



# **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA REABILITAÇÃO ESTRUTURAL POR ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

**REGINA PEREIRA DE LIMA**

novembro de 2023



# **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA REABILITAÇÃO ESTRUTURAL POR ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

**REGINA PEREIRA DE LIMA**

Outubro de 2023



# **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA REABILITAÇÃO ESTRUTURAL POR ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

REGINA PEREIRA DE LIMA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE ESTRUTURAS**

Orientador: Professor Doutor Alexandre Aníbal Meira Guimarães da Costa

Coorientadora: Renata Dias da Silva (NCREP)

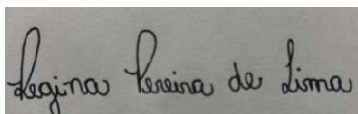
Coorientador: Bruno Luís Quelhas da Silva (NCREP)

Coorientador: Tiago Garcia Carmona (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

**OUTUBRO DE 2023**

Eu, Regina Pereira de Lima, estudante nº 1210401, do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, declaro que não fiz plágio nem auto-plágio, pelo que o trabalho intitulado “Avaliação dos impactos ambientais da reabilitação estrutural por análise do ciclo de vida ” é original e da minha autoria, não tendo sido usado previamente para qualquer outro fim. Mais declaro que todas as fontes usadas estão citadas, no texto e na bibliografia final, segundo as regras de referência adotadas na instituição.

Porto e ISEP, 11/09/2023

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink. The signature is written in a cursive style and reads "Regina Pereira de Lima".

# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	x
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Glossário.....	xvii
Abreviaturas .....	xix
CAPÍTULO 1    Introdução.....	21
CAPÍTULO 2    Revisão Bibliográfica .....	23
CAPÍTULO 3    Desenvolvimento e análise de dados .....	33
CAPÍTULO 4    Resultados e Discussões.....	54
CAPÍTULO 5    Considerações Finais.....	66
Referências Bibliográficas .....	69



## RESUMO

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite avaliar os impactos ambientais de um produto, processo ou serviço ao longo de todas as etapas do seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Neste estudo, a ACV foi aplicada aos edifícios tradicionais localizados na região da cidade do Porto, em Portugal.

Para isso, foi realizada uma comparação entre uma abordagem de projeto considerando um trabalho prévio de inspeção e diagnóstico estrutural (IDE) denominado como cenário 0, que consiste em uma análise estrutural prévia com base nas reais necessidades do edifício que resulta em um projeto de reforço estrutural. O outro cenário é fictício e representa a reconstrução dos pisos e cobertura em estrutura de concreto armado, denominado como cenário 3.

Os resultados da ACV revelaram os principais impactos ambientais associados aos edifícios analisados, entre eles, destacam-se o consumo de energia e o uso de materiais de construção com alto impacto ambiental, por exemplo, o cimento. Dessa forma, foi possível concluir que um cenário de reconstrução integral com recurso a estruturas de concreto armado, apresentam uma pior eficiência ambiental em comparação com a metodologia utilizada no cenário 0, devido ao uso do concreto, cujo processo de produção é uma fonte alta de emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>).

Assim, foi possível identificar os principais impactos ambientais gerados caso as edificações fossem executadas de acordo com o cenário 3. Este estudo demonstra os benefícios ambientais da metodologia IDE que tem como consequência a materialização do relatório de inspeção e diagnóstico (RID), ambos os métodos são aplicados pela empresa NCREP. Essas informações são relevantes para orientar a tomada de decisões na construção e renovação de edifícios, visando reduzir o seu impacto ambiental e promover a sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Análise do ciclo de vida, Análise Estrutural, Sustentabilidade, Impactos ambientais, Reabilitação.



## **ABSTRACT**

Life Cycle Analysis (LCA) is a tool that allows you to evaluate the environmental impacts of a product, process or service throughout all stages of its life cycle, from the extraction of raw materials to final disposal. In this study, LCA was applied to traditional buildings located in the region of the city of Porto, in Portugal.

For this, a comparison was made between a design approach considering a previous structural inspection and diagnosis work (IDE) called scenario 0, which consists of a prior structural analysis based on the real needs of the building that results in a reinforcement project structural. The other scenario is fictitious and represents the reconstruction of the floors and roof in a reinforced concrete structure, known as scenario 3.

The LCA results revealed the main environmental impacts associated with the analyzed buildings, including energy consumption and the use of construction materials with a high environmental impact, for example, cement. Thus, it was possible to conclude that a full reconstruction scenario using reinforced concrete structures presents a worse environmental efficiency compared to the methodology used in scenario 0, due to the use of concrete, whose production process is a high source of emissions. of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>).

Thus, it was possible to identify the main environmental impacts generated if the buildings were built according to scenario 3. This study demonstrates the environmental benefits of the IDE methodology, which results in the materialization of the inspection and diagnosis report (RID), both methods are applied by the company NCREP. This information is relevant to guide decision-making in the construction and renovation of buildings, aiming to reduce their environmental impact and promote sustainability.

**Keywords:** Life cycle analysis, Structural Analysis, Sustainability, Environmental impacts, Rehabilitation.



## **AGRADECIMENTOS**

Quero começar meus agradecimentos com profunda gratidão a Deus, pois sua orientação e força estiveram sempre presentes em minha vida e na vida da minha família, cujo amor, apoio e encorajamento foram fundamentais ao longo desta jornada acadêmica. Agradeço aos meus pais, Afonso e Maria, por serem fonte de inspiração e por sempre acreditarem em mim. Agradeço também aos meus irmãos, Rafael, Raquel e Rafaela, por compartilharem este caminho comigo e por serem uma fonte constante de motivação.

Gostaria também de prestar homenagem a duas pessoas especiais que já não estão mais entre nós, a minha amiga de infância Bianka e a minha tia Cida (Matildes). Embora suas ausências sejam profundamente sentidas, a lembrança do amor de vocês, apoio e inspiração continuarão a iluminar meu caminho. Suas memórias são uma parte valiosa desta jornada e uma consagração a suas vidas maravilhosas. Obrigada por terem compartilhado suas sabedorias, paciência e incentivo ao longo desta jornada. Suas contribuições foram inestimáveis e tornaram esta conquista possível.

Meus sinceros agradecimentos aos meus estimados professores e aos queridos amigos de curso na Universidade Presbiteriana Mackenzie: Agnaldo, Igor, Kimberli, Rafaela e Raíssa. Seus ensinamentos e apoio foram fundamentais para minha formação. Além disso, sou grato aos colegas de intercâmbio que contribuíram muito para esta jornada. Todos vocês tornaram essa experiência educacional verdadeiramente enriquecedora e inesquecível.

Gostaria de estender meus agradecimentos calorosos aos meus professores e orientadores, Alexandre Costa e Tiago Carmona. Sua orientação, expertise e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação. Também gostaria de expressar minha gratidão à Engenheira Renata Silva pela paciência e compreensão demonstradas durante o levantamento de dados nos estudos de caso. Sua colaboração foi crucial para o sucesso deste projeto.

Por fim, sou profundamente grata pela oportunidade de estudar na Universidade Presbiteriana Mackenzie por meio do PROUNI. Essa oportunidade abriu portas e possibilitou que eu buscase meus objetivos. Também quero agradecer por minha experiência incrível no Instituto Politécnico do Porto, onde adquiri conhecimentos valiosos e cresci como estudante e pessoa.

## ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	21
1.1	Objetivo.....	22
CAPÍTULO 2	Revisão Bibliográfica .....	23
2.1	Análise do Ciclo de Vida (ACV) .....	23
2.1.1	Definição e objetivo.....	25
2.1.2	Inventário do Ciclo de Vida (ICV) .....	26
2.1.3	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	27
2.1.4	Interpretação dos resultados da ACV .....	28
2.1.5	Impactos ambientais associados a ACV.....	28
2.2	Inspeção e Diagnóstico Estrutural (IDE).....	29
2.2.1	Caracterização Construtiva e Estrutural .....	29
2.2.2	Instrumentos e Ensaios utilizados .....	30
2.2.3	Caracterização dos danos .....	31
2.2.4	Avaliação da Segurança estrutural .....	32
2.2.5	Medidas de Intervenção .....	32
CAPÍTULO 3	Desenvolvimento e análise de dados.....	33
3.1	Descrição dos Estudos de Caso .....	33
3.2	Propósito da ACV .....	42
3.3	Análise e Classificação das Intervenções .....	46
3.4	Inventário do Ciclo de vida.....	48
3.5	Levantamento dos Dados e Quantidades .....	49
CAPÍTULO 4	Resultados e Discussões.....	54
4.1	Edifícios com Menor Intrusividade na Estrutura .....	54
4.2	Edifícios com intrusividade média na estrutura .....	56
4.3	Edifícios com maior intrusividade na estrutura .....	58

4.4	Análise Geral .....	60
CAPÍTULO 5	Considerações Finais .....	66
5.1	Conclusões .....	66
5.2	Desenvolvimentos Futuros .....	67



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Níveis da ACV.....	24
Figura 2.2 – Estrutura da ACV [1] .....	25
Figura 2.3 - Fluxo de informação necessária para um inventário de ciclo de vida [14] .....	27
Figura 2.4 - Instrumentos utilizados na inspeção do edifício: a) martelo; b) formão; c) Resistrograph; d) detector de metais.....	31
Figura 2.5 - Exemplo do mapeamento de danos .....	32
Figura 3.1 – Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 1).....	34
Figura 3.2 – Fachada do edifício 1 e localização da edificação mapa .....	34
Figura 3.3 - Projeto estrutural do piso 0 (Edifício 2) .....	35
Figura 3.4 - Fachada do edifício 2 e localização da edificação no mapa .....	35
Figura 3.5 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 3) .....	36
Figura 3.6 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 4) .....	36
Figura 3.7 - Fachada do edifício 4 e localização da edificação no mapa .....	36
Figura 3.8 - Projeto estrutural do piso 0 (Edifício 5) .....	37
Figura 3.9 - Fachada do edifício 5 e localização da edificação no mapa .....	37
Figura 3.10 - Projeto estrutural do piso 0 (Edifício 6) .....	38
Figura 3.11 - Fachada frontal do edifício 6.....	38
Figura 3.12 - Projeto estrutural do piso 0 (Edifício 7) .....	39
Figura 3.13 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 8) .....	39
Figura 3.14 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 9) .....	40
Figura 3.15 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 10) .....	40
Figura 3.16 - Projeto estrutural do piso 3 (Edifício 11) .....	41

Figura 3.17 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 12).....	41
Figura 3.18 - Fachada do edifício 12 e localização da edificação no mapa .....	41
Figura 3.19 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 13).....	42
Figura 3.20 – Fluxograma do cenário 0 [3] .....	43
Figura 3.21 – Fluxograma do cenário 3 [3] .....	44
Figura 3.22 – Resumo gráfico dos impactos ambientais do edifício 1 .....	53
Figura 4.1 – Impactos dos edifícios com baixa intrusividade - a) Potencial de acidificação, b) Potencial de Dióxido de carbono, c) Potencial de Eutrofização, d) Potencial de Oxidação, e) Depleção de recursos abióticos, f) Depleção da camada de ozônio.....	55
Figura 4.2 - Impactos dos edifícios com média intrusividade - a) Potencial de acidificação, b) Potencial de Dióxido de carbono, c) Potencial de Eutrofização, d) Potencial de Oxidação, e) Depleção de recursos abióticos, f) Depleção da camada de ozônio.....	57
Figura 4.3 - Impactos dos edifícios com alta intrusividade - a) Potencial de acidificação, b) Potencial de Dióxido de carbono, c) Potencial de Eutrofização, d) Potencial de Oxidação, e) Depleção de recursos abióticos, f) Depleção da camada de ozônio.....	59
Figura 4.4 - Potencial de acidificação em todos os edifícios .....	60
Figura 4.5 - Dióxido de carbono em todos os edifícios .....	61
Figura 4.6 - Potencial de eutrofização em todos os edifícios.....	62
Figura 4.7 - Potencial de oxidação em todos os edifícios.....	63
Figura 4.8 - Depleção dos recursos abióticos em todos os edifícios .....	63
Figura 4.9 - Depleção da camada de ozônio em todos os edifícios.....	64

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 - Resumo dos Edifícios analisados .....	33
Tabela 3-2 – Soluções adotadas para estrutura de concreto.....	45
Tabela 3-3 – Indicadores ambientais e seus respectivos impactos [3] .....	45
Tabela 3-4 – Edifícios com baixa intrusividade .....	46
Tabela 3-5 – Edifícios com intrusividade média .....	47
Tabela 3-6- Edifícios com alta intrusividade.....	48
Tabela 3-7 – Distâncias consideradas no transporte de materiais [3] .....	48
Tabela 3-8 – Consumos considerados por m <sup>3</sup> de material [3] .....	48
Tabela 3-9 – Edifício 1, descrição dos materiais existentes e demolidos .....	49
Tabela 3-10 – Descrição dos materiais utilizados no edifício 1, reforço e/ou substituições .....	50
Tabela 3-11 – Impactos unitários 1/2.....	50
Tabela 3-12 – Impactos unitários 2/2.....	51
Tabela 3-13 – Análise dos indicadores ambientais do edifício 1.....	51
Tabela 3-14 – Proporção entre o cenário 0 e 3 no edifício 1 .....	53
Tabela 4-1 – Impactos ambientais no grupo de menor intrusividade .....	56
Tabela 4-2 - Impactos ambientais no grupo de média intrusividade.....	58
Tabela 4-3 - Impactos ambientais no grupo de maior intrusividade .....	60



## **GLOSSÁRIO**

Laje alveolar (Brasil) – Laje aligeirada (Portugal)

Concreto Armado (Brasil) – Betão armado (Portugal)

Umidade (Brasil) - Humidade (Portugal)

Concreto Magro (Brasil) – Betão de limpeza (Portugal)

Esmerilhadeira (Brasil) - Rebarbadora (Portugal)

Rompedor elétrico (Brasil) - Martelo elétrico (Portugal)



## **ABREVIATURAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Análise do Ciclo de Vida

AI – Edifícios com Alta Intrusividade

AICV – Avaliação dos impactos ambientais

BI – Edifícios com baixa intrusividade

C2H4 – Potencial de oxidação

CFC -11 – Depleção da camada de ozônio

CO2 – Dióxido de Carbono

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

IDE – Inspeção e diagnóstico Estrutural

ISO – Organização internacional para padronização

MI- Edifícios com média Intrusividade

N° - Número

PO4 – Eutrofização

RID – Relatório de Inspeção e Diagnóstico

Sb- Depleção de Recursos abióticos

SO2 – Acidificação



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia utilizada para avaliar o conteúdo de recursos e as consequências ambientais associadas ao ciclo de vida de um produto. É uma ferramenta importante, pois permite estudar detalhadamente o impacto ambiental de um produto desde a extração da matéria-prima até a sua finalização, ou analisar apenas parte desse ciclo, como da extração da matéria prima até a sua fabricação.

Para o estudo da ACV, foi realizada a padronização na década de 90 pela Organização Internacional para Padronização - ISO 14040, publicada em 2006, que define a estrutura, os princípios, os requisitos e as diretrizes que devem constar em um estudo ACV. O Brasil possui uma norma equivalente, elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas 14040, publicada em 2014 [1].

A avaliação de impacto ambiental desempenha um papel crucial na técnica de ACV, que busca identificar e quantificar as consequências ambientais dos fluxos identificados nas fases anteriores do processo. Essa etapa é caracterizada como um método técnico, que pode ser realizado de forma quantitativa e/ou qualitativa. A avaliação de impacto ambiental envolve uma abordagem sistemática para analisar os impactos gerados por um produto ou sistema. Isso inclui a estimativa da contribuição potencial para diferentes categorias de impacto ambiental, tais como aquecimento global, acidificação, entre outras [20].

Estudos realizados destacam que a indústria da construção civil responde por aproximadamente um terço das emissões globais de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Isso ocorre principalmente devido ao consumo de energia durante as fases de construção, operação e manutenção dos edifícios. Esses dados confirmam que a indústria da construção civil é uma das que mais impactam o meio ambiente, principalmente devido ao consumo excessivo de energia e recursos naturais. Deve-se entender a importância de adotar práticas sustentáveis nessa indústria, a fim de reduzir esses impactos negativos [2].

A inspeção e diagnóstico estrutural (IDE) é uma metodologia poderosa que pode ser utilizada para abordar as desvantagens mencionadas no contexto da remodelação de edifícios. A aplicação da metodologia IDE

## Capítulo 1

logo na fase inicial de concepção do projeto permite reduzir os impactos ambientais de forma significativa, graças aos benefícios que são comumente obtidos através dessa abordagem [3].

O Relatório de inspeção e diagnóstico (RID) faz parte de uma etapa seguinte da metodologia IDE, implementado pela empresa portuguesa “NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.”, que promove uma análise prévia e a intervenção necessária em uma edificação. Isso ocorre, a partir da inspeção e levantamento de danos em estruturas, realizando um processo de análise abrangente para determinar a necessidade e o nível de intervenção. É necessário combinar também todas as informações coletadas durante a inspeção, analisar os materiais e sistemas estruturais, avaliar os danos e interpretar suas causas. O diagnóstico tem como objetivo identificar as causas dos danos e degradações com base nos dados coletados. Essa etapa ocorre em paralelo com a inspeção e se estende à avaliação de segurança, determinando a necessidade efetiva e a extensão das medidas de intervenção [4].

Através dessas alterações é possível quantificar os impactos ambientais de obras de reabilitação estrutural. Esta quantificação dos materiais demolidos, existentes e novos, tem por base a análise do ciclo de vida desde a retirada, recuperação até a reposição de matérias primas.

### **1.1 OBJETIVO**

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma análise comparativa de edificações típicas da região do Porto, em Portugal, onde foram analisados os impactos da reabilitação estrutural apoiada em ações de inspeção e diagnóstico versus um cenário simulado da estrutura (pisos, escadas e cobertura) realizada em concreto armado, ressaltando os impactos de cada uma. Portanto, o presente estudo analisa os benefícios ambientais introduzidos pela metodologia de inspeção e diagnóstico estrutural (IDE).

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como intuito abordar os assuntos investigados acerca do presente estudo. Portanto, são apresentados conceitos referentes a Inspeção e diagnóstico estrutural (IDE), dados e explicações referentes a análise do ciclo de vida (ACV) e por fim os impactos ambientais.

#### 2.1 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)

A análise do ciclo de vida tem por finalidade avaliar o conteúdo de recursos e as consequências ambientais associadas ao ciclo de vida de um produto. É uma ferramenta importante, uma vez que mostra de forma cuidadosa um estudo da idade de um produto, desde a extração da matéria-prima até a sua finalização.

Este método foi padronizado na década de 90, pela Organização Internacional para Padronização ISO 14040. A ISO 14040, descreveu as exigências para acompanhar uma ACV, e no Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas elaborou a Norma ABNT NBR ISO 14040 – 2014, padronizou o documento de acordo com conteúdo técnico, estrutura e redação da ISO 14040 - 2006 [1].

A ACV é uma técnica amplamente empregada na indústria da construção para analisar os efeitos ambientais de um produto ou sistema durante todas as fases de sua existência. Essa metodologia pode ser aplicada em diferentes níveis de limites do sistema [20,29]:

a) No primeiro nível, conhecido como cradle-to-gate ("do berço ao portão"), a ACV considera os efeitos desde a remoção da matéria-prima até a produção do material, até o momento em que o produto sai da fábrica. Isso permite avaliar os impactos associados à fabricação do produto em si.

b) No segundo nível, chamado de cradle-to-site ("do berço ao local da obra"), são adicionados os impactos relacionados à extração da matéria-prima, produção do material e transporte até o canteiro de obra. Nessa abordagem, considera-se também a logística envolvida no transporte do produto.

c) No terceiro nível, cradle-to-grave ("do berço ao túmulo"), a ACV amplia sua análise para incluir as etapas de utilização, demolição e gestão dos resíduos. Essa abordagem possibilita uma análise mais completa dos efeitos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida do produto ou sistema de construção.

d) Por fim, no quarto nível, cradle-to-cradle ("do berço ao berço"), a ACV considera não apenas a reciclagem dos resíduos, mas também a reutilização profunda deles, visando fechar o ciclo de vida dos materiais e minimizar os impactos ambientais.

Na Figura 2.1 é possível analisar os diferentes níveis de aprofundamento em uma ACV, vale ressaltar que a imagem não apresenta uma parte desse ciclo que seria do berço ao local da obra, que nessa ilustração seria do processamento da matéria prima até a distribuição.



Figura 2.1 – Níveis da ACV<sup>1</sup>

A ACV é constituída por quatro etapas: Definição e objetivo, inventário de ciclo de vida, avaliação dos impactos ambientais e interpretação. Essas etapas estão indicadas na Figura 2.2.

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.braskem.com.br/avaliacao-de-ciclo-de-vida>

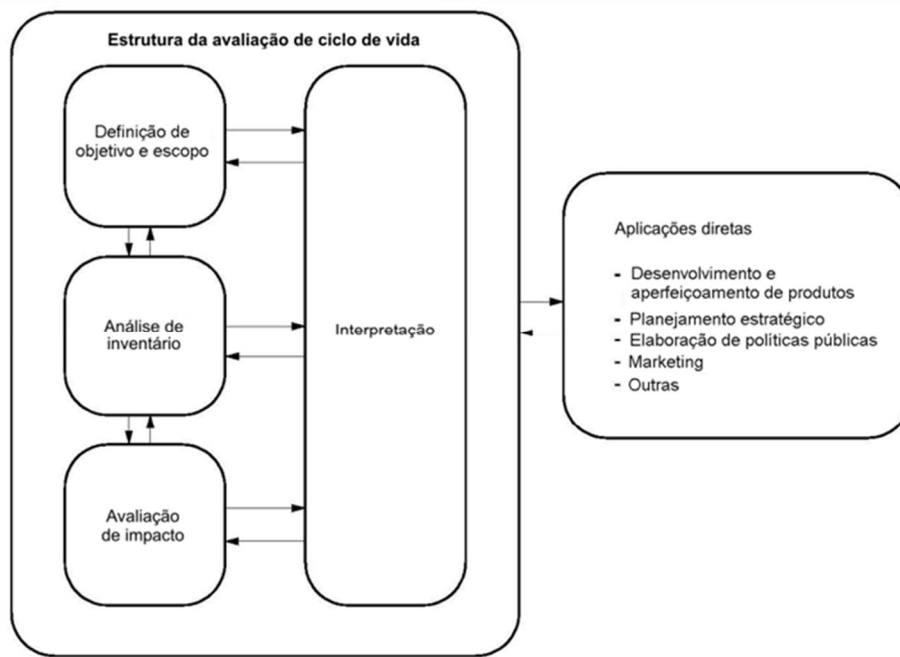


Figura 2.2 – Estrutura da ACV [1]

### 2.1.1 Definição e objetivo

Nessa etapa inicial de investigação, é necessário descrever o sistema do produto, fornecendo informações sobre sua finalidade e o alcance do estudo, delimitando suas fronteiras. O propósito do estudo deve esclarecer a finalidade pretendida e o público-alvo ao qual os resultados serão comunicados. É crucial definir, nesta fase, a unidade funcional, especialmente em estudos de comparação entre diferentes produtos, a fim de quantificar o sistema e permitir a identificação de fluxos de referência. [12].

A abrangência e as limitações da análise na Avaliação de Ciclo de Vida dependem da meta estabelecida, que é definido com base nas funções do sistema do produto em questão. O objetivo é identificar as informações necessárias para o estudo, considerando os impactos causados em todo o ciclo de vida do produto [11].

Alguns processos fundamentais que devem ser considerados incluem a aquisição de matérias-primas, as entradas e saídas da manufatura, o consumo de combustíveis, eletricidade e calor durante a produção, a disposição final dos resíduos, a fabricação de materiais auxiliares e a distribuição do produto. Com base nessas informações coletadas, é possível determinar o relatório necessário, descrevendo os principais dados obtidos ao longo da ACV [11].

Para melhor definição desta fase, devem ser respeitadas as seguintes etapas [17]:

e) Função do sistema: tem como objetivo definir a função do objeto do estudo e suas características de desempenho.

## Capítulo 2

f) Unidade Funcional: é a padronização dos dados de entrada de forma matemática para que seja realizada a quantificação das funções identificadas. Esse parâmetro deve ser claramente definido e deve ser mensurável.

g) Fluxo de referência: está atrelado a função elaborada pela unidade funcional, com o objetivo de definir a quantidade necessária para essa função.

h) Sistema de produto: Realiza uma ou mais funções que estão definidas dentro do ciclo de vida, a partir de um conjunto de unidades de processo abordadas no estudo.

i) Fronteiras do sistema de produto: é definida pelas fronteiras, que estabelecem quais processos elementares devem ser considerados no sistema de produto. É recomendado que o sistema seja modelado de forma que as entradas e saídas dentro dessas fronteiras sejam identificadas como fluxos elementares. Para definir essas fronteiras, é necessário estabelecer um critério de corte (massa, energia ou relevância ambiental) alinhado aos objetivos do estudo. A justificativa para subdividir um sistema relacionado a um produto em unidades de processo é tornar mais fácil a identificação das entradas e saídas.

### **2.1.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)**

Trata-se de uma fase essencial para a avaliação quantitativa dos impactos ambientais. Engloba a entrada e saída de matéria e energia em um sistema de produto específico. O inventário ajuda a identificar eventuais restrições ou a necessidade de obter informações adicionais para avaliar o processo, podendo até mesmo levar a ajustes nos métodos de coleta de dados, na revisão dos objetivos ou na meta do estudo em curso [12].

Conforme descrita na norma ISO 14041, abrange a coleta de dados e os procedimentos de cálculo necessários para quantificar as entradas e saídas de energia e materiais relevantes para o sistema em análise [14]. Todas as emissões libertadas no ambiente e os recursos extraídos ao longo do ciclo de vida de um produto são reunidos em um inventário. Esse inventário é uma lista dos diferentes fluxos de elementos. Além disso, o diagrama de fluxo oferece um resumo de todas as unidades de processo a serem modeladas, incluindo suas interrelações. O diagrama é uma ferramenta útil para compreender e descrever o sistema, proporcionando uma visão geral que orienta a coleta de dados [13]. Na Figura 2.3 é possível observar o fluxo de informação necessária para um ICV.

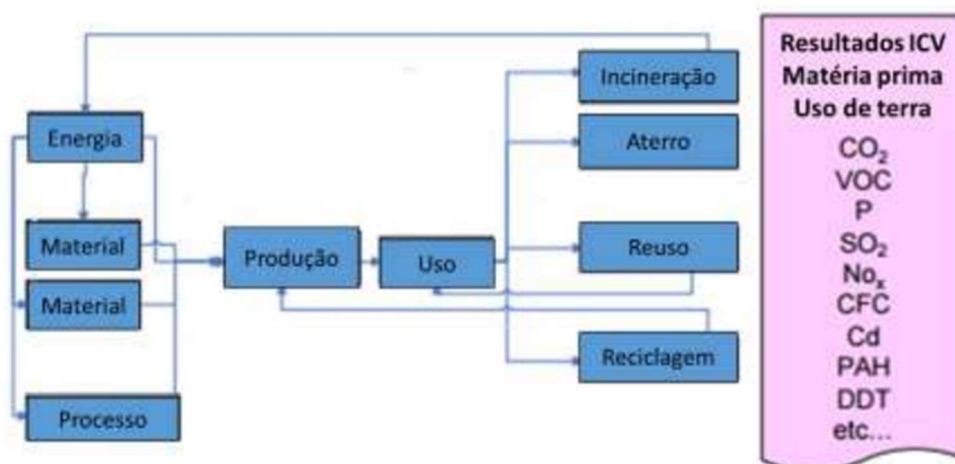


Figura 2.3 - Fluxo de informação necessária para um inventário de ciclo de vida [14]

Esta fase da ACV pode ser uma das mais difíceis, pelo fato da não disponibilidade de dados, por falta da qualidade deles ou a necessidade de estimar valores. Portanto as etapas de uma coleta de dados devem ser realizadas da seguinte maneira [17]:

- a) Coleta de dados;
- b) Refinamento dos limites do sistema;
- c) Determinação dos procedimentos de cálculo;
- d) Procedimentos de alocação.

### 2.1.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é definida como um procedimento técnico abrangente, que incorpora aspectos quantitativos e qualitativos, com o propósito de descrever e analisar os efeitos das cargas ambientais que foram identificadas na fase de inventário [20]. Os impactos, no contexto da AICV, são definidos como as consequências resultantes dos fluxos de entrada e saída de um sistema, afetando a saúde humana, plantas e animais, além da disponibilidade futura dos recursos naturais [15].

Nesta etapa, os dados e informações obtidos na Análise de Inventário são vinculados a impactos ambientais específicos, viabilizando a avaliação da importância desses possíveis impactos. Durante esse processo, a significância dos aspectos ambientais identificados no inventário é analisada e resumida em um ou mais indicadores. Os fluxos básicos do sistema estão relacionados aos impactos gerados no meio ambiente em níveis globais, regionais ou locais [15].

A escolha dos impactos e da metodologia a serem empregadas está condicionada aos objetivos e âmbito do estudo, o que pode conter algum grau de subjetividade. Portanto, é crucial que essa etapa seja devidamente detalhada e documentada para assegurar a transparência do processo. Para avaliar o

alcançe dos objetivos, pode-se adotar um processo interativo de análise crítica. Se necessário, também é possível ajustar os objetivos e escopo do estudo caso não possam ser satisfatoriamente alcançados [18].

### **2.1.4 Interpretação dos resultados da ACV**

De acordo com a norma ISO 14043 (2000), a etapa de interpretação envolve a identificação dos impactos ambientais de relevância, uma avaliação ampla do estudo em relação à sua extensão, sensibilidade e coerência, bem como a formulação de conclusões e recomendações para a implementação de melhorias destinadas a reduzir os impactos ambientais significativos. [19].

Nesta última etapa ocorre a análise dos resultados e na elaboração de conclusões e sugestões para a redução de impactos ambientais potencialmente gerados pelo sistema. “Aspectos como sensibilidade e incertezas também são avaliados no julgamento de qualidade dos resultados obtidos” [20].

### **2.1.5 Impactos ambientais associados a ACV**

Os relatórios ICV geralmente incluem centenas de várias emissões e características relacionadas à exploração de recursos. A etapa de categorização envolve classificar os resultados da fase de ICV em várias categorias de efeitos que são importantes para o objetivo do estudo. As emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, por exemplo, contribuem para o aquecimento global e são atribuídas a esta categoria de efeito, mas as emissões de SO<sub>2</sub> é atribuído à categoria de impacto Acidificação. Certas emissões podem ser atribuídas a várias categorias de efeitos ao mesmo tempo. O SO<sub>2</sub>, por exemplo, pode ser atribuído à categoria Saúde Humana e/ou Doenças Respiratórias [16]. Segue detalhado alguns desses impactos:

a) Acidificação (SO<sub>2</sub>): A principal causa dessa influência nas cidades é a queima de combustíveis, que emite compostos que alteram o pH da chuva. Outra atividade humana importante que pode gerar emissões de gases que contribuem consideravelmente para esse impacto é a produção de alimentos. A acidificação pode ser prejudicial para peixes, flora e outras espécies aquáticas. A acidificação também pode ocorrer nos solos como resultado da chuva ácida, aumentando a liberação de metais perigosos que são bio acumuláveis em plantas e animais, uma vez que o corpo não pode removê-los [21].

b) Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>): este elemento é essencial para a vida do planeta e para manutenção dos seres vivos. O efeito estufa é um fenômeno natural porque permite que ocorra a vida da maneira que conhecemos, já que mantém a temperatura da terra. As atividades humanas interferem no efeito estufa, sendo o CO<sub>2</sub> o mais importante deles. O aumento das emissões de CO<sub>2</sub> tem afetado o clima em todas as regiões do planeta, esses gases são provenientes da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural, turfa), incêndios e desmatamento, que destroem reservatórios e sumidouros naturais capazes de absorver CO<sub>2</sub> do ar [22].

c) Eutrofização (PO4): O excesso de nutrientes entregues pela natureza aos corpos d'água diminui a quantidade de oxigênio na água devido aos processos de composição da matéria orgânica. As repercussões dessa influência incluem a poluição da água e do solo pela multiplicação de microrganismos, além da contaminação por esgotos e a perda da biodiversidade. Além disso, como todos os contaminantes produzidos e criados devem ser removidos, os sistemas de tratamento de água potável podem se tornar substancialmente mais caros [23].

d) Depleção de recursos abióticos e fósseis: É a quantificação do esgotamento dos recursos naturais, tais como: minerais, fósseis e água. Isso resulta em esgotamento de recursos, maior esgotamento ou menor acesso a recursos futuros [24].

e) O ozônio tem uma propriedade oxidativa que pode afetar plantas e o sistema respiratório de animais. O ozônio é ocasionalmente criado por meio de uma reação causada pela emissão de compostos orgânicos voláteis e gases específicos, para reagir na atmosfera precisam de pouco vento e presença de luz [25].

## **2.2 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL (IDE)**

A importância da inspeção está ligada a uma ação prévia de responsabilidade para com o patrimônio arquitetônico em questão. É essencial que o levantamento de danos e a caracterização estrutural deve ser realizada primeiro para identificar se há projetos e/ou se existe algum histórico da edificação, e assim tentar entender a concepção estrutural e as possíveis alterações ocorridas durante o tempo em que o edifício estava ativo. Vale ressaltar que o conhecimento histórico do patrimônio é de extrema importância, “O valor de cada construção histórica não está apenas na aparência de elementos isolados, mas também na integridade de todos os seus componentes como um produto único da tecnologia de construção específica do seu tempo e do seu local” [26].

O objetivo do RID é fornecer uma base para os diversos projetos que serão desenvolvidos no contexto da intervenção no edifício. Esses projetos abrangerão vários aspectos, incluindo a proposição de soluções de reabilitação e/ou reforço das estruturas existentes [27]. Os relatórios são divididos em 4 etapas, para determinar o estado de conservação da estrutura, sendo elas: Caracterização construtiva e estrutural, caracterização de anomalias e danos, avaliação de segurança estrutural e sugestão de medidas de intervenção.

### **2.2.1 Caracterização Construtiva e Estrutural**

A caracterização se inicia pela descrição geral do edifício e a sua localização, aborda também a área geral da edificação, a quantidade de pisos, o tipo de ocupação, histórico construtivo e o tipo de material que

## Capítulo 2

constitui a estrutura do edifício. Segue algumas definições para fase inicial e que devem ser consideradas para definição da avaliação a ser realizada no edifício [27, 28].

- a) Definição geométrica da construção existente, deve ser realizado um estudo geométrico rigoroso por meio de levantamentos tradicionais ou por fotos.
- b) Pesquisa histórica da edificação e identificação da funcionalidade presente e passada na construção. Identificar as fases de construção e/ou intervenções estruturais, técnicas e características dos materiais utilizados, que pode servir para identificar o comportamento estrutural.
- c) Definição de eventuais ensaios a realizar: a escolha de ensaios não-destrutivos ou ligeiramente destrutivos realizados in-situ. A utilização de ensaios e dados experimentais sobre as estruturas ou sobre seus materiais pode ser necessária para diagnósticos estruturais a fim de definir, geralmente em termos de estimativas médias, o comportamento estrutural levando em consideração as características físicas e mecânicas.

### 2.2.2 Instrumentos e Ensaios utilizados

Existem três tipos de classificação de ensaios em estruturas existentes, denominados: em destrutivos, ligeiramente destrutivos e não-destrutivos. Os ensaios destrutivos não são utilizados nas edificações devido o seu valor histórico, somente em edificações deterioradas e condenadas a demolição [28].

Os ensaios não destrutivos não necessitam de ações invasivas na estrutura e os resultados fornecem uma avaliação das características mecânicas dos materiais e índice de qualidade deles. Podem ser usados na detecção de elementos estruturais ocultos, qualificação dos materiais, caracterização das zonas de heterogeneidade, avaliação das extensões dos danos, detecção de vazios, teor de umidade, detecção de degradação superficial, entre outros. Os ensaios destrutivos utilizados nas edificações são [27, 28]:

- a) Martelo, fornece a partir do som após algumas batidas na estrutura, o estado de conservação da madeira.
- b) Formão, permite avaliar a dureza da madeira e a existência de superfícies degradadas.
- c) Resistograph, avalia o estado de conservação interno e superficial da madeira, por meio de um furo pequeno.
- d) Detector de metais, detecta pregos de fixação em assoalhos e vigas de madeira, não sendo necessário a remoção dos assoalhos para inspeção direta.



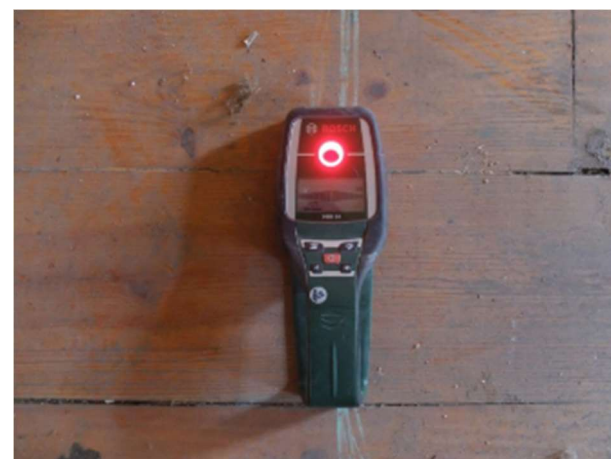
a)



b)



c)



d)

Figura 2.4 - Instrumentos utilizados na inspeção do edifício: a) martelo; b) formão; c) Resistograph; d) detector de metais

### 2.2.3 Caracterização dos danos

Antes de qualquer diagnóstico fechado, deve-se determinar os danos e suas possíveis causas. “Antes de se tomar uma decisão sobre a intervenção estrutural, é indispensável determinar anteriormente as causas de danos e degradações e, em seguida, avaliar o nível de segurança atual da estrutura” [26]. É importante identificar na estrutura possíveis fendas e sua distribuição, reconhecimento de possíveis causas de instabilidade, identificar principalmente a presença de umidade, infiltrações pois tendem a gerar avarias estruturais [27,28].

Após a identificação dos danos e sua caracterização, é fundamental mapear essas informações no contexto do levantamento estrutural. Esse mapeamento implica em integrar os dados sobre os danos no desenho da estrutura existente, criando uma representação visual dos problemas identificados. Somente

## Capítulo 2

após o mapeamento completo das informações sobre os danos, a avaliação de segurança e a definição das áreas que necessitam de intervenção é que se podem desenhar as peças necessárias. Estas peças descrevem as intervenções específicas que serão realizadas em cada zona ou elemento estrutural afetado [27,28].

Na Figura 2.5 está indicado como funciona a classificação do estado da estrutura, que representam as vigas e os danos do pavimento. As áreas hachuradas em verde representam as regiões que não precisaram de intervenção, as regiões demarcadas em laranja demonstram os locais que precisaram de reforço e/ou elementos que necessitaram de substituições pontuais, e as áreas em vermelhos são os que se encontravam danificados e foram substituídos [31].

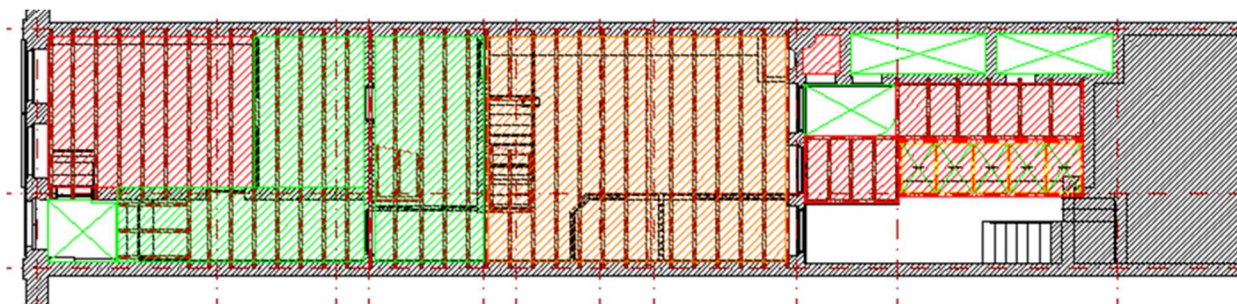


Figura 2.5 - Exemplo do mapeamento de danos

### 2.2.4 Avaliação da Segurança estrutural

A avaliação da segurança estrutural é realizada para identificar se a estrutura consegue suportar cargas conforme a sua utilização futura. Em alguns casos, também se verifica as condições básicas, como, por exemplo, a avaliação de sustentação estrutural de uma cobertura existente [27]. No caso em que as estruturas se encontrarem em bom estado, porém mudar o tipo de utilização da edificação, deve ser feita uma segunda análise para verificar a necessidade de um reforço estrutural no empreendimento.

### 2.2.5 Medidas de Intervenção

A última fase do diagnóstico a avaliação de segurança, onde a decisão sobre a intervenção a ser realizada é definida. Todas as informações obtidas devem ser registradas e descritas em um documento final referente a inspeção e ao diagnóstico da edificação [4].

Essa última etapa sugere medidas de intervenção global. Toda e qualquer sugestão, utiliza como base o que foi abordado nas seções anteriores, como o resultado dos levantamentos dos materiais e elementos estruturais, assim como seu estado de conservação que também utiliza a avaliação da segurança estrutural para as condições existentes. Nesta etapa é realizado também a compatibilidade da estrutura com o projeto prévio da arquitetura (caso haja algum tipo de modificação na edificação) [27].

## CAPÍTULO 3

### DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Este capítulo aborda a metodologia utilizada para realização da análise do ciclo de vida, nele estão apresentados os edifícios contemplados no estudo de caso fornecido pela empresa *NCREP*, com base nos Relatórios de Inspeção e diagnóstico foi possível realizar um breve resumo de cada edificação. Estão representados também como foram realizados os levantamentos acerca da ACV e os dados utilizados.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Para o presente estudo de caso foram analisados 13 edifícios na região do Porto, em Portugal, por meio do Relatório de Inspeção e Diagnóstico Estrutural (RID) e pelos arquivos dos projetos estruturais fornecidos pela empresa *NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património*, localizada na Cidade do Porto em Portugal. As edificações estão representadas na Tabela 3-1, de acordo com a numeração de cada estudo de caso, localização e suas respectivas áreas.

Tabela 3-1 - Resumo dos Edifícios analisados

Estudos de caso	Localização	Área (m <sup>2</sup> )
1	Rua Álvares Cabral	395
2	Rua Fontainha	380
3	Rua Torrinha	323
4	Rua General Torres	492
5	Rua Bolama	276
6	Rua Soares de Passos	378
7	Rua do Rosário	563
8	Rua Luiz Cruz	329
9	Rua Antonio Patrício	229
10	Rua do Bonfim	271
11	Rua Almada	493
12	Rua Entreparedes	1047
13	Rua Antero Quental	372

### Capítulo 3

A edificação 1 de uso residencial está localizada na Rua Alvares Cabral, na cidade do Porto em Portugal, com uma área total de 395m<sup>2</sup> e possui 4 pisos (-1, 0, 1 e 2). O prédio é constituído por paredes resistentes de alvenaria de granito, paredes interiores de tabique, pavimentos, escadas e coberturas com estrutura em madeira. Na fachada principal, a cobertura possui um telhado com 3 águas, e na fachada posterior com 2 águas. Existe outro edifício em anexo composto por 2 pisos que contém a cobertura com um telhado de 3 águas.

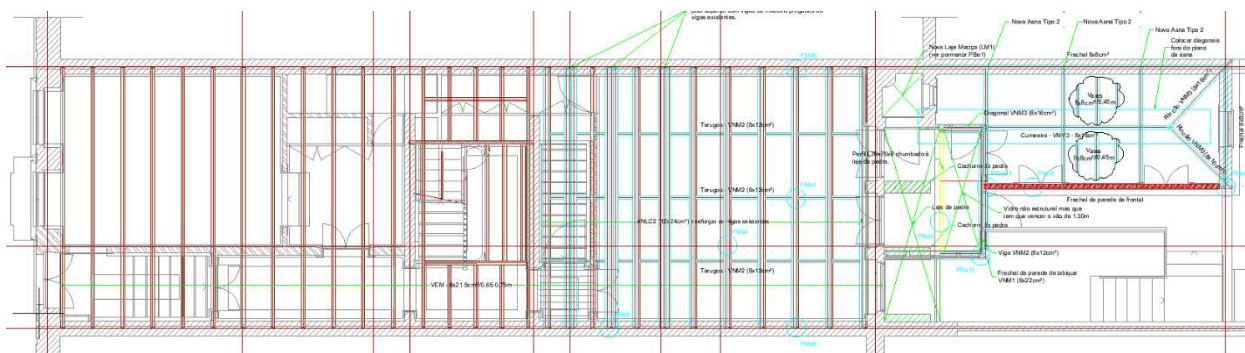


Figura 3.1 – Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 1)

O prédio teve o piso 0 do edifício anexo demolido para que a cota do pavimento fosse igualada a da edificação principal, conforme solicitado no projeto arquitetônico. As demais alterações foram feitas de acordo com a necessidade estrutural respeitando o sistema construtivo antigo da edificação, assim como manteve a preservação da identidade do edifício.



a) Fachada



b) Localização da edificação no mapa

Figura 3.2 – Fachada do edifício 1 e localização da edificação mapa

A edificação 2 de uso residencial está localizada na Rua das Fontainha, na cidade do Porto em Portugal, com uma área total de 380m<sup>2</sup> e possui 4 pisos (0, 1, 2 e 3). É constituída por paredes de alvenaria de granito, paredes internas de tabique, pavimentos e coberturas de madeira. Na parte entre a claraboia e a área central existe uma cobertura com 3 águas, enquanto na zona entre a claraboia e a fachada posterior

a cobertura tem somente uma água. Existe um volume saliente ao edifício principal, localizado no lado norte junto a fachada posterior.

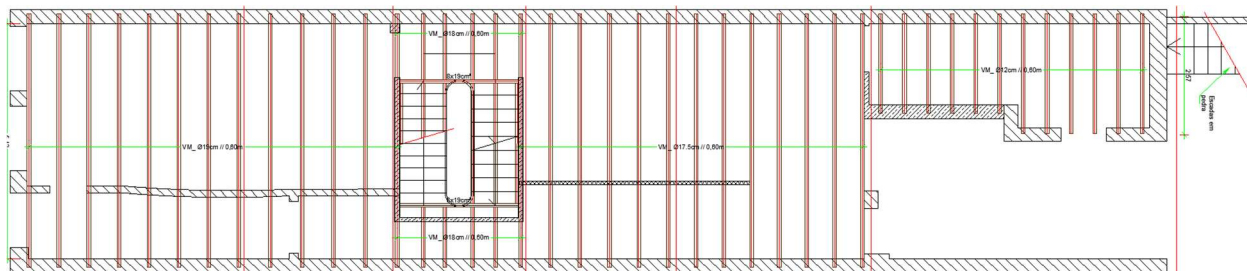


Figura 3.3 - Projeto estrutural do piso 0 (Edifício 2)

O edifício teve parte das vigas de madeira do piso 1 e 2 substituídas, o piso 3 com todas as vigas trocadas, a cobertura totalmente demolida. Foi construído um novo pavimento (piso 4) e uma nova cobertura.



a) Fachada



b) Localização da edificação no mapa

Figura 3.4 - Fachada do edifício 2 e localização da edificação no mapa

O edifício 3 de uso desconhecido, localizado na Rua da Torrinha, na cidade do Porto em Portugal, contém uma área total de 323 m<sup>2</sup> e possui 3 pisos (0, 1 e 2). É constituído por paredes rígida de alvenaria de pedra e tijolo, paredes internas de tabique, pavimentos e coberturas de madeira. Com base no projeto estrutural desenvolvido a partir do RID, o edifício teve uma pequena ampliação e reforço no piso 0 e 1, reforço no piso 2 e substituição em aproximadamente 50% dos elementos estruturais da cobertura.

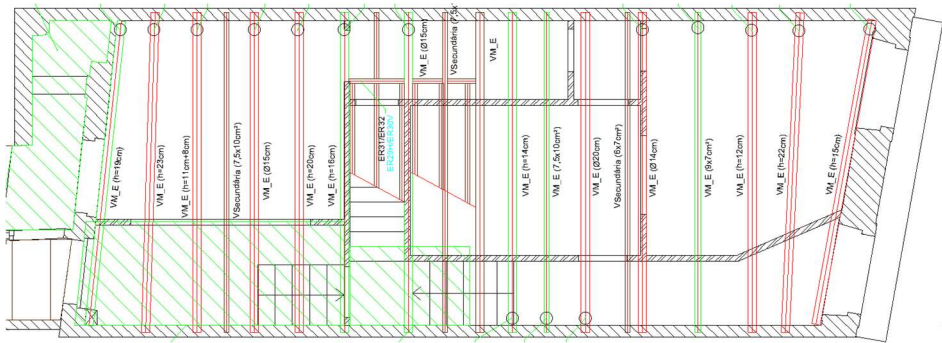


Figura 3.5 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 3)

A edificação 4 está localizada em Vila Nova de Gaia na Rua General Torres, em Portugal. É composto por 4 pisos, sendo eles: piso 0, piso 1, piso 2 e piso 3. O prédio possui paredes de alvenaria em granito, paredes interiores em tabique, pavimentos e cobertura em estrutura de madeira, a estrutura obedece uma composição comum para sua época de construção.

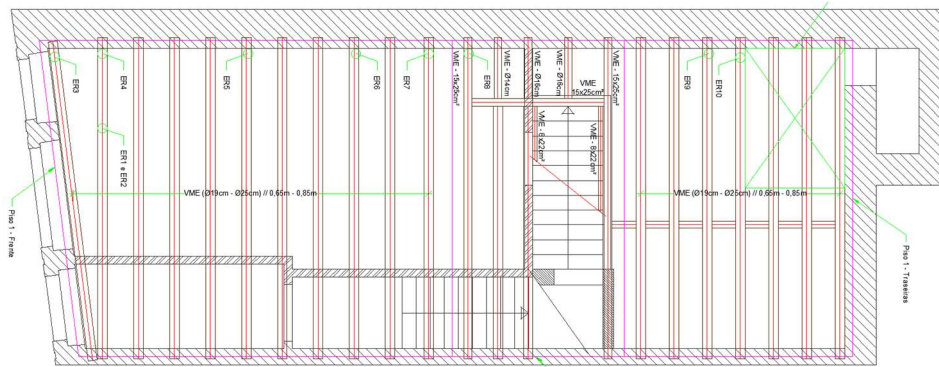


Figura 3.6 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 4)

Os pisos 1 e 2, tiveram parte das vigas substituídas e os pavimentos reforçados, já o piso 3 continha vigas subdimensionadas que não atendiam as condições necessárias para segurança, portanto, esses elementos foram substituídos.



a) Fachada



b) Localização da edificação no mapa

Figura 3.7 - Fachada do edifício 4 e localização da edificação no mapa

A edificação 5 de uso residencial está localizada na Rua do Bolama, na cidade do Porto em Portugal, com uma área total de aproximadamente 276 m<sup>2</sup> e possui 3 pisos (-1, 0 e 1). O edifício é constituído por paredes exteriores em alvenaria de granito, paredes interiores em tijolo furado, piso 0 e 1 em concreto armado e madeira e cobertura em madeira.

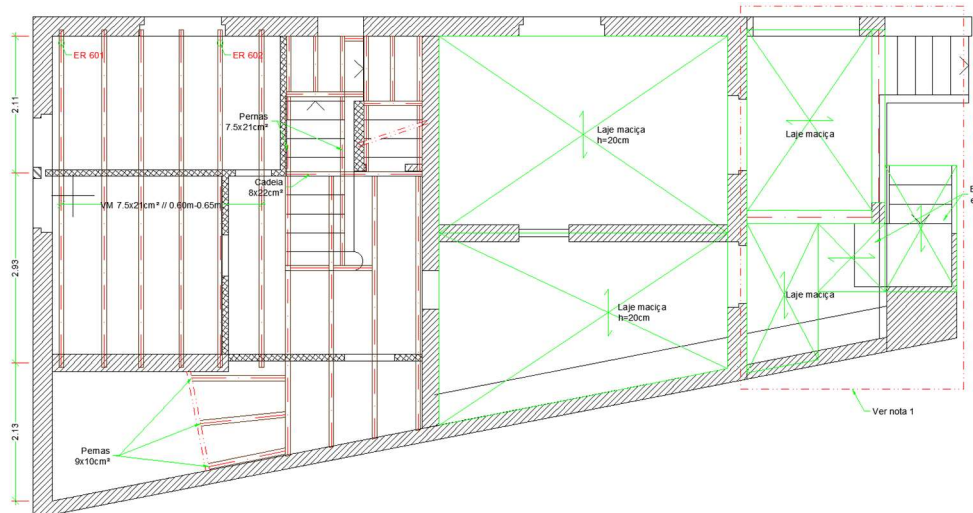
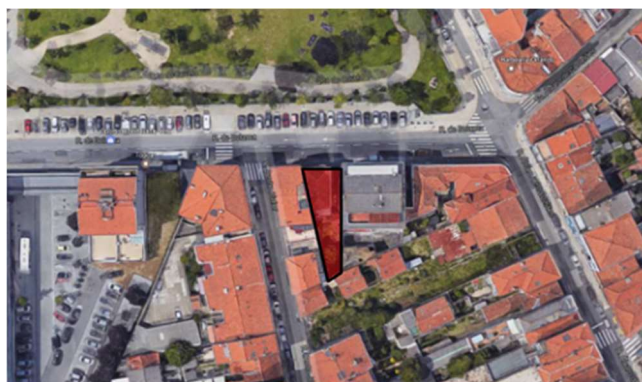


Figura 3.8 - Projeto estrutural do piso 0 (Edifício 5)

O prédio apresentou um bom estado de conservação, foi necessário a substituição de poucos elementos dos pisos e cobertura, e o tratamento contra ataques de insetos e umidade.



a) Fachada



b) Localização da edificação no mapa

Figura 3.9 - Fachada do edifício 5 e localização da edificação no mapa

A edificação 6 de uso residencial está localizada na Rua Soares de Passos, nº 110, na cidade do Porto em Portugal, com uma área total de aproximadamente 378 m<sup>2</sup> e possui 3 pisos (-1, 0 e 1). Apresenta uma estrutura constituída por paredes exteriores e interiores de alvenaria de granito, paredes interiores em alvenaria de tijolo, pavimentos em laje maciça e cobertura em estrutura de madeira.

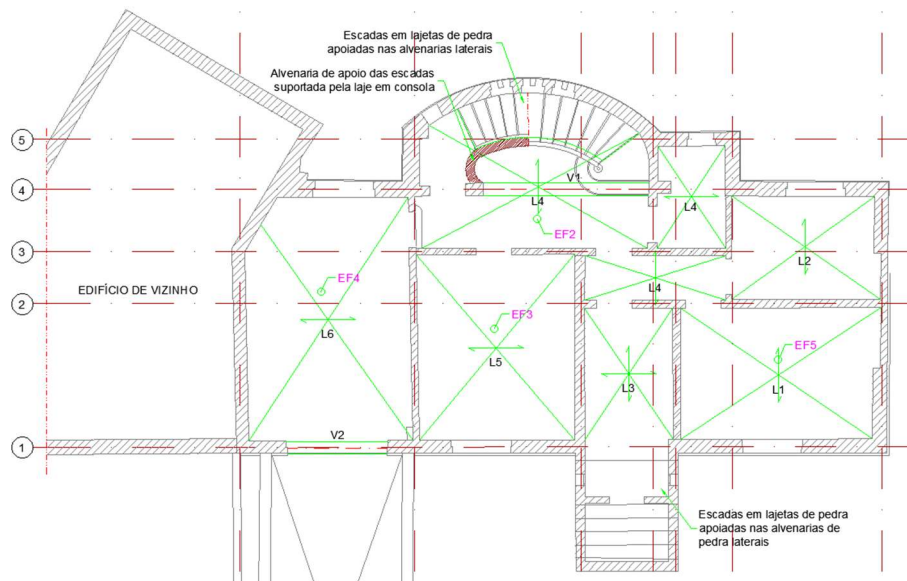


Figura 3.10 - Projeto estrutural do piso 0 (Edifício 6)

Foi realizado um reforço no piso 0, substituição de alguns elementos estruturais da cobertura devido ao ataque de insetos e reparação nas armaduras que apresentavam corrosão na laje de concreto.



Figura 3.11 - Fachada frontal do edifício 6

A edificação 7 localizada na Rua do Rosário, em Porto, contém uma área de 563 m<sup>2</sup>, com 4 pisos (0, 1, 2 e 3). O prédio contém pavimentos e cobertura em estrutura de madeira, a estrutura obedece a uma composição comum para sua época de construção. Foi realizada uma ampliação no piso 1, a demolição da cobertura para execução de um novo piso (piso 4), a reconstrução da cobertura e o reforço estrutural no piso 2.

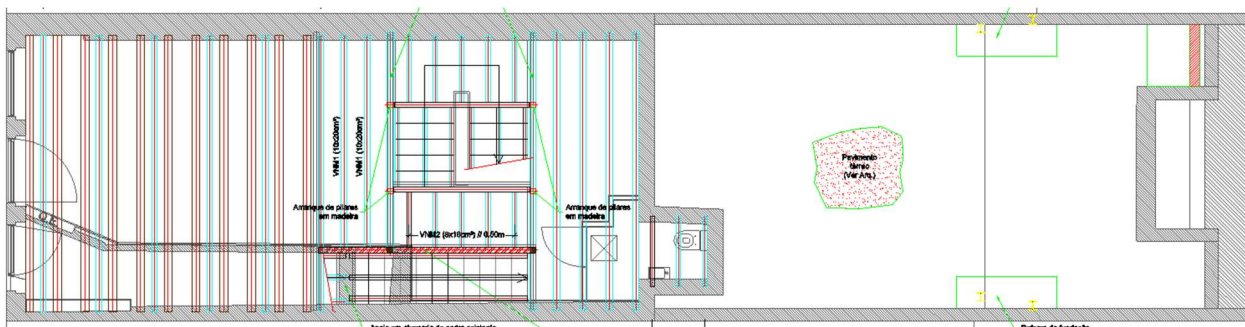


Figura 3.12 - Projeto estrutural do piso 0 (Edifício 7)

O edifício 8 está localizado na Rua Luis Cruz, em Porto, Portugal. O prédio possui uma área total média de 329 m<sup>2</sup> e contém 4 pisos (-1, 0, 1 e 2). A edificação contém pavimentos e cobertura em estrutura de madeira. Nas intervenções realizadas na estrutura, foi executada uma ampliação no pavimento térreo e conseqüentemente no piso 1, já no piso 2 foi projetada uma cobertura em estrutura metálica somente para cobrir a nova área que foi ampliada no piso 1, foi executado também a substituição e reforço em alguns pontos necessários.

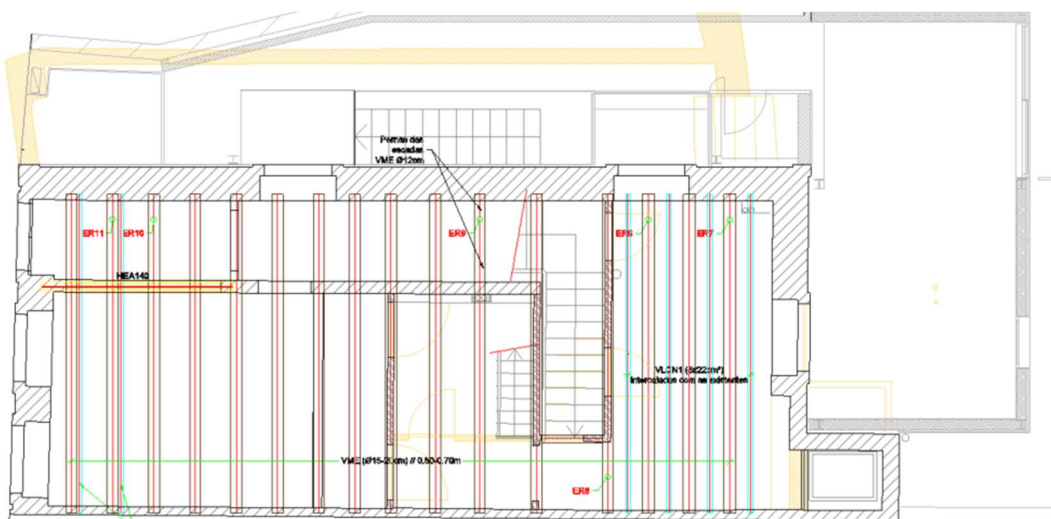


Figura 3.13 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 8)

O edifício 9 está localizado na Rua António Patrício, em Porto, Portugal. A edificação tem uma área de 229 m<sup>2</sup> e possui 3 pisos (-1, 0 e 1). A edificação contém pavimentos e cobertura em estrutura de madeira. Foi executado um reforço no pavimento térreo para suportar os pavimentos superiores, foi realizada a substituição dos elementos estruturais danificados no piso 0 e 1, foi executado também um reforço e substituição em algumas áreas da cobertura.



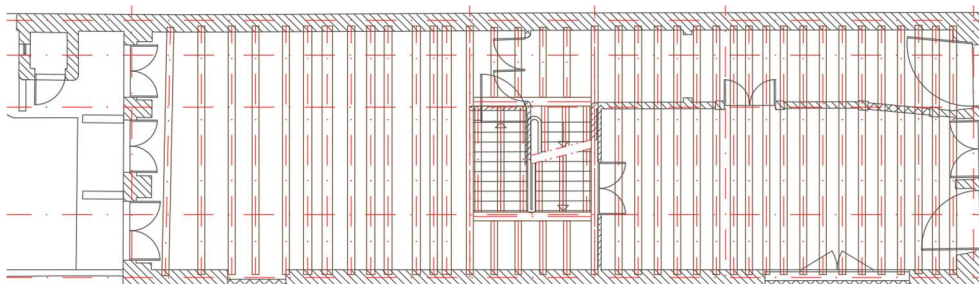


Figura 3.16 - Projeto estrutural do piso 3 (Edifício 11)

A edificação 12 está localizada na rua Entreparedes, na cidade do Porto em Portugal. O edifício possui 1047 m<sup>2</sup> e 4 pisos (0, 1, 2 e 3). É um edifício tradicional do Porto, construído em meados de 1844, portanto, possui paredes em alvenaria de granito, com paredes interiores de tabique, pavimentos e cobertura em madeira.



Figura 3.17 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 12)

A edificação teve toda sua cobertura demolida e reconstruída, parte das escadas removidas para adição de um elevador, reconstrução no pavimento térreo, e reforço estrutural nos demais pisos.



a) Fachada



b) Localização da edificação no mapa

Figura 3.18 - Fachada do edifício 12 e localização da edificação no mapa

## Capítulo 3

O edifício 13 está localizado na Rua Almada, em Porto, Portugal. A edificação possui uma área de 372 m<sup>2</sup> e contém 3 pisos (0, 1 e 2). O edifício contém pavimentos e cobertura em estrutura de madeira. Na intervenção foi executado uma obra no térreo e a substituição de boa parte dos elementos danificados no térreo e na cobertura.

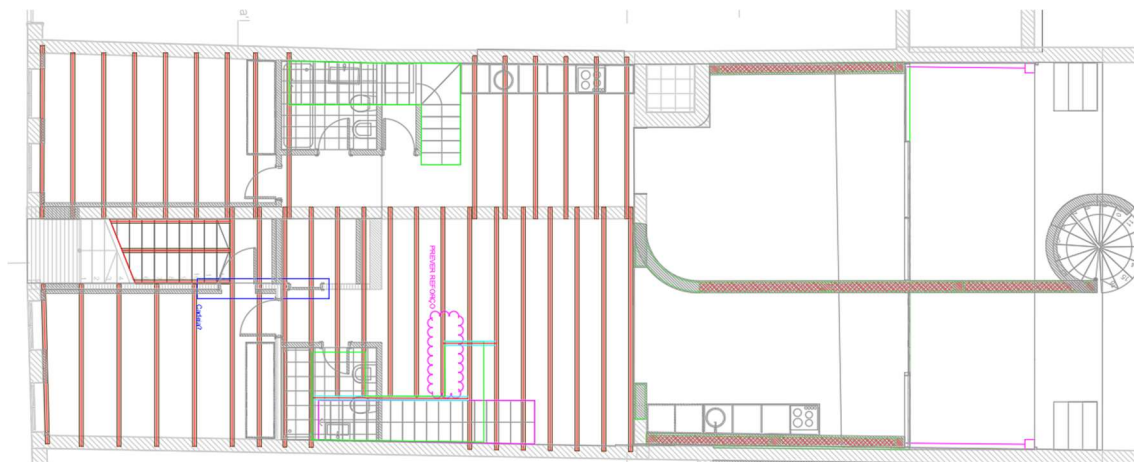


Figura 3.19 - Projeto estrutural do piso 1 (Edifício 13)

### 3.2 PROPÓSITO DA ACV

Para a realização da comparação, foram analisados dois tipos de cenários, que faz parte da continuidade da dissertação da Renata Silva . O cenário denominado como “cenário 0” representa o a situação real das edificações, onde todas passaram por uma inspeção e tiveram um diagnóstico, por meio dessas etapas cada uma sofreu uma intervenção de acordo com o projeto estrutural com base no trabalho de inspeção e diagnóstico estrutural [3].

Para tornar tangível tais comparações foi elaborado um fluxograma onde estão apresentadas as fronteiras do sistema, ou seja, um parâmetro do que ocorreu durante a fase da obra de cada edificação, levando em consideração as demolições que foram necessárias de acordo com cada projeto, bem como a chegada de novos materiais na obra para substituir os que foram descartados. O cenário 0 está representado na Figura 3.20, e pode ser classificado como cenário referencial [3].

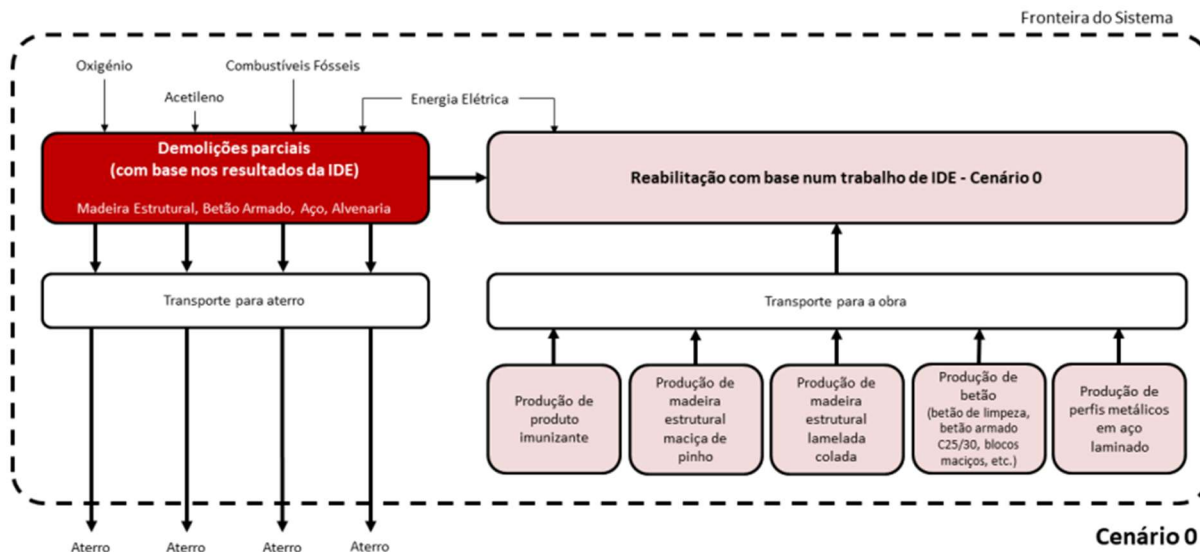


Figura 3.20 – Fluxograma do cenário 0 [3]

Além dos dois cenários contemplados acima (cenário 0 e cenário 3), existem mais dois tipos de estudos que não foram contemplados nessa análise, denominados como cenário 1 e cenário 2. O primeiro cenário representa a demolição integral da estrutura interna do edifício e a sua reconstrução sendo feita como madeira maciça (classe 24). O segundo cenário representa o edifício sendo reconstruído com uma estrutura nova de madeira lamelada colada, classe GL24h.

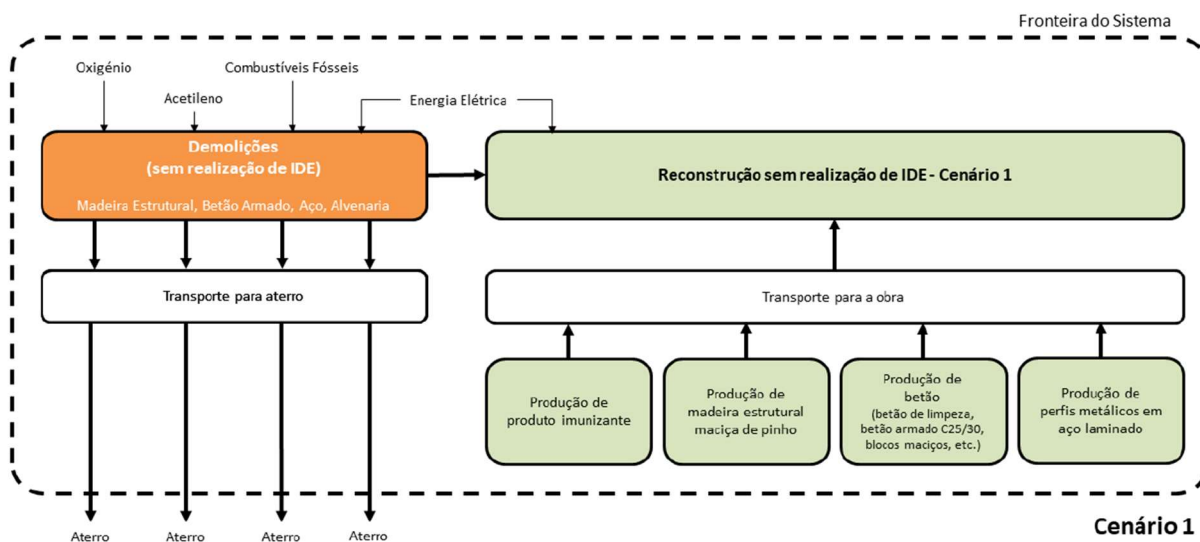


Figura 3.21 - Fluxograma do cenário 1 [3]

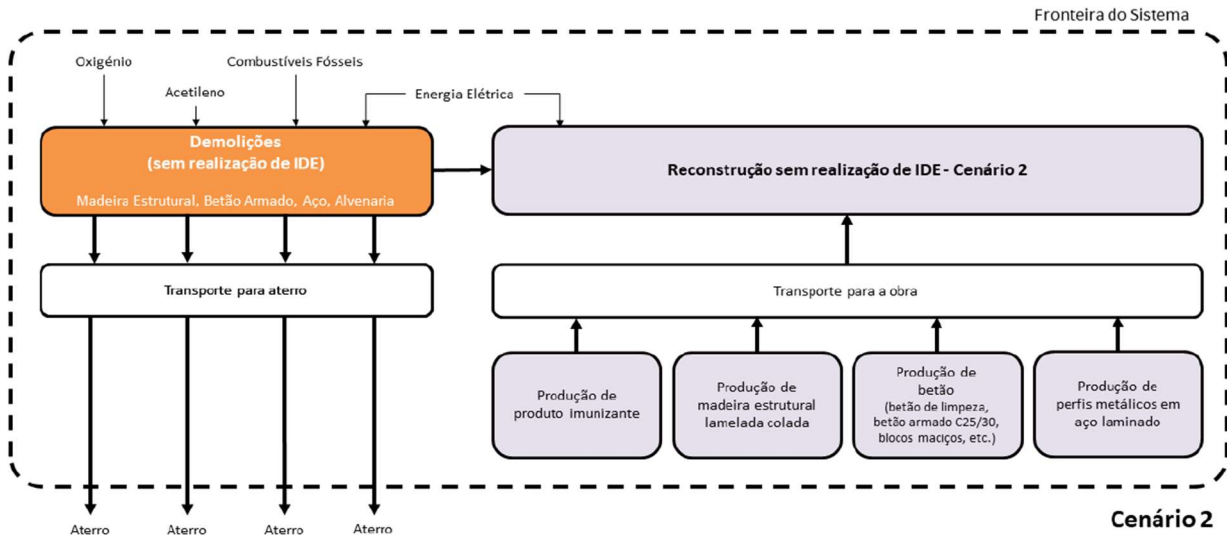


Figura 3.22 - Fluxograma do cenário 2 [3]

Para realização do outro cenário de comparação contemplado nesse estudo, foi levado em consideração a demolição de toda a estrutura existente das edificações, para ser substituída por concreto armado. Para esse processo foi considerado todas as fases de demolição, carga e transporte desse material para o aterro, assim como as fases produção e chegada dos novos materiais para reconstrução do edifício. No fluxograma da Figura 3.23 está representado as fases que representam o cenário 3 [3].

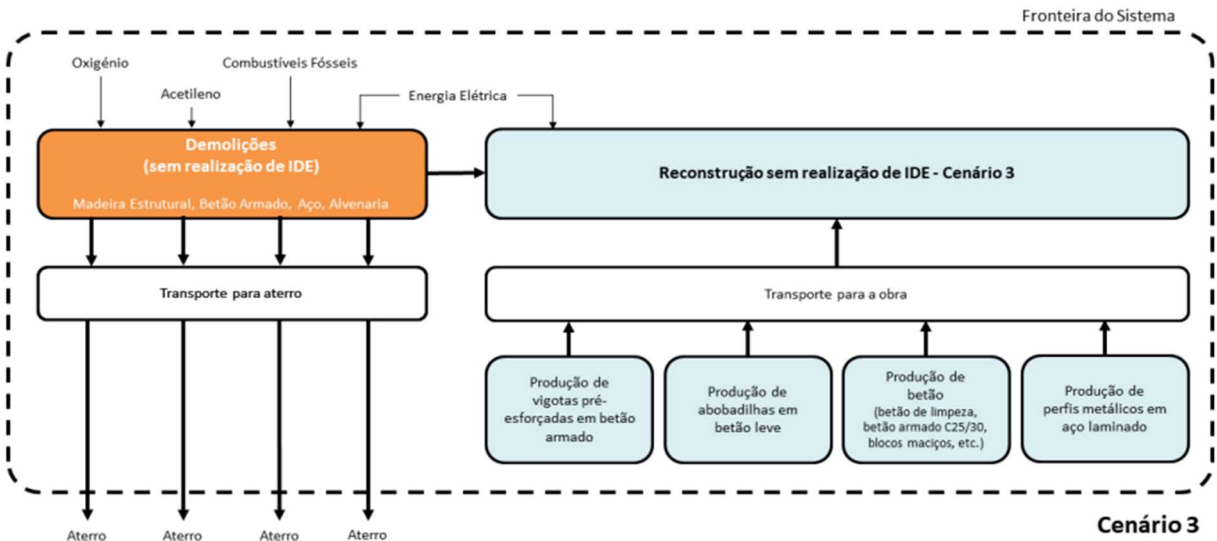


Figura 3.23 – Fluxograma do cenário 3 [3]

Para o realizar a quantificação das lajes do cenário 3, foi elaborado um dimensionamento padrão de acordo com a área e o vão de cada pavimento, na Tabela 3-2 é possível observar a variação da espessura das lajes alveolares de acordo com o comprimento do vão, que tem como valor máximo 6 metros. Essa estrutura foi dimensionada a partir do software *Presdouro* considerando como padrão laje maciças em concreto armado classe C25/30, esses parâmetros segue as diretrizes apresentadas por Renata Silva [3].

Tabela 3-2 – Soluções adotadas para estrutura de concreto

Vão (m)	Lajes maciças em concreto armado (C25/30)
< 2	15 cm
2 - 4	18 cm
4 - 6	25 cm

Foi considerado para a ACV, a metodologia *cradle-to-site*, que inclui desde as fases de demolição dos materiais até o local do aterro, exclusive o tratamento desses materiais, assim como a chegada dos novos materiais até a obra. Na fase de construção, inclui a extração e produção dos materiais até a sua alocação final na obra. Em todas as fases já citadas, foram atribuídos os transportes dos materiais, tanto da obra quanto para o aterro, também dos fornecedores de materiais para construção. Para cada atividade foi atribuído os gastos energéticos. Optou-se por padronizar todos os resultados por m<sup>2</sup> de edifício [3]. Na Tabela 3-3 estão representados os indicadores de desempenho ambiental analisados neste estudo.

Tabela 3-3 – Indicadores ambientais e seus respectivos impactos [3]

Indicador Ambiental	Breve descrição	Unidade
Potencial de acidificação	Pretende quantificar as emissões de substâncias que podem ser transformadas em substâncias ácidas, nomeadamente o dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	Kg SO <sub>2</sub> eq
Potencial de aquecimento global	Está diretamente associado às emissões de gases efeito de estufa, como o dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), responsáveis pelas alterações climáticas.	Kg Co <sub>2</sub> eq
Potencial de eutrofização	Está relacionado com o excesso de macronutrientes no ambiente, nomeadamente em ambientes aquáticos.	Kg PO <sub>4</sub> eq
Potencial de criação de ozono fotoquímico	Pretende avaliar o fenômeno da oxidação fotoquímica, sendo o ozono o principal composto químico reativo formado devido à ação da radiação UV.	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
Potencial de esgotamento de recursos abióticos	Está relacionado com a preservação dos ecossistemas e com a disponibilidade dos recursos naturais.	Kg Sb eq
Potencial de destruição da camada de ozono	Pretende avaliar as emissões de clorofluorcarbonetos, como o tricloromonofluormetano (CFC-11), que provocam a destruição da camada de ozono.	Kg CFC-11 eq

### 3.3 ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS INTERVENÇÕES

Foram levantadas as quantidades de materiais de cada edifício na sua condição inicial, considerando somente os pavimentos, escadas e coberturas, com exceção das paredes. Em seguida foram coletados os dados de acordo com o projeto de reabilitação estrutural, que foi elaborado com base no trabalho de inspeção e diagnóstico estrutural. Com essas duas informações, foi possível comparar a quantidade de material que foi demolido e/ou substituído, e identificar os elementos que foram mantidos pois estavam em um bom estado de conservação.

Com base nos dados de demolição, substituição, elementos existentes e elementos novos, foi possível classificar o nível de modificação de cada edifício. Essa classificação varia de acordo com a necessidade de cada projeto.

Para classificar os edifícios foram listados os volumes de materiais utilizados no projeto executivo, assim como os volumes de materiais na condição inicial da edificação e o volume de demolição. Para comparação foi extraído o percentual de material demolido em relação ao inicial, nessa comparação não estão listados todos os materiais, aparece somente os materiais com volume maior e mais recorrente, a maioria dos edifícios tem sua composição (estrutura) em madeira, com exceção do edifício 6 que tem uma composição maior em volume de concreto.

Para simplificar a comparação dos edifícios no capítulo 4, foi realizada uma prévia da análise dos resultados obtidos, de maneira que foi possível chegar na classificação de três níveis de intervenção, sendo eles:

- a) Intervenção pouco intrusiva ou de baixa intrusividade (BI): estão classificadas nesse grupo as edificações que tiveram poucas intervenções em suas estruturas, ou seja, se mantiveram mais próximas a situação original do prédio.

Os edifícios de BI listados na Tabela 3-4 apresentam um volume médio de demolição de 20% em relação a sua estrutura inicial, e no projeto executivo apresentaram um volume de material menor em relação as outras edificações.

Tabela 3-4 – Edifícios com baixa intrusividade

Edifício	Material	Inicial	Demolido	%	Materiais Projeto executivo		
		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		Madeira (m <sup>3</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (kg)
1	Madeira	11,57	2,13	18%	11,82	3,68	450,12
5	Madeira	7,30	1,42	19%	2,30	-	353,22

6	Concreto	21,08	4,62	22%	5,40	12,45	2.347,30
---	----------	-------	------	-----	------	-------	----------

- b) Intervenção média ou média intrusividade (MI): são as edificações que tiveram mudanças consideráveis no projeto arquitetônico e tiveram boa parte dos elementos estruturais substituídos e/ou reforçados.

Para essas edificações a média de demolição ficou em torno de 55%, mas não foi utilizado somente esse critério. Para as edificações que ficaram abaixo da média de 55% no volume de demolição, como os edifícios 3 e 9, foi analisado que proporcionalmente os materiais nos projetos executivos apresentavam um volume superior aos edifícios de baixa intrusividade, portanto se encaixaram na classificação de média intrusividade.

Para os que ultrapassaram 70% do volume de demolição, como os edifícios 2 e 11, não se aplicam no nível de alta intrusividade pelo fato de não apresentarem proporções altas o suficiente de materiais adicionados no projeto executivo, sendo classificados também como média intrusividade.

Tabela 3-5 – Edifícios com intrusividade média

Edifício	Material	Inicial Demolido			Materiais Projeto executivo		
		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%	Madeira (m <sup>3</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (kg)
2	Madeira	15,41	10,77	70%	27,85	5,07	644,72
3	Madeira	8,10	3,20	40%	22,23	0,51	2.106,00
4	Madeira	12,77	6,85	54%	18,48	5,11	398,40
9	Madeira	10,11	2,91	29%	1,97	-	1.631,63
10	Madeira	5,55	3,37	61%	12,95	5,30	1.306,31
11	Madeira	19,56	14,94	76%	24,35	13,58	15.631,80

- c) Intervenção mais intrusiva ou de alta intrusividade (AI): são classificadas dessa forma as edificações com várias modificações na estrutura, e muitas substituições dos elementos existentes, devido a modificação na arquitetura e/ou danos excessivos nos elementos estruturais.

Os edifícios listados na Tabela 3-6 representam as edificações com alto índice de demolição e alto volume de material adicionado no projeto executivo em relação ao restante das edificações, com exceção do edifício 8 que tem o índice de demolição mais baixo em relação a todos edifícios, porém sofreu modificações arquitetônicas no projeto executivo que resultou em um alto volume de concreto, devido a esse fator ele foi classificado também como edifício com alta intrusividade.

Tabela 3-6- Edifícios com alta intrusividade

Edifício	Material	Inicial Demolido			Materiais Projeto executivo		
		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%	Madeira (m <sup>3</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (kg)
7	Madeira	10,58	6,32	60%	10,06	28,87	33.736,87
8	Madeira	7,47	0,56	7%	4,43	136,14	6.088,08
12	Madeira	42,25	31,40	74%	53,68	242,53	58.752,34
13	Madeira	7,64	5,60	73%	11,55	96,55	564,86

### 3.4 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

Para a elaboração do inventário do ciclo de vida, foram utilizados os materiais citados no capítulo 3.1, onde foram apresentados materiais demolidos e novos. Além desses materiais foram inclusos ainda os transportes e consumo energético dos equipamentos utilizados na fase de obra, estas informações estão citadas na dissertação da Renata Silva [3]. Na Tabela 3-7 estão citadas as distâncias consideradas nesse estudo:

Tabela 3-7 – Distâncias consideradas no transporte de materiais [3]

	Distância ao centro do Porto (Km)
Resíduos de demolição	9
Estruturas de madeira maciça	14
Estruturas de madeira lamelada colada	21
Estruturas metálicas	8
Lajes aligeiradas	27

O consumo energético foi definido com base nos dados fornecidos por empreiteiros das obras, com a declaração de horas de funcionamento de cada equipamento. A potência de cada um foi pautada em equipamentos existentes no mercado [3]. Para este cálculo foi considerado também a energia consumida pela grua, modelo TEREX CTT51/A-2 (15 kW) ou equivalente. Foi adotado para obra uma de 500 m<sup>2</sup> com o período de um ano, onde essa duração será proporcional a área do edifício em análise, foi estimada um tempo de 4 horas de funcionamento da grua por dia, durante toda a fase de obra, estimativa que resultou em um consumo de 30,36 kWh/m<sup>2</sup> de edifício [3].

Tabela 3-8 – Consumos considerados por m<sup>3</sup> de material [3]

Atividade	Equipamento	Rendimento	Consumo por m <sup>3</sup> de material
-----------	-------------	------------	--

Demolição de estruturas de madeira	Motosserra (a)	3,50 h/m <sup>3</sup>	3,50 L gasolina/m <sup>3</sup>
	Rebarbadora (b)	3,50 h/m <sup>3</sup>	7,00 kWh/m <sup>3</sup>
Demolição de estruturas em betão armado	Martelo elétrico ©	2,67 h/m <sup>3</sup>	4,67 kWh/m <sup>3</sup>
	Rebarbadora (b)	2,67 h/m <sup>3</sup>	5,34 kWh/m <sup>3</sup>
Demolição de estruturas metálicas	Rebarbadora (b)	2,68 h/m <sup>3</sup>	5,36 kWh/m <sup>3</sup>
	Maçarico com oxicorte (d)	2,68 h/m <sup>3</sup>	1621,4 L oxigênio/m <sup>3</sup>
		2,68 h/m <sup>3</sup>	629,8 L acetileno/m <sup>3</sup>

(a) Equipamento indicado pelo empreiteiro, com um consumo de 1 L de gasolina por hora;

(b) Rebarbadora BOSCH GWS 20-230 JH profissional (2000 W);

(c) Martelo demolidor BOSCH GSH 16-20 Profissional (1750 W);

(d) Equipamento indicado pelo empreiteiro, com um consumo de 605 L de oxigênio e 235 L de acetileno por hora

### 3.5 LEVANTAMENTO DOS DADOS E QUANTIDADES

Neste subtópico está representado o passo a passo do levantamento de dados do edifício 1, o que foi realizado nesse estudo se aplica aos outros 12 edifícios que foram apresentados neste capítulo.

Para o passo inicial desse levantamento, foram analisados os elementos existentes na edificação antes da inspeção e do diagnóstico, a partir disso foi extraído o volume em metro cúbico (m<sup>3</sup>) de cada elemento estrutural ou o peso em quilogramas (kg) no caso das estruturas metálicas, esse levantamento foi denominado como estrutura existente. Em seguida foi analisado o projeto de reabilitação com base no RID, onde foi possível comparar qual elemento estrutural permaneceu e qual foi retirado, a partir desses dados foram quantificados os materiais denominados como estrutura demolida. Na Tabela 3-9 é possível observar a quantidade de materiais existentes e demolidos.

Tabela 3-9 – Edifício 1, descrição dos materiais existentes e demolidos

Materiais	Unidade	Existente	Demolições
Madeira estrutural maciça do tipo resinosa - C18	m <sup>3</sup>	10,26	3,56

### Capítulo 3

Estruturas Metálicas	kg	332,23	332,33
Elemento de pedra	m <sup>3</sup>	4,15	1,24
Abobadilhas cerâmicas	m <sup>3</sup>	1,03	1,03

De acordo com a análise realizada, foram quantificados os elementos estruturais que compõe a nova estrutura da edificação. O prédio teve o piso 0 do edifício anexo demolido para que a cota do pavimento fosse igualada a da edificação principal, conforme solicitado no projeto arquitetônico. As demais alterações foram feitas de acordo com a necessidade estrutural respeitando o sistema construtivo antigo da edificação, assim como manteve a preservação da identidade do edifício. Na Tabela 3-10, estão apresentados o volume dos materiais utilizados para o reforço e/ou substituições.

Tabela 3-10 – Descrição dos materiais utilizados no edifício 1, reforço e/ou substituições

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Substituições / Reforços</b>
Madeira estrutural maciça do tipo resinosa - C18	m <sup>3</sup>	5,6
Madeira estrutural lamelada colada de pinho nacional - GL24h	m <sup>3</sup>	6,22
Estruturas Metálicas	kg	450,12
Elemento de pedra	m <sup>3</sup>	3,68

Para extrair a quantidade dos impactos ambientais foram utilizados os dados fornecidos na dissertação da Renata Silva [3]. Os dados apresentados na Tabela 3-11 e na Tabela 3-12 são com valores equivalentes a uma unidade de cada material ou nível de consumo, ou seja, o impacto unitário de cada item com a equivalência de cada indicador de desempenho ambiental.

Tabela 3-11 – Impactos unitários ½ [3]

<b>Consumo/Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>SO2 eq</b>	<b>CO2 eq</b>	<b>PO4 eq</b>
Eletricidade	kWh	2,94E-04	6,62E-02	2,37E-04
Gasolina	kg	5,66E-03	1,16E+00	4,34E-03
Acetileno	kg	1,38E-02	3,93E+00	1,13E-02
Oxigênio líquido	kg	2,58E-03	7,25E-01	2,04E-03
Madeira maciça de pinho	m3	3,83E-01	6,95E+01	1,71E-01
Madeira lamelada colada	m3	7,23E-01	8,49E+01	3,35E-01

Produto Imunizante	kg	1,04E-02	1,04E+00	3,38E-03
Concreto Armado (High Requirements)	m3	2,06E+00	2,85E+02	4,03E-01
Concreto Armado C25/30 (Lajes Têrreas E Enchimento)	m3	6,44E-01	2,42E+02	2,25E-01
Concreto magro	m3	1,31E+00	1,69E+02	2,67E-01
Blocos de concreto	kg	2,93E-04	9,71E-02	1,25E-04
Vigotas	m3	1,49E+00	2,71E+02	3,20E-01
Abobadilhas	kg	1,98E-03	5,32E-01	2,51E-03
Perfis metálicos (Aço)	kg	1,10E-04	1,79E-01	1,93E-04
Transporte	kg.km	3,06E-06	5,55E-04	9,70E-07

Tabela 3-12 – Impactos unitários 2/2 [3]

Consumo/Material	Unidade	C2H4 eq	Sb eq	CFC-11 eq
Eletricidade	kWh	1,91E-05	4,26E-04	7,78E-09
Gasolina	kg	4,04E-04	3,17E-02	6,82E-07
Acetileno	kg	1,52E-03	3,13E-02	5,75E-07
Oxigénio líquido	kg	1,25E-04	5,77E-03	1,07E-07
Madeira maciça de pinho	m3	2,22E-02	4,94E-01	5,12E-06
Madeira lamelada colada	m3	4,37E-02	8,30E-01	4,35E-06
Produto Imunizante	kg	6,56E-04	2,95E-02	8,24E-07
Concreto Armado (High Requirements)	m3	9,81E-02	1,55E+00	1,52E-05
Concreto Armado C25/30 (Lajes Têrreas E Enchimento)	m3	3,18E-02	8,58E-01	1,42E-05
Concreto magro	m3	6,29E-02	1,04E+00	1,16E-05
Blocos de concreto	kg	1,88E-05	4,01E-04	5,73E-09
Vigotas	m3	6,96E-02	1,14E+00	1,01E-05
Abobadilhas	kg	8,24E-05	3,09E-03	4,41E-09
Perfis metálicos (Aço)	kg	3,76E-05	7,81E-04	2,01E-08
Transporte	kg.km	1,05E-07	4,11E-06	8,86E-11

A partir dos impactos unitários foi possível extrair os impactos gerados no edifício 1, para o cenário 0 foram utilizados os volumes dos materiais novos, e para a representação do cenário 3 foi utilizado o volume do material existente mais as mudanças de projeto, convertido para concreto armado. Na Tabela 3-13 é possível observar os indicadores de desempenho ambiental equivalentes ao edifício 1.

Tabela 3-13 – Análise dos indicadores ambientais do edifício 1

Emissões totais	Cenário 0	Cenário 3
kg SO2 eq	2,71E-02	3,32E-01
kg CO2 eq	3,96E+00	6,78E+01
kg PO4 eq	1,08E-02	1,73E-01

### Capítulo 3

kg C2H4 eq	1,56E-03	1,52E-02
kg Sb eq	3,57E-02	2,06E-01
kg CFC-11 eq	4,79E-07	2,45E-06

---

Para realizar a análise, o cenário 0 foi colocado como valor de referência em relação ao cenário 3, ou seja, as porcentagens apresentadas no capítulo 4 representa em nível porcentagem (%) o quanto o cenário 3 está poluindo em relação ao cenário 0, ou seja, quanto maior a porcentagem do indicador ambiental mais o cenário 3 gera impacto em relação a realidade do cenário referencial.

Na Figura 3.24 está demonstrado como foram realizadas as comparações entre os cenários, o retângulo vermelho representa o cenário 3 e retângulo azul representa o cenário 0, para cada geometria foram inseridos valores hipotéticos, sendo eles, 8 e 1 respectivamente. É possível observar que o retângulo azul se repete 8 vezes para completar o vermelho, ou seja, ele precisaria aumentar 800% para alcançar a mesma proporção do vermelho. Portanto, os dados e os valores apresentados mais adiante nos resultados apresentam esse tipo de configuração.

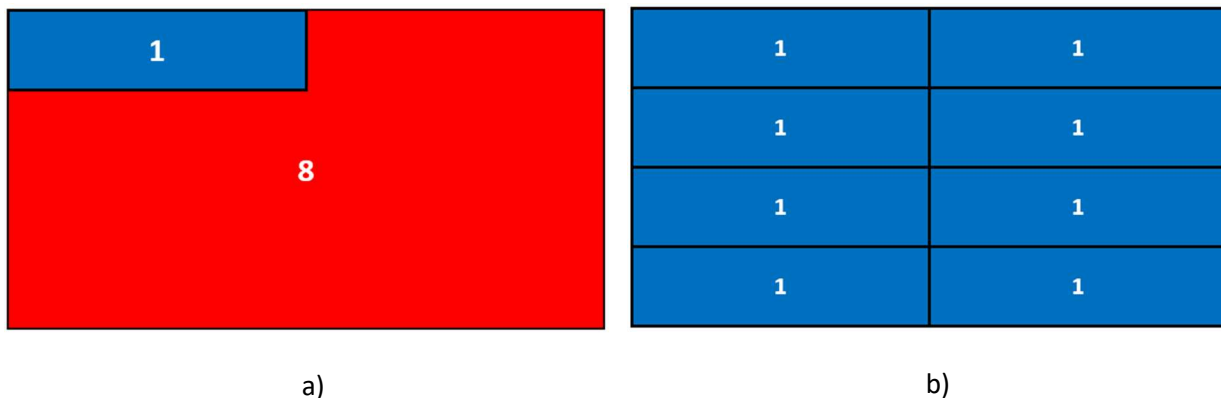


Figura 3.24 – Exemplo da comparação dos resultados

Já na Figura 3.25 é possível observar em nível de escala de cores, a proporção do cenário 3 em relação ao cenário 0 no edifício 1.

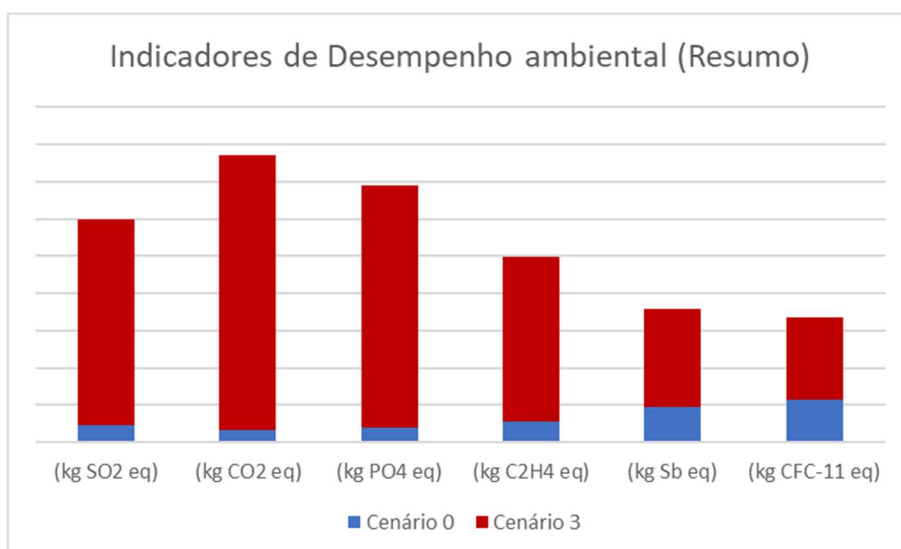


Figura 3.25 – Resumo gráfico dos impactos ambientais do edifício 1

Na Tabela 3-14 estão apresentados os valores que foram usados com referência para gerar o gráfico da Figura 3.25. Onde a coluna de repetição representa o número de vezes que o cenário 0 se aplica no cenário 3 para o edifício 1, e a coluna de proporção representa em porcentagem a expansão do cenário 3 em relação ao cenário 0.

Tabela 3-14 – Proporção entre o cenário 0 e 3 no edifício 1

EMISSIONES TOTAIS	REPETIÇÕES	PROPORÇÃO
kg SO2 eq	12,3	1225%
kg CO2 eq	17,1	1712%
kg PO4 eq	16,0	1602%
kg C2H4 eq	9,7	974%
kg Sb eq	5,8	577%
kg CFC-11 eq	5,1	511%

## CAPÍTULO 4

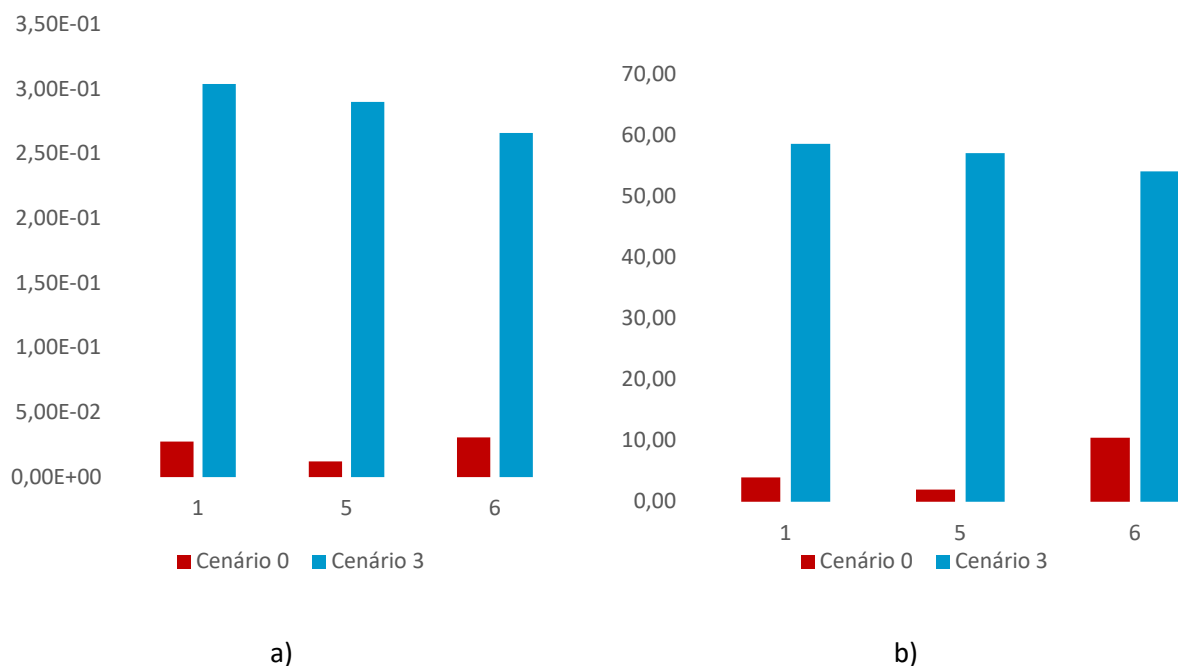
### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão abordados os resultados de acordo com a análise de cada estudo de caso.

Todos os edifícios foram analisados de acordo com os seguintes indicadores de desempenho ambiental: Potencial de Acidificação (kg SO<sub>2</sub> eq); Dióxido de Carbono (kg CO<sub>2</sub> eq); Potencial de Eutrofização (kg PO<sub>4</sub> eq); Oxidação Fotoquímica (kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>); Depleção de Recursos abióticos e fósseis (kg Sb eq); e Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq).

#### 4.1 EDIFÍCIOS COM MENOR INTRUSIVIDADE NA ESTRUTURA

Foi realizada a comparação dos dados dos edifícios que tiveram menos intrusividade. Na Figura 4.1 estão apresentados gráficos que demonstram a proporção do cenário 3 em relação ao cenário 0.



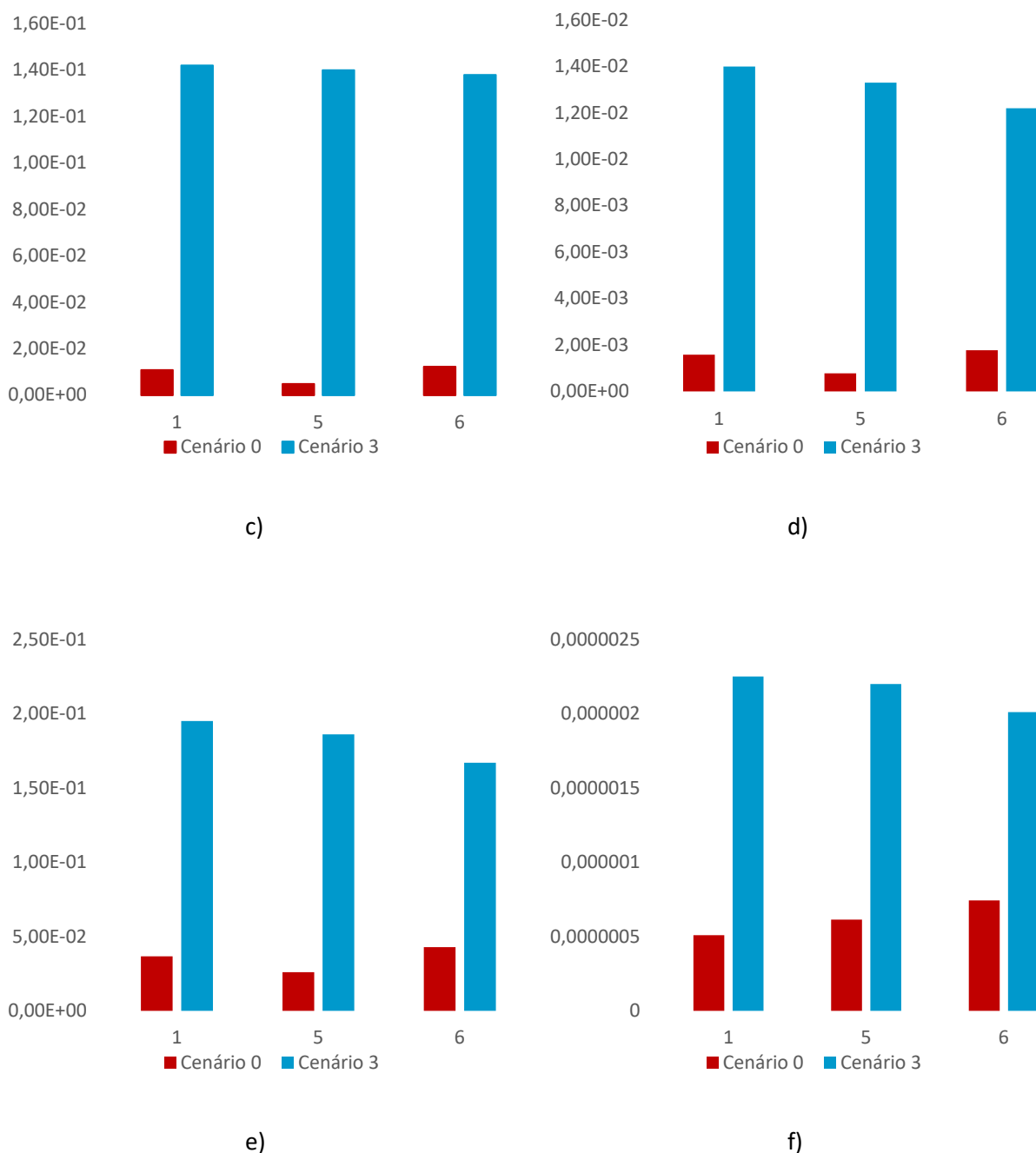


Figura 4.1 – Impactos dos edifícios com baixa intrusividade - a) Potencial de acidificação, b) Potencial de Dióxido de carbono, c) Potencial de Eutrofização, d) Potencial de Oxidação, e) Depleção de recursos abióticos, f) Depleção da camada de ozônio.

Na Tabela 4-1 estão listadas as porcentagens que geraram os gráficos com seus respectivos impactos, nos edifícios de BI é possível analisar que o cenário 3 resulta em uma proporção maior nos impactos gerados pelo fato dos edifícios não terem sofrido muitas alterações na sua condição inicial.

## Capítulo 4

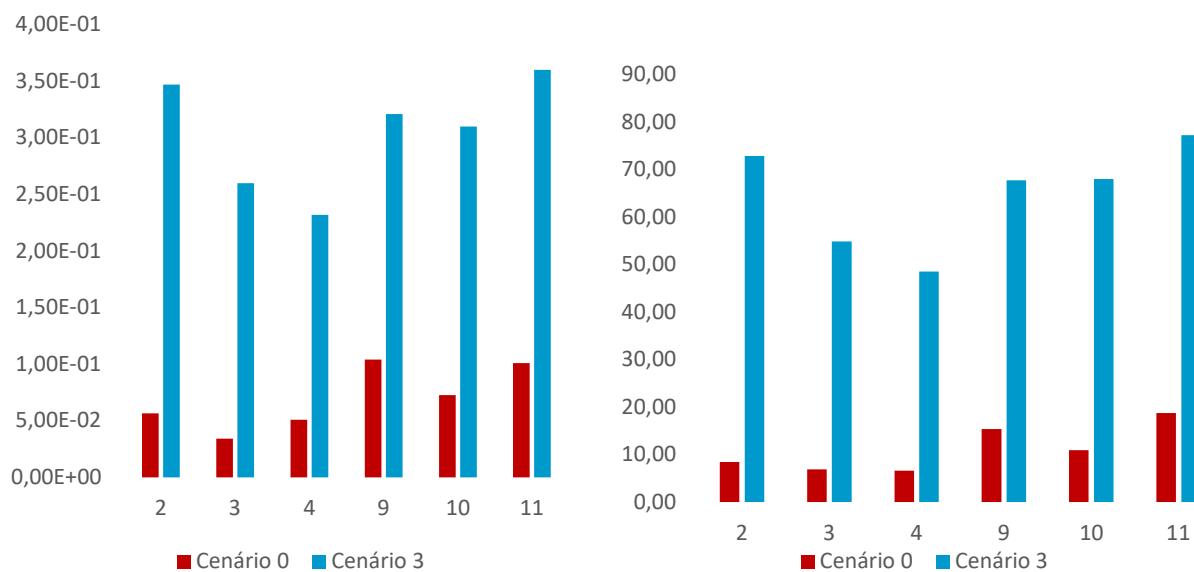
Esse diferencial está em destaque principalmente no impacto gerado pelo dióxido de carbono, onde o cenário 3 apresenta uma proporção de 1630% maior do que o cenário 0, esse fator está relacionado ao material principal do cenário 3, que está atrelado com a produção de cimento que é uma das composições mais importante para o concreto armado [5].

Tabela 4-1 – Impactos ambientais no grupo de menor intrusividade

Estudos de Caso	kg SO2 eq	kg CO2 eq	kg PO4 eq	kg C2H4 eq	kg Sb eq	kg CFC-11 eq
1	1109%	1476%	1303%	886%	531%	443%
5	2377%	2898%	2893%	1701%	715%	359%
6	866%	515%	1131%	689%	389%	271%
Média	1451%	1630%	1775%	1092%	545%	357%

### 4.2 EDIFÍCIOS COM INTRUSIVIDADE MÉDIA NA ESTRUTURA

Os edifícios de média intrusividade representam a maior parte dos estudos de caso, 6 dos 13 edifícios se enquadraram nesse nível de intervenção, na Figura 4.2 é possível observar em proporção os impactos gerados no cenário 3 em comparação ao cenário 0.



a)

b)

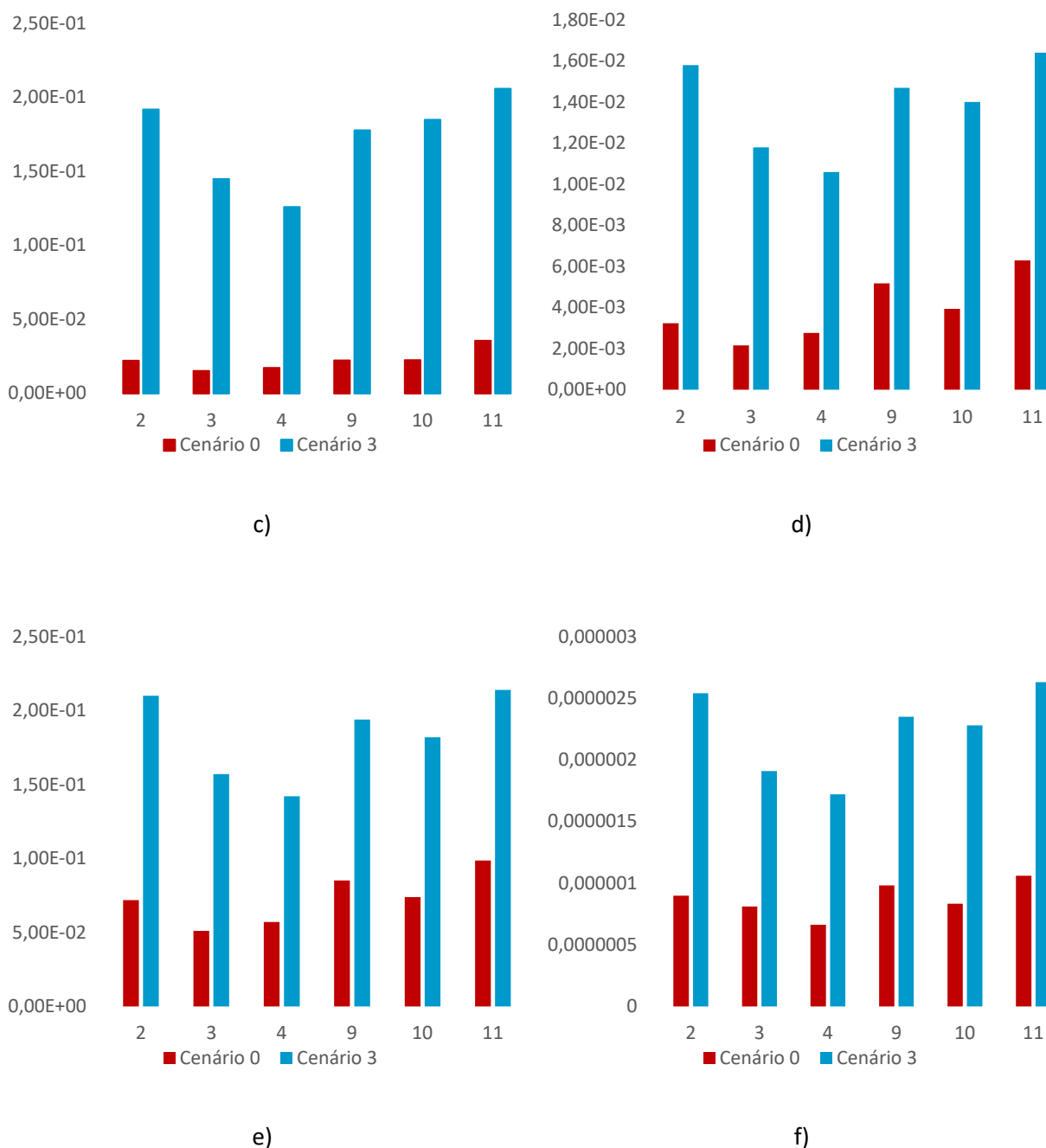


Figura 4.2 - Impactos dos edifícios com média intrusividade - a) Potencial de acidificação, b) Potencial de Dióxido de carbono, c) Potencial de Eutrofização, d) Potencial de Oxidação, e) Depleção de recursos abióticos, f) Depleção da camada de ozônio.

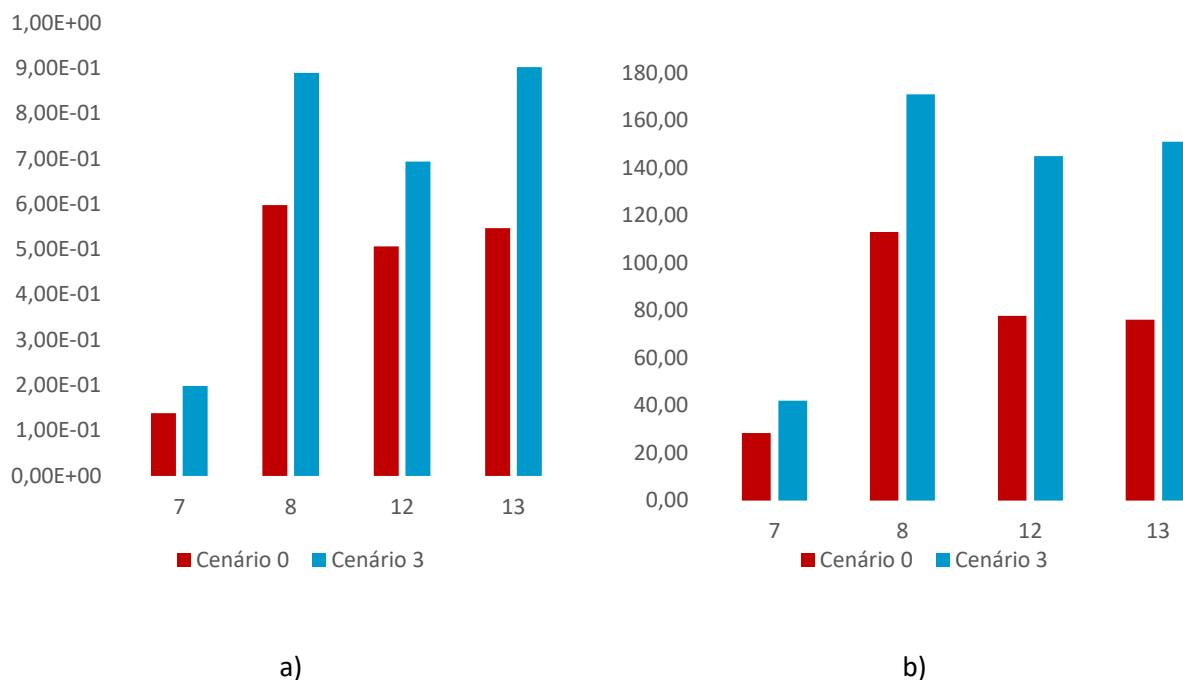
Na Tabela 4-2 é possível analisar percentualmente o quanto o cenário 3 gera mais impacto que o cenário 0, porém diferente dos edifícios de BI nenhum desses indicadores de desempenho ambiental ultrapassaram o valor de 1000% em relação ao cenário 0. Esses dados demonstraram que no nível de MI as edificações geraram mais impactos ambientais no cenário 0, porém ainda resultam em impactos bem inferiores comparados ao cenário 3.

Tabela 4-2 - Impactos ambientais no grupo de média intrusividade

Estudos de caso	kg SO2 eq	kg CO2 eq	kg PO4 eq	kg C2H4 eq	kg Sb eq	kg CFC-11 eq
2	613%	871%	869%	488%	292%	283%
3	762%	805%	948%	546%	307%	236%
4	458%	736%	733%	384%	249%	259%
9	309%	442%	798%	284%	228%	240%
10	428%	624%	819%	356%	247%	274%
11	356%	413%	579%	260%	217%	248%
Média	488%	648%	791%	386%	257%	257%

### 4.3 EDIFÍCIOS COM MAIOR INTRUSIVIDADE NA ESTRUTURA

Os edifícios com alta intrusividade representam aproximadamente 31% dos estudos de caso. Os dados apresentados na Figura 4.3 representam os impactos ambientais gerados em cada um dos cenários.



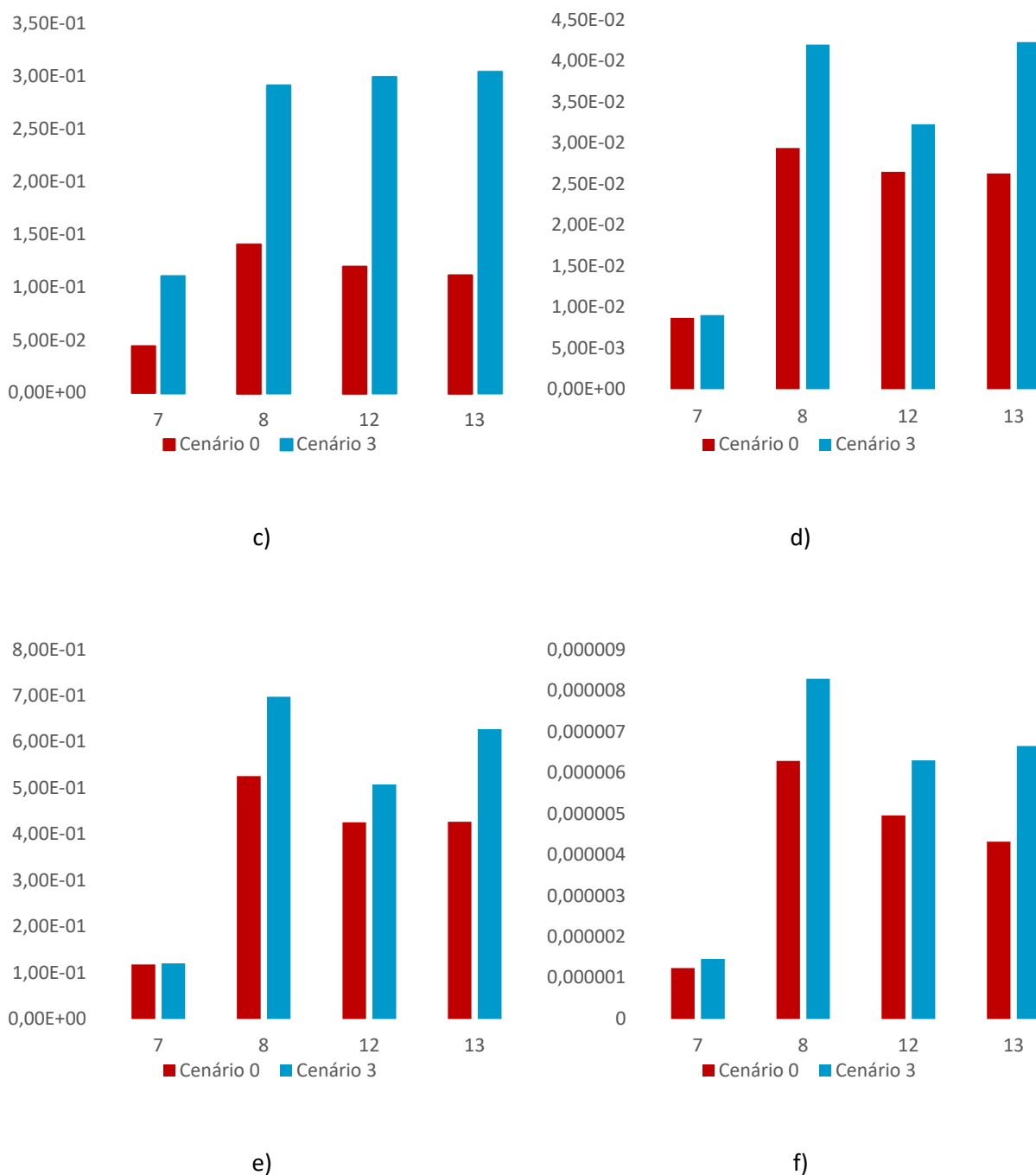


Figura 4.3 - Impactos dos edifícios com alta intrusividade - a) Potencial de acidificação, b) Potencial de Dióxido de carbono, c) Potencial de Eutrofização, d) Potencial de Oxidação, e) Depleção de recursos abióticos, f) Depleção da camada de ozônio.

Diferente do que foi apresentado nos níveis de baixa e média intrusividade, os edifícios com AI apresentaram porcentagens de impactos ambientais inferiores a 280%, quando comparado a proporção do cenário 3 em relação ao cenário 0, devido ao fato desses edifícios passarem por modificações maiores na sua estrutura, com as mudanças arquitetônicas em seus projetos. Porém os impactos do cenário 3 tem

uma proporção significativamente maior em relação ao cenário 0, apesar dos impactos no cenário referencial nos edifícios de AI chegarem mais próximos dos impactos gerados no cenário 3.

Tabela 4-3 - Impactos ambientais no grupo de maior intrusividade

Estudos de Caso	kg SO2 eq	kg CO2 eq	kg PO4 eq	kg C2H4 eq	kg Sb eq	kg CFC-11 eq
7	143%	148%	250%	104%	102%	118%
8	149%	151%	206%	143%	133%	132%
12	137%	187%	249%	122%	119%	127%
13	165%	198%	271%	161%	147%	154%
Média	149%	171%	244%	132%	125%	133%

#### 4.4 ANÁLISE GERAL

A partir das análises realizadas, o potencial de acidificação do cenário 3 em relação ao cenário 0 (referencial) em edifícios de BI representam 0,29 kg SO2 eq por metro quadrado, enquanto os edifícios de MI representam 0,31 kg SO2 eq aproximadamente 7% do BI, já nos impactos das edificações com AI o número representa um valor que extrapola os outros, com uma emissão de 0,67 kg SO2 eq por metro quadrado. De acordo com os dados obtidos por Renata Silva em 2021 a média era de 0,26 kg SO2 eq por metro quadrado, essa média está mais próxima dos valores de BI e MI [3]. A média de todos os edifícios sem discriminação de acordo com sua intrusividade, está em torno de 0,40 kg SO2 eq por metro quadrado o que representa um impacto 606% maior em relação ao cenário referencial. Na Figura 4.4 está o gráfico que representa todos os edifícios no potencial de acidificação.

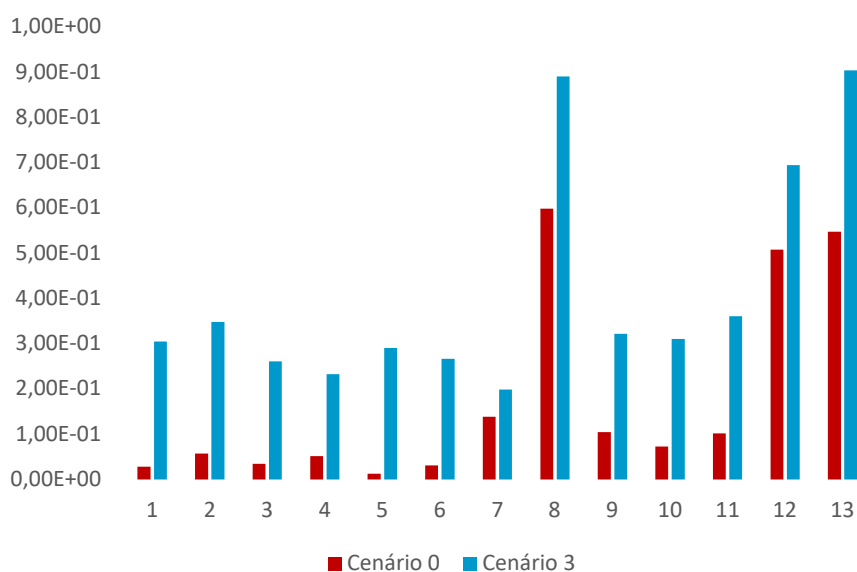


Figura 4.4 - Potencial de acidificação em todos os edifícios

Já para o potencial de emissão de dióxido de carbono, o cenário 3 representa nos edifícios de BI 56,60 kg CO2 eq por metro quadrado, para os que tem MI o valor é 14% maior representando 64,8 kg CO2 eq por metro quadrado, para os edifícios de AI esse valor chega em torno de 127,23 kg CO2 eq por metro quadrado. De acordo com os dados obtidos por Renata Silva em 2021, a média é de 55,9 kg CO2 eq por metro quadrado em relação ao cenário 3 [3], a média geral de todos os edifícios fica em torno de 82,1 kg CO2 eq por metro quadrado, sendo esse número aproximadamente 33% acima da média. Esse valor alcança essa marca devido aos edifícios de alta intrusividade. Na Figura 4.5 está o gráfico que representa a emissão de dióxido de carbono de todos os edifícios.

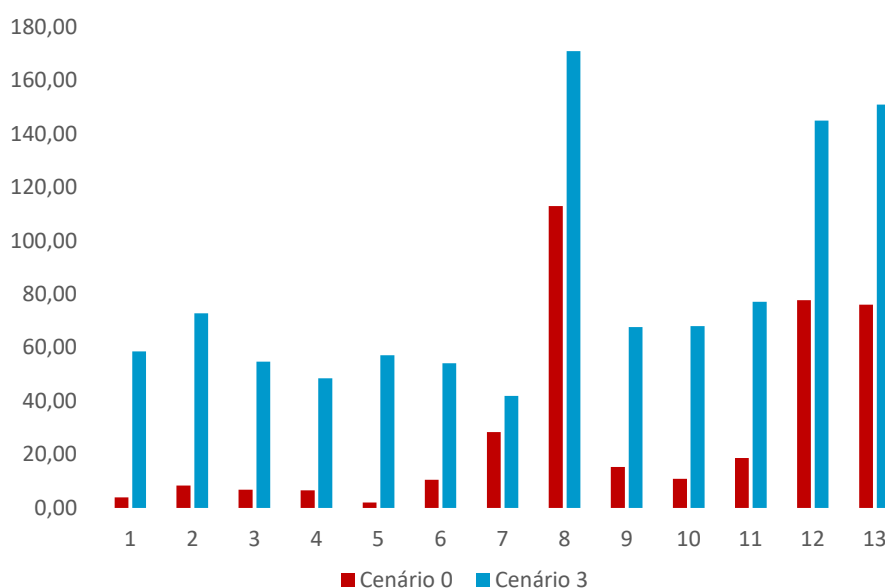


Figura 4.5 - Dióxido de carbono em todos os edifícios

Em meados dos anos 90 a emissão de dióxido de carbono em países como a China alcançou 326 kg CO2 eq por metro quadrado, a Nova Zelândia atingiu uma emissão de 350 kg CO2 eq por metro quadrado. A Dinamarca e o Brasil por sua vez ultrapassaram o valor de 400 kg CO2 eq por metro quadrado [5]. A média de emissão de dióxido de carbono desses países ficou aproximadamente 358,7 kg CO2 eq por metro quadrado, os dados de CO2 no cenário 3 representam 23% desse valor. Essa alta emissão de dióxido de carbono está atrelada a produção do cimento, que chegou a ser responsável por aproximadamente 30% das emissões nos processos industriais brasileiros em 2012 [6].

O potencial de Eutrofização apresentou um valor de 0,14 kg PO4 eq por metro quadrado em edifícios que tiveram BI, já nas edificações de MI atingiu uma emissão de 0,17 kg PO4 eq por metro quadrado e nos que tiveram AI alcançou um valor de 0,25 kg PO4 eq por metro quadrado. De acordo com os dados obtidos por Renata Silva em 2021 a média é de 0,13 kg PO4 eq por metro quadrado, portanto os valores dos edifícios de BI e AI estão próximos a média apresentada [3]. A média geral de todos os edifícios é de 0,19

## Capítulo 4

kg PO<sub>4</sub> eq por metro quadrado, o que representa um valor 32% maior que a média, comparando referencial em relação ao cenário 3. Assim como o dióxido de carbono o potencial de eutrofização também se dá pelo alto potencial de eco toxicidade dos materiais de construção, em especial o cimento Portland [7]. Na Figura 4.6 está o gráfico que representa o potencial de eutrofização de todos os edifícios.

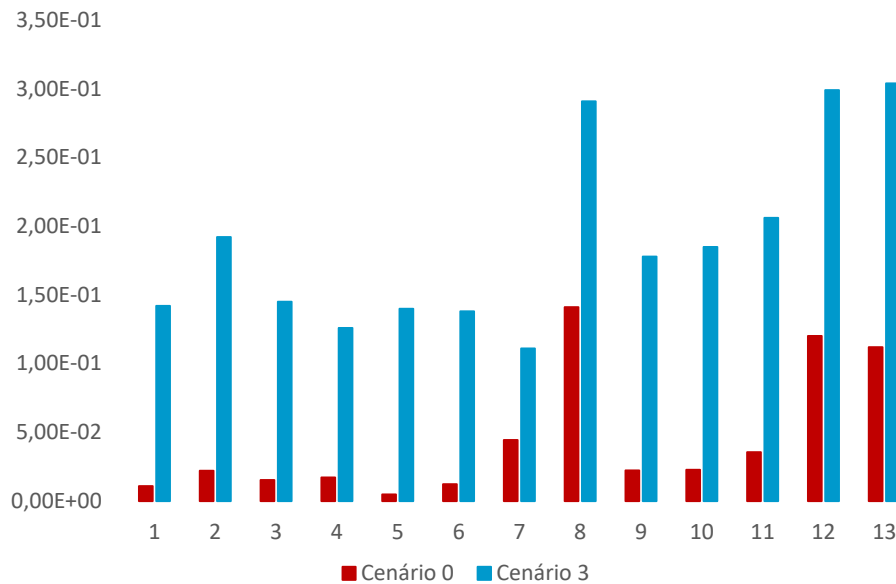


Figura 4.6 - Potencial de eutrofização em todos os edifícios

O potencial de oxidação corresponde ao valor de 0,013 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq por metro quadrado em edifícios com BI, já nas edificações com MI o número se aproxima de BI com 0,014 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq por metro quadrado, o cenário3 em relação ao referencial atinge o valor de 0,030 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq por metro quadrado mais que o dobro em relação aos valores. A média geral de todos os edifícios é de 0,02 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq por metro quadrado, maior que a média da cidade do Porto que equivale a 0,012 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq por metro quadrado [3]. A oxidação fotoquímica, que é o principal indicador que gera uma faixa escura de poluente na atmosfera conhecida como névoa fotoquímica, diminui a visibilidade das pessoas no dia a dia [8]. Na Figura 4.7 está o gráfico que representa o potencial de oxidação de todos os edifícios.

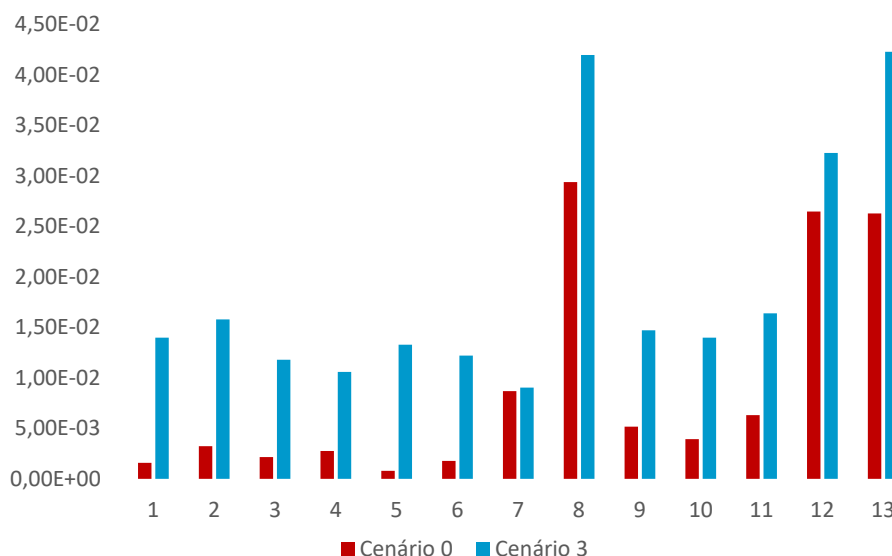


Figura 4.7 - Potencial de oxidação em todos os edifícios

Para a depleção dos recursos abióticos o valor médio em edifícios de BI e MI é de 0,18 kg Sb eq por metro quadrado, já para os edifícios de AI o valor médio corresponde a 0,49 kg Sb eq por metro quadrado. A média geral para todos os edifícios é de 0,28 kg Sb eq por metro quadrado, a média se iguala ao valor médio apresentados por Renata Silva em 2021 correspondendo a 0,28 kg Sb eq por metro quadrado [3]. No que diz respeito a essa categoria, é a depreciação ou dissipação de recursos para gerações futuras, pois está relacionada a recursos não biológicos como: água, fósseis, minerais e metais [8]. Na Figura 4.8 está o gráfico que representa a depleção dos recursos abióticos de todos os edifícios.

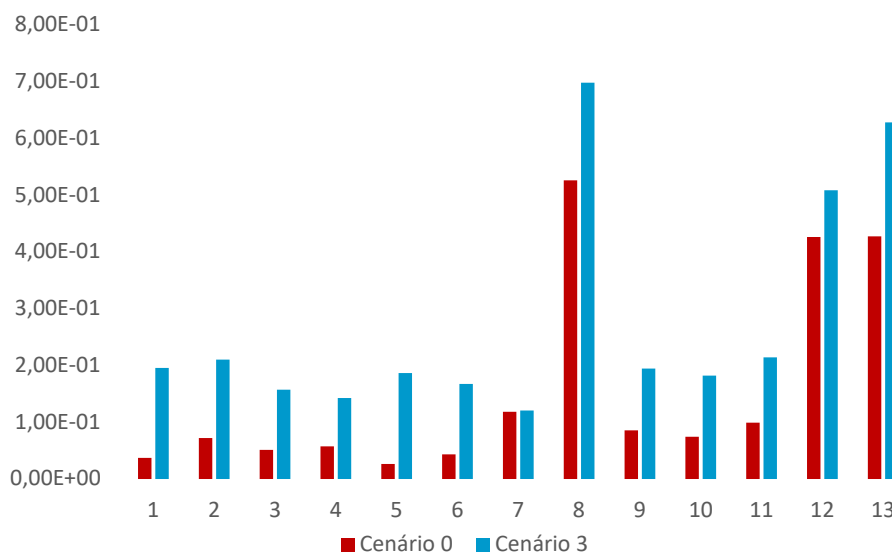


Figura 4.8 - Depleção dos recursos abióticos em todos os edifícios

#### Capítulo 4

Para a depleção da camada de ozônio o valor médio em edifícios de BI é de  $2,15 \text{ E-}06$  kg CFC-11 eq por metro quadrado, para edificações com MI esse valor aumenta para  $2,24 \text{ E-}06$  kg CFC-11 eq por metro quadrado, já para AI esse número aumenta significativamente para  $5,68 \text{ E-}06$ . A média geral que abrange todos os edifícios é de  $3,28 \text{ E-}06$ , maior que a média apresentada por Renata Silva em 2021 que era de  $2,43 \text{ E-}06$  kg CFC-11 eq por metro quadrado [3], esse valor se aproxima dos edifícios com BI e MI. A destruição da camada de ozônio é prejudicial a vida humana, o ozônio troposférico também tem impactos negativos no meio ambiente. Ele afeta negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, reduzindo a produtividade agrícola e florestal [7]. Na Figura 4.9 está o gráfico que representa a depleção da camada de ozônio de todos os edifícios.

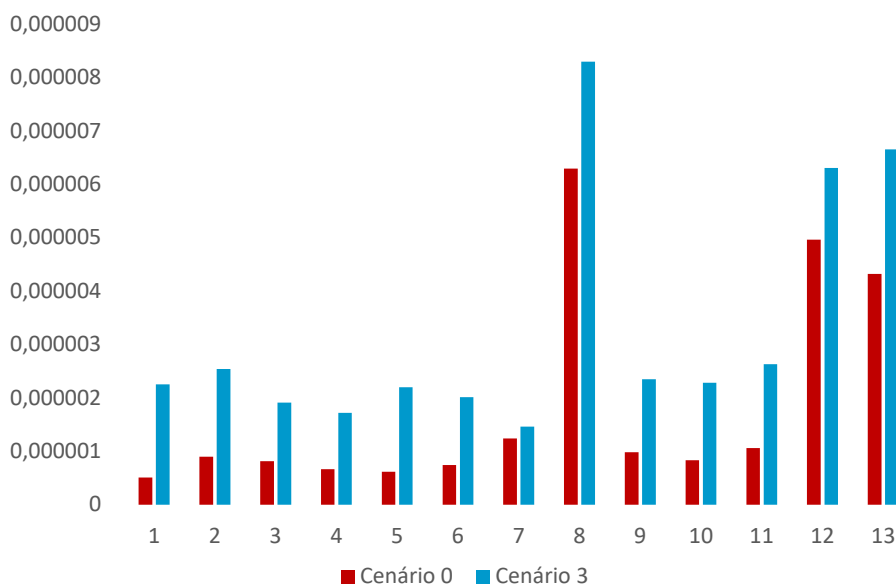


Figura 4.9 - Depleção da camada de ozônio em todos os edifícios



## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa demonstrou a importância da análise do ciclo de vida, pois evidencia que esse tipo de estudo padronizado por meio de normas possibilita uma avaliação abrangente e sistemática de todos os estágios de vida de um produto ou processo. Através da análise do ciclo de vida, é possível identificar impactos ambientais, otimizar recursos e tomar decisões mais informadas, contribuindo assim para a sustentabilidade e eficiência no desenvolvimento de produtos e serviços.

Neste estudo, foi evidenciado por meio da Avaliação do Ciclo de Vida os benefícios ambientais significativos resultantes da utilização da metodologia RID na renovação estrutural de edifícios históricos na cidade do Porto, Portugal, em comparação com a abordagem convencional de demolição e reconstrução completa. O uso de lajes de concreto armado demonstra a pior eficiência ambiental em comparação com a metodologia RID, esse impacto é resultado pelo uso de concreto, cujo processo de produção é uma fonte de emissões de CO<sub>2</sub>.

Dentre os impactos ambientais analisados, é possível observar o alto potencial de emissão de Dióxido de Carbono, devido a produção de cimento. A produção de cimento é reconhecida como uma das principais fontes de emissão de CO<sub>2</sub>, devido às reações químicas envolvidas no processo de fabricação. Esse dado reforça a importância de adotar medidas mais sustentáveis e eficientes na indústria cimenteira, a fim de mitigar os impactos negativos causados pelas emissões de CO<sub>2</sub>.

Esses resultados enfatizam a importância de se adotar práticas e tecnologias mais sustentáveis, visando reduzir as emissões e minimizar o impacto ambiental associado a diferentes processos, como o uso consciente de materiais de construção. A conscientização e a adoção de medidas mais sustentáveis são essenciais para mitigar os efeitos negativos para o meio ambiente.

#### 5.1 CONCLUSÕES

De acordo com as informações apresentadas, é possível observar que o método desenvolvido pela *NCREP* que realiza estudos em edificações existentes para executar somente a intervenção necessária,

demonstra ser o menos impactante para o meio ambiente. Pode-se observar também, que mesmo no cenário 0 mais intrusivo, é mais benéfico para o meio ambiente em relação a estrutura de concreto armado, que se revela muito danosa.

## **5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Para o desenvolvimento de estudos futuros existem outros itens que podem ser avaliados, sendo eles:

**Análise de custo-benefício:** Realizar uma análise aprofundada de custo-benefício para cada cenário de intervenção em edificações, levando em consideração não apenas os custos diretos, mas também os custos indiretos e os benefícios a longo prazo. Isso permitirá uma compreensão completa dos impactos econômicos associados a cada tipo de intervenção.

**Comparação com estudos anteriores:** Comparar os resultados desses novos estudos com os dados obtidos anteriormente, se aplicável, para entender melhor as variações associadas a cada tipo de intervenção, sendo as edificações localizadas na cidade do Porto ou em outras regiões.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, Comitê brasileiro de Gestão ambiental: apresentação. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT VERSÃO CORRIGIDA, jul. 2014.
- [2] BASSO, Thalyta Mayara; NOGUEIRA, Carlos Eduardo Camargo; SILVA, Danieli Sanderson. Eficiência energética na construção civil no Brasil. – Programa de Pós-graduação em Energia na Agricultura na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.
- [3] SILVA, Renata Dias da. Inspeção, diagnóstico e reabilitação estrutural. Mestrado em Engenharia Civil no Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2021.
- [4] CAMPELO, Tiago Gabriel Costa. Inspeção, diagnóstico e reabilitação estrutural. Mestrado em Engenharia Civil no Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017.
- [5] BELINI, Leandro. Brasil e Alemanha: modelos comparativos para as energias renováveis. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2010.
- [6] BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil. 2. ed. Brasília, 2014.
- [7] CUNHA, Iasminy Borba da. Análise Dos Impactos Ambientais De Concretos Com Agregado Reciclado De Resíduos De Construção Civil. Tese realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.
- [8] SILVA, Juliano Libraga da. Método para avaliação de impactos ambientais no processo de projeto de edifícios públicos. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.
- [9] ASSIS, Bruno Bastos de. Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [11] MARCAL, Luciana Maichaki; FRANCISCO, Antônio Carlos; LUZ, Leila Mendes; PIEKARSKI, Cassiano Moro - Fundamentos da análise do ciclo de vida: actas. A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos, 2013.
- [12] LUZ, Leila Mendes da - Integração da avaliação do ciclo de vida ao processo de desenvolvimento de produto: uma proposta metodológica. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017. Tese de mestrado em engenharia de produção.
- [13] REICHEL, Leandro de Souza - Inventário do ciclo de vida (ICV) da produção de soja no Paraná. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2012. Tese de mestrado.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14041: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Definição de objetivo e escopo e análise de inventário apresentação.: ABNT versão cancelada, mai. 2009.
- [15] Petroni, Aline; Campos, Mariana Croce; Azevedo, Fernanda de Souza. Análise de ciclo de vida (ACV). Lisboa, 2015. Universidade Estadual Paulista “Júlio DE Mesquita Filho”.
- [16] VIEIRA, Lucas Leonardo dos Santos Andreoli. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2017.
- [17] BORTOLIN, Anderson Ricardo. Avaliação do ciclo de vida: principais métodos e estudo comparativo entre o cesto de plástico e de inox de uma lavadora de roupa. São Paulo, 2009. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, mestrado em Engenharia de Produção.
- [18] HERDANI, Henrique Roberto de; FRANCISCO, Antônio Carlos de; PIERKARSKI, Cassiano Moro; LUZ, Leila Mendes da. Análise do Ciclo de Vida. I Congresso brasileiro de engenharia de produção. Ponta Grossa, 2011.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14043: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Avaliação do ciclo de vida - Interpretação do ciclo de vida.: ABNT versão cancelada, mai. 2005.
- [20] BRAGANÇA, Luís e MATEUS, Ricardo. Life-cycle analyses of buildings. Editora iiSBE Portugal 1. Ed. Portugal, 2012.
- [21] SODRÉ, Camilla Fernanda Lima; SILVA, Yuri Jorge Almeida da Silva; MONTEIRO, Isabella Pearce. Acidificação dos Oceanos: fenômeno, consequências e necessidade de uma Governança Ambiental Global. Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB. Número 4 – Volume 1 – jan/julho 2016.

- [22] TRUTA, Juliana Souza. Juliana Souza truta Gas cabonico: abordagem ambiental e conceitual no ensino médio, 2014. Universidade do Departamento Estadual da Paraíba, graduação em licenciatura plena em química.
- [23] CASSINI, Sérvio Tulio. Programa De Pos Graduação Em Engenharia Ambiental – PPGA UFES. Ecologia: Conceitos Fundamentais. Vitória, 2005.
- [24] MENDESA, Natalia Creso; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo Roberto. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos, 2016. Universidade de São Paulo.
- [25] NEVES, Neuza Maria Santos. Formação e dispersão de ozônio na região do recôncavo baiano. Pós-Graduação em química – Universidade Federal da Bahia, 2009.
- [26] LOURENÇO, Paulo B.; OLIVEIRA, Daniel V. Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico. Guimarães: Universidade do Minho, 2004.
- [27] NCREP - NCREP: Relatório de Inspeção e diagnóstico Edifício Rua Entreparedes, 2019.
- [28] ARÊDE, Antônio; COSTA, Aníbal. Inspeção e diagnóstico estrutural de construções Históricas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.
- [29] COELHO, Felipe Zanellato. Avaliação do ciclo de vida cradle-to-gate de traços de concretos autoadensáveis com incorporação de resíduos e subprodutos industriais. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria, 2016.
- [30] CARVALHO, Pedro Sergio Landim de; MESQUITA, Pedro Paulo Dias; MELO, Luciane. Cimento Panoramas Setoriais Mudanças climáticas, 2016.
- [31] NCREP - NCREP: Relatório de Inspeção e diagnóstico Edifício Rua Álvares Cabral, 2017.

