Harzer *et al.* (2014), essa limitação pode ser facilmente contornada com a utilização adequada da TIR juntamente com o VPL.

A TIR equilibra os fluxos de caixa e determina o investimento no tempo e é calculada sobre o fluxo de investimento e receitas estimados ao longo do ciclo de vida

do empreendimento, podendo ser representada supondo todas as entradas e saídas de um caixa no tempo presente, conforme descrito na equação VII.

$$- I_0 + \left(\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \right) = 0 \quad (VII)$$

Em que,

I_0 - montante de investimentos no momento zero;

TIR - taxa interna de retorno;

FC_t - fluxo de caixa descontado do período (receitas – despesas);

A TIR encontrada deverá ser comparada com a taxa de desconto definida no início do investimento, assim,

- se $TIR >$ taxa de desconto, aceita-se o projeto;
- se $TIR <$ taxa de desconto, rejeita-se o projeto;
- se $TIR =$ taxa de desconto, indiferente.

Associando a TIR ao VPL,

- se $TIR >$ taxa de desconto, VPL positivo;
- se $TIR <$ taxa de desconto, VPL negativo;
- se $TIR =$ taxa de desconto, VPL nulo.

2.1.4.2 Payback

O *payback* é o tempo de retorno do capital investido e representa o tempo necessário para que os benefícios líquidos acumulados superem o valor do capital inicial investido. O critério de aceitação do *payback* se dá pelo tempo mínimo aceitável para que os fluxos de benefícios superem o investimento inicial (SILVA, 2019).

O *payback* pode ser definido de duas formas, da forma simplificada, em que não se considera o valor do dinheiro no tempo, e da forma descontada, em que os fluxos de benefícios são descapitalizados pelo TMA a valor presente (SILVA, 2019; HARZER *et al.*, 2014).

Para o cálculo do *payback*, devem ser acumuladas as entradas líquidas de capital até coincidirem com o valor do investimento inicial e, para descontar o valor do fluxo

de caixa e identificar o tempo de *payback*, pode-se utilizar a equação VIII (SCHUCH *et al.*, 2016).

$$VP = \frac{VF}{(1+k)^n} \quad (\text{VIII})$$

Em que,

VP - valor presente correspondente ao valor do fluxo de caixa de cada período descontado para a data do investimento inicial;

VF - valor futuro correspondente ao valor futuro do fluxo de caixa de cada período;

k - taxa de desconto (TMA estabelecida pela empresa);

n - número de períodos que serão descontados.

Dessa forma, o *payback* será calculado conforme equação IX.

$$\text{Payback} = \frac{I_0}{FC_t} \quad (\text{IX})$$

Em que,

*I*₀ - montante de investimentos no momento zero;

Payback - tempo de retorno;

*FC*_{*t*} - fluxo de caixa descontado do período (receitas – despesas);

2.1.4.3 Life Cycle Cost

O LCC, do inglês *Life Cycle Cost*, que significa Custo do Ciclo de Vida, é um método de análise financeira utilizado para avaliar alternativas para a instalação de um dado empreendimento ou sistema, baseado em seu custo benefício. Assim, são definidos os padrões de desempenho desejados, e apenas são avaliadas as alternativas que atendem a esses padrões. É, então, calculado o LCC para cada alternativa, e é escolhida a que apresenta o menor custo. Caso os quesitos de receita ou outros lucros sejam predominantes, outros métodos de avaliação são mais apropriados que o LCC (RUEGG & MARSHALL, 1990).

Inicialmente, é calculado o LCC de um caso particular somando todos os custos significativos ajustados no tempo, associados ao período de tempo relevante. Estão incluídos apenas os custos iniciais e futuros que são afetados pela decisão, os demais são excluídos. São subtraídos dos custos quaisquer fluxos de caixa positivos, como valores de recuperação ou revenda, que devem ser levados em consideração na tomada de decisão.

O cálculo do LCC é repetido para todas as alternativas, e os valores são comparados. Caso não haja algum fator mais relevante para a decisão, é escolhida a alternativa com menor LCC.

A análise do LCC é usualmente realizada em valor presente ou em valor anual. Essas são formas alternativas, mas equivalentes de tempo, de expressar fluxos de custos ao longo do tempo. Um modelo de LCC de valor presente expressa LCCs como uma quantia global no presente. Um modelo de LCC de valor anual expressa LCCs como um valor anual uniformemente recorrente durante o período do estudo.

Na maioria das vezes, pode-se optar por utilizar o modelo de custo em valor presente ou em valor anual, sendo uma escolha por conveniência ou preferência do analista. No entanto, os modelos de custo de valor anual são particularmente úteis para avaliar alternativas que têm períodos diferentes. Comparar alternativas com base nos custos de valor presente requer que todas as alternativas sejam avaliadas no mesmo período de estudo. Mas um modelo de custo em valor anual permite períodos de avaliação diferentes, desde que nenhum custo anual seja alterado se as alternativas forem avaliadas para o mesmo período de estudo (RUEGG & MARSHALL, 1990).

A fórmula simplificada de LCC utilizando valor presente está demonstrada na equação X:

$$PV LCC_{A1} = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+d)^t} \quad (X)$$

Em que,

$PV LCC_{A1}$ - valor presente do LCC de um empreendimento ou sistema, caso a alternativa escolhida seja A1;

C_t - soma de todos os custos relevantes incluindo custos iniciais e futuros, desde a escolha da alternativa 1, subtraindo qualquer fluxo de caixa positivo como os de revenda, ocorridos no período t ;

N - número de períodos contidos no tempo a ser avaliado; e

d - taxa descontada para ajustar o fluxo de caixa ao valor presente.

A equação XI detalha os principais constituintes do LCC em valor presente:

$$PV LCC_{A1} = I_p + E_p + M_p + R_p - S_p \quad (XI)$$

Em que,

I_p - custos de investimento em valor presente da alternativa A1;

E_p - custos de energia em valor presente associados a alternativa A1;

M_p - custos operacionais e de manutenção em valor presente associados a alternativa A1;

R_p - custos de reparação e substituição em valor presente associados a alternativa A1; e

S_p - valor de revenda em valor presente (ou valor residual) subtraindo custos de disposição associados a alternativa A1.

O LCC também pode ser calculado em valor anual, como mostrado na equação XII:

$$AV LCC_{A1} = (PV LCC_{A1}) \times \left(\frac{d(1+d)^N}{(1+d)^N - 1} \right) \quad (XII)$$

Em que,

$AV LCC_{A1}$ - LCC em valor anual, de um empreendimento ou sistema o qual é esperado obter se a decisão for optar pela alternativa A1;

$\frac{d(1+d)^N}{(1+d)^N - 1}$ - fórmula para o fator uniforme de recuperação de capital utilizado para converter o montante em valor presente em valor anual equivalente.

Para a tomada de decisão em aceitar ou não um novo projeto, é importante também avaliar o custo de não fazer nada, ou seja, comparar os custos de aceitar com os custos de rejeitar um projeto.

Frequentemente, nas avaliações econômicas, os analistas assumem a simplificação de que um projeto é implementado instantaneamente e ignoram os detalhes do cronograma do projeto. Essa abordagem é útil e apropriada em muitos casos, principalmente ao escolher entre alternativas que possuem períodos de programação semelhantes. Porém, quando os períodos de aquisição ou construção diferem entre as alternativas, pode ser necessário considerar o momento dos custos de investimento. Isso pode ser feito expressando-se os custos de construção ou aquisição como uma série de custos faseados ao longo do tempo ou como um montante fixo futuro, em vez de um valor fixo inicial no início do período do estudo. Quando os custos de investimento são escalonados ao longo de um período de construção ou adiados para um ano futuro, o início dos custos operacionais também é adiado.

2.1.4.4 Benefícios Líquidos

O método de benefícios líquidos é bastante aplicável para o cálculo de viabilidade de um investimento, pois calcula os benefícios líquidos de se investir em um projeto em detrimento de outro, podendo, assim, se fazer a escolha certa de qual investimento aceitar. O cálculo é feito subtraindo os custos dos benefícios, tendo trazido todos os valores a valor presente (RUEGG & MARSHALL, 1990).

Assim,

- se $BL > 0$, o projeto é viável economicamente;
- se $BL < 0$, o projeto não é viável economicamente;
- se $BL = 0$, indiferente.

Assim como o método de LCC, o método de Benefícios Líquidos pode ser representado em valor presente ou valor anual. A equação XIII a seguir representa o método de cálculo de BL em valor presente.

$$VP BL_{A1:A2} = \sum_{t=0}^N \frac{(B_t - C_t)}{(1+d)^t} \quad (XIII)$$

Em que,

$VP BL_{A1:A2}$ - benefícios líquidos em valor presente atribuído a uma alternativa A1 em comparação com uma alternativa A2;

B_t - benefícios da alternativa A1 subtraídos dos benefícios da alternativa A2, no tempo t;

C_t - custos da alternativa A1 subtraídos dos custos da alternativa A2, no tempo t.

Já o cálculo dos benefícios líquidos representados em valor anual está demonstrado na equação XIV.

$$VA BL_{A1:A2} = \left(\sum_{t=0}^N \frac{(B_t - C_t)}{(1+d)^t} \right) \times \left(\frac{d(1+d)^N}{(1+d)^N - 1} \right) \quad (XIV)$$

Em que,

$VA BL_{A1:A2}$ - benefícios líquidos em valor anual atribuído a uma alternativa A1 em comparação com uma alternativa A2;

$\left(\frac{d(1+d)^N}{(1+d)^N - 1} \right)$ - fórmula para o fator uniforme de recuperação de capital utilizado para converter o montante em valor presente em valor anual equivalente.

2.1.4.5 Análise de Benefício-Custo (ABC)

O método de análise custo-benefício consiste em fazer uma avaliação da viabilidade do investimento baseando-se nos cálculos dos custos e benefícios, considerando um mesmo período de tempo, em que, se os benefícios forem maiores que os custos, a proposta deve ser aceita, e caso os benefícios sejam menores que os custos, a proposta deve ser recusada (GULARTE, 2017), ou seja, se o cálculo de benefícios menos custos ($B - C$) for maior que zero, a proposta é válida, e se for menor que zero, não é viável.

Ainda, pode-se expressar o cálculo do custo-benefício como a razão entre benefícios e custos (B/C), em que se o resultado for maior que 1, a proposta pode ser aceita, já se for menor que 1 a proposta não é viável economicamente.

A fórmula de cálculo é representação na equação XV.

$$BCR_{A1:A2} = \sum_{t=0}^N \frac{(B_t - C_t)}{(1+d)^t} / \frac{I_t}{(1+d)^t} \quad (XV)$$

Em que,

$BCR_{A1:A2}$ - razão custo-benefício calculada a partir de benefícios e custos de valor presente para uma determinada alternativa A1, em comparação com uma alternativa mutuamente exclusiva A2;

N - período de estudo;

B_t - benefícios da alternativa A1 menos benefícios da alternativa A2, no tempo t ;

C_t - custos da alternativa A1 menos custos da alternativa A2, no tempo t , sem os custos de investimento;

I_t - custos de investimento nos quais o investidor deseja maximizar o retorno, no tempo t ;

d - taxa de retorno.

2.2 REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Os princípios de sustentabilidade para a habitação implicam uma visão integrada entre ambiente, funcionalidade, paisagismo, sociedade, cultura e economia. Em termos ambientais, as cidades não são tradicionalmente sustentáveis, e, para obter melhorias nesse âmbito, se faz necessário tomar medidas para reduzir as influências ambientais negativas.

Para isso, no que se refere ao espaço urbano existente, será necessário reabilitar as edificações construídas, visando o conforto térmico e acústico e considerando as características de composição e de reutilização de materiais (JARDIM, 2009).

Segundo Jardim (2009), a melhoria dos impactos ambientais relacionados à energia inclui a redução de consumo energético e medidas para poupar energia, que se relaciona com a redução da necessidade de consumo, que pode ser obtida por meio do isolamento térmico, da maximização à exposição solar para ganhos térmicos, do aumento do desempenho energético de equipamentos e da correta orientação dos edifícios a fim de se beneficiar dos ganhos solares, da iluminação e da ventilação natural.

Ainda, a habitação deve contribuir para o máximo conforto dos utilizadores e para aumentar a qualidade de vida, saúde e bem-estar dos moradores, o que inclui a disponibilização e controle da luz e da insolação no interior, a otimização dos aparelhos de ventilação e o equilíbrio térmico, por meio de isolamento e ventilação estratégica.

Até o último Recenseamento da População e da Habitação (2011) em Portugal, 69,85% do total de alojamentos existentes foram construídos antes de 1990, ano da publicação do primeiro regulamento do comportamento térmico dos edifícios. Pode-se considerar que mais da metade dos edifícios construídos em Portugal não possuem os critérios adequados de eficiência energética e de proteção térmica, porém os habitantes exigem um grau de conforto térmico cada vez maior, culminando no aumento do uso de sistemas de aquecimento no inverno e de arrefecimento no verão, contribuindo para o aumento do consumo energético (JARDIM, 2009).

O consumidor final pode obter a energia essencialmente de duas formas, por meio da eletricidade ou por meio da utilização direta de combustíveis, como o butano, o propano, o gás natural ou o gásóleo. De qualquer forma, o gasto com energia se torna cada vez maior entre as famílias portuguesas, além do alto nível de ineficiência e desperdícios em sua utilização, sendo esses também estímulos para a obtenção de métodos mais eficientes e rentáveis.

Em Portugal, a proporção de consumo de energia em edifícios residenciais é de aproximadamente 59% do consumo em cozinhas e águas quentes sanitárias (AQS), 22% em aquecimento e arrefecimento e 19% em iluminação e equipamentos (European Parliament, & Council of the European Union, 2016). Esses dados permitem identificar os pontos fracos e concentrar esforços para a melhoria da eficiência térmica e energética dos edifícios.

2.2.1 Fatores Associados à Intervenção

Em se tratando de uma reabilitação energética, o processo de renovação deve garantir a identidade dos edifícios e fazer uso de tecnologias a fim de se obter eficiência energética. Para isso, deve-se avaliar a construção existente para conhecer seu sistema construtivo e elaborar um diagnóstico correto, de modo a se obter um plano de intervenção com as medidas corretivas (FERREIRA, 2009).

O processo lógico da eficiência energética é adequar o edifício ao clima e ambiente no qual ele está inserido e utilizar os recursos naturais a seu favor. Tendo isso em vista, pode-se analisar o ambiente no qual uma edificação está inserida no âmbito macroclimático, a qual tem influência de características como a latitude e a região na qual está inserida, e define dados como as temperaturas mínimas, médias e máximas, a variabilidade pluviométrica, a radiação solar incidente e a direção e velocidade do vento; e no microclimático, referente à geografia local do terreno, como a pendente do terreno, a existência de elevações, de linhas d'água, de árvores ou de outros edifícios próximos ao local (JARDIM, 2009).

Outros fatores que influenciam na eficiência energética do edifício são o formato da construção, em que área de superfície de contato entre o construído e o exterior influencia na perda ou ganho de calor, e, para se ter um edifício energeticamente eficiente, a razão entre superfície e volume deve ser baixa; e a orientação solar em relação à edificação, em que o nível de incidência solar funcionará como forma de climatização no inverno, e poderá ser reduzido no verão por meio de técnicas de sombreamento.

Há ainda, a influência dos materiais e sistemas construtivos utilizados na construção do edifício, que definirão a qualidade do edifício e sua capacidade de acumular, absorver ou evitar ganhos ou perdas de calor. Nesses termos, pode-se citar alguns fatores que terão influência no comportamento térmico da edificação.

Dentre esses fatores, Jardim (2009) cita a inércia térmica, que é a capacidade do edifício de evitar as variações de temperatura em seu interior devido à capacidade de acumular calor nos seus elementos da construção, e o isolamento térmico, que dificulta a transferência de calor por condução do interior para o exterior, e vice-versa, e mantém o ar interior a uma temperatura confortável ao evitar a entrada de ar quente ou frio, por meio de um material isolante. Além disso, a autora cita a importância de uma boa escolha dos tipos de vidros utilizados na construção, pois há grande porcentagem de ganho e perda de calor por essas superfícies, e de se ter espaços interiores com ventilação para maior conforto térmico no verão.

2.2.2 Medidas de Reabilitação Energética

As perdas energéticas de um edifício podem se dar pelo uso excessivo de instalações para aquecimento e arrefecimento do ar e para iluminação, juntamente com a dissipação de energia pelo edifício, que se dá principalmente em construções sem isolamento térmico e sem inércia térmica. Para evitar essa situação e alcançar a eficiência térmica de um edifício já construída, há alguns métodos que podem ser adotados (JARDIM, 2009).

Dentre as medidas disponíveis, pode-se destacar a reabilitação térmica das envolventes do edifício, que se caracteriza pela redução do consumo energético do edifício por meio do reforço da proteção das paredes opacas, que incluem as paredes externas, os pavimentos sobre áreas não aquecidas e coberturas, por meio do reforço de vãos envidraçados e por meio de recursos de tecnologias solares passivas, como sombreamento e utilização de luz natural.

Segundo Ferreira (2009), as estratégias de aquecimento que podem ser utilizadas em uma reabilitação energética incluem a aplicação de materiais isolantes nos elementos construtivos e a aplicação de caixilharias com vedação eficiente nas janelas. Já as estratégias de arrefecimento podem se dar pelo aproveitamento da inércia térmica por meio do isolamento das paredes pelo exterior, criação de aberturas que permitam boa ventilação natural e a instalação de dispositivos de sombreamento.

O isolamento térmico nas paredes da envolvente do edifício é uma das principais medidas de reabilitação energética, visto que permite reduzir as trocas de calor entre o interior e o exterior e minimiza as necessidades de aquecimento ou arrefecimento e os riscos de ocorrência de condensações. O desempenho de um isolamento térmico é determinado pelo coeficiente de transmissão térmica, U , sendo que o isolamento será melhor quanto menor for esse coeficiente, e o valor do coeficiente será menor quanto maior for a espessura do isolamento (MACHADO, 2014).

Para o isolamento térmico das paredes, os materiais mais utilizados são o EPS (poliestireno expandido), o XPS (poliestireno extrudido), a PUR (espuma de poliuretano), o ICB (aglomerado negro de cortiça) e a MW (lã mineral). Para as coberturas, pode-se utilizar mantas de isolamento, placas de poliuretano extrudido ou de aglomerado negro de cortiça, grânulos de material isolante, ou poliestireno expandido para coberturas construídas em betão ou alvenaria. Existe também a

solução de painéis isolantes especiais, denominados painéis sanduíche, os quais integram varas, forro inferior e o isolamento térmico. No caso dos pavimentos, as perdas de calor por meio dessa componente podem atingir até 20% das perdas totais e a aplicação do isolamento térmico pode ser feita na face inferior, em uma zona intermediária em situações de pavimentos com vazios, ou na face superior (FERREIRA, 2009; MACHADO, 2014).

Segundo Machado (2014), os vãos envidraçados podem representar de 35 a 40% das perdas térmicas totais do edifício nas estações frias, e nas estações quentes podem causar problemas de sobreaquecimento interior, necessitando arrefecimento. A reabilitação térmica dos vãos envidraçados além de contribuir para o reforço do isolamento térmico do edifício e da redução de infiltrações de ar, também contribui para o controle de ganhos solares, aumentando o aproveitamento solar no inverno e reforçando a proteção à radiação solar no verão, além de melhorar a eficiência da iluminação natural. As medidas de reabilitação térmica de vãos envidraçados podem, então, ser feitas por meio da melhoria do desempenho das janelas já existentes, com fixação de folhas móveis adicionais, substituição do vidro, instalação de segunda janela em cada vão e reforço dos perfis de caixilharia; por meio da substituição das janelas existentes por outras adaptadas às exigências atuais; ou por meio da adoção de medidas complementares para melhoria da eficiência energética, como a correção de pontes térmicas, a colocação de pinázios na face exterior ou no interior do vidro duplo, a instalação de dispositivo de oclusão noturna, de sombreamento e de proteção solar, e a alteração da área do vão envidraçado.

2.2.3 Enquadramento Legal

2.2.3.1 Legislação relevante da área

Os documentos legislativos mais relevantes para reduzir o uso de energia nos edifícios são o Decreto-Lei nº 118/2013 (Diário da República, 2013-a), que aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), acompanhado pelas

provisões para o sector de edifícios no Decreto-Lei n.º 64/2020 (Diário da República, 2020-a), que estabelece disposições em matéria de eficiência energética, transpondo a Diretiva (UE) 2018/2002. O Decreto-Lei n.º 101-D/2020 (Diário da República, 2020-b), que 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, revogou e substituiu o Decreto-Lei n.º 118/2013, entrará em vigor em 1 de julho de 2021. Outro documento legislativo de grande importância para o desempenho energético de edifícios é a Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A /2021 (República Portuguesa, 2021), que aprovou a Estratégia de Longo Prazo de Renovação de Edifícios (ELPRE). Nesse documento é delineada a estratégia para redução de energia primária no sector de edifícios, com alvos indicativos para os anos de 2030, 2040 e 2050. A nível da Europa Comunitária, o Regulamento Delegado (EU) n.º 244/2012 (European Parliament & Council of the European Union, 2012) introduziu o Quadro Metodológico Comparativo para calcular os níveis ótimos de rendibilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético para edifícios e componentes de edifícios. Esta metodologia de cálculo harmonizada é utilizada nos relatórios nacionais dos Estados Membros (EM) da UE, relativos às Estratégias de Longo-prazo para Mobilização de Investimentos em Renovação do Stock Nacional de Edifícios (*Long-term Renovation Strategies for Mobilising Investment in the National Stock of Buildings - LTRS*).

2.2.3.2 Metodologia de cálculo

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços é aferido pela determinação do seu Indicador de Eficiência Energética (IEE), que é determinado com base no somatório dos consumos anuais de energia IEEs e IEEt, em que IEEs representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício e o IEEt representa os consumos que não são considerados. No Quadro 1, são listados os consumos de energia a considerar.

Quadro 1 – Consumos de energia a considerar no IEEs e IEEt.

| Consumos no IEEs | Consumos no IEEt |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humedificação e desumidificação; - Ventilação e bombagem em sistemas de climatização; - Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas; - Iluminação interior; - Elevadores, escadas e tapetes rolantes; - Iluminação exterior. | <ul style="list-style-type: none"> - Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica; - Equipamentos de frio; - Iluminação dedicada e de utilização pontual; - Todos os restantes equipamentos não incluídos no IEEs. |

Fonte: Portaria nº 349-D/2013 de 2 de dezembro (Diário da República, 2013-b).

Ainda, os tipos de Indicadores de Eficiência Energética podem ser o IEE previsto, que traduz o consumo anual de energia do edifício com base na localização, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício. O IEE efetivo, que traduz o consumo anual de energia do edifício com base no histórico de faturas de energia e/ou considerando os resultados de uma avaliação energética realizada numa base de tempo anual, bem como os dados provenientes de um sistema de gestão de energia. E o IEE de referência, que traduz o consumo anual de energia caso este fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do edifício.

Para escolha do método de determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços, deve-se consultar a tabela disponibilizada pela Portaria nº 349-D/2013 de 2 de dezembro, representada no Quadro 2.

Quadro 2 - Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo de edifício e a sua situação.

| Tipo de edifício | Método | Novo | Existente | Grande Intervenção |
|---|-------------|--|---|--|
| Pequeno edifício de comércio e serviço (PES) | Base | Simulação dinâmica multizonal | Consumo efetivo | Simulação dinâmica multizonal |
| | Alternativo | Cálculo dinâmico simplificado (monozona) | Simulação dinâmica multizonal ou cálculo dinâmico simplificado (monozona) | Cálculo dinâmico simplificado (monozona) |
| Grande edifício de comércio e serviço (GES) | Base | Simulação dinâmica multizonal | Consumo efetivo | Simulação dinâmica multizonal |
| | Alternativo | Não aplicável | Simulação dinâmica multizonal | Não aplicável |
| GES sujeito a Plano de Racionalização Energética (PRE), com medidas de melhoria no sistema de climatização e/ou na envolvente | Base | Não aplicável | Simulação dinâmica multizonal | Não aplicável |
| | Alternativo | Não aplicável | Não aplicável | Não aplicável |
| GES sujeito a PRE, sem medidas de melhoria no sistema de climatização ou na envolvente | Base | Não aplicável | Simulação dinâmica multizonal | Não aplicável |
| | Alternativo | Não aplicável | Cálculo anual simples | Não aplicável |

Fonte: Portaria nº 349-D/2013 de 2 de dezembro (Diário da República, 2013-b).

Considerando que este trabalho estuda um grande edifício de comércio e serviço (GES) com grande intervenção, o método utilizado será de Simulação Dinâmica Multizonal, que deve ser realizado por programa creditado pela norma ASHRAE 140.

3 METODOLOGIA

3.1 ABORDAGEM ADOTADA NA INVESTIGAÇÃO

Segundo Gil (2002), a pesquisa pode ser avaliada quanto ao seu objetivo, sendo classificada como descritiva, exploratória ou explicativa. Baseando-se nessa consideração, a presente pesquisa pode ser classificada como exploratória devido a sua forma de pesquisa bibliográfica, que constitui em uma pesquisa baseada em materiais já publicados (KAUARK *et al.*, 2010).

A classificação pelo objetivo possui um caráter teórico de avaliação, mas é necessário que se faça uma avaliação quanto ao caráter empírico da pesquisa. Gil (2002) cita que essa forma de classificação é denominada delineamento e explica que a avaliação é feita considerando o ambiente, o processo e a análise de coleta de dados, podendo ser dividida em duas categorias: pesquisa bibliográfica e pesquisa experimental. Nesse âmbito, esse trabalho pode ser classificado como pesquisa experimental, visto que realiza um estudo de caso, com levantamento, exposição e análise de dados, permitindo o estudo detalhado de um determinado objeto.

Do ponto de vista da natureza das pesquisas, segundo Kauark *et al.* (2010), esse trabalho se caracteriza como pesquisa aplicada, já que se classifica como aplicação prática. Já em relação à forma de abordagem do problema, essa pesquisa pode ser classificada como quantitativa, pois traduz e analisa os dados em forma de valores, números e quantidades.

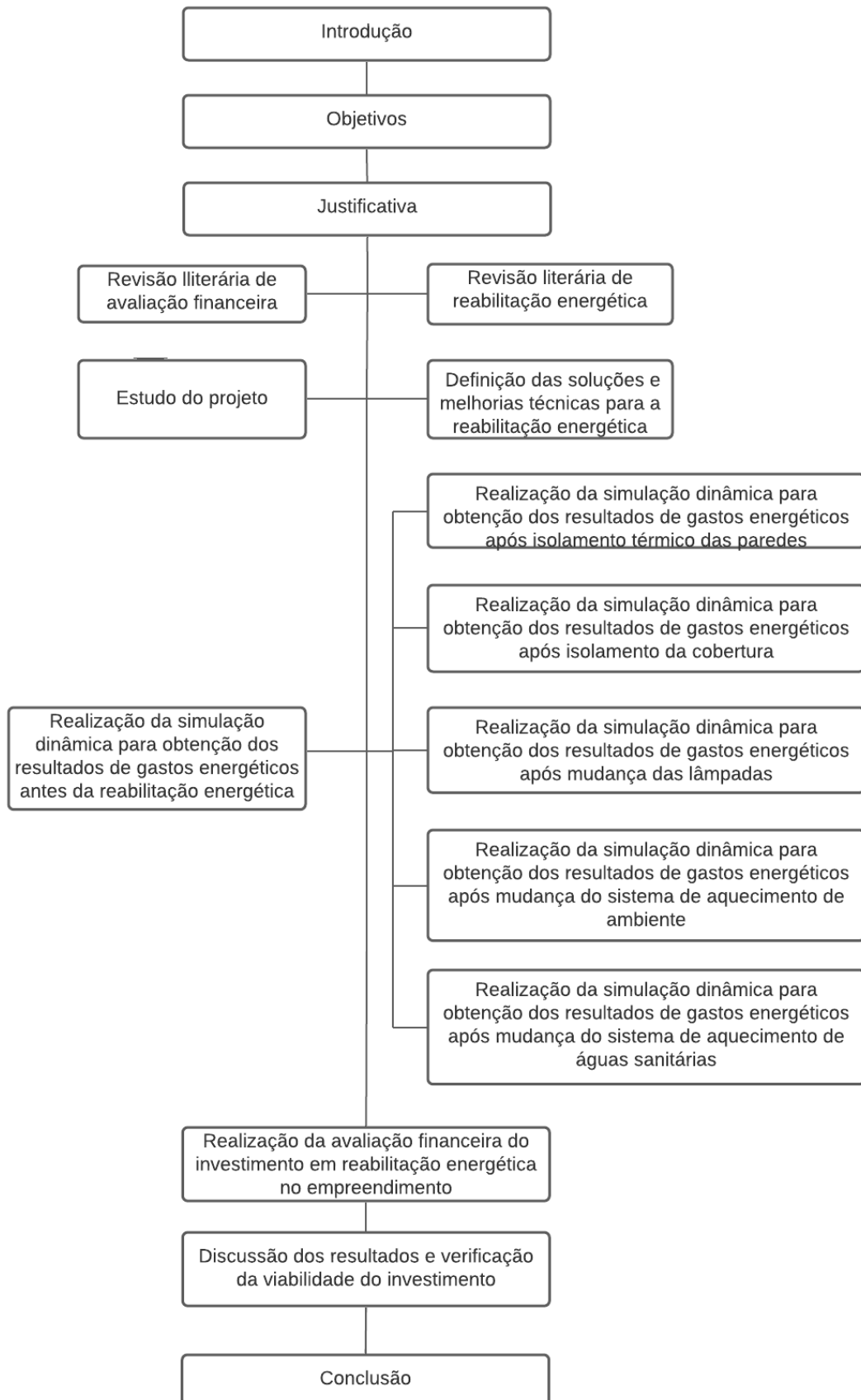
Os procedimentos utilizados para se realizar a pesquisa se iniciam com a revisão teórica sobre os métodos de avaliação financeira e seus assuntos relacionados e também acerca das técnicas de reabilitação energética em edifícios construídos. Após a revisão da literatura, se fez um estudo do projeto do edifício utilizado para a pesquisa, a fim de avaliar as alternativas de reabilitação energética a serem implementadas no edifício.

Posteriormente, foram feitas as simulações dinâmicas do edifício, a fim de se obter seus gastos energéticos no período de um ano, considerando o edifício antes da reabilitação energética, com consumo ineficaz de energia, e após a reabilitação energética, em que foram adotadas novos equipamentos e soluções construtivas.

Após a obtenção dos resultados energéticos das simulações, foram feitos os cálculos de avaliação financeira para se verificar a viabilidade econômica de se investir nessas tecnologias, avaliando os custos de implementação e manutenção, os retornos esperados e os benefícios obtidos ao longo do uso da edificação, em detrimento da construção sem a aplicação dessas medidas.

Na Figura 1, é mostrada uma representação do método de procedimentos em forma de um fluxograma.

Figura 1 – Fluxograma do método de procedimentos.



3.2 ESTUDO DE CASO

3.2.1 Caracterização do Empreendimento

O empreendimento utilizado para se fazer o estudo de caso proposto para esse trabalho se localiza no concelho de Bragança, em Portugal, no endereço Avenida Cidade de Zamora, na freguesia de Santa Maria. A construção pertence ao Instituto Diocesano do Clero (IDC) e se refere ao Seminário Maior de São José. Sua área de construção é de 2.610,00 m², possui volumetria de 7.998,00 m³ e área de implantação de 596,00 m².

Será feita a reconstrução parcial da edificação em sua ala central e em seu interior pela empresa Activersátil Projetos e Fiscalização LDA, a qual forneceu o projeto para o estudo de reabilitação energética do presente trabalho.

O edifício é composto por uma cave, composta de quatro espaços sem utilização prevista, que, após a reconstrução, o espaço será destinado a anfiteatro, arrumo de apoio, instalações sanitárias separadas por sexo e com acessibilidade a pessoas com mobilidade condicionada, escadas de acesso ao rés do chão, circulação, sala de informática e acesso à zona de elevador existente e ao exterior.

Há ainda o rés do chão constituído por seis salas de aula, da época em que se lecionava no edifícios, por uma sala destinada a biblioteca e por escadas de ligação ao primeiro andar. Após a reconstrução, o espaço será destinado a salas de exposições e reuniões, arrumos de apoio, foyer, instalações sanitárias, sala de receção, biblioteca, escadas de acesso ao primeiro andar e à cave e acesso à zona de elevador existente.

O primeiro andar é constituído por catorze quartos para acondicionamento de alunos e padres, da época em que se lecionava no edifício, dois espaços sem funcionamento definido, salas amplas, instalações sanitárias de uso coletivo e escadas de ligação ao segundo andar e ao rés do chão. Após a reconstrução, o espaço será designado a sala de televisão, arrumos, circulação e sete suítes com kichenette e sala de estar, sala de escritório, escadas de acesso ao segundo andar e ao rés do chão e acesso à zona de elevador existente.

O segundo andar é constituído por catorze quartos para acondicionamento de alunos e padres, da época em que se lecionava no edifício, um espaço de grandes

dimensões que ocupa aproximadamente metade do piso, instalações sanitárias de utilização coletiva, e escadas de acesso ao primeiro andar e ao sótão. Após a reconstrução, o espaço terá dezenove suítes, sala de televisão e instalação sanitária, arrumos, circulação, escadas de acesso ao primeiro andar e ao sótão e acesso à zona de elevador existente.

Por fim, há também o desvão de cobertura existente, constituído por um espaço amplo com escadas de acesso ao segundo andar, que, após a reconstrução, será o sótão com sete suítes, circulação, escadas de acesso ao segundo andar e acesso à zona de elevador existente.

A estrutura da reconstrução será executada em um sistema de sapatas, pilares, vigas e lajes aligeiradas, pré-fabricadas e pré-esforçadas com correção das pontes térmicas planas e lineares, com aplicação do isolamento de lã de rocha com 80 mm de espessura.

As paredes externas serão mantidas na íntegra e a correção das pontes térmicas será feita no interior com recurso a pladur de 12 mm e lã de rocha com 80 mm de espessura. As paredes divisórias serão executadas em tijolo duplo de 10,5 cm cada lado e com isolamento em lã de rocha no interior de 80 mm. Os revestimentos exteriores se manterão inalterados. O pavimento ao nível da cave é construído com 10 cm de betão e se manterá dessa forma.

As portas interiores serão executadas em madeira de carvalho do tipo "Vicaima", modelo a definir em fase de obra, com aplicação de verniz incolor, sendo ainda de considerar que as ferragens serão tipo "TUPAI" de cor inox.

Nas paredes exteriores serão mantidas as pinturas existentes, no interior será aplicada pintura do tipo tinta plástica lavável do tipo "CIN" ou equivalente e com cores a definir em função dos espaços e no decurso de obra.

A cobertura se desenvolve em quatro águas, em telhas cerâmicas, com estrutura em madeira e será colocado isolamento térmico com cortiça.

Todas as dependências interiores sem ventilação natural serão providas de dispositivos para evacuação de fumos e gases e eliminação de maus cheiros.

A Figura 2 demonstra a vista frontal da edificação, na qual já está ocorrendo a obra de remodelação.

Figura 2 – Vista frontal da edificação.



Já as Figuras 3 a 8, mostram os projetos da cave, do rés do chão, do primeiro e segundo piso e do aproveitamento da cobertura e o corte da edificação.

Figura 3 – Projeto da cave.

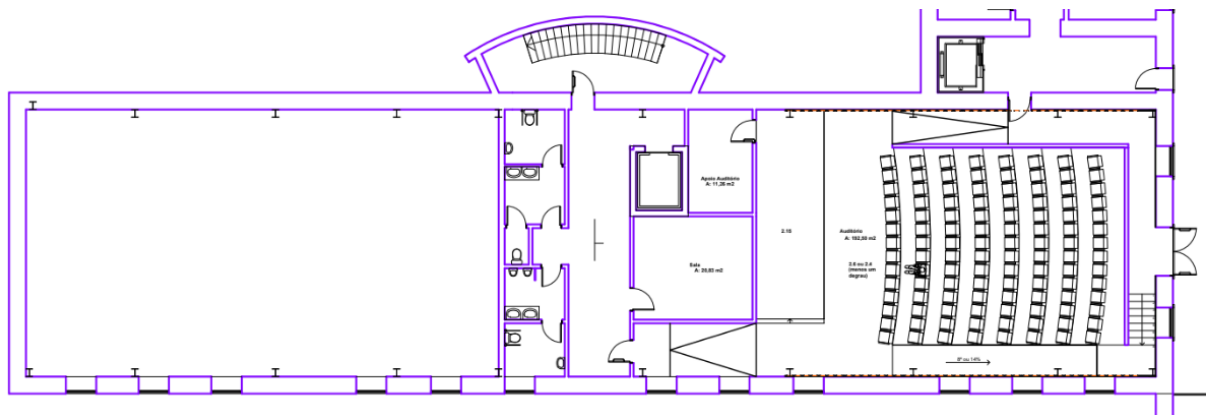


Figura 4 – Projeto do rés do chão.

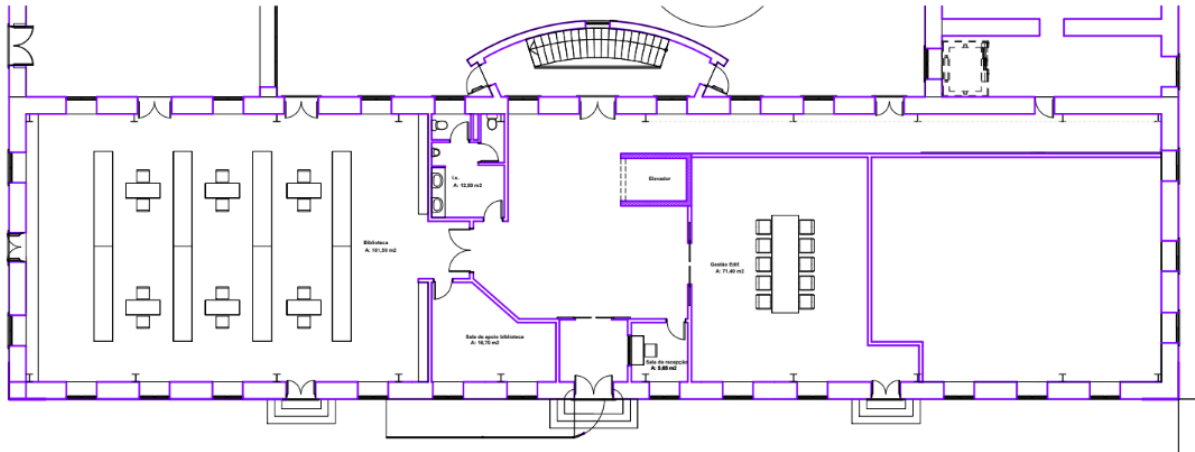


Figura 5 – Projeto do primeiro pavimento.

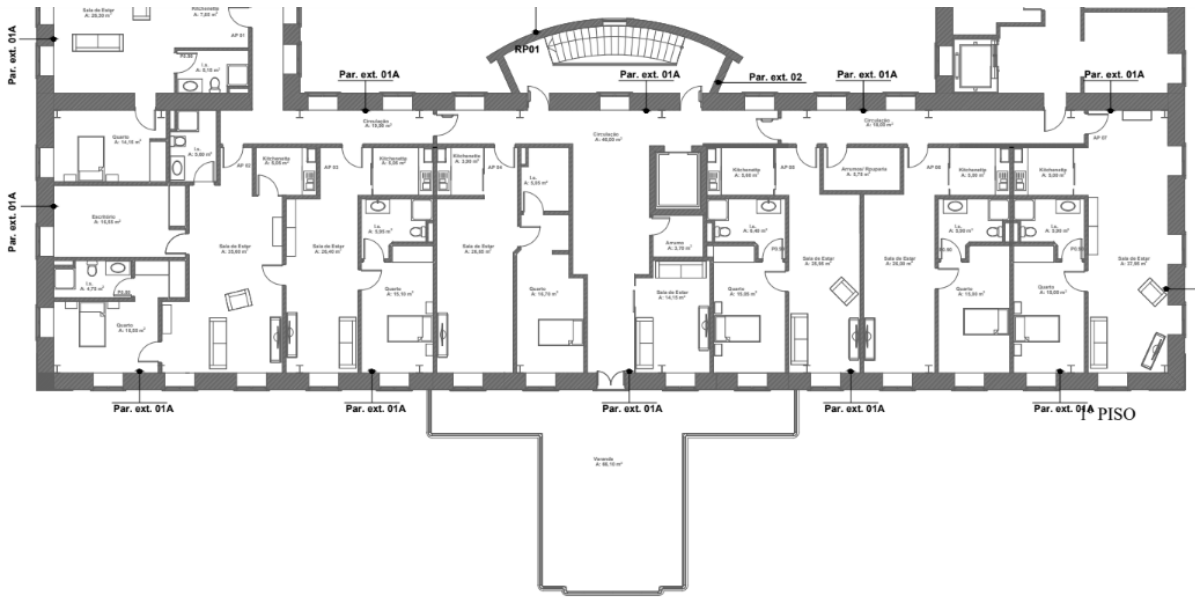


Figura 6 – Projeto do segundo pavimento.

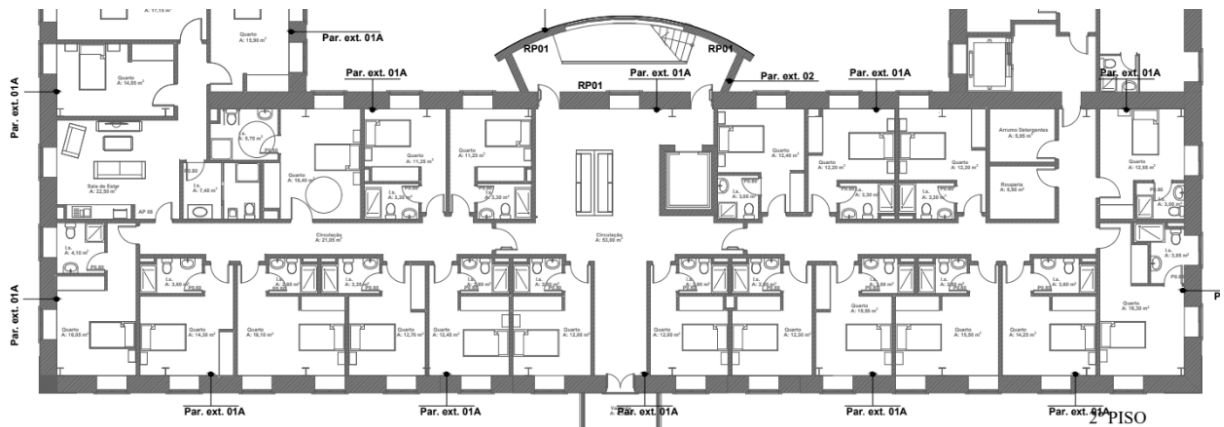


Figura 7 – Projeto do aproveitamento da cobertura.

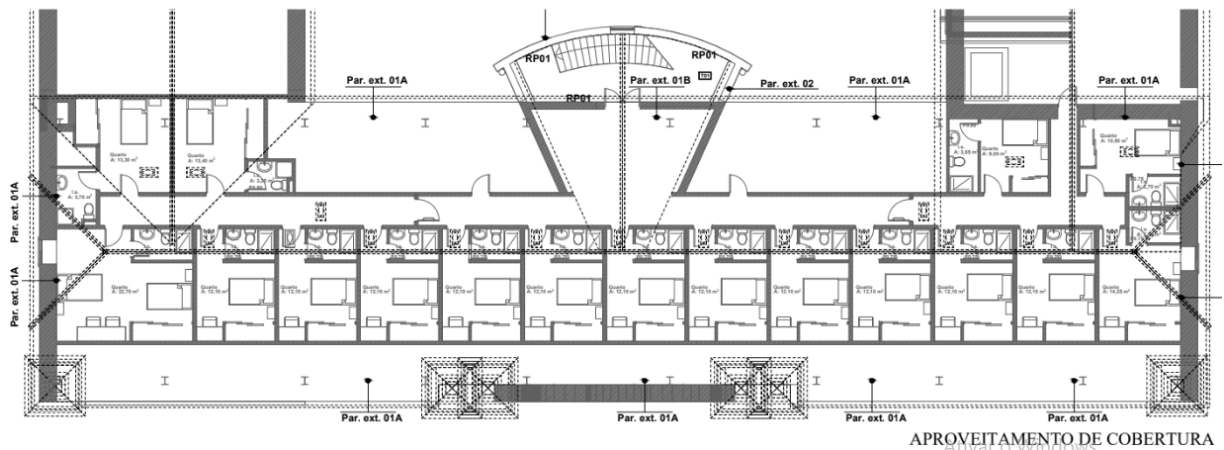


Figura 8 – Corte da edificação.



3.2.2 Zona Climática

De acordo com o Despacho nº 15793-F/2013 de 20 de agosto (Diário da República, 2013-c), o zoneamento climático de Portugal baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto Lei nº 68/2008 de 14 de abril, alterado pelo Decreto Lei nº 85/2009 de 3 de abril e pela Lei nº 21/2010 de 23 de agosto. No Quadro 3, estão demonstrados os municípios de Alto Trás-os-Montes.

Quadro 3 – Municípios de Alto Trás-os-Montes.

| NUTS III | Municípios |
|---------------------|--|
| Alto Trás-os-Montes | Alfândega da Fé, Boticas, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vimioso, Vinhais |

Fonte: Despacho nº 15793-F/2013 de 20 de agosto (Diário da República, 2013-c).

Para a aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente, são definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3). As zonas climáticas de inverno, correspondentes à estação de aquecimento, são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18°C, representadas no Quadro 4, e as zonas climáticas de verão, correspondentes à estação de arrefecimento, são definidas a partir da temperatura média exterior, $\theta_{ext,v}$, demonstrado no Quadro 5.

Quadro 4 – Critérios para a determinação da zona climática de inverno.

| Critério | $GD \leq 1300$ | $1300 < GD \leq 1800$ | $GD > 1800$ |
|----------|----------------|-----------------------|-------------|
| Zona | I1 | I2 | I3 |

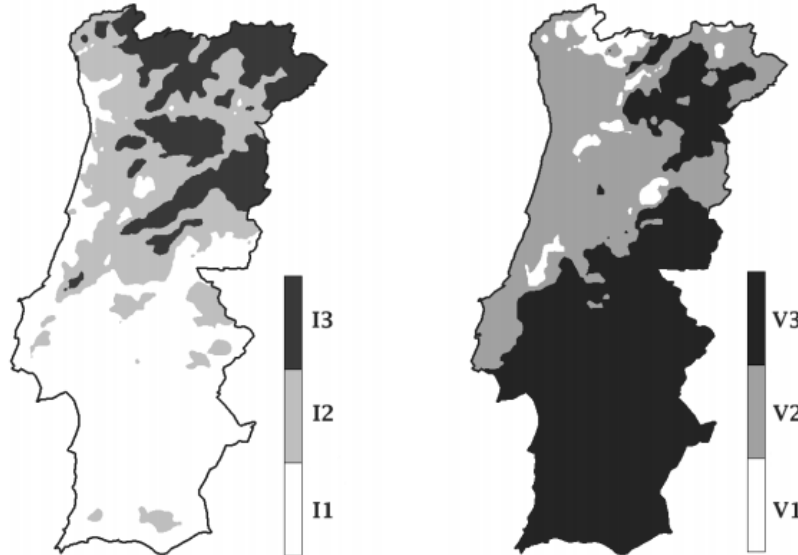
Fonte: Despacho nº 15793-F/2013 de 20 de agosto (Diário da República, 2013-c).

Quadro 5 – Critérios para a determinação da zona climática de verão.

| Critério | $\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}c$ | $20^{\circ}c < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}c$ | $\theta_{ext,v} > 22^{\circ}c$ |
|----------|-----------------------------------|---|--------------------------------|
| Zona | V1 | V2 | V3 |

Fonte: Despacho nº 15793-F/2013 de 20 de agosto (Diário da República, 2013-c).

Figura 9 – Zonas climáticas de inverno (esquerdo) e verão (direito) no continente.



Fonte: Despacho nº 15793-F/2013 de 20 de agosto (Diário da República, 2013-c).

Os valores dos parâmetros climáticos X associados a um determinado local são obtidos por meio de valores de referência X_{REF} para cada NUTS III e ajustados com base na altitude z do local, que são do tipo linear, com declive α , proporcional à diferença entre a altitude do local e a altitude de referência z_{REF} , conforme a equação XVI.

$$X = X_{REF} + \alpha (z - z_{REF}) \quad [meses \text{ ou } ^\circ C] \quad (XVI)$$

Os valores de referência e de declives para ajuste da altitude na estação de aquecimento para o Alto Trás-os-Montes estão representados no Quadro 6.

Quadro 6 – Valores de referência e declives para ajuste de altitude para estação de aquecimento.

| NUTS III | z | M | | GD | | $\theta_{ext,i}$ | | G_{sul} |
|----------------------------|-----|-------|----------|------|----------|------------------|----------|--------------------|
| | REF | REF | α | REF | α | REF | α | kWh/m ² |
| | m | meses | meses/km | °C | °C/km | °C | °C/km | por mês |
| Alto Trás-os- Montes | 680 | 7,3 | 0 | 2015 | 1400 | 5,5 | -4 | 125 |

Fonte: Despacho nº 15793-F/2013 de 20 de agosto (Diário da República, 2013-c).

Em que,

GD - números graus-dias, na base de 18°C, correspondente à estação de aquecimento;

M - duração da estação de aquecimento;

$\theta_{ext,i}$ - temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento;

G_{sul} - energia solar média mensal durante a estação, recebida em uma superfície vertical orientada a Sul, em [kWh/m².mês].

Os valores de referência e declive para ajuste em altitude na estação de arrefecimento no Alto Trás-os-Montes estão demonstrados no Quadro 7.

Quadro 7 – Valores de referência e declive para ajuste de altitude na estação de arrefecimento.

| NUTS III | z | $\theta_{ext,v}$ | | I_{sol} | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----|------------------|----------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | REF | REF | α | kWh/m ² acumulados de junho a setembro | | | | | | | | |
| | m | °C | °C/km | 0°C | 90°C | 90°C | 90°C | 90°C | 90°C | 90°C | 90°C | 90°C |
| | | | | | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| Alto Trás- os- Montes | 680 | 21,5 | -7 | 790 | 220 | 345 | 480 | 485 | 425 | 485 | 480 | 345 |

Fonte: Despacho nº 15793-F/2013 de 20 de agosto (Diário da República, 2013-c).

Em que,

$\theta_{ext,v}$ - temperatura exterior média, em °C;

I_{sol} - energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, em [kWh/m²].

3.3 SIMULAÇÃO DINÂMICA

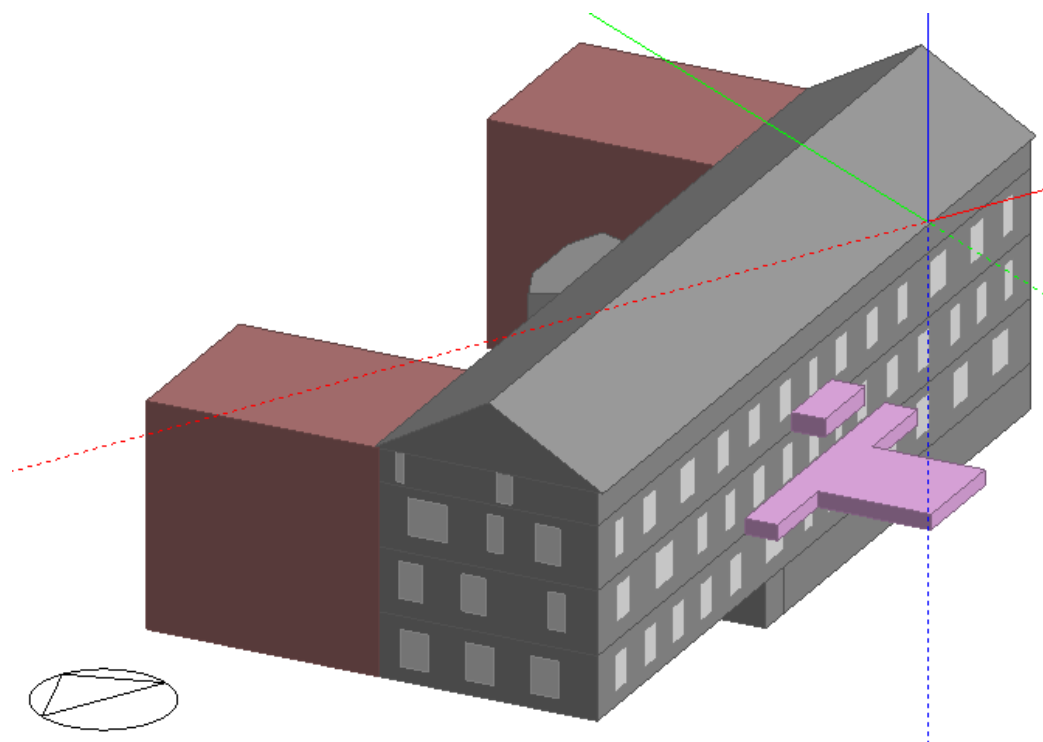
Para a realização da simulação dinâmica, foi utilizada a plataforma DesignBuilder com a interface EnergyPlus, que constitui em um programa de simulação para análises energéticas e térmicas, baseado nas características construtivas e de uso da edificação em análise, que visa estimar os gastos energéticos com arrefecimento, aquecimento ambiente, aquecimento de águas sanitárias, iluminação e usos de equipamentos.

Assim, foi feita a modelagem em 3D da representação do edifício do Seminário de São José de forma a tornar a simulação o mais real possível. Para isso, foram exportadas as plantas do edifício em AutoCAD para o DesignBuilder e as formas do prédio foram modeladas. O edifício foi dividido em zonas para a análise multizonal e, após, foi feita a entrada de dados com as características de uso de cada zona, como características de ventilação, uso de aquecimento e/ou arrefecimento, iluminação e as características construtivas da edificação.

Como forma de comparação, foram feitas seis simulações, a primeira com características de uso consideradas ineficientes (Cenário 0) e as seguintes representando a adoção de medidas de mudança, que inclui colocação de isolamento térmico nas paredes externas e de divisória, colocação de isolamento térmico na cobertura, troca de lâmpadas fluorescentes para lâmpadas LED, mudança do sistema de aquecimento de ambientes de aquecedores a óleo elétricos para caldeiras a gás e radiadores, e mudança de sistema de aquecimento de águas sanitárias de caldeiras a gás para bombas de calor.

A Figura 10 demonstra a representação em 3D do edifício do Seminário de São José.

Figura 10 – Modelo em 3D do edifício do Seminário de São José.



Vale ressaltar a importância de se ter uma correta orientação cartográfica do norte, para correta avaliação das incidências de luz solar ao longo do ano.

4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ENERGIA

Conforme especificado na secção 3.3, foi realizada a simulação dinâmica do edifício. As características do edifício para a simulação do Cenário 0 incluem paredes externas com 95 cm de pedra de xisto revestida interna e externamente com 2,5 cm de reboco e paredes internas para divisória dos cômodos com 10,5 cm de tijolo e reboco de 1,3 cm em cada lado, sem isolamento térmico; cobertura inclinada de madeira sem isolamento térmico; pavimento com lajes de betão armado sem isolamento térmico; janelas de alumínio, sem ruptura térmica, com vidros duplos e caixa de ar de 12 mm; e iluminação com lâmpadas fluorescentes. O aquecimento do ambiente é feito com aquecedores a óleo elétricos, sendo um aquecedor por compartimento, e o arrefecimento é feito com ventoinhas de 50W, sendo uma para

cada quarto e sala; e o aquecimento de água quente será por gás natural, para casas de banho e kitchenettes.

Os resultados obtidos para os consumos de energia para o cenário de baixa eficiência energética são demonstrados no Quadro 8.

Quadro 8 – Consumos de energia anual no edifício sem intervenção (Cenário 0).

| Uso | Consumo de energia (kWh) |
|---------------------------------|--------------------------|
| Aquecimento ambiente | 127.412,22 |
| Aquecimento de águas sanitárias | 43.898,74 |
| Arrefecimento | 1.319,47 |
| Iluminação | 30.145,83 |
| Equipamentos | 24.899,23 |
| Total | 227.675,49 |

Já para o cenário de reabilitação energética do edifício, foi analisada a implementação das seguintes medidas de melhoria: Medida 1 (M1), em que será colocado isolamento térmico de lã de rocha de 80mm na envolvente interior, com acréscimo de placa de gesso cartonado; Medida 2 (M2) com colocação de isolamento térmico de cortiça na cobertura, pelo interior; Medida 3 (M3) em que a iluminação será substituída por lâmpadas LED, garantindo 250 lux; Medida 4 (M4) para o aquecimento do ambiente, que passará a ser feito por radiadores a água, alimentados por duas caldeiras a gás; e Medida 5 (M5), na qual o aquecimento de águas quentes será obtido com uso de bomba de calor. As janelas e as ventoinhas para arrefecimento serão mantidas conforme anteriormente.

Assim, os consumos de energia para cada medida de mudança estão representados no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9 – Consumo de energia anual no edifício implementado com cada medida de melhoria (kWh).

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Iluminação | 30.145,83 | 30.145,83 | 21.222,24 | 30.145,83 | 30.145,83 |
| Equipamentos | 24.899,23 | 24.899,23 | 24.889,23 | 24.889,23 | 24.889,23 |
| Arrefecimento | 1.319,47 | 1.319,47 | 1.319,47 | 1.319,47 | 1.319,47 |
| Aquecimento | 101.798,21 | 122.315,45 | 127.412,22 | 127.107,04 | 127.412,22 |
| AQS | 43.898,74 | 43.898,74 | 43.898,74 | 43.897,74 | 11.635,81 |
| Total | 202.091,48 | 222.578,72 | 218.741,90 | 227.359,31 | 195.402,56 |

Quadro 10 – Alterações no consumo energético.

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
|---|---------------|--------------|--------------|----------------|---------------|
| Redução de consumo de gás natural | - | - | - | - | 43.897,74 kWh |
| Redução de consumo de eletricidade | 25.614,01 kWh | 5.097,77 kWh | 8.923,59 kWh | 127.412,22 kWh | - |
| Aumento de consumo de gás natural | - | - | - | 127.107,04 kWh | - |
| Aumento de consumo de eletricidade | - | - | - | - | 11.635,81 kWh |
| Percentual de Redução de Consumo Energético | 11,25% | 2,24% | 3,92% | 0,13% | 14,17% |

Os resultados da simulação dinâmica demonstraram que, para as medidas de eficiência referentes às tecnologias passivas aplicadas na envolvente do edifício, houve uma redução significativa no consumo de eletricidade para a medida M1 (isolamento térmico das paredes) e uma redução mais ligeira para a medida M2 (isolamento térmico da cobertura). Essas reduções repercutiram-se no consumo de

energia do sistema de aquecimento ambiente. Para a medida M3 (equipamento de iluminação LED), houve uma redução muito significativa no consumo de eletricidade do sistema de iluminação (cerca de 30%).

Para a medida M4 (equipamento de aquecimento ambiente), a redução do consumo de eletricidade foi praticamente igual ao aumento do consumo de gás natural, e para medida M5 (equipamento AQS), o aumento do consumo de eletricidade foi cerca de um quarto da redução do consumo de gás natural.

5 AVALIAÇÃO FINANCEIRA DOS INVESTIMENTOS DE RENOVAÇÃO ENERGÉTICA

5.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO E ASSUNÇÕES

Como já mencionado no Capítulo 2, o Quadro Metodológico Comparativo da UE utiliza o método LCC para escolher o menor custo global de diferentes medidas/pacotes de eficiência energética para, assim, comparar o custo ótimo dos níveis de desempenho energético com os requisitos mínimos regulamentares utilizados a nível nacional nos Estados Membros (EM) da UE. Tanto o método NS, que é uma variante do método BL, como o método TIR podem ser utilizados para avaliar a viabilidade financeira da intervenção de reabilitação proposta. Neste estudo, adotou-se o método NS. A formulação deste método é apresentada na equação XVII:

$$VPNS_{A_1: A_2} = \sum_{t=0}^N \frac{S_t - (I_t + CM_t + CSub_t) + VR_N}{(1+d)^t} \quad (XVII)$$

Em que,

$VPNS_{A_1: A_2}$ - valor presente das reduções líquidas da alternativa A_1 quando comparado com uma alternativa mutuamente exclusiva A_2 ;

S_t - reduções líquidas no ano t de A_1 menos aquelas de A_2 ;

I_t - custos de investimento no ano t de A_1 menos aqueles de A_2 ;

CM_t - custos de operação e manutenção no ano t de A_1 menos aqueles de A_2 ;

$CSub_t$ - custos de substituição no ano t de A_1 menos aqueles de A_2

VR_N - valor residual no ano N do período de estudo de A_1 menos aquele de A_2 ;

N - número de anos no período de estudo;

d - taxa de desconto.

Um valor positivo do valor presente do NS significa que o investimento é economicamente eficiente. Como se pode verificar pela equação XVII, quanto maior for a taxa de desconto, menor será o valor presente do NS. De facto, a taxa de desconto é um parâmetro económico crucial na análise dos sistemas de energia (Steinbach and Staniaszek, 2015). As taxas de desconto individuais são estimadas para modelar tomadas de decisão de investimentos que reflitam o retorno esperado de um investidor. Num trabalho comissionado pelo Building Performance Institute Europe (BPIE), Steinbach and Staniaszek (2015) assinalaram que as taxas de descontos utilizadas nas LTRS dos EM são estabelecidos num intervalo entre 1 e 7%, expressas em termos reais. Para os investidores privados (investidores não-comerciais, incluindo o sector doméstico), esses autores recomendam taxas reais de desconto num intervalo de 3 a 6%. O Regulamento Delegado (EU) nº 244/2012 estabelece que os EM têm que fixar a taxa de desconto para ser utilizado no cálculo macroeconómico após o desenvolvimento de uma análise de sensibilidade com pelo menos duas diferentes taxas, em que uma delas tem que ser 3%, expressa em termos reais (Bogdan, and Ilektra, 2013). Em Portugal, na 2ª LTRS (DGEG, e ADENE, 2019) foi utilizada uma taxa real de desconto de 3% e outra de 1.5% na análise de sensibilidade, tanto na abordagem macroeconómica como na abordagem financeira. Na Estratégia de Longo-prazo para a Renovação Energética (República Portuguesa, 2021) foi adotada uma taxa de desconto nominal de 2,52% na abordagem financeira. Como o proprietário do edifício objeto de estudo é uma entidade privada não-comercial, uma estimativa para a taxa de desconto tende a situar-se no nível mais baixo do intervalo das taxas referidas em Steinbach and Staniaszek's (2015). Assim, uma taxa real de 4% adotada nesta análise parece estar razoavelmente construída. No que se refere ao desenvolvimento dos preços de energia, este trabalho utilizou a abordagem seguida em trabalhos anteriores (e.g. Conci *et al.*, 2019; Cova *et al.*, forthcoming) que adotaram preços de energia constantes (em termos reais) ao longo do período de estudo, para ter em conta a volatilidade dos preços no mercado de energia. O período de estudo foi fixado em 30 anos, finalizando em 2050.

5.2 CUSTOS DE EQUIPAMENTOS E DE ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO

Para se realizar as medidas de mudanças previstas, alguns investimentos deverão ser feitos para a implementação de novos equipamentos e técnicas construtivas. Para os equipamentos, será feita a troca dos aquecedores à óleo para os ambientes, para o aquecimento por radiadores a água alimentados por duas caldeiras à gás; o sistema de aquecimento de águas quentes para as casas de banho e as kitchenettes passará de caldeiras a gás para bomba de calor; e para a iluminação de todos os cômodos será feita a troca das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED. Como soluções construtivas, serão colocados isolamentos térmicos nas paredes externas e internas, pelo interior, e na cobertura.

Para isso, os dados dos custos para as medidas de melhoria M1 e M2 foram obtidos pelo gerador de preços do site da CYPE Ingenieros, S.A; os custos da medida M3 foram obtidos no site da Green Ice, empresa especialista em iluminação LED; já os custos da medida M4 foram obtidos através da consulta com um engenheiro mecânico; e os custos da medida M5 foram obtidos em um site de vendas de soluções de bombas de calor.

Ainda, a vida útil das soluções das paredes e da cobertura foi fixada em 30 anos e a dos equipamentos em 20 anos. Na análise de viabilidade, foram também considerados os custos de manutenção das soluções e dos equipamentos, sendo que para o sistema de iluminação só foram considerados os custos de manutenção para os primeiros 7 anos. E o valor residual dos equipamentos no ano 30 foram determinados a partir do método de depreciação linear.

O isolamento das paredes será feito pelo interior da parede em fachada dupla de alvenaria face à vista, formado por painel semi-rígido de lã mineral, segundo EN 13162, não revestido, de 80 mm de espessura, resistência térmica $2,25 \text{ m}^2\text{C/W}$, condutibilidade térmica $0,035 \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$, colocado topo a topo e fixado mecanicamente. Inclui fita autocolante para vedação de juntas. O revestimento interior directo será montado com o sistema W622.es "KNAUF", de 30 mm de espessura total, com nível de qualidade do acabamento Q2, formado por placa de gesso laminado tipo Standard (A) de 15 mm de espessura, aparafusada a uma estrutura metálica de aço galvanizado de mestras de 90x50 e 0,55 mm de espessura, previamente ancorada ao paramento vertical cada 400 mm, com parafusos de aço. Inclui fixações para a ancoragem dos

perfis; parafusos para a fixação das placas e massa de juntas Jointfiller 24H "KNAUF", fita microperfurada de papel "KNAUF". O preço inclui a resolução de encontros e pontos singulares, mas não inclui o isolamento a colocar entre as placas e o paramento.

Quadro 11 – Custo de isolamento das paredes (€/m²).

| Descrição | Ud. | Rend. | Preço Unitário | Total |
|--|----------------|-------|----------------|-------|
| Fixação mecânica para painéis isolantes de lã de rocha, colocados directamente sobre a superfície suporte. | Ud | 3,000 | 0,15 | 0,45 |
| Painel semi-rígido de lã mineral, segundo EN 13162, não revestido, de 80 mm de espessura, resistência térmica 2,25 m ² °C/W, condutibilidade térmica 0,035 W/(m°C), Euroclasse A1 de reacção ao fogo segundo NP EN 13501-1. | m ² | 1,050 | 10,51 | 11,04 |
| Fita autocolante para vedação de juntas. | m | 0,440 | 0,30 | 0,13 |
| Oficial de 1 ^a montador de isolamentos. | h | 0,131 | 14,98 | 1,96 |
| Ajudante de montador de isolamentos. | h | 0,131 | 14,22 | 1,86 |
| Custos diretos complementares | % | 2,000 | 15,44 | 0,31 |
| Custo de manutenção em 30 anos: 0,96 | | | Total | 16,71 |

Quadro 12 – Custo de revestimento das paredes (€/m²).

| Descrição | Ud. | Rend. | Preço Unitário | Total |
|--|----------------|--------|----------------|-------|
| Mestra Omega de chapa de aço galvanizado, de largura 80 mm, segundo EN 14195. | m | 2,000 | 1,05 | 2,10 |
| Placa de gesso laminado A / EN 520 - 1200 / comprimento / 15 / com os bordos longitudinais afinados. | m ² | 1,050 | 4,66 | 4,89 |
| Parafuso autoperfurante 3,5x25 mm. | Ud. | 11,000 | 0,01 | 0,11 |
| Fixação composta por bucha e parafuso 5x27. | Ud. | 9,000 | 0,06 | 0,54 |
| Massa de juntas, segundo EN 13963. | kg | 0,250 | 1,10 | 0,28 |

| | | | | |
|--|---|-------|-------|-------|
| Fita microperfurada de papel, segundo EN 13963. | m | 1,600 | 0,04 | 0,06 |
| Oficial de 1ª montador de pré-fabricados interiores. | h | 0,385 | 14,98 | 5,77 |
| Ajudante de montador de pré-fabricados interiores. | h | 0,385 | 14,22 | 5,47 |
| Custos diretos complementares | % | 2,000 | 19,22 | 0,38 |
| Custo de manutenção em 30 anos: 6,48 | | | Total | 26,08 |

Na cobertura, o isolamento térmico é formado por painel de aglomerado de cortiça expandida, de 80 mm de espessura, de 1000x500 mm, cor preta, de densidade entre 105 e 125 kg/m³ de densidade, resistência térmica 2 m²°C/W, condutibilidade térmica 0,04 W/(m°C), factor de resistência à difusão do vapor de água entre 7 e 4, Euroclasse E de reacção ao fogo, segundo a NP EN 13501-1, resistência à compressão >= 100 kPa, colocado topo a topo e fixado mecanicamente.

Quadro 13 – Custo de isolamento da cobertura (€/m²).

| Descrição | Ud. | Rend. | Preço Unitário | Total |
|---|----------------|-------|----------------|-------|
| Painel de aglomerado de cortiça expandida, de 80 mm de espessura, de 1000x500 mm, cor preta, de entre 105 e 125 kg/m ³ de densidade, resistência térmica 2 m ² °C/W, condutibilidade térmica 0,04 W/(m°C), factor de resistência à difusão do vapor de água entre 7 e 4, Euroclasse E de reacção ao fogo, segundo NP EN 13501-1, resistência à compressão >= 100 kPa; segundo EN 13170. | m ² | 1,050 | 25,41 | 26,68 |
| Fixação mecânica para painéis isolantes de aglomerado de cortiça expandida, colocados directamente sobre a superfície suporte. | Ud. | 3,000 | 0,20 | 0,60 |
| Oficial de 1ª montador de isolamentos. | h | 0,109 | 14,98 | 1,63 |
| Ajudante de montador de isolamentos. | h | 0,109 | 14,22 | 1,55 |
| Custos diretos complementares | % | 2,000 | 30,46 | 0,61 |
| Custo de manutenção em 30 anos: 1,86 | | | Total | 31,07 |

As lâmpadas LED que serão utilizadas são lâmpadas LED E27 esféricas de alumínio, com potência de 5W, 450 lúmens, dimensões de 55x108 mm, vida-útil de 30.000h, tensão nominal de 160 a 265 V e 4.200K, na cor branca.

Quadro 14 – Custo de lâmpadas LED, (€/unidade).

| Descrição | Ud. | Rend. | Preço Unitário | Total |
|---|-----|-------|----------------|-------|
| Pack 5 Lâmpada LED E27 Esférico Alumínio / Pc 5W 450lm 30.000h | Ud. | 0,200 | 4,43 | 0,886 |
| Custos diretos complementares | % | 2,000 | 0,886 | 0,017 |
| Custo de investimento | | | | 0,90 |
| Custo de manutenção anual | | | | 0,13 |

O aquecimento será feito por radiadores a água em cada divisão, alimentados por duas caldeiras à gás, permitindo que as caldeiras operem alternadamente, funcionando metade da carga, mas de forma que, no inverno, elas operem simultaneamente. A rede de distribuição será por cinco circuitos garantidos, com cinco bombas circuladoras, coletores, depósito de inércia de 1000 litros, válvulas, vasos de expansão e acessórios.

Quadro 15 – Custos do sistema de aquecimento a gás (€/unidade).

| Descrição | Ud. | Rend. | Preço Unitário | Total |
|---|-----|-------|----------------|------------|
| Elementos de radiador, suporte e válvulas | Ud. | 2.400 | 15,68 | 37.638 |
| Tubagem, isolamento e suportes | Ud. | 1,000 | 30.750 | 30.750 |
| Circuitos com bombas circuladoras, coletores, depósito de inércia de 1.000 litros, válvulas, vasos de expansão e acessórios | Ud. | 5,000 | 3.567 | 17.835 |
| Caldeira de Power HT 130, coletores e acessórios | Ud. | 2,000 | 9.225 | 18.450 |
| Instalação | Ud. | 1,000 | 5.233,75 | 5.233,75 |
| Custo de investimento | | | | 109.906,70 |
| Custo de manutenção anual | | | | 2.198,13 |

Por fim, a bomba de calor utilizada para o aquecimento de águas sanitárias será a bomba de calor Ecotank Split de 500 litros com serpentina, alcançando temperatura de 65°C para água quente com o compressor.

Quadro 16 – Orçamento de bomba de calor (€/unidade).

| Descrição | Ud. | Rend. | Preço Unitário | Total |
|---|-----|-------|----------------|-----------|
| Bomba de calor Platinum BC Monobloc Média Potência 38 kW | Ud. | 4,000 | 2.585,90 | 10.343,60 |
| Tubagem | Ud. | 1,000 | 1.500,00 | 1.500,00 |
| Instalação | Ud. | 1,000 | 667,18 | 667,18 |
| Custo de investimento | | | 12.510,78 | |
| Custo de manutenção anual | | | 250,22 | |

Com esses dados, então, foi possível calcular os custos totais dos equipamentos e dos elementos de construção, conforme pode ser visto no Quadro 17 a seguir.

Quadro 17 – Custos de investimento das medidas de melhoria.

| Medidas de mudança | Unidade de medida | Preço | Quantidade | Total (€) |
|--------------------|-------------------|------------|------------|------------|
| M1 | €/m ² | 42,78 | 6.634,94 | 283.842,73 |
| M2 | €/m ² | 32,93 | 698,40 | 22.998,31 |
| M3 | €/unidade | 0,90 | 1.450 | 1.305,00 |
| M4 | €/unidade | 109.906,70 | 1 | 109.906,70 |
| M5 | €/unidade | 12.510,78 | 1 | 12.510,78 |

5.3 CUSTOS DE ENERGIA

Nesse tópico serão feitos os cálculos dos custos de energia consumida no Cenário 0 e nos cenários referentes às diferentes medidas de melhoria de eficiência energética adotadas. Os preços unitários de gás natural e de eletricidades foram obtidos de

acordo com os dados fornecidos pela PORDATA para o ano de 2020 (PORDATA, 2020), assumindo que esses valores se mantêm para o ano de 2021.

Quadro 18 - Custos anuais de eletricidade e gás natural no edifício sem intervenção e para cada medida de melhoria (€).

| | Gás | | | | Eletricidade | | | |
|-----------|-----|------------|-------------|-----------|--------------|------------|-------------|-----------|
| | Ud | Rend. | Preço Unit. | Total | Ud | Rend. | Preço Unit. | Total |
| Cenário 0 | € | 43.898,74 | 0,0776 | 3.406,54 | € | 183.776,75 | 0,212 | 38.960,67 |
| M1 | € | 43.898,74 | 0,0776 | 3.406,54 | € | 158.162,79 | 0,212 | 33.530,51 |
| M2 | € | 43.898,74 | 0,0776 | 3.406,54 | € | 178.679,98 | 0,212 | 37.880,16 |
| M3 | € | 43.898,74 | 0,0776 | 3.406,54 | € | 174.853,16 | 0,212 | 37.068,87 |
| M4 | € | 171.004,78 | 0,0776 | 13.269,97 | € | 56.364,53 | 0,212 | 11.949,28 |
| M5 | € | - | 0,0776 | - | € | 195.402,56 | 0,212 | 41.425,34 |

5.4 RETORNO FINANCEIRO DOS INVESTIMENTOS DE RENOVAÇÃO ENERGÉTICA

Após os cálculos dos custos das soluções de reabilitação e de consumo de energia, serão realizados os cálculos financeiros para se analisar a viabilidade do investimento.

Antes de se proceder para a análise através do método NS, fez-se um pre-teste para avaliar a viabilidade de cada medida de melhoria através do método *Payback* Simples. Só foram incluídas no pacote de eficiência energética para a análise de viabilidade financeira, as medidas de melhoria que possuam simultaneamente um payback menor que o período de estudo do empreendimento e menor que as vidas-úteis das mesmas.

Primeiramente, foram feitos os cálculos de redução de custos de cada medida de melhoria, conforme demonstrado no Quadro 19.

Quadro 19 – Cálculo de redução de custos (€).

| | Custo total | Redução de custo |
|-----------|-------------|------------------|
| Cenário 0 | 42.367,21 | - |
| M1 | 36.937,05 | 5.430,16 |
| M2 | 41.286,70 | 1.080,51 |
| M3 | 40.475,41 | 1.891,80 |
| M4 | 25.219,25 | 17.147,96 |
| M5 | 41.425,34 | 941,87 |

O cálculo do *payback* simples é feito de acordo com a equação XVIII.

$$Payback_{Mi} = \frac{I_0}{S - CM} \quad (XVIII)$$

Em que,

I_0 - investimento inicial;

S - redução anual de custos de energia;

CM - custo anual de manutenção

Para as medidas M1 e M2, desprezam-se os custos de manutenção, visto que já estão incluídos no investimento inicial.

Payback da Medida 1:

$$Payback_{M1} = \frac{I_0}{S - CM}$$

$$Payback_{M1} = \frac{283.842,73}{5.430,16}$$

$$Payback_{M1} = 52,27 \text{ anos}$$

Payback da Medida 2:

$$Payback_{M2} = \frac{I_0}{S - CM}$$

$$Payback_{M2} = \frac{22.998,31}{1.080,51}$$

$$Payback_{M2} = 21,28 \text{ anos}$$

Payback da Medida 3:

$$Payback_{M3} = \frac{I_0}{S - CM}$$

$$Payback_{M3} = \frac{1.305}{1.703,30}$$

$$Payback_{M3} = 0,77 \text{ anos}$$

Payback da Medida 4:

$$Payback_{M4} = \frac{I_0}{S - CM}$$

$$Payback_{M4} = \frac{109.906,70}{14.949,83}$$

$$Payback_{M4} = 7,35 \text{ anos}$$

Payback da Medida 5:

$$Payback_{M5} = \frac{I_0}{S - CM}$$

$$Payback_{M5} = \frac{12.510,78}{691,65}$$

$$Payback_{M5} = 18,09 \text{ anos}$$

Assim, somente as medidas M2, M3, M4 e M5 serão incluídas no pacote de eficiência energética para a análise através do método NS.

O cálculo de NS pode ser formulado através do método LCC (*Life Cycle Cost*), em que serão comparados o LCC_{A2} , que representa o LCC do Cenário 0, e o LCC_{A1} , que representa o LCC do pacote de medidas de melhoria de eficiência energética, composto pelas medidas M2, M3, M4 e M5, conforme equação XIX.

$$NS_{A1:A2} = LCC_{A2} - LCC_{A1} \quad (\text{XIX})$$

De forma que, se o valor presente da diferença dos LCC for maior que zero, o investimento é financeiramente rentável.

Então, a fórmula utilizada para os cálculos de LCC será a seguinte.

$$VP LCC = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+d)^t}$$

Assim,

$$VP LCC_{A1} = \sum_{t=0}^N \frac{I_t + CM_t + CEn_t + CSub_t - VR_N}{(1+d)^t}$$

e

$$VP LCC_{A2} = \sum_{t=0}^N \frac{CEn_t}{(1+d)^t}$$

Em que,

I_t - custos de investimento;

CM_t – custos de manutenção;

CEn_t - custos de energia;

$CSub_t$ – custos de substituição dos equipamentos, no ano t;

VR_N – valor residual dos equipamentos no ano N do período de estudo;

N - número de anos no período de estudo; e

d - taxa de desconto.

Para o cálculo do LCC_{A2} , será contabilizado apenas o custo de energia, assim distribuído ao longo do período de estudo: do ano 1 ao 7, será considerado o uso de lâmpadas fluorescentes, com um custo de energia total anual de 42.367,21€ e; do ano 8 ao 30, desconta-se a redução de custo de energia derivada do novo equipamento de iluminação, com um custo de energia total anual de 40.475,41€. Esta análise é feita no pressuposto de que em um cenário de não-intervenção, o sistema de iluminação antigo seria substituído pelo novo equipamento no final da vida-útil deste último.

Assim,

$$VP LCC_{A2} = \sum_{t=1}^7 \frac{42.367,21_t}{(1 + 0,04)^t} + \sum_{t=8}^{30} \frac{40.475,41_t}{(1 + 0,04)^t}$$

$$VP LCC_{A2} = 711.256,80$$

Para o cálculo de LCC_{A1} , no ano 0 será contabilizada a soma dos investimentos de M2, M3, M4 e M5, totalizando 146.720,79€; os custos de energia serão constantes do ano 1 ao ano 30, totalizando 21.305,07€/ano; o custo de manutenção do ano 1 ao ano 7 será a soma dos custos de manutenção das medidas M3, M4 e M5, visto que o custo de manutenção da medida M2 já está incluso no custo de investimento, totalizando 2.636,85€/ano, e do ano 8 ao 30 será a soma dos custos de manutenção das medidas M4 e M5, visto que desconta-se o custo de manutenção das lâmpadas a partir do ano 8, totalizando 2.448,35€/ano.

O custo de substituição de equipamentos das medidas M4 e M5, no fim do ano 20, será de 122.417,48€, e o valor residual desses equipamentos, descontados os custos de instalação, no fim do ano 30, será de 58.258,28€.

Assim,

$$VP LCC_{A1} = \frac{I_0}{(1 + d)^0} + \sum_{t=1}^{30} \frac{CEN_t}{(1 + d)^t} + \sum_{t=1}^7 \frac{CM_t}{(1 + d)^t} + \sum_{t=8}^{30} \frac{CM_t}{(1 + d)^t} + \frac{CSUB_{20}}{(1 + d)^{20}}$$

$$- \frac{VR_{30}}{(1 + d)^{30}}$$

$$VP LCC_{A1} = \frac{146.720,79}{(1 + 0,04)^0} + \sum_{t=1}^{30} \frac{21.305,07}{(1 + 0,04)^t} + \sum_{t=1}^7 \frac{2.636,85}{(1 + 0,04)^t} + \sum_{t=8}^{30} \frac{2.448,35}{(1 + 0,04)^t}$$

$$+ \frac{122.417,48}{(1 + 0,04)^{20}} - \frac{58.258,28}{(1 + 0,04)^{30}}$$

$$VP LCC_{A1} = 596.504,70$$

Com isso, temos que:

$$NS_{A1:A2} = LCC_{A2} - LCC_{A1}$$

$$NS_{A1:A2} = 711.256,80 - 596.504,70$$

$$NS_{A1:A2} = 114.752,10€$$

De forma que, ao obter-se um valor de NS maior que zero, considera-se o investimento como sendo financeiramente viável.

5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os custos de investimento inicial têm uma importância chave na avaliação financeira de investimentos, particularmente nos empreendimentos de promoção privada. Tendo em isso em consideração, foram calculados os períodos de retorno de cada medida de melhoria de eficiência energética. Os Payback simples das medidas M1, M2, M3, M4 e M5, foram, respetivamente, os seguintes: 52,27 anos; 21,28 anos, 0,77 anos; 7,35 anos e; 18,09 anos. O período de estudo do empreendimento foi fixado em 30 anos. As vidas-úteis das medidas M1 e M2 foram fixadas em 30 anos, a da medida M3 em 7 anos e as das medidas M4 e M5 em 20 anos. Assim, a medida M1 foi descartada da análise do pacote de eficiência energética a implementar no edifício.

Os resultados obtidos através do Payback permitiram aferir a eficiência financeira de cada solução de reabilitação energética. Verificou-se que a aplicação da medida M1 teve como resultado uma maior redução de custos de eletricidade quando comparado com a medida M2. Apesar disso, a medida M1 não foi considerada financeiramente viável, já que possuindo um custo de investimento muito alto, não gerou um retorno do investimento em tempo útil, enquanto que a medida M2 teve um retorno do investimento num período considerado satisfatório. Esse alto custo de investimento de M1, no entanto, pode ser explicado pela grande área de paredes para aplicação dos isolamentos e pelo maior preço unitário da solução, quando comparado com a cobertura, com um custo de investimento muito menor.

A medida M3, com um custo de investimento relativamente muito baixo adicionada à uma redução de custos de eletricidade muito relevante, teve o menor período de retorno, entre as medidas de melhoria analisadas.

A medida M4, que consistiu na mudança do sistema de aquecimento ambiente por aquecedores a óleo com consumo de eletricidade para caldeiras a gás, com um custo de investimento considerável, é a que apresentou uma maior redução de custos em termos absolutos, devido ao facto de os preços de gás natural serem muito menores que os de eletricidade. Já para a medida M5, a redução dos custos de energia foi

pouco significativa. Contudo, como o custo de investimento é relativamente baixo, o retorno do mesmo deu-se em tempo útil.

A solução preconizada para a renovação energética do empreendimento consistiu no pacote de medidas M2+M3+M4+M5. A avaliação do investimento, através do método NS, formulada em termos de LCC, indicou que o investimento de renovação energética é, do ponto de vista financeiro, muito atrativo.

6 CONCLUSÃO

6.1 SUMÁRIO DA DISSERTAÇÃO

Este estudo avaliou o desempenho energético de um edifício de serviços, construído antes da entrada em vigor do primeiro regulamento térmico de edifícios, em Portugal. Uma avaliação financeira, através do método NS, combinada com simulação dinâmica de energia, foi realizada para escolher a melhor alternativa para a solução de reabilitação energética. Esta análise teve em conta o enquadramento legal relacionado com a reabilitação de edifícios.

Realizou-se a simulação dinâmica de energia do empreendimento escolhido para o estudo de caso, obtendo-se os consumos de energia para o Cenário 0 (sem a implementação de medidas de eficiência energética), e para cada uma das cinco medidas de melhoria proposta para a renovação energética (medidas M1, M2, M3, M4 e M5). A partir destes resultados, foi possível analisar a viabilidade financeira dos investimentos.

Primeiramente, fez-se o levantamento dos custos de equipamentos e de elementos de construção necessários para a implementação de cada medida, bem como os custos de manutenção e os custos de energia para cada situação. A partir disso, calculou-se a redução de custos de energia obtida em cada medida de melhoria e, a seguir, o *payback*, ou seja, o tempo de retorno do investimento de cada uma delas.

Para a aceitação do *payback*, as condições que deveriam ser atendidas foram o tempo de retorno do investimento de cada uma das medidas de melhoria ser menor que a vida-útil do empreendimento e menor que a vida-útil da mesma. Tendo isso em

vista, as medidas que atenderam a essas condições foram as medidas M2, M3, M4 e M5, de forma que estas medidas compuseram o pacote de eficiência energética escolhido para a solução de reabilitação.

De seguida, realizou-se a avaliação financeira do pacote de medidas de melhoria, através do método NS, formulado a partir do método de LCC, em que o NS é a diferença entre o LCC da situação sem intervenção (Cenário 0) e o LCC do edifício após a implementação do pacote de medidas. Desta análise, obteve-se um resultado maior que zero, demonstrando a viabilidade financeira do investimento.

6.2 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, verificou-se que apenas parte das medidas de melhoria propostas foi considerada financeiramente viável, de entre as quais pode-se citar o isolamento térmico da cobertura do edifício, a mudança da iluminação para lâmpadas LED, a mudança do aquecimento ambiente para um sistema de aquecimento a gás e a implementação de um sistema de bomba de calor elétrica para o sistema de aquecimento de águas quentes sanitárias. Por outro lado, a medida proposta para colocação de isolamento térmico nas paredes externas do edifício pelo interior e nas paredes internas de divisão de cômodos foi considerada financeiramente ineficiente, porque a redução dos custos de energia após a adoção dessa medida não foi suficientemente relevante para se ter o retorno dos custos de investimento em tempo útil. Contudo, a aplicação do método NS ao pacote de medidas de eficiência energética indicou que o investimento, do ponto de vista financeiro, foi muito atrativo.

Os resultados do estudo corroboraram as conclusões de trabalhos anteriores que indicaram que as soluções de renovação que não incluam melhoramentos no envelope do edifício tendem a ser as opções mais custo-efetivas. Os resultados do estudo também sugerem que a eficiência financeira das soluções de isolamento de paredes depende de uma forma muito marcante da geometria do edifício.

Dessa forma, esse trabalho reforça e demonstra a necessidade de se realizar a análise financeira dos investimentos propostos para um empreendimento, visto que há medidas de melhoria que, apesar de aparentarem gerar economias e reduções de custos, podem não trazer um retorno considerado atrativo, do ponto de vista do

investidor. No caso de um investidor privado, uma especial atenção deve ser dada ao custo de investimento inicial.

6.3 SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS

Como possíveis pesquisas futuras que complementem e deem continuidade ao presente estudo, sugere-se a simulação de novas medidas de melhorias para a reabilitação energética de um empreendimento, para posterior realização da análise de viabilidade financeira. De entre elas, preconiza-se uma solução de isolamento térmico dos pavimentos em contato com o solo, como cave e rés-do-chão, e a instalação de um sistema de coletores solares, a fim de se captar energia solar para auxiliar no aquecimento de águas sanitárias. Sugere-se, ainda, a simulação de consumo energético para a implementação da medida M1, que consiste na colocação de isolamento térmico nas paredes externas e internas do edifício, pelo interior, para um empreendimento de menor porte, para se analisar a sua viabilidade financeira.

Sugere-se também que seja feita uma análise de sensibilidade para os parâmetros económicos mais importantes neste tipo de estudo: taxa de desconto; custo de investimento de inicial e; desenvolvimento dos preços de energia ao longo do período de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE (2018). *Energy efficiency trends and policies in Portugal*. <https://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/energy-efficiency-portugal.pdf>

Bogdan, A., & Ilektra, K. (2013). *Implementing cost-optimal methodology in EU countries: Lessons from three case studies*. Building Performance Institute Europe (BPIE). <https://www.bpie.eu/publication/implementing-the-cost-optimal-methodology-in-eu-countries/>

CALDAS, Raimunda Aurineide Lemos (2004). *Análise de viabilidade econômica e financeira de empreendimentos no setor da construção civil – estudo de caso de uma empresa de médio porte no estado do Ceará (121)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Curso de Pós-Graduação em Economia.

Conci, M., Thaleia, K., van den Dobbelen, A., & Schneider, J. (2019). Trade-off between the economic and environmental impact of different decarbonisation strategies for residential buildings. *Building and Environment* (155),137-144. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.051>,

COSTA, Davidson Júnio (2017). *Análise do desempenho econômico-financeiro da empresa Direcional em relação ao mercado da construção civil (203)*. Dissertação (Mestrado) – Fundação Pedro Leopoldo, Programa de Pós-Graduação em Administração.

COSTA, Dayana Bastos (2003). *Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas da construção civil (176)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Cova, S., Andrade, C., Soares, O, and Lopes, J. (forthcoming). Evaluation of Cost-optimal Retrofit Investment in Buildings: The Case of Bragança Fire Station. *International Journal of Strategic Property Management*.

CYPE Ingenieros, S.A. (2021). Consultado em maio de 2021. Disponível em www.geradordeprecos.info.

DGEG & ADENE (2019). *Calculation of cost-optimal levels of the minimum energy performance requirements of buildings and building elements: Hotel buildings*. DGEG & ADENE, Lisboa, Portugal

Diário da República (2013-a). *Decreto-lei nº 118/2013 de 20 de agosto. Diário da República nº 159 - 1ª série*. Lisboa: Ministério da Economia e do Emprego.

Diário da República (2013-b). *Portaria nº 349-D/2013 de 2 de dezembro. Diário da República nº 233 – 1ª série*. Lisboa: Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social.

Diário da República (2013-c). *Despacho (extrato) nº 15793-F/2013 de 3 de dezembro. Diário da República nº 234 – 2ª série*. Lisboa.

Diário da República (2020-a), *Decreto-Lei n.º 64/2020, Série I de 2020-09-10, que estabelece disposições em matéria de eficiência energética, transpondo a Diretiva (UE) 2018/2002*. <https://dre.pt/application/file/a/142486927>

Diário da República (2020-b), *Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, que 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*. <https://dre.pt/application/file/a/150570803>

European Parliament, & Council of the European Union. (2012). *Commission Delegated Regulation 244/2012/EC of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/TXT/?uri=CELEX:32012R0244>

European Parliament, & Council of the European Union (2016). *Factsheets: buildings in EU countries*. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/port.pdf>

FERREIRA, Maria Amaro Matoso Aguiar (2009). *A Eficiência Energética na Reabilitação de Edifícios (178)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nova de Lisboa, Programa de Mestrado em Engenharia do Ambiente.

GIL, Antônio Carlos (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. Editora Atlas, São Paulo.

GOLDMAN, Pedrinho (2004). *Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira*. 4 ed. Editora Pini, São Paulo.

Green Ice – Especialistas em Iluminação LED (2021). Consultado maio de 2021. Disponível em www.greenice.com/pt/.

GULARTE, Luis Carlos Pais (2017). *Modelo de avaliação da viabilidade econômico-financeira da implantação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil em municípios brasileiros (127)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

HARZER, Jorge Harry *et al.* (2014). Abordagem probabilística do indicador TMA/TIR para avaliação do risco financeiro em projetos de investimentos. *XXI Congresso Brasileiro de Custos*, Natal, RN, Brasil, 17 a 19 de novembro.

JARDIM, Fátima Maria Gomes (2009). *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação (260)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Programa de Mestrado em Engenharia Civil – Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção.

KAUARK, F. *et al.* (2010). *Metodologia da Pesquisa: um guia prático*. 1. ed. Editora Via Litterarum.

MACHADO, Ricardo Alves (2014). *Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética. (114)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, Programa de Mestrado em Engenharia Civil.

MShop – Bomba de Calor (2021). Consultado em maio de 2021. Disponível em www.m-shop.net.

Oner, C. (2018). Inflation: Prices on the Rise. *Finance & Development Magazine*, 31 May 2018. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/basics/30-inflation.htm>

PEINADO, Elaine Sefrian *et al.* (2014). Emprego de certificações de sustentabilidade em condomínios por administração: viabilidade financeira. *III Simpósio Internacional de Gestão de Projetos (III SINGEP), II Simpósio Internacional de Inovação e Sustentabilidade (II S2IS)*, São Paulo, SP, Brasil, 9, 10 e 11 de novembro.

PORDATA – Base de Dados Portugal (2021). Consultado em maio de 2021. Disponível em www.pordata.pt/Portugal.

RAMOS, Ivoneti da Silva (2016). *Administração Financeira*. Editora Fael, Curitiba.

República Portuguesa (2021). *Resolução do Conselho de Ministros nº 8 -A /2021, 1º Suplemento, Série I de 2021-02-03- Estratégia de Longo Prazo para a Renovação de Edifícios*. <https://dre.pt/application/file/a/156397180>

RODRIGUES, J. L. K. *et al.* (2014). *Processo de tomada de decisão na gestão financeira em empresas de construção civil: um estudo de caso*. Revista FSA, Teresina, v. 11, n. 2, art. 3, p. 50-69, abr./jun.

RUEGG, Rosalie T.; MARSHALL, Harold E. (1990): *Building Economics – Theory and Practice*.

SCHUCH, T. M. *et al.* (2016). *Viabilidade econômico-financeira de empreendimentos imobiliários: Elaboração de uma metodologia de avaliação*. Revista Espacios, v. 37.

SERRADO, Isabelle Portugal *et al.* (2017). *Análise dos fatores de risco de mercado em empreendimento de construção civil*. XIV Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT), 26 e 27 de outubro.

da SILVA, Bruno Ricardo (2019). *Metodologia para análise de investimentos em empreendimentos imobiliários com base na teoria das opções reais (85)*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

da SILVA, Vera Patrícia Pereira (2013). *Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspectiva de otimização da relação custo/benefício (210)*. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, Programa de Mestrado em Engenharia – Construção e Reabilitação Sustentáveis.

Steinbach, J., and Staniaszek, D (2015) *Discount rates in energy system analysis, Discussion Paper*, Commissioned by BPIE, May 2015. http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/Discount_rates_in_energy_system-discussion_paper_2015_ISI_BPIE.pdf

TAVES, Guilherme Gazzoni (2014). *Engenharia de custos aplicada à construção civil (63)*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Projeto de Graduação em Engenharia Civil.

TEIXEIRA, J. P., *et al.* (2019). *Economia Circular no Setor da Construção Civil I – Ciclo dos materiais*. Estudos para uma Região RICA (Resiliente, Inteligente, Circular e Atrativa). República Portuguesa – Planeamento e Infraestruturas.