

ANÁLISE E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA PARA APOIO À IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NA EFACEC

BEATRIZ LOPO TEIXEIRA

outubro de 2022

ANÁLISE E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA PARA APOIO À IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NA EFACEC

Beatriz Lopo Teixeira

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

ANÁLISE E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA PARA APOIO À IMPLEMENTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NA EFACEC

Beatriz Lopo Teixeira

Estudante n.º 1170600

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Doutor Luís Miguel Ciravegna Fonseca

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

AGRADECIMENTOS

Inicialmente quero agradecer ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e ao Diretor do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Engenheiro Manuel Pereira Lopes, pela possibilidade em desenvolver a Dissertação a partir de um Projeto numa empresa, conciliando o término desta fase académica com uma experiência profissional vantajosa e enriquecedora.

Em segundo lugar, agradeço à Efacec pela oportunidade de estágio e pela amabilidade com que fui recebida nas suas instalações.

Ao meu orientador, Engenheiro Luis Miguel Fonseca, por toda a disponibilidade ao longo do ano, pelas sugestões e esclarecimentos, que foram imprescindíveis para manter uma visão clara e objetiva.

Agradeço também ao meu supervisor, Engenheiro Luis Almeno, pela orientação e pelos ensinamentos transmitidos que foram essenciais para ter sempre em mente o objetivo final do projeto.

Ao co-supervisor, Engenheiro Ricardo Ribeiro, por todo o apoio e pelos conselhos que me foram ajudando a melhorar a minha dissertação.

Quero agradecer à Viviana Pinto e à Ana Ramos, do Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, pelo excelente acompanhamento e pelas novas ideias que em tudo contribuíram para desenvolver um projeto coeso e completo.

Aos meus colegas de equipa, Hélder, João e Válter, pela boa disposição, entajuda e pelo companheirismo proporcionados que foram fulcrais para existir um bom ambiente de trabalho.

Aos colegas da empresa de outros departamentos, nomeadamente, Sustentabilidade, Qualidade, Ambiente e Segurança, Engenharia Industrial e Manutenção Industrial pela partilha de informação e conhecimento.

Agradecer também aos meus pais por toda a paciência e motivação ao longo deste último ano do meu percurso académico, que me deram ânimo e vontade para desenvolver um projeto com afinco e dedicação.

Por fim, agradeço aos meus restantes familiares e amigos pelo carinho, pelas opiniões e por toda a força que se revelaram um importante pilar.

página propositadamente em branco

RESUMO

Nos dias de hoje estamos perante uma emergência climática relacionada com o aumento da temperatura devido às emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Desta forma, é necessário limitar este aquecimento médio global e atingir a neutralidade carbónica. Para isto acontecer tem de existir uma mobilização das empresas para a transformação e adaptação necessárias. O projeto candidato através da “Aliança para a Transição Energética” ao Plano de Recuperação e Resiliência mostra vontade em mudar e adotar novas e melhores práticas. Este plano funcionará como um motor de crescimento económico e pretende dar resposta a problemas relativos à transição climática.

O presente trabalho teve como objetivo a estruturação de práticas de Economia Circular – modelo económico regenerativo e restaurador, em que os recursos são geridos de modo a preservar o seu valor e utilidade pelo maior período de tempo possível – a implementar nas etapas críticas do ciclo de vida do Transformador de Potência de 60/30 Kv e 20 MVA. Estas etapas críticas foram identificadas através de uma análise dos consumos nas fases de produção e de uma avaliação de ciclo de vida do transformador, com recurso a um *software* e base de dados especializados para o efeito, selecionados a partir de um método adequado. A sugestão de novas práticas foi realizada no capítulo dedicado à investigação futura.

Deu-se início à metodologia através de uma análise dos consumos energéticos em cada uma das etapas de produção, analisando a duração e potência utilizada nas respetivas máquinas. Posteriormente, fez-se o cálculo dos resíduos produzidos pela fabricação de cada transformador e do consumo e do custo de utilização do mesmo, sendo esta a fase de vida mais dispendiosa. Mais tarde realizou-se uma Avaliação de Ciclo de Vida do Transformador de Potência através de um *software* e base de dados previamente selecionados, com recurso ao método de comparação de opções que tem por base critérios, Analytical Hierarchical Procedure, como sendo as opções mais adequadas. A avaliação foi do tipo “Gate-to-gate”, isto é, entre dois pontos na linha temporal de um produto. Por fim, fez-se um estudo semelhante para obter a melhor ferramenta para calcular a circularidade do transformador.

Relativamente aos resultados obtidos, tem-se que as etapas mais críticas a nível energético são a Secagem, o Ensaio de Aquecimento no Laboratório e o Vácuo + Enchimento. Já a etapa menos crítica neste sentido é o Ensaio Induzida no Laboratório. Por cada Transformador de Potência são produzidos 2.772,294 Kg de resíduos. Na fase de utilização do transformador o valor total da energia consumida é de 20.271.677 kWh e o seu custo é de, aproximadamente, preço de venda+578.260 euros. A partir da aplicação do método Analytical Hierarchical Procedure conclui-se que o melhor *software* para realizar uma Avaliação de Ciclo de Vida é o openLCA e a melhor base de dados tanto pode ser a Eco-Invent como a Environmental footprint. Adicionalmente, a ferramenta mais indicada para calcular a circularidade é a Circulytics. Com a Avaliação de Ciclo de Vida constata-se que, com a produção do transformador, as categorias de impacte mais afetadas são a *Terrestrial ecotoxicity* e a *Human non-carcinogenic toxicity* e as áreas de proteção que estão mais em perigo são os ecossistemas e a saúde humana. Para além disso, o gás emitido em maiores quantidades é o dióxido de carbono.

A aplicação do método Analytical Hierarchical Procedure revelou-se um fator preponderante para a utilização do *software* e base de dados mais apropriados. Perante a criticidade das categorias de

impacto obtidas é fulcral a necessidade de existir uma preocupação acrescida com a emergência climática. Por fim, o cálculo da circularidade através da Circulytics e um plano de ações de Economia Circular que deverá envolver os tipos de intervenções necessárias para adaptar os processos, de modo a garantir certificações e declarações ambientais de referência, serão uma mais-valia para a futura transformação da empresa.

PALAVRAS-CHAVE

Analytical Hierarchical Procedure, Avaliação de Ciclo de Vida, Circularidade, Economia Circular, *Software* openLCA, Transformador de Potência

página propositadamente em branco

ABSTRACT

In today's world we are faced with a climate crisis reflected in an unsustainable increase of the world's average temperature due to carbon dioxide emissions. To mitigate its damage, it has become a necessity to find ways to control the current value for average global warming and achieve carbon neutrality. For this to happen it is vital for industries to mobilize and work together for the transformation and adaptation needed. Efacec's project "Energy Transition Alliance", candidate to the Resilience and Recovery Plan, shows the will to change and adopt new and better practices. This plan will be an engine for economic growth while aiming to respond to climate change's problems.

The goal of this project was to structure Circular Economy – regenerative and restorative economic model, in which resources are managed to preserve their value and utility for as long as possible – practices to be implement in the critical steps of the 60/30 Kv and 20 MVA Power Transformer life cycle. These critical steps were identified through an analysis of consumptions in the production phases and an assessment of the transformer's life cycle. A suggestion of new practices was made in the future research chapter.

The methodology began with an analysis of energy consumption in each production stages, by taking into consideration the duration and the amount of power used in each of the respective machines. Afterwards, the waste produced by each transformer was calculated, as well as its consumptions and using cost, the most expensive stage of its life. A Power Transformer Life Cycle Assessment was performed using a previously selected software and database, using the Analytical Hierarchical Procedure method, as the most appropriate options. The evaluation type was the "Gate-to-gate" one, that is, between two points on a product's timeline. Finally, a similar study was completed to get the best tool to calculate the circularity of the transformer.

From the results collected, the most critical steps in terms of energy spent are Drying, Laboratory Heating Test and Vacuum + Filling. The least critical step is the Induced Test in the Laboratory. For each Power Transformer, 2,772.294 Kg of waste are produced. In its use phase the total value of the energy consumed is 12.228.960 kWh and the total cost is approximately price+€578.260. With the Analytical Hierarchical Procedure method application it is concluded that the best software to perform a Life Cycle Assessment is openLCA and the best database can be either Eco-Invent or Environmental footprint. Furthermore, the best tool to calculate the circularity is Circulytics. With the Life Cycle Assessment, it is found that with the production of the transformer, the most affected impact categories are Terrestrial ecotoxicity and Human non-carcinogenic toxicity and the areas of protection that are most at risk are ecosystems and human health. In addition, the gas emitted in biggest quantities is carbon dioxide.

The application of the Analytical Hierarchical Procedure method proved to be a major factor in using the most appropriate software and database. Given the critical nature of the impact categories found, it is imperative the need for an increased concern about the current climate emergency. Finally, the calculation of circularity through Circulytics and a Circular Economy action plan including the types of interventions needed to adapt processes to ensure certifications and environmental declarations of reference, will be an asset for the company's future transformation.

KEYWORDS

Analytical Hierarchical Procedure, Circular Economy, Circularity, Life Cycle Assessment, openLCA Software, Power Transformer

página propositadamente em branco

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO	VII
ABSTRACT.....	XI
ÍNDICE.....	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABELAS	XXIII
LISTAS DE SIGLAS.....	XXV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e pertinência	1
1.2. Questão e objetivos de investigação.....	2
1.3. Opções metodológicas	2
1.4. Calendarização	3
1.5. Apresentação da empresa.....	3
1.5.1. História.....	3
1.5.2. Políticas da empresa	5
1.5.3. Áreas de atividade e Produtos	5
1.5.4. Sustentabilidade.....	6
1.6. Estrutura do trabalho	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. A Economia Circular	16
2.1.1. Definição	16
2.1.2. Origem.....	17
2.1.3. Vantagens e Barreiras	19
2.1.4. Casos de Estudo	19
2.1.5. Conceitos.....	23
2.2. Avaliação de Ciclo de Vida.....	25
2.2.1. Definição	26
2.2.2. Origem.....	26
2.2.3. Vantagens e Limitações	27
2.2.4. Casos de Estudo	27
2.2.5. Metodologia.....	28
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO	33
3.1. Ciclo de Vida do Transformador de Potência	33
3.1.1. Matérias-primas.....	34
3.1.2. Processo Produtivo	35
3.1.3. Utilização.....	39

3.1.4. Pós primeira vida.....	39
3.1.5. Análise global	40
3.2. Avaliação de Ciclo de Vida do Transformador de Potência	49
3.2.1. Metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida.....	49
3.2.2. <i>Softwares</i>	51
3.2.3. Estudo e Avaliação de <i>softwares</i>	53
3.2.4. Bases de Dados	65
3.2.5. Estudo e Avaliação de bases de dados.....	66
3.2.6. Procedimento no <i>software</i> openLCA	70
3.2.7. Revisão Crítica	101
3.3. Nível de Circularidade do Transformador de Potência	101
3.3.1. Ferramentas	101
3.3.2. Estudo e Avaliação de ferramentas	102
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
4.1. Apresentação de resultados.....	105
4.2. Discussão de resultados	111
5. CONCLUSÃO	113
5.1. Conclusões finais	113
5.2. Limitações e investigação futura.....	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
APÊNDICE 1. Matrizes de comparação de critérios para <i>softwares</i> de ACV da fase 1	i
APÊNDICE 2. Resultados dos critérios de <i>softwares</i> , pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho, resultados obtidos para as 4 medidas e pesos finais utilizados na fase 2.....	vi
APÊNDICE 3. Matrizes de comparação de critérios para <i>softwares</i> de ACV da fase 2	vii
APÊNDICE 4. <i>Pairwise comparison Matrix</i> e Matriz normalizada para critérios de <i>softwares</i> da fase 2	viii
APÊNDICE 5. Resultados dos critérios de bases de dados, pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho, resultados obtidos para as 4 medidas e pesos finais utilizados na fase 1.....	ix
APÊNDICE 6. Matrizes de comparação de critérios para bases de dados de ACV da fase 1.....	x
APÊNDICE 7. <i>Pairwise comparison Matrix</i> e Matriz normalizada para critérios de bases de dados da fase 1	xii
APÊNDICE 8. Resultados dos critérios de bases de dados, pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho, resultados obtidos para as 4 medidas e pesos finais utilizados na fase 2.....	xiii
APÊNDICE 9. Matrizes de comparação de critérios para bases de dados de ACV da fase 2.....	xiii
APÊNDICE 10. <i>Pairwise comparison Matrix</i> e Matriz normalizada para critérios de bases de dados da fase 2	xiv

APÊNDICE 11. Inputs nos PT Core em estudo na fase de reparação	xv
APÊNDICE 12. Base de dados final com <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	xvi
APÊNDICE 13. Resultados dos critérios de ferramentas de Circularidade, pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho, resultados obtidos para as 4 medidas e pesos finais utilizados ..	xx
APÊNDICE 14. Matrizes de comparação de critérios para ferramentas de Circularidade	xxi
APÊNDICE 15. <i>Pairwise comparison Matrix</i> e Matriz normalizada para critérios de ferramentas de Circularidade	xxiv
ANEXO 1. Contributos em 2020 para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	xxv
ANEXO 2. EN 50708-1-1:2020	xxvi
ANEXO 3. Relatório de ensaios CE: 14.3141 – Transformador Trifásico tipo Concêntrico – 14/20 MVA 60.0/30.0 kV	xxviii
ANEXO 4. Chemical Composition of grain oriented electrical steel from thyssenkrupp	xxix
ANEXO 5. EN 10025:1990 Hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels	xxx
ANEXO 6. Norma ENM-2004 Aço laminado, qualidade Fe 310-0, perfil U com h=100mm	xxxii
ANEXO 7. Regulamento Laminated Pressboard and Laminated Wood Products in Power Transformers de 2007	xxxiii
ANEXO 8. Norma ISO 65:1981 Carbon steel tubes suitable for screwing in accordance with ISO 7/1	xxxiii

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Calendarização do projeto	3
Figura 2. A Moderna (Efacec Power Solutions, 2022a).....	4
Figura 3. Logótipo da Efacec (Efacec Power Solutions, 2022a)	4
Figura 4. Áreas de atividade e soluções (Efacec Power Solutions, 2022a)	5
Figura 5. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (BCSD PORTUGAL, 2021b).....	6
Figura 6. Cadeia de Valor da Economia Circular (Kalmykova et al., 2018)	24
Figura 7. Processo de Avaliação de Ciclo de Vida (International council of chemical associations, 2018)	26
Figura 8. Fases do processo de uma ACV (ISO, 2006).....	29
Figura 9. Transformador de Potência Shell.....	33
Figura 10. Transformador de Potência Core.....	34
Figura 11. Modelo de Transformador de Potência (CIGRE, 2020, p. 39)	34
Figura 12. Processo Produtivo do TRF de Potência Core	36
Figura 13. Processo Produtivo do TRF de Potência Shell.....	38
Figura 14. Gráfico dos resíduos por UN	47
Figura 15. Fronteira do sistema	50
Figura 16. Resultados dos critérios de softwares para a fase 1.....	55
Figura 17. Pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho para a fase 1.....	56
Figura 18. Gráfico das distribuições dos pesos da fase 1 do estudo dos softwares	56
Figura 19. Resultados obtidos para as 4 medidas utilizadas	57
Figura 20. Pesos finais para cada critério de softwares da fase 1	58
Figura 21. Pesos finais a usar no método AHP para comparação de opções	59
Figura 22. Matriz de comparação para o critério “free of charge” para softwares de ACV.....	59
Figura 23. Pairwise comparison Matrix para critérios de softwares da fase 1	62
Figura 24. Matriz normalizada para critérios de softwares da fase 1.....	62
Figura 25. Matriz final de resultados da fase 1 do estudo de softwares	63
Figura 26. Matriz final de resultados da fase 2 do estudo de softwares	64
Figura 27. Matriz final de resultados da fase 1 do estudo de bases de dados	67
Figura 28. Matriz final de resultados da fase 2 do estudo de bases de dados	67
Figura 29. Estrutura do método de cálculo ReCiPe (Huijbregts et al., 2017)	68
Figura 30. Fatores de conversão dos midpoint indicators em endpoint indicators	69
Figura 31. Pesquisa por projeto no WinTree	74
Figura 32. Seleção da etapa no WinTree	74
Figura 33. Origem da energia trimestral para empresas (EDP, 2022)	89
Figura 34. Menu do software openLCA	90
Figura 35. Exemplo de modelação no openLCA (Greendelta, 2020, p. 8)	91
Figura 36. Adicionar novo processo na base de dados.....	95
Figura 37. Preencher campos do processo na base de dados	96
Figura 38. Adicionar novo flow no processo na base de dados.....	96
Figura 39. Exemplo do processo Montagem CM com os seus inputs e outputs	97
Figura 40. Adicionar novo sistema de produto na base de dados.....	97
Figura 41. Preencher campos do sistema de produto na base de dados	98

Figura 42. Expandir o modelo gráfico do sistema de produto.....	98
Figura 43. Calcular a ACV do sistema de produto.....	99
Figura 44. ACV com o método “ReCiPe 2016 Midpoint” para a perspetiva Individualista (horizonte temporal de 20 anos).....	100
Figura 45. ACV com o método “ReCiPe 2016 Midpoint” para a perspetiva Hierarquista (horizonte temporal de 100 anos).....	100
Figura 46. ACV com o método “ReCiPe 2016 Midpoint” para a perspetiva Igualitária (horizonte temporal de 500 anos).....	101
Figura 47. Fluxos de materiais (World Business Council for Sustainable Development, 2021, p. 16).....	102
Figura 48. Matriz final de resultados de ferramentas de circularidade.....	103
Figura 49. Normalização das categorias de impacto (I).....	105
Figura 50. Terrestrial ecotoxicity (I).....	106
Figura 51. Normalização das categorias de impacto (H).....	107
Figura 52. Human non-carcinogenic toxicity (H).....	107
Figura 53. Normalização das categorias de impacto (E).....	108
Figura 54. Terrestrial ecotoxicity (E).....	108
Figura 55. Emissões de Dióxido de Carbono para o ar (I).....	109
Figura 56. Emissões de Metano para o ar (I).....	109
Figura 57. Emissões de Hexafluoreto de Enxofre para o ar (I).....	109
Figura 58. Matriz do critério “Free trial”.....	i
Figura 59. Matriz do critério “License renewal costs”.....	i
Figura 60. Matriz do critério “Technical support”.....	i
Figura 61. Matriz do critério “Free training course”.....	ii
Figura 62. Matriz do critério “Online”.....	ii
Figura 63. Matriz do critério “Desktop”.....	ii
Figura 64. Matriz do critério “Mobile App”.....	ii
Figura 65. Matriz do critério “Portuguese Version”.....	iii
Figura 66. Matriz do critério “English version”.....	iii
Figura 67. Matriz do critério “Link to Excel”.....	iii
Figura 68. Matriz do critério “Import data”.....	iii
Figura 69. Matriz do critério “Cloud based”.....	iv
Figura 70. Matriz do critério “Database source”.....	iv
Figura 71. Matriz do critério “Windows”.....	iv
Figura 72. Matriz do critério “Mac”.....	iv
Figura 73. Matriz do critério “Android”.....	v
Figura 74. Matriz do critério “Software usage”.....	v
Figura 75. Matriz do critério “Theme framework”.....	v
Figura 76. Matriz do critério “ISO Standards”.....	v
Figura 77. Matriz do critério “Add-ons”.....	vi
Figura 78. Matriz do critério “Multi-users”.....	vi
Figura 79. Matriz inicial para o estudo de softwares na fase 2.....	vi
Figura 80. Pesos finais para o estudo de softwares na fase 2.....	vii
Figura 81. Matriz do critério “Open-source”.....	vii
Figura 82. Matriz do critério “Diagrams”.....	vii

Figura 83. Matriz do critério “Reports”	vii
Figura 84. Matriz do critério “User-friendly”	viii
Figura 85. Matrizes finais para critérios de softwares da fase 2	viii
Figura 86. Matriz inicial para o estudo de bases de dados na fase 1	ix
Figura 87. Pesos finais para o estudo de bases de dados na fase 1.....	ix
Figura 88. Matriz do critério “Free of charge ”	x
Figura 89. Matriz do critério “License renewal costs”	x
Figura 90. Matriz do critério “Technical support”	x
Figura 91. Matriz do critério “Free training”	x
Figura 92. Matriz do critério “Cloud based”	xi
Figura 93. Matriz do critério “Database source”	xi
Figura 94. Matriz do critério “Database usage”	xi
Figura 95. Matriz do critério “Dimension”	xi
Figura 96. Matriz do critério “ISO Standards”	xii
Figura 97. Matrizes finais para critérios de bases de dados da fase 1.....	xii
Figura 98. Matriz inicial para o estudo de bases de dados na fase 2	xiii
Figura 99. Pesos finais para o estudo de bases de dados na fase 2.....	xiii
Figura 100. Matriz do critério “GHG Emissions”	xiii
Figura 101. Matriz do critério “Energy Consumption”	xiv
Figura 102. Matriz do critério “MP Information”	xiv
Figura 103. Matrizes finais para critérios de bases de dados da fase 2.....	xiv
Figura 104. PT 63/31,5 Kv - 15 MVA	xv
Figura 105. PT 60/31,4 Kv - 20 MVA	xvi
Figura 106. Matriz inicial para o estudo das ferramentas	xx
Figura 107. Pesos finais para o estudo das ferramentas	xx
Figura 108. Matriz do critério “Free of charge”	xxi
Figura 109. Matriz do critério “Test free”	xxi
Figura 110. Matriz do critério “License renewal costs”	xxi
Figura 111. Matriz do critério “Technical support”	xxi
Figura 112. Matriz do critério “Online”	xxii
Figura 113. Matriz do critério “Desktop”	xxii
Figura 114. Matriz do critério “Portuguese version”	xxii
Figura 115. Matriz do critério “English version”	xxii
Figura 116. Matriz do critério “Import data”	xxii
Figura 117. Matriz do critério “Windows”	xxiii
Figura 118. Matriz do critério “Mac”	xxiii
Figura 119. Matriz do critério “Software usage”	xxiii
Figura 120. Matriz do critério “Theme framework”	xxiii
Figura 121. Matrizes finais para critérios das ferramentas	xxiv

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Referências do Projeto	10
Tabela 2. Estratégias de Economia Circular	18
Tabela 3. Aplicações de Economia Circular.....	19
Tabela 4. Casos de Estudo de ACV em TRF	28
Tabela 5. Duração das etapas do processo produtivo.....	40
Tabela 6. Potência de cada máquina do processo.....	41
Tabela 7. Consumo energético total.....	42
Tabela 8. Resíduos extraídos da produção de PT Core.....	43
Tabela 9. Perdas do Transformador de Potência.....	48
Tabela 10. Potências do diagrama de cargas.....	48
Tabela 11. Critérios da primeira fase do estudo dos softwares	53
Tabela 12. Valores de RI consoante “n”	60
Tabela 13. Critérios da segunda fase do estudo de softwares	64
Tabela 14. Critérios da primeira fase do estudo de bases de dados	66
Tabela 15. Critérios da segunda fase do estudo de bases de dados	67
Tabela 16. Fatores de caracterização dos GHG (Huijbregts et al., 2017)	70
Tabela 17. Inventário do Ciclo de Vida do PT 60/30kV – 20MVA.....	75
Tabela 18. Energia em megajoule em cada etapa	89
Tabela 19. MP na base de dados	92
Tabela 20. Energia na base de dados.....	93
Tabela 21. Resíduos na base de dados	94
Tabela 22. Critérios do estudo das ferramentas de circularidade.....	102

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS

ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AHP	Analytical Hierarchical Procedure
AICV	Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida
AMT	Aparelhagem de Alta e Média Tensão
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CEN	European Committee for Standardization
CI	<i>Consistency Index</i>
CM	Circuito Magnético
CR	<i>Consistency Ratio</i>
CTI	Circular Transition Indicators
DCB	Diclorobenzeno
DT	<i>Distribution Transformer(s)</i>
EC	Economia Circular
EN	European Standard
FAQ	<i>Frequently asked questions</i>
GHG	<i>Greenhouse Gas(es)</i>
GOES	<i>Grain oriented electrical steel</i>
HOS	<i>Hot Oil Spray</i>
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
I&D	Investigação e Desenvolvimento
INEGI	Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	International Organization for Standardization
kWh	Quilowatts-hora
LDT	<i>Large Distribution Transformer(s)</i>
MCDA	Multi Criteria Decision Analysis
MJ	Megajoules
MP	Matéria(s) Prima(s)
MS	Microsoft
ODM	Objetivos do Milénio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P. Porto	Instituto Politécnico do Porto
PRR	Plano de Recuperação e Resiliência
PT	<i>Power Transformer(s)</i>
RAM	<i>Random access memory</i>

SRV	Service
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>
TRF	Transformador(es)
UK	United Kingdom
UN	Unidade de Negócio
UP	Universidade do Porto
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo é abordado o problema de investigação através de um breve enquadramento do mesmo e de qual a sua pertinência para a atualidade. Para além disso, também se apresenta a pergunta à qual se pretende dar resposta, quais os objetivos que irão contribuir para esta e as opções metodológicas adotadas.

1.1. Enquadramento e pertinência

Atualmente, vivemos perante um grande problema, uma emergência climática e, de acordo com BCSD PORTUGAL (2021a, p. 1), “as duas últimas décadas registam 18 dos anos mais quentes de que há memória, sendo que este aumento da temperatura global provoca alterações e fenómenos meteorológicos extremos”. Apesar da assinatura do Acordo de Paris, pela União Europeia em 2015, que pretende limitar o aquecimento global e levar Portugal a atingir a neutralidade carbónica até 2050 (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021; BCSD PORTUGAL, 2021), ainda não estamos, enquanto país, no caminho certo para a atingir. Desta forma, a solução para este problema é a correta mobilização das empresas para a transformação necessária, evitando danos perigosos e irreversíveis para o planeta. Assim, é importante que as empresas tenham acesso a orientações e práticas, para as ajudar a definir uma estratégia de descarbonização das cadeias de valor (BCSD PORTUGAL, 2021a).

Tendo por base pesquisas realizadas, de modo a enquadrar o problema apresentado, e de acordo com o diretor da Agência Internacional da Energia, Fatih Birol, a partir de Agência Lusa (2021, p. 1), “os investimentos em projetos de energia descarbonizada terão de triplicar nos próximos 10 anos para se conseguir a neutralidade de carbono até 2050”. Assim, caso se consiga atingir esta neutralidade até 2050, serão evitadas milhões de mortes devido à poluição atmosférica, aspeto este bastante positivo (Agência Lusa, 2021). Também segundo a Iberdrola (2021, p. 1), “a eletricidade é o vetor energético que permite uma maior integração das energias renováveis e, por esta razão, é a opção mais eficiente para descarbonizar outros setores económicos com o menor custo”. Para além disso, a descarbonização exige a realização de uma mudança estrutural que permita eliminar o carbono da geração de energia, surgindo aqui a energia descarbonizada. No entanto, a redução das emissões desta energia também requer o uso de combustíveis descarbonizados, que, infelizmente, têm um custo, atualmente, muito elevado (Iberdrola, 2021).

O Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) é um programa nacional com início em 2022 que irá implementar reformas e investimentos destinados a repor o crescimento económico sustentado, de modo a dar resposta aos problemas relacionados com a transição climática (Recuperar Portugal, 2021). Assim, a Efacec pretende candidatar-se ao PRR e este trabalho funcionará como uma base teórica sustentada do projeto em Economia Circular (EC) “Aliança para a Transição Energética”, o que mostra vontade em transformar e adotar melhores práticas. Para além disso, neste âmbito a empresa tem vindo a contribuir e contribuiu, especificamente, em 2020, com algumas iniciativas relacionadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS sucedem aos Objetivos do Milénio (ODM), alargando os desafios que devem ser abordados para erradicar a pobreza, nas dimensões económica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável (BCSD PORTUGAL, 2021b). Também já se realizaram estudos, por parte do departamento de

Sustentabilidade da Efacec, relativos a avaliações de ciclo de vida e grau de circularidade dos materiais dos Transformadores (TRF) de Distribuição, com recurso às plataformas Ecolizer 2.0, CTI (Circular Transition Indicators) e Circulytics.

Sendo assim, e de modo a realizar um projeto pertinente para a realidade atual apresentada, este trabalho teve por objetivo um estudo de ferramentas para se efetuar uma Avaliação de Ciclo de Vida do Transformador de Potência e calcular o seu nível de circularidade. Esta análise viabilizou a apresentação de métodos e técnicas de EC mais sustentáveis para implementar nas fases mais críticas do ciclo de vida, de modo a prolongar a vida dos TRF.

Futuramente, com o desenvolvimento deste projeto, deverá ser possível desenvolver um passaporte de material *standard*, no que toca à sustentabilidade dos produtos, com os indicadores de circularidade.

1.2. Questão e objetivos de investigação

A questão de investigação deste projeto foi: que práticas de Economia Circular se devem implementar nas etapas críticas do ciclo de vida de um transformador de potência?

O objetivo global deste trabalho foi reunir e apresentar práticas de EC para implementar na vida de um TRF, de modo a, futuramente, aumentar a sua vida útil e reduzir as emissões de dióxido de carbono associadas ao seu ciclo de vida.

Relativamente aos objetivos específicos, estes foram:

- Identificar e estudar as fases que representam a massa crítica da cadeia de produção dos TRF de potência através da realização de uma análise e avaliação do ciclo de vida;
- Selecionar, através de um método adequado, qual o *software*, a base de dados e a ferramenta de circularidade mais adequados para o projeto;
- Sugerir práticas para aplicar nas etapas críticas.

1.3. Opções metodológicas

A perspetiva metodológica seguida neste trabalho foi a metodologia mista, ou seja, uma junção da perspetiva quantitativa com a qualitativa. Aplica-se a quantitativa a este projeto, uma vez que, a investigação tem como ponto de partida dados numéricos (Coutinho, 2018; Kumar, 2018; Fellows & Liu, 2021), que abrange:

- A definição/origem da EC, vantagens, barreiras e conceitos;
- Um estudo de mercado com casos reais;
- As vantagens e limitações de uma ACV;
- O(s) método(s) para analisar e avaliar o ciclo de vida de equipamentos.

Relativamente à qualitativa, o trabalho associou-se a esta, pois pretendeu-se que a partir da investigação de informações pudessem surgir ideias para desenvolver as novas práticas de EC, a implementar na cadeia de produção, nas ações de manutenção, reciclagem, reparação, entre outras (Fellows & Liu, 2021).

O plano de investigação teve por base a abordagem hipotético-dedutiva, pois o projeto resulta de uma interação entre a experiência e a prática, ou seja, é a partir da informação recolhida e do

estudo feito aos TRF que, futuramente, poderão ser implementadas medidas nas suas etapas de vida (Walliman, 2011).

A natureza do projeto de investigação foi do tipo atuante, visto que, eram pressupostas mudanças, novas alternativas e soluções para garantir a implementação da mudança (Oliveira, 2011).

Por fim, a estratégia investigação-ação adotada foi uma estratégia mista, sendo que, o objetivo principal foi resolver problemas práticos e reais na organização, com um envolvimento direto na sua resolução. Na medida em que se pretendeu encontrar soluções para os TRF cujas etapas poderiam estar sujeitas a tecnologias pouco sustentáveis, o que poderia estar a prejudicar a sua vida útil.

1.4. Calendarização

A calendarização do projeto, com as tarefas e datas, encontra-se apresentada na Figura 1.

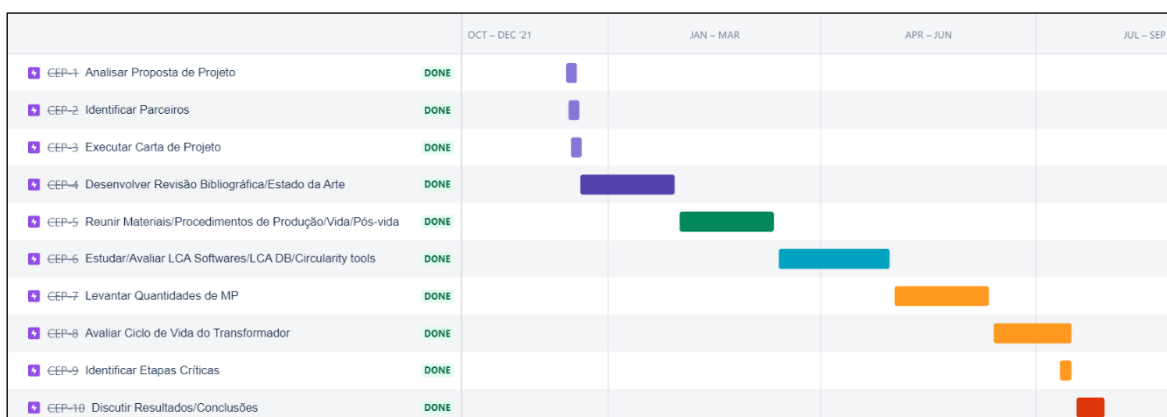


Figura 1. Calendarização do projeto

1.5. Apresentação da empresa

Neste tema aborda-se a história da empresa, as políticas da mesma, a unidade onde se realizou o trabalho e a sua sustentabilidade.

1.5.1. História

A Efacec é uma empresa portuguesa com um perfil exportador e uma presença internacional em mais de 65 países (Efacec Power Solutions, 2022a). Os seus principais marcos cronológicos são (Efacec Power Solutions, 2022a):

- Fundou-se em 1905 com o nome “A Moderna” (consultar Figura 2);



Figura 2. A Moderna (Efacec Power Solutions, 2022a)

- Deu origem à “Electro-Moderna, Lda.” em 1921, uma empresa “já dedicada à produção de motores, geradores, TRF e acessórios eléctricos”;
- Em 1948 constituiu-se como Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, SARL e ficou o capital da empresa distribuído entre a Eletro-Moderna, os Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi, a Companhia União Fabril e outros acionistas;
- Em 1962, após a saída da CUF, os ACEC passaram a ser acionistas maioritários, nascendo assim, o nome EFACEC – Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, SARL;
- No final da década de sessenta tornou-se uma das primeiras empresas portuguesas cotadas na Bolsa de Valores de Lisboa;
- No século XXI adotou um novo posicionamento que deu origem a um redimensionamento da sua estrutura internacional e simplificação do portefólio;
- Em 2014 passou a designar-se Efacec Power Solutions, SA com o desenvolvimento de atividades nos domínios das soluções de Energia, Mobilidade e Ambiente.

Atualmente, a empresa tem três polos industriais em Portugal (Efacec Power Solutions, 2022a):

- Parque Empresarial Arroiteia (Poente), S. Mamede de Infesta;
- Polo da Maia, Moreira da Maia;
- Quinta da Fonte Office Park, Oeiras.

Na Figura 3 apresenta-se o logótipo da empresa.



Figura 3. Logótipo da Efacec (Efacec Power Solutions, 2022a)

1.5.2. Políticas da empresa

Propósito (Efacec Power Solutions, 2022a): “*Designing a smarter future for a better life.*”.

Visão (Efacec Power Solutions, 2022a): “Antecipar soluções para um mundo sustentável na nova Era energética.”.

Missão (Efacec Power Solutions, 2022a): “Criamos valor com soluções de Energia, Mobilidade e Ambiente que melhoram o dia a dia de todos, através da integração de diferentes competências e das tecnologias mais inovadoras. Desenvolvemos pessoas numa organização de aprendizagem e melhoria contínua.”.

Valores (Efacec Power Solutions, 2022a):

- **Fiabilidade** – “inovação, criação, desenvolvimento e entrega”;
- **Sustentabilidade** – “soluções integradas e eficientes, com um impacto significativo na economia, sociedade e ambiente”;
- **Competência** – “inovação e experiência”, “soluções integradas e chave na mão”;
- **Audácia** – “ávidos e perseguimos novos desafios que nos permitam superar as nossas próprias conquistas e antecipar soluções”;
- **Humanismo** – “equipa feita de pessoas e para pessoas. A nossa equipa em conjunto com fornecedores, clientes e utilizadores são parte da nossa essência.”.

1.5.3. Áreas de atividade e Produtos

“Focados no desenvolvimento de produtos e sistemas com forte valor acrescentado, atuamos no desenvolvimento de infraestruturas para importantes sectores da atividade económica.” Assim, a Efacec desenvolve as soluções presentes na Figura 4, em cada uma das três áreas de atividade de Energia, Mobilidade e Ambiente (Efacec Power Solutions, 2022a).



Figura 4. Áreas de atividade e soluções (Efacec Power Solutions, 2022a)

Este projeto foi desenvolvido no setor da Energia, na unidade de Service (SRV), como assinalado na Figura 4, na área de Tecnologia e na equipa de I&D.

Esta unidade presta serviços certificados segundo as normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018, garantindo soluções adequadas às necessidades dos clientes em instalações industriais, centrais hidroelétricas, termoelétricas, mini-hídricas e de cogeração, parques eólicos, subestações e postos de transformação (Efacec Power Solutions, 2022b).

O portefólio do SRV engloba (Efacec Power Solutions, 2022e):

- **Gestão Física de Ativos** – aumento da vida útil e otimização da operação de ativos elétricos;
- **Reutilização e Reciclagem** – melhoramento da *performance* e aumento da circularidade dos ativos elétricos e dos dados históricos associados;

- **Gestão Digital de Ativos** – digitalização de ativos elétricos e das suas operações através de soluções escaláveis;
- **Soluções Inteligentes Integradas** – projeto, aquisição, construção, manutenção e operação de centros de descarbonização – plataformas modulares de energia, mobilidade e ambiente.

O SRV já pratica ações relacionadas com a EC, na medida em que, se ocupa de projetos que contribuem para o melhoramento da *performance* e o aumento da circularidade dos ativos elétricos e dos seus dados históricos através da reciclagem de equipamentos em fim de vida útil e da utilização de novos materiais. Isto irá permitir aumentar a vida do equipamento e potenciar a sua reentrada em rede. Quer seja através da manutenção no serviço original, do aluguer, ou venda de equipamento usado renovado, a unidade de negócio (UN) está a contribuir para um futuro mais “verde” e sustentável.

1.5.4. Sustentabilidade

Para a concretização da Agenda 2030 sobre os ODS é necessário que as empresas integrem os mesmos nas tomadas de decisão e que contribuam com a inovação para um futuro mais sustentável (BCSD PORTUGAL, 2021b). É necessário repensar e inovar os modelos de negócio atuais, e na forma como estes agregam valor para os seus clientes (Suchek et al., 2021, p. 1).

Na Figura 5 podem-se visualizar os dezassete objetivos, para os quais a Efacec contribuiu ao longo do ano de 2020, tanto de forma interna, como externa (consultar Anexo 1). Para além disso, a mesma está empenhada em cumprir os compromissos globais nas áreas onde atua e em tornar-se mais ambiciosa na sua Política de Sustentabilidade (Efacec Power Solutions, 2021), acessível a todos. Já em 2021 deu-se início um projeto, junto do Center for Responsible Business da Católica Business School, onde através de um processo conjunto foram redefinidos os ODS números 7, 9, 11 e 12, com o objetivo de integrar os mesmos nas tomadas de decisão da empresa.



Figura 5. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (BCSD PORTUGAL, 2021b)

As principais ações a destacar da Efacec são (Efacec Power Solutions, 2022c):

- Produção de biogás através de soluções que permitem uma operação eficiente na fase de digestão anaeróbica;
- Construção do Parque Solar Fotovoltaico de 57MW, localizado na periferia de São Pedro de Atacama, Chile;

- Reabilitação de equipamentos de energia na área de SRV.

A empresa sofreu uma reestruturação que agilizou a atividade de Qualidade, organizando-a em três áreas: Gestão de Processos, Gestão de Qualidade e Sustentabilidade. A Sustentabilidade, que é a área foco deste projeto, tem como principais responsabilidades:

- Desenvolver a estratégia e modelo operacional de sustentabilidade do Grupo Efacec;
- Identificar e coordenar iniciativas transversais;
- Participar nas demonstrações de sustentabilidade;
- Colaborar na integração de requisitos de sustentabilidade em processos/projetos.

1.6. Estrutura do trabalho

O projeto encontra-se dividido em 5 capítulos:

1. Introdução – apresenta o problema de investigação, enquadramento e pertinência, a questão e os objetivos de investigação, as opções metodológicas seguidas, a calendarização, a apresentação da empresa e a estrutura do projeto;
2. Revisão Bibliográfica – apresenta o método seguido para a escolha dos recursos bibliográficos, bem como conceitos e assuntos teóricos relacionados com o projeto;
3. Métodos e Aplicação – a metodologia prática seguida ao longo do projeto, com o estudo da linha do PT, a ACV, realizada a partir de uma prévia avaliação de *softwares* e bases de dados, e um novo estudo de ferramentas para calcular a Circularidade;
4. Resultados e Discussão – apresenta os resultados obtidos no trabalho e respetivas análises;
5. Conclusão – com as conclusões, as limitações do projeto desenvolvido e a investigação futura.

página propositadamente em branco

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, inicialmente, é apresentada a metodologia de revisão bibliográfica, nomeadamente, o método seguido para seleção dos recursos bibliográficos, com a enumeração das ferramentas e palavras-chave utilizadas e o gestor de referências selecionado. Posteriormente, é realizada a revisão bibliográfica com o objetivo de sintetizar o conhecimento sobre os temas relacionados com o projeto e fazer um estado da arte destes.

Para a elaboração da revisão bibliográfica deste projeto recorreu-se a diferentes ferramentas de pesquisa e bases de dados, nomeadamente:

- B-On;
- E-cigre;
- Google Académico;
- Google Livros;
- Repositórios Científicos de acesso aberto de Portugal;
- Repositório IPP;
- Repositório UP;
- Research Gate;
- ScienceDirect;
- Scopus.

Para organizar os recursos bibliográficos encontrados utilizou-se como gestor de referências, com extensão para o Microsoft (MS) Word, o Mendeley Desktop e relativamente aos tipos de documentos pesquisados, estes foram:

- Artigo Científico;
- Artigo de Jornal;
- Capítulo ou Parte de Livro;
- Livro;
- *Report*.

As palavras-chave utilizadas para filtrar os recursos encontrados foram: *analytical hierarchical procedure*, avaliação de ciclo de vida, cadeia de valor, circularidade, descarbonização, economia circular, economia verde, energias renováveis, extensão de vida, neutralidade carbónica, *software*, sustentabilidade, transformador de potência e transição energética, sendo que foram considerados documentos em português e inglês, entre os anos 1981 e 2022.

Na Tabela 1 podem-se visualizar os recursos bibliográficos selecionados, bem como o respetivo tipo de documento, ordenados por ordem alfabética do nome do autor e de acordo com as opções disponíveis no gestor de referências, sendo que o mesmo não disponibiliza a opção “artigo científico”.

Para análise dos artigos encontrados nas bases de dados, inicialmente, leu-se o resumo e caso o mesmo fosse relevante para o tema analisaram-se a conclusão bem como os resultados. Assim, quando ambos foram considerados pertinentes, o artigo foi tido em conta para as referências deste projeto, de modo a construir um grupo de referências restrito e útil.

Tabela 1. Referências do Projeto

Tipo	Título	Autor(es)	Ano
Report	Transformer Loss Capitalization calculator	ABB	2009
Report	Mature Transformer Management Program (MTMP) - Managing your transformer fleet with transformer design knowledge using data and statistics	ABB	2014
Artigo de jornal	Total Cost of Ownership (TCO) - Lifetime costs for transformers	ABB	2015
Report	Environmental Product Declaration	ABB	2003
Web page	Transição energética é "demasiado lenta", avisa Agência Internacional da Energia	Agência Lusa	2021
Web page	Acordo de Paris	Agência Portuguesa do Ambiente (APA)	2021
Web page	Circular Economy and Material Value Chains	Antonia Gawel	2022
Web page	What Are Polychlorinated Biphenyls (PCBs)?	ATSDR	2022
Artigo de jornal	Getting the circulation going	Barbara Kiser	2016
Web page	Neutralidade Carbónica	BCSD PORTUGAL	2021
Web page	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e o BCSD Portugal	BCSD PORTUGAL	2021
Artigo de jornal	Environmental life cycle impact assessment of Gas-to-Liquid processes	Borrion A. L., Khraisheh M., Benyahia F.	2013
Web page	Agenda 2030 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	Camões - Instituto da Cooperação e da Língua	2016
Artigo de jornal	The Circular Economy and Cascading: Towards a Framework	Campbell-Johnston K., Vermeulen W. J.V., Reike D., Brulot S.	2020
Artigo de jornal	Life Cycle Assessment of Dry-Type and Oil-Immersed Distribution Transformers with Amorphous Metal Core	Carlen M., Överstam U., Ramanan V. V., Tepper J., Swanstrom L., Klys P., & Stryken E.	2011
Web page	CCDR-NORTE participa em lançamento de projeto europeu de economia circular	CCDRN	2021
Artigo de jornal	Comparison of multi-criteria decision-analysis methods for selecting carbon dioxide utilization products	Chauvy R., Lepore R., Fortemps P., De Weireld	2020

Artigo de jornal	Methodology for choosing life cycle impact assessment sector-specific indicators	Chevalier B., Reyes-Carrillo T., Laratte B.	2011
Artigo de jornal	Life cycle assessment (LCA) - a guide to approaches, experiences and information sources	Christiansen K., Jensen, Allan A., Schmidt A.	1997
Report	Life Extension of Oil Filled Transformers	CIGRE	2020
Report	OpenLCA 1.10 - Comprehensive User Manual	Ciroth A., Noi C., Lohse T., Srocka M.	2020
Web page	CO2 EQUIVALENTS	Connection, C. C.	2022
Livro	Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: Teoria e Prática	Clara Pereira Coutinho	2018
Artigo de jornal	Assessing the quality of different MCDA methods	De Montis A., De Toro P., Droste-Franke B., Omann I., Stagl S.	2004
Web page	Economia Circular	Direção-Geral das Atividades Económicas	2022
Web page	Eaton Launches Capacitor Recycling Program to Drive More Circular Economy	EATON	2022
Web page	Driving sustainable use of a shared resource	EATON	2022
Web page	Sonae - Projeto Trevo	Eco.nomia	2022
Web page	Sonae Arauco - Bioeconomia Circular Sustentável	Eco.nomia	2022
Web page	100's of products. 100's of footprints. 1 application.	Ecochain	2021
Web page	Ecochain	Ecochain	2021
Web page	Mobius	Ecochain	2021
Web page	Ecoinvent Database	Ecoinvent	2022
Web page	For the availability of environmental data worldwide	Ecoinvent	2022
Web page	Governance	Ecoinvent	2022
Artigo de jornal	Human toxicity potentials for life-cycle assessment and toxics release inventory risk screening	Edgar G. H., Mateles S. F., Pease W. S., McKone T. E.	2001
Web page	Conheça a origem da energia	EDP	2022
Report	Aço Laminado a quente - Perfil U	Efacec Power Solutions	2004
Web page	Efacec - Quem Somos	Efacec Power Solutions	2022
Web page	Efacec - Service	Efacec Power Solutions	2022
Web page	Efacec - Sustentabilidade	Efacec Power Solutions	2022

Web page	Efacec - Transformadores	Efacec Power Solutions	2022
Report	Política de Sustentabilidade	Efacec Power Solutions	2021
Report	Service	Efacec Power Solutions	2022
Web page	Measure business circularity: Circulytics	Ellen MacArthur Foundation	2022
Web page	Learn about Polychlorinated Biphenyls (PCBs)	EPA	2022
Report	Hot Rolled Products of Structural Steels - Part 2	European Standard	2004
Livro	Research Methods for Construction	Fellows R. F., Liu A. M. M.	2021
Artigo de jornal	Assessment of Circular Economy within Portuguese Organizations	Fonseca L. M., Domingues J. P., Pereira M. T., Martins F. F., Zimon D.	2018
Web page	Process data set: Lead primary and secondary mix; technology mix; production mix, at producer; primary 46% / secondary 54% (en)	GaBi	2022
Web page	Power Transformers Contribute to a Circular Economy	GE's Grid Solutions	2021
Report	ReCiPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level	Goedkoop M. J., Heijungs R., Huijbregts M. A. J., Schryver A. De, Struijs J., van Zelm R.	2013
Artigo de jornal	The circular economy – A new sustainability paradigm	Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M. P., Hultink E. J.	2017
Livro	Cleaner Production - Towards a Better Future	Gomes da Silva F. J., Gouveia R. M.	2020
Web page	openLCA	Greendelta	2022
Artigo de jornal	openLCA Tutorial - Basic Modelling in openLCA: PC and PET Bottle Case Study	Greendelta	2020
Artigo de jornal	Life Cycle Assessment of Power Transformers-Case Study	Hegedic M., Opetuk T., Dukic G., Draskovic H., Lucica I.	desconhecido
Report	Laminated Pressboard and Laminated Wood Products in Power Transformers	Heinrich B., Gasser H.P., Krause C.	2007
Report	ReCiPe 2016 - A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level	Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N.,	2017

		Elshout, P.M.F.M., Stam, G.	
Artigo de jornal	Sistemas de Incentivos à Economia Circular	IAPMEI	2018
Web page	Princípios e ações regulatórias da descarbonização energética que contribuem para um marco sustentável e eficiente para combater as mudanças climáticas	Iberdrola	2021
Web page	INEGI vai contribuir para tornar a indústria transformadora portuguesa mais circular e sustentável	INEGI	2021
Report	How to Know If and When it's Time to Commission a Life Cycle Assessment An Executive Guide	International council of chemical associations	2018
Artigo de jornal	Umberto LCA+	iPoint	2022
Web page	Umberto LCA+	iPoint	2022
Report	ISSO 65 Carbon steel tubes	ISO	1981
Report	14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework	ISO	2006
Report	Introduction to ISO 14001:2015	ISO	2015
Report	Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification	ISO	2018
Web page	A Iniciativa Eco.nomia	João Pedro Matos Fernandes	2022
Capítulo de livro	The circular economy: historical grounds	José Luís Cardoso	2018
Artigo de jornal	Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review	Jurado P. J. M., Fuentes J. M.	2014
Artigo de jornal	Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools	Kalmykova Y., Sadagopan M., Rosado L.	2018
Artigo de jornal	Promoting circular economy transition: A study about perceptions and awareness by different stakeholders groups	Kevin van Langen S., Vassillo C., Ghisellini P., Restaino D.	2021
Artigo de jornal	Circular economy: the concept and its limitations	Korhonen J., Honkasalo A., Seppälä J.	2018
Livro	Dissertação e Tese em Ciência e Tecnologia Segundo Bolonha	Luis Adriano Oliveira	2011
Artigo de jornal	Circular economy. A review and bibliometric analysis	Luis E.C., Celma D.	2020
Capítulo de livro	Life cycle assessment	Muralikrishna I.V., Manickam V.	2018

Web page	LCIA: the ReCiPe model	National Institute for Public Health and the Environment	2011
Web page	U.S. Life Cycle Inventory Database	NREL	2022
Artigo de jornal	Sustainable Manufacturing and Eco-innovation: Towards a Green Economy	OECD	2009
Web page	OneClickLCA	OneClickLCA	2021
Web page	Ormazabal joins forces with the Basque Government and 13 other Basque companies to form the largest public-private alliance in ecodesign and circular economy	Ormazabal	2021
Report	Ecolizer 2.0 ecodesign tool	OVAM	2022
Web page	Ecolizer design tool	OVAM	2022
Artigo de jornal	Analytical Hierarchical Process (AHP) method application in the process of selection and evaluation	Pachemska T.A., Lapevski M., Timovski R.	2014
Web page	Life Cycle Databases	GHG Protocol	2022
Artigo de jornal	Life Assessment of Transformer: A Case Study	Pushpanjali P., Bisht S., Azhar A.	2016
Livro	Research methodology: a step-by-step guide for beginners	Ranjit Kumar	2018
Artigo de jornal	Resource conservative manufacturing	Rashid A., Farazee. M.A., Krajnik P., Nicolescu C.	2013
Report	EF Secondary data for openLCA	Recanati F., Citroth A.	2019
Web page	Plano de Recuperação e Resiliência	Recuperar Portugal	2021
Web page	Economia Circular e Cadeias de Valor	rePLANT	2021
Livro	Economia Verde e Economia Circular: desafios e oportunidades	Ribeiro A. V., Fonseca L. M., Santos S.	2018
Artigo de jornal	Barriers to the Circular Economy - Integration of Perspectives and Domains	Ritzén S., Sandström G. Ö.	2017
Artigo de jornal	How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework	Saidani M., Yannou B, Leroy Y., Cluzel F.	2017
Artigo de jornal	Life cycle assessment in chemical industry – a review	Santos A., Barbosa-Póvoa A., Carvalho A.	2019
Web page	Schneider Electric's 2019 Circular Economy Highlights	Schneider Electric	2020
Livro	Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA)	Shrivastava S., Unnikrishnan S.	2021
Web page	Siemens is leading the way towards carbon neutrality	Siemens	2022
Web page	About SimaPro	SimaPro	2022

Web page	Environmental Footprint database 3.0	SimaPro	2022
Web page	U.S. LCI databases	Sphera	2022
Report	EN 50708-1-1:2020	European Standard	2020
Web page	10 Examples of Circular Economy Solutions	State of Green	2017
Artigo de jornal	Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice	Suárez-Eiroa B., Fernández E., Méndez-Martínez G., Soto-Oñate D.	2019
Artigo de jornal	Innovation and the circular economy: A systematic literature review	Suchek N., Fernandes C. I., Kraus S., Filser M., Sjögrén H.	2021
Report	GaBi ts Leading Sustainability & LCA Software	Thinkstep	2022
Artigo de jornal	Safety Information Sheet	thyssenkrupp	2021
Report	Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development	United Nations	2015
Report	Jornal Oficial da União Europeia	União Europeia	2014
Report	Regulamento da Comissão de 1 de outubro de 2019	União Europeia	2019
Artigo de jornal	Case Research in Operations Management	Voss, C., Tsiriktsis, N., & Frohlich, M.	2002
Artigo de jornal	The circularity of medium-power electrical transformers. Transformers Magazine	Wachter B. D. E., Jezdinsky, T.	2022
Livro	Research Methods: The Basics	Walliman, Nicholas	2011
Artigo de jornal	Circular economy - A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs	Walter R. Stahel	2016
Report	Indicadores de Transição Circular V2.0	wbcd	2021
Report	Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard	World Resources Institute, WBCSD	2011
Artigo de jornal	Case Study Research Design and Methods	Yin., R. K.	2014
Capítulo de livro	Life Cycle Assessment Methodology	Yue D., You F.	2014

A partir da literatura estudada e analisada concluiu-se que os dois grandes temas que deveriam ser tidos em conta para a elaboração da revisão bibliográfica eram a “Economia Circular” e a “Avaliação de Ciclo de Vida”. Estes são apresentados no capítulo que se segue.

2.1. A Economia Circular

Neste tema, inicialmente será abordada a história da EC, as suas vantagens e barreiras, e de seguida, algumas aplicações para conhecer o estado da arte do assunto e conceitos, de modo a fazer um enquadramento do trabalho.

2.1.1. Definição

A EC é uma das componentes que integram a Economia Verde e está associada à eficiência do uso dos recursos naturais (Kevin van Langen et al., 2021). A Economia Verde é um modelo de crescimento para operacionalizar o desenvolvimento sustentável e está assente em três dimensões de ação (Ribeiro et al., 2018, p. 70):

1. Economia de baixo carbono;
2. Eficiência na utilização de recursos;
3. Socialmente inclusiva.

Segundo Ribeiro et al. (2018, p. 15) esta economia é um “novo motor de crescimento” e é geradora de empregos, o que é uma estratégia vital para a erradicação da pobreza e para o desenvolvimento económico, social e ambiental (Luis & Celma, 2020; Camões - Instituto da Cooperação e da Língua, 2016), sendo estes aspetos, objetivos comuns à Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.

A Agenda 2030 das Nações Unidas surgiu em 2015, numa cimeira da Organização das Nações Unidas (ONU), em Nova Iorque (Camões - Instituto da Cooperação e da Língua, 2016), com os seus dezassete ODS e representa “uma oportunidade para alterar o curso da história rumo ao desenvolvimento sustentável” (Ribeiro et al., 2018, p. 13). Esta Agenda procura fortalecer a paz mundial e tomar medidas urgentes e necessárias para colocar o mundo num caminho de resiliência e sustentabilidade (Nations, 2015). Para além disso, de acordo com Camões - Instituto da Cooperação e da Língua (2016), é fruto de um trabalho conjunto de governos e cidadãos de todo o mundo para criar um novo modelo para promover o bem-estar, proteger o ambiente e combater as alterações climáticas.

Já o Acordo de Paris, que entrou em vigor em novembro de 2016, tem como objetivo travar/limitar o aumento da temperatura média global a níveis inferiores a 1.5°C até 2050, solucionar os desafios ligados às alterações climáticas e alcançar a descarbonização das economias mundiais (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021; BCSD PORTUGAL, 2021a). Assim, segundo a APA (2021, p. 1), este Acordo salienta que “apenas com o contributo de todos é possível vencer o desafio das alterações climáticas”.

Em Cardoso (2018, p. 116), segundo a Comissão Europeia, “*a circular economy is explained as an economy where the value of products, materials and resources is maintained in the economy for as long as possible, and the generation of waste minimised*”. Este conceito enquadra-se bem com as agendas da União Europeia e das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável (Cardoso, 2018).

De acordo com João Pedro Matos Fernandes (2022, p. 1), “a Economia Circular consiste num modelo económico regenerativo e restaurador, em que os recursos (materiais, componentes, produtos, serviços) são geridos de modo a preservar o seu valor e utilidade pelo maior período de

tempo possível. Desta forma, aumenta-se a produtividade dos recursos, preserva-se o capital natural bem como o capital financeiro das empresas e sociedade civil.” A circularidade dos produtos permite-nos ter uma economia mais verde, visto que, contribui para uma maior eficiência na forma em como usamos os recursos. Assim, há uma diminuição das emissões de dióxido de carbono, através da redução das extrações de materiais do solo e do seu transporte (Ribeiro et al., 2018, p. 73).

2.1.2. Origem

A EC foi inspirada pelos mecanismos de ecossistemas naturais que gerem os recursos a longo prazo num processo contínuo de regeneração (Gomes da Silva & Gouveia, 2020). Em Gomes da Silva (2020, p. 202), de acordo com Stahel (2016), os seus conceitos começaram a ser aplicados na Dinamarca, nos anos noventa, em parques eco industriais. No entanto, a EC também foi aplicada com sucesso por muitas indústrias americanas, como por exemplo a Xerox que começou a vender equipamentos como parte dos serviços de assistência ou a Caterpillar que renovou e vendeu motores a diesel usados. Esta necessidade surgiu com a preocupação da sociedade relativamente ao modo e à rapidez como os recursos estavam a ser consumidos, tendo em conta, essencialmente, dois fatores (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 202):

- O crescimento da população mundial;
- Uma maior disponibilidade de recursos financeiros para um crescente número de pessoas.

A União Europeia tem vindo a encorajar este conceito da EC, assim como, o Japão, o Canadá, a China, o UK, a Finlândia, a Suécia, a Holanda, entre outros. A China foi o primeiro país a criar legislações efetivas, com o propósito de adotar os princípios da EC, em 2009 (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 203).

A EC engloba um sistema regenerativo que minimiza a entrada e o desperdício de recursos, as emissões e os gastos de energia, através do abrandamento, fecho e alisamento de circuitos de energia e material, segundo Geissdoerfer (2017) em Suchek (2021, p. 1). Assim, a partir de Rashid (2013), em Gomes da Silva (2020, p. 202), este conceito prioriza o uso de energia limpa e renovável. As suas ações devem ser baseadas em reformular processos, repensar os produtos utilizados e redesenhar os modelos de negócio, de modo a otimizar a utilização dos recursos.

Os três princípios da EC são, pela Fundação Ellen MacArthur (Suchek et al., 2021, p. 2):

1. Preservação e valorização do capital natural, controlo dos *stocks* finitos e equilíbrio dos fluxos e recursos renováveis;
2. Otimização dos ganhos dos recursos através da produção de produtos, componentes e materiais com o maior nível de utilidade, durante o maior período de tempo possível;
3. Estimulação da eficácia dos sistemas através da identificação e exclusão das externalidades negativas à entrada.

Por fim, o conceito de EC tem sido desenvolvido predominantemente sob um ponto de vista político e económico e a preservação dos recursos naturais e do ambiente tem sido um problema que continua a estar presente. Assim, a EC deveria ser analisada de acordo com três diferentes aspetos (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 204), a partir de Korhonen (2018):

- Manutenção e melhoria da *performance* económica;
- Sustentabilidade ambiental;

- Preservação do modelo social sustentável.

As estratégias de EC, segundo Ribeiro et al. (2018, p. 74), Suárez-Eiroa et al. (2019) e Fonseca et al. (2018), encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Estratégias de Economia Circular

Produção e utilização inteligente	Recusar	Remover a função atual do produto ou oferecer a mesma função com outro produto.
	Repensar	Tornar o uso do produto mais intensivo.
	Reduzir	Aumentar a eficiência na produção/utilização, consumindo menos recursos e materiais naturais.
Prolongar a vida útil de produtos e dos seus componentes	Reutilizar	Reutilizar por outro consumidor/utilizador do produto descartado que ainda está em boas condições e pode cumprir a sua função original.
	Reparar	Reparar e fazer a manutenção de um produto com defeito de modo a poder ser utilizado na sua função original.
	Recondicionar	Restaurar um produto antigo e atualizá-lo.
	Remanufaturar	Utilizar partes/componentes do produto descartado num novo produto com a mesma função.
Aplicações úteis de materiais	Realocar	Utilizar o produto descartado (ou partes/componentes de) num novo produto, com diferente função.
	Reciclar	Processar materiais para obter o mesmo material com a mesma qualidade ou inferior.
	Valorizar	Recuperar a energia de materiais.

Cardoso (2018, p. 117), de encontro a (Stahel, 2016), refere que “*reuse what you can, recycle what cannot be reused, repair what is broken, remanufacture what cannot be repaired*”. No entanto, segundo Braungart e McDonough, a implementação da EC não se pode limitar a reduzir, reutilizar e reciclar. O propósito não é apenas obter ganhos na eco eficiência, mas sim, promover a eco eficácia através do desenvolvimento de novos produtos, com um tempo de vida longo. Assim, Kiser (2016) afirma que quando estes produtos atingirem o seu fim de vida útil, em vez de se tornarem um desperdício, a situação ideal é que se possam decompor para criar novos artigos e incluí-los num novo ciclo industrial.

2.1.3. Vantagens e Barreiras

Conforme consultado em Gomes da Silva & Gouveia (2020, p. 203) e Ribeiro et al. (2018, p. 76), as principais vantagens da EC são:

- Promoção da eco inovação;
- Redução de custos com MP e gestão de resíduos;
- Minimização da geração de desperdícios;
- Criação de novas oportunidades de negócio, novos produtos e serviços;
- Prolongamento do tempo de vida dos produtos;
- Desenvolvimento de novas abordagens de negócio;
- Melhorias no desempenho financeiro;
- Diferenciação competitiva e cultura empresarial mais forte;
- Aumento das competências das empresas;
- Melhorias no propósito das empresas;
- Redução da dependência a combustíveis fósseis;
- Diminuição das emissões de carbono;
- Preservação da natureza;
- Contribuir para a luta contra as mudanças climáticas.

Já relativamente às barreiras, estas são (Ritzén & Sandström, 2017):

- Medição dos benefícios financeiros da EC;
- Rentabilidade financeira;
- Falta de troca de informação;
- Distribuição da responsabilidade pouco clara;
- Gestão de infraestruturas/cadeias de abastecimento;
- Perceção de sustentabilidade;
- Aversão ao risco;
- *Design* de produto;
- Integração nos processos produtivos.

2.1.4. Casos de Estudo

Atualmente, existem muitas iniciativas de EC já implementadas, tanto a nível nacional, como internacional. Desta forma e segundo a pesquisa efetuada, a Tabela 3 apresenta as aplicações mais relevantes para o trabalho em estudo.

Tabela 3. Aplicações de Economia Circular

Organização Responsável	Iniciativa/Ação
Comissão europeia	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de Ação para a Economia Circular (dezembro/2015-março/2019) (Direção-Geral das Atividades Económicas, 2022)

	<ul style="list-style-type: none"> • Nova Estratégia para a EC com novos requisitos para a eficiência dos materiais e no <i>eco design</i> nos PT (2020) (GE's Grid Solutions, 2021)
IAPMEI	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de Incentivos para tornar as empresas mais eficientes no contexto da EC (IAPMEI, 2018, p. 5)
REPLANT	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria de equipamentos já existentes e desenvolvimento de novos (rePLANT, 2021)
Sonae MC	<ul style="list-style-type: none"> • Better Planet – Política e Sistema de Gestão Ambiental e a Eco eficiência Operacional • Projeto Trevo – Redução do consumo de água e eletricidade, utilização de fontes renováveis e otimização da contratualização de energia (2009) (Eco.nomia, 2022a)
Sonae ARAUCO	<ul style="list-style-type: none"> • Madeira reciclada: “desperdício zero” ao longo de todos os processos produtivos, no âmbito de uma estratégia que tem como base um modelo de EC (Eco.nomia, 2022b)
INEGI	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto PRODUTECH4S&C (cofinanciado ao abrigo dos programas Lisboa 2020, COMPETE 2020, Portugal 2020 e Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)): pressupostos da EC e sustentabilidade, de forma a garantir resultados com impacto direto nas indústrias que utilizam tecnologias de produção (setembro/2021) • Metodologias Lean & Green no contexto da Indústria 4.0, bem como a modelos de valorização energética via simbiose industrial (setembro/2021) • Soluções energéticas sustentáveis que contribuam para a descarbonização dos processos produtivos, particularmente os térmicos (INEGI, 2021)
CCDR-Norte	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto europeu FrontSh1p de economia circular: garantir uma transição justa e ecológica para a descarbonização e regeneração territorial (novembro/2021) (CCDRN, 2021)
World Economic Forum	<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma para acelerar a Economia Circular (2019): Global Plastic Action Partnership, Circular Electronics Action Partnership, Global Battery Alliance, Trade & Circular Economy • The Circular Economy for Net-Zero Industry Transition (Antonia Gawel, 2022)
GE Grid Solutions	<ul style="list-style-type: none"> • Conceito de EC em PT: eficiência de material, extensão do prazo de vida através da monitorização do óleo e reciclagem (GE's Grid Solutions, 2021)

Carlsberg Group	<ul style="list-style-type: none"> • Primeira garrafa de cerveja biodegradável: criada a partir de recursos bio (State of Green, 2017)
Berg Outdoor	<ul style="list-style-type: none"> • Valorização de MP como o poliéster de cortiça ou a lã reciclada na concepção de calçado – reconhecido pela ISPO AWARDS 2017 (Ribeiro et al., 2018, p. 132)
Lipor	<ul style="list-style-type: none"> • Nutrimais: corretivo orgânico 100% natural proveniente de compostagem (Ribeiro et al., 2018, p. 136)
Montiqueijo	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema fotovoltaico que gera 30% da energia usada, sendo que, em 2017 reduziram a intensidade carbónica em 26% • Novo produto de 85g que contribuiu para a política de zero desperdício (Ribeiro et al., 2018, p. 138)
Revigrés	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporação de resíduos na produção • Redução da utilização de recursos endógenos • 100% de reutilização das águas residuais industriais • 100% embalagens recicladas e paletes tratadas (Ribeiro et al., 2018, p. 140)
Sun Concept	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentação de propulsores elétricos, exclusivamente, através de painéis fotovoltaicos, sendo que os barcos têm um nível de consumo zero (Ribeiro et al., 2018, p. 143)
Caixa Geral de Depósitos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Gestão Ambiental: reutilização de cartões MB através da reciclagem do seu plástico – triturados dão origem a resíduos PVC, que mais tarde são incorporados na produção de peças de mobiliário urbano, em plástico 100% reciclado (Ribeiro et al., 2018, p. 147)
Corticeira Amorim	<ul style="list-style-type: none"> • Solução para o núcleo do piso Alucork, aplicado em metros e comboios, permitindo reduzir o peso das carruagens em 30%, diminuindo os custos da energia e as emissões de CO₂ (2013) (Ribeiro et al., 2018, p. 150)
EDP	<ul style="list-style-type: none"> • Produção de mais de 70% de eletricidade a partir de fontes renováveis • As cinzas volantes de carvão captadas nos precipitadores eletrostáticos da Central de Sines foram comercializadas para a indústria do cimento e do betão como MP secundária (Ribeiro et al., 2018, p. 152)

Eaton	<ul style="list-style-type: none"> • Eaton's 2030 Sustainability Goals: zero waste discharge – estabelecimento de objetivos de redução da água e avaliação das práticas de gestão do seu uso. Desde 2015, reduziu-se o consumo de água em 710.597 metros cúbicos, o que equivale a uma redução de 14%. Utilização de práticas responsáveis de água para minimizar potenciais impactos negativos das águas residuais no ambiente e produção de soluções que melhorem a eficiência, qualidade, saneamento e dessalinização da água em comunidades de todo o mundo (EATON, 2022) • Capacitor Recycling Program to Drive More Circular Economy - permitiu aos clientes eliminar condensadores de energia envelhecidos, obsoletos ou danificados. Exemplo de caminho para EC, eliminando desperdícios e dando um melhor uso aos recursos naturais (EATON, 2020)
Ormazabal	<ul style="list-style-type: none"> • Basque Ecodesign Center: <i>eco design</i> e EC – apoiar a mudança para uma economia eficiente no uso de recursos e na redução de MP • Implementação de diferentes procedimentos de reciclagem e reutilização de equipamentos que promovam a eliminação e a redução do desperdício, oferecendo as ferramentas necessárias para gerar o menor impacto ambiental possível • Projects in the transformers division – reduzir as gorduras e os óleos (Ormazabal, 2021)
Schneider	<ul style="list-style-type: none"> • Global Footprint Network: avaliar atividades através da contabilização da pegada ecológica • Green Packaging Project: reduzir o uso de película de plástico, conservando 74 toneladas de MP (Schneider Electric, 2020)
Siemens	<ul style="list-style-type: none"> • Carbon Neutrall operations by 2030 (Siemens, 2022)
GALP Energia	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto RoadFix Cork pela refinaria de Matosinhos: juntar cortiça com betumes dando origem a um selante mais eficaz e duradouro (Ribeiro et al., 2018, p. 154)
OLX	<ul style="list-style-type: none"> • Reutilização de produtos em segunda mão • Redução de CO₂ em cerca de 3.1 milhões de toneladas (2015) (Ribeiro et al., 2018, p. 156)

2.1.5. Conceitos

➤ **Circularidade**

De acordo com World Business Council for Sustainable Development (2021, p. 32,70), “a percentagem de circularidade baseia-se na média entre a percentagem de entradas circulares e a percentagem de saídas circulares ponderadas pelo peso, dividida pela massa das entradas e saídas total, para um determinado produto, UN ou empresa”. A circularidade dos fluxos de entrada depende da natureza não virgem dos materiais e a oportunidade para melhoria está, não só, na avaliação das características dos materiais lineares, mas também, na exploração de alternativas renováveis ou não virgens (World Business Council for Sustainable Development, 2021, p. 53). Já relativamente à circularidade dos fluxos de saída, esta considera duas componentes (World Business Council for Sustainable Development, 2021, p. 53):

- Recuperação potencial – análise focada em oportunidades de otimização do design do material, de modo a adotar métodos que previnam a desmontagem, reparação e reciclabilidade;
- Recuperação efetiva.

Para além disso, de acordo com o modelo da EC da Fundação Ellen MacArthur, em Saidani et al. (2017), a *performance* da circularidade divide-se em quatro ciclos do tipo:

- Classe A – manter/prolongar os materiais/componentes o maior tempo possível;
- Classe B – reutilizar/redistribuir – otimizar o mercado de segunda mão, para evitar perdas de valor acrescentado;
- Classe C – remodelar/remanufaturar – devolver o produto com pelo menos as suas condições de origem;
- Classe D – reciclar.

➤ **Downcycling**

Este termo, segundo wbcscd (2021, p. 53), tendo por base uma análise de Campbell-Johnston et al. (2020), diz respeito à reciclagem de “algo, de tal forma que o produto resultante tem um valor inferior ao do artigo original.” e a uma perda das características originais do produto, que inviabiliza a sua utilização noutra função semelhante. O *downcycling* utiliza-se, normalmente, para descrever as propriedades materiais de um produto, o seu nível de degradação ou, no caso dos metais, se se tornam impuros, o que origina uma perda de valor económico.

➤ **Avaliação do ciclo de vida**

Esta avaliação de um produto deve ser feita desde a fase de extração da MP para o seu desenvolvimento até ao fim de vida útil do produto, isto é, até este ser devolvido à natureza, de modo a avaliar a *performance* ambiental do artigo, dos processos, sistemas industriais, entre outros. Para além disso, esta análise global envolve etapas como o processamento de material, a produção de processos, a logística e a manutenção (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 220). Este método compila e avalia as entradas, as saídas e os impactes ambientais potenciais de um sistema de produto (ISO, 2006).

➤ **Cadeia de valor**

A cadeia de valor da EC caracteriza-se através de um ciclo fechado de fluxo de material e é impulsionada por energia renovável. Existem várias possibilidades para os materiais circularem em

loops apertados, sendo uma delas o consumo e o uso, e outra a refabricação, ou seja, a utilização de materiais por mais de um ciclo de vida (Kalmykova et al., 2018). A Figura 6 mostra a circulação dos materiais na cadeia de valor da EC.

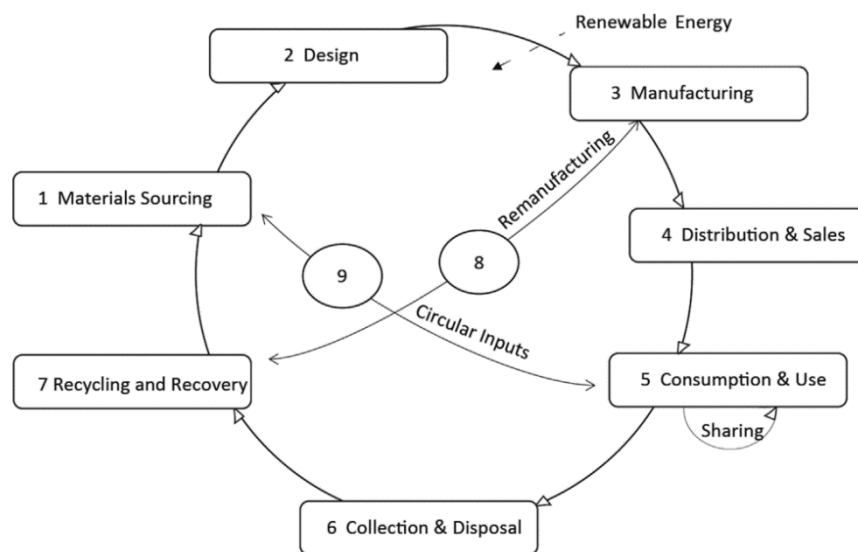


Figura 6. Cadeia de Valor da Economia Circular (Kalmykova et al., 2018)

A Figura 6 evidencia que esta circulação se inicia pela extração de MP seguindo-se a fabricação, vendas e consumo/uso. Após a utilização deve-se avaliar se existe a possibilidade de reciclar ou recuperar os materiais, para mais tarde se reintroduzirem no ciclo.

A transição para uma EC requer a reavaliação da importância dos resíduos na cadeia de valor. Esta transição necessita de mudanças nos modelos de negócio, uma total remodelação da cadeia de produção (IAPMEI, 2018), medições e monitorização da *performance* da sustentabilidade, tendo em consideração os desejos dos clientes por estas inovações e colaborando com as partes interessadas (Suchek et al., 2021).

➤ Extensão do ciclo de vida do produto

A partir de CIGRE (2020, p. 147) *“life extension is defined as a set of major interventions on a transformer, beyond “normal” maintenance, and repair, to remedy its problems, restore its condition and postpone a predicted end of functional, economic, or reliable life. It is applicable but not limited to aged transformers with or without defects or faults, functional or failed.”*

Para prolongar a vida de um produto devem ser desenvolvidos sistemas ou modelos de negócio centrados na manutenção, reparação, recondição e remanufactura de produtos, como processos de reconversão de resíduos em novos materiais ou produtos e sistemas de recolha eficiente (IAPMEI, 2018, p. 7).

➤ Fim de vida

O fim de vida de um produto é atingido quando o mesmo deixa de cumprir os objetivos aos quais foi designado, isto é, quando o produto deixa de cumprir o seu propósito e tem de ser substituído. No caso de um TRF, isto pode dever-se a um curto-circuito, a requisitos de aumento da tensão de serviço e a suportar requisitos de aumento de carga (CIGRE, 2020, p. 17).

➤ **Simbiose industrial**

Este termo diz respeito a uma estratégia de negócio entre entidades que colaboram no uso eficiente de recursos, de modo a melhorar o seu desempenho económico conjunto, com consequências positivas para o sistema natural, isto é, a partilha de infraestruturas, equipamentos comuns ou aluguer, serviços comuns e a utilização de recursos (IAPMEI, 2018, p. 7).

➤ **Eco eficiência**

A eco eficiência engloba modelos de produção mais eficientes e mais limpos, produzindo mais, ao menor preço, com menos recursos, menos resíduos e um menor impacto no ambiente (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 352 a partir de Jurado & Fuentes, 2014; IAPMEI, 2018, p. 7).

➤ **Eco design**

O *eco design* envolve processos e produtos com menos recursos, dando prioridade a materiais renováveis e com um menor risco para as pessoas e para o ambiente, bem como à reutilização de MP recuperadas. Tem foco na “modularização” dos componentes, permitindo uma fácil desmontagem, recuperação, reaproveitamento e triagem em fim de vida (IAPMEI, 2018, p. 7). É também uma integração sistemática de considerações ambientais na produção do artigo e o principal objetivo é o desenvolvimento de produtos que contribuam para a sustentabilidade, através da redução dos impactos ambientais, tendo em consideração requisitos como a funcionalidade, qualidade, segurança, custo, facilidade de produção e ergonomia (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 208).

As organizações que têm compromissos relacionados com o *eco design* têm uma maior probabilidade de percecionar as barreiras que vão surgindo, da parte dos custos, regulações e recursos humanos (Suchek et al., 2021, p. 9).

➤ **Eco inovação**

Este conceito reside na produção, assimilação ou exploração de um produto, processo de produção, serviço ou método de gestão de negócio inovador, para a organização e correspondentes resultados (IAPMEI, 2018, p. 7).

De acordo com OECD (2009, p. 2) a eco inovação é “*a new field of techno-social innovations that focuses on the environment and people*” e resulta numa diminuição do impacto ambiental. Para além disso, tem o potencial de conduzir a organização a oportunidades económicas significativas.

2.2. Avaliação de Ciclo de Vida

Da EC, onde se preza a utilização eficiente dos recursos, a diminuição das emissões de dióxido de carbono e dos gastos energéticos e a sustentabilidade, surge o termo ACV, como já apresentado nos conceitos no capítulo 0. Uma avaliação onde se podem considerar todas as etapas de um processo, de modo a avaliar o impacto ambiental de cada uma destas e a promover ações de EC, medindo a pegada carbónica e avaliando os desperdícios. Neste capítulo apresenta-se a definição de uma forma mais completa de uma ACV, a sua origem, vantagens e limitações, casos de estudo para analisar o estado da arte e o modo de como se deve proceder para fazer uma correta avaliação, com todas as etapas descritas.

2.2.1. Definição

Para que se consigam atingir padrões de consumo e produção sustentáveis, deve-se ter em conta o ciclo de vida e a sua avaliação. De acordo com Shrivastava e Unnikrishnan (2021, p. 24), o ambiente e os aspetos socio económicos da cadeia de abastecimento têm de ser considerados durante a análise de ciclo de vida. Numa ACV são avaliados estes aspetos ao longo da vida útil do produto, desde a fase de extração da MP até ao processamento de material, manufatura, distribuição, utilização, reparação, manutenção e reciclagem, como se pode visualizar na Figura 7 (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 220; International council of chemical associations, 2018). Assim, através desta avaliação será possível selecionar o produto ou processo com o menor ou maior impacte ambiental (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 220).

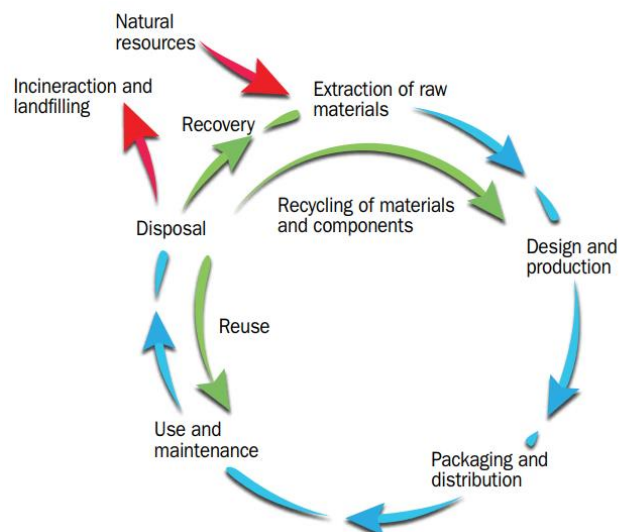


Figura 7. Processo de Avaliação de Ciclo de Vida (International council of chemical associations, 2018)

As possíveis abordagens para uma ACV são (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 222):

- “Cradle-to-grave”: desde a extração de MP até à eliminação do produto, incluindo manufatura, transporte e utilização;
- “Cradle-to-gate”: desde a extração de MP até à entrada na fábrica;
- “Gate-to-gate”: análise entre dois pontos na linha temporal do ciclo de vida de um produto.

Segundo a International Organization for Standardization (ISO), a ACV é uma técnica para avaliar os aspetos ambientais e potenciais impactes associados ao produto, através de (International council of chemical associations, 2018; ISO, 2006):

- Reunião de um inventário do que entra e do que sai de um sistema produtivo;
- Avaliação do potencial impacte ambiental associado a essas mesmas entradas e saídas.

2.2.2. Origem

De acordo com Gomes da Silva & Gouveia (2020, p. 220), a partir de Christiansen et al. (1998), a Coca-Cola foi pioneira num estudo sobre o consumo de recursos e o efeito, do consumo de latas, no ambiente, em 1969. Posteriormente, o UK, em 1972, começou a estudar o consumo de energia na produção de vários recipientes de diferentes materiais, como o alumínio, aço, vidro e plástico.

Em 1992, na UN Earth Summit, as metodologias de ACV foram redescobertas e ganharam proeminência do ponto de vista dos *stakeholders*, sendo consideradas uma das mais promissoras ferramentas para tarefas de gestão ambiental.

Relativamente a normas ISO relacionadas com a ACV, estas são:

- **ISO 14001:2015** (ISO, 2015) – requisitos de um sistema de gestão ambiental. Ajuda as organizações a melhorar a sua *performance* ambiental através da utilização de recursos mais eficientes e redução do desperdício, ganhando uma vantagem competitiva e a confiança dos *stakeholders*;
- **ISO 14040:2006** (ISO, 2015) – gestão ambiental e avaliação de ciclo de vida (princípios e enquadramento);
- **ISO 14044:2006** (Gomes da Silva & Gouveia, 2020, p. 223) – gestão ambiental e avaliação de ciclo de vida (requisitos e orientações).

2.2.3. Vantagens e Limitações

As vantagens/forças de uma ACV são (International council of chemical associations, 2018; (ISO, 2006):

- Utilizar métodos analíticos;
- Considerar ciclos de vida completos de um produto ou processo;
- Ter uma variedade de métodos de avaliação de impactos;
- Ter flexibilidade;
- Suportar a tomada de decisão;
- Útil na identificação de oportunidades de melhoria do desempenho ambiental dos produtos em vários pontos do ciclo de vida e na seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes.

Já no que diz respeito às suas limitações (International council of chemical associations, 2018):

- Ter uma vista instantânea – não conta com mudanças ao longo do tempo;
- Providenciar *inputs* para a tomada de decisão, mas não a resposta definitiva;
- Não calcular impactos para tópicos cujos modelos matemáticos não existem.

2.2.4. Casos de Estudo

Tabela 4. Casos de Estudo de ACV em TRF

Organização/Instituição	Estudo
ABB	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mature Transformer Management Program</i> (ABB, 2014) – metodologia, de quatro etapas, para avaliar todos os componentes do TRF individualmente, considerando os fatores que têm impacto na vida do TRF, como <i>design</i>, histórico de falhas, manutenção, ambiente operacional e exposição a falhas. Este programa providencia linhas guia para futuras manutenções e substituições de equipamentos, para garantir a maior fiabilidade possível.
RVS College of Engineering and Technology, India	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do ciclo de vida de um Transformador de Potência de 315 MVA (Pushpanjali et al., 2016) – métodos para que não aconteçam avarias no sistema elétrico aquando da ocorrência de falhas. As falhas num TRF levam à perda de receitas e afetam a fiabilidade do fornecimento de energia aos consumidores. Para garantir que os PT fornecem um longo serviço e sem problemas, realizaram-se vários testes de diagnóstico e ações corretivas ao longo da sua vida útil. Para os TRF em funcionamento há mais de 15 anos, deve-se avaliar a sua vida residual, através de análises da humidade, testes, análises de gás e medição de descargas parciais. Estes métodos podem ajudar os utilizadores a dar um melhor uso aos TRF e também tomar melhores decisões relativas à remodelação ou substituição.
Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Croatia & Koncar-Power Transformers Ltd., Croatia	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação do ciclo de vida de um Transformador de Potência de 210 MVA com 35 anos de vida (Hegedic et al., n.d.) – análise de três fases principais: produção, vida/utilização e fim de vida e utilizado o <i>software</i> SimaPRO para calcular o impacte ambiental. A fase com um maior impacto foi a de utilização, devido às perdas e à fonte de energia utilizada.

2.2.5. Metodologia

A metodologia de ACV foi desenvolvida nos anos noventa e continua numa constante atualização que levou à sua standardização por parte da ISO 14040 (Yue & You, 2014); Chevalier et al., 2011). Ao ser aplicada, esta metodologia ajuda a organização a encontrar os ciclos de vida com um maior e menor impacte no ambiente e a escolher indicadores que revelem o comportamento ambiental da organização (Muralikrishna & Manickam, 2018). Desta forma, com esta avaliação será possível medir os seguintes impactos (Muralikrishna & Manickam, 2018): pegada de carbono, pegada

ecológica, pegada energética, potencial esgotamento de ozono, *smog*, danos ecológicos, entre outros.

Para implementar uma análise de ciclo de vida é necessário seguir quatro etapas (ISO, 2006; Yue & You, 2014):

1. Definir objetivo e âmbito;
2. Analisar o inventário;
3. Avaliar o impacto;
4. Interpretação.

A Figura 8 demonstra o processo referido.

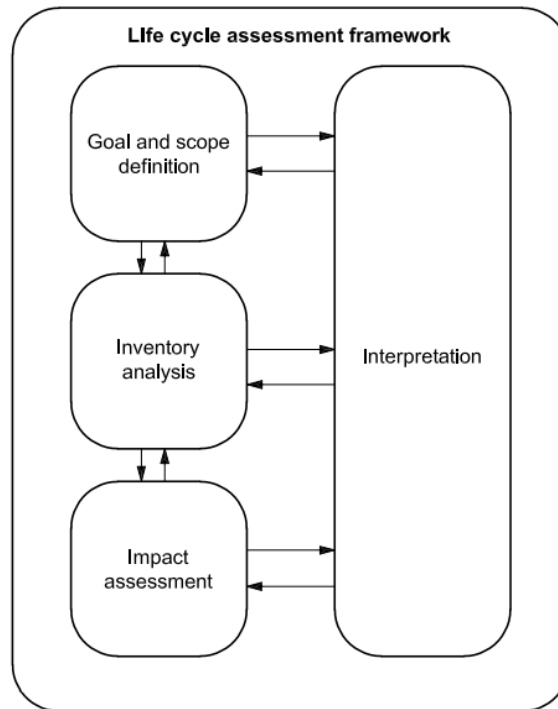


Figura 8. Fases do processo de uma ACV (ISO, 2006)

A primeira fase “*Goal and scope definition*”, inclui as seguintes etapas (International council of chemical associations, 2018; Yue & You, 2014):

- Especificar a razão do estudo, incluindo a identificação da função do produto no início do estudo que terá influência nos métodos da seguinte etapa;
- Identificar a audiência;
- Definir fronteiras (*cradle-to-gate, cradle-to-grave, gate-to-gate*);
- Identificar requisitos;
- Reconhecer as limitações do estudo;
- Estabelecer referências geográficas e temporais que podem ser calculadas ou estimadas tendo por base produtos semelhantes.

Na segunda fase “*Inventory analysis*” (International council of chemical associations, 2018; Yue & You, 2014; Muralikrishna & Manickam, 2018):

- Coletar, validar e agregar *inputs* e *outputs* para quantificar o material e a energia utilizados, as descargas ambientais e o desperdício associado a cada fase do ciclo de vida. Este fluxo engloba a entrada de água, energia e MP e a saída de produtos, desperdícios e emissões para o ar, terra e água.

Na seguinte fase “*Impact assessment*” (International council of chemical associations, 2018; Yue & You, 2014):

- Selecionar as categorias, indicadores, fatores de equivalência e valores de ponderação que serão consideradas no estudo e, através destes, traduzir os dados brutos em potencial impacto na saúde humana e no ambiente, analisados no passo anterior;

Por fim, na quarta e última fase “*Interpretation*” (International council of chemical associations, 2018; Yue & You, 2014):

- Identificar e estruturar os resultados, de modo a determinar erros significativos;
- Validar os resultados por terceiros e se a intenção for utilizar os resultados externamente, devem-se indicar os impactos significativos e recomendar os métodos para reduzir a quantidade de material usada.

De acordo com Yue & You (2014), os resultados das fases de interpretação e do impacto da avaliação, nomeadamente das fases 3 e 4, devem ser interpretados tendo em conta o objetivo do estudo, definido inicialmente, e devem incluir uma avaliação dos *inputs*, *outputs* e escolhas metodológicas, de modo a perceber a incerteza destes.

Por fim, uma ACV torna possível a comparação entre uma variedade dos elementos de componentes, produtos, sistemas, destaca os pontos com um maior impacto no ciclo de vida de um produto e implementa medidas para reduzir o impacto global ambiental (Chevalier et al., 2011). Esta deve ser realizada através de um *software* especializado. Existem diversos *softwares* que estão disponíveis, tanto *online*, como para o desktop, que são apresentados, estudados e comparados mais à frente neste projeto. Estes permitem a realização da ACV de uma forma correta, através do preenchimento de um relatório com os dados necessários. Esta comparação é feita tendo por base alguns critérios selecionados, sendo que para isto se deve recorrer a métodos complexos e próprios para o efeito, que tomam o nome de *Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) Methods*. Alguns exemplos destes são: Analytical Hierarchical Procedure (AHP), ELECTRE, Promethee, MACBETH, TOPSIS, VIKOR, Goal Programming, entre muitos outros.

página propositadamente em branco

3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

A presente investigação adota o estudo de caso como abordagem metodológica de acordo com as recomendações da literatura (Voss et al., 2002; Yin., 2014). Para analisar e avaliar o ciclo de vida do transformador de potência para apoio à implementação da economia circular na Efacec, foi desenvolvido um estudo de caso com base nas etapas propostas por Yin (2014). Este estudo incluiu quatro pontos: contextualização teórica com base na Economia Circular e na Análise de Ciclo de Vida, planeamento do caso, recolha de dados e a análise e avaliação do ciclo de vida do transformador de potência, incluindo a seleção de *softwares*, bases de dados e ferramentas de cálculo da circularidade e, por fim, análise e discussão dos resultados.

Desta forma, neste capítulo é estudado o processo produtivo, a vida e o pós primeira vida do produto foco deste projeto, bem como as MP associadas a cada uma das etapas, o estudo e a utilização do *software* para realizar a ACV e uma reflexão e comparação das ferramentas para calcular o grau de circularidade.

3.1. Ciclo de Vida do Transformador de Potência

No presente trabalho são estudados e avaliados os materiais utilizados na produção dos PT. Um TRF consiste em dois sistemas de enrolamentos acoplados magneticamente e é utilizado como um conversor de tensão e corrente para energia elétrica (CIGRE, 2020, p. 40). Um TRF de potência, habitualmente, tem um tempo de vida útil entre vinte e cinco a quarenta anos, podendo estar operacional para além dos sessenta (CIGRE, 2020, p. 16). Os PT produzidos denominam-se (Efacec Power Solutions, 2022d):

- PT Shell, na Figura 9, até 1500MVA e 550kV (BIL 1675 kV);
- PT Core, na Figura 10, até 350MVA e 420kV (BIL 1425kV);
- Sistema Modular Core, de 10MVA até 170MVA até 400kV.



Figura 9. Transformador de Potência Shell



Figura 10. Transformador de Potência Core

Os PT encontram-se divididos em quatro partes que se podem visualizar na Figura 11 (CIGRE, 2020, p. 39):

- Parte ativa que realiza a maior parte da função do TRF e engloba: *core* (núcleo), *windings* (enrolamentos) e isolamento sólido e líquido;
- Travessias (*bushings*) que permitem a passagem de energia através da cuba para a parte ativa;
- Cuba, para conter o óleo e a parte ativa, e arrefecimento, para a gestão da temperatura;
- *Tap-changer* (*comutador*) que permite ajustar a tensão à rede a que está ligada.

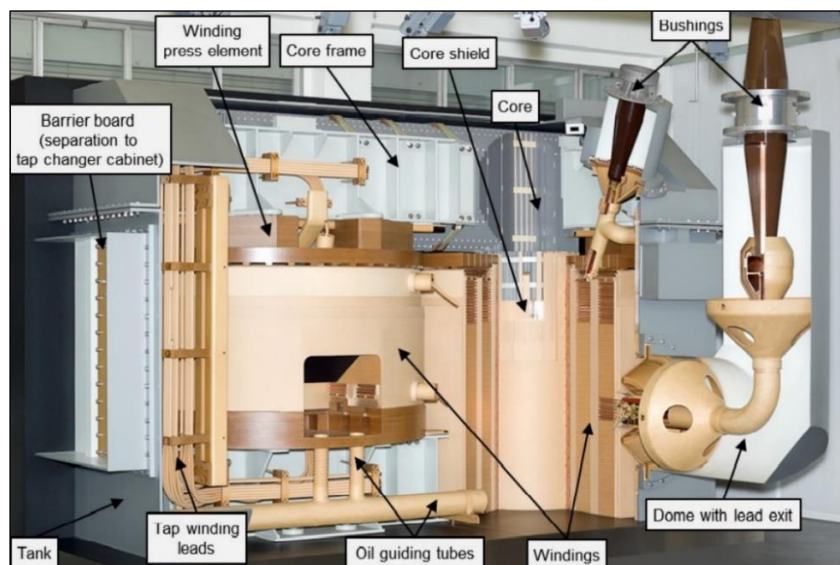


Figura 11. Modelo de Transformador de Potência (CIGRE, 2020, p. 39)

3.1.1. Matérias-primas

No que diz respeito às MP utilizadas na produção destes TRF, as mesmas dividem-se nas oito categorias seguintes:

- Metais ferrosos:
 - Ferro;
 - Aço inoxidável;

- Aço carbono.
- Metais não ferrosos:
 - Alumínio
 - Cobre.
- Plásticos:
 - Juntas de borracha;
 - Teflon.
- Laminado de madeira;
- Papel e cartão;
- Iluminação e componentes eletrônicos;
- Materiais de construção:
 - Sílica gel;
 - Vidro.
- Produtos químicos:
 - Tintas;
 - Verniz;
 - Inorgânicos – água;
 - Orgânicos – querosene e óleo;
 - Colas.

Já no processo em si, são utilizados: gás natural, fuelóleo e eletricidade de baixa, média e alta voltagem.

3.1.2. Processo Produtivo

O processo produtivo do PT Core, obtido a partir de documentação interna da empresa, encontra-se representado na Figura 12 e é descrito após a mesma.

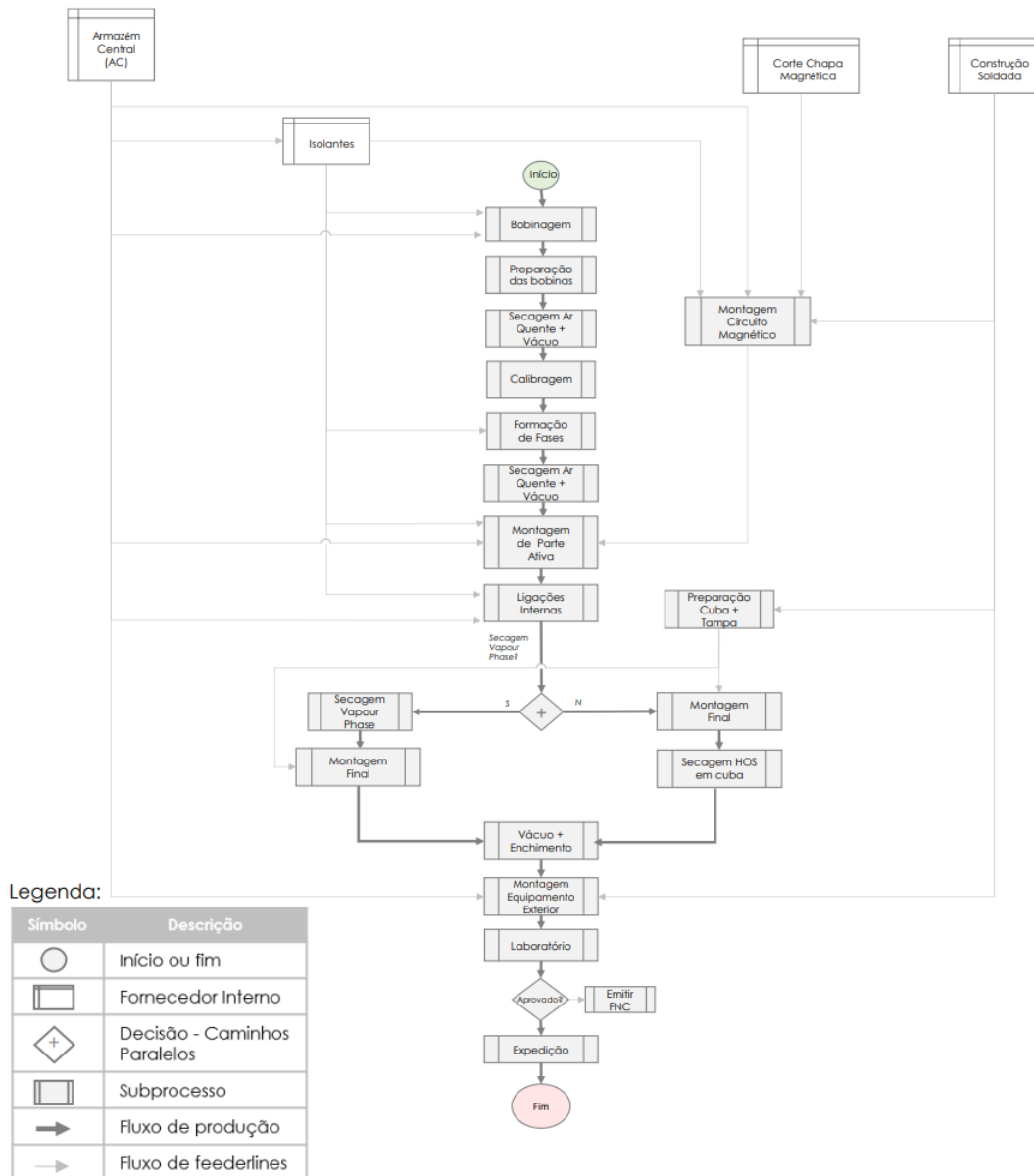


Figura 12. Processo Produtivo do TRF de Potência Core

Inicialmente, na construção soldada são utilizados aço carbono, tintas, diluente, granalha e verniz. A bobinagem, a montagem do Circuito Magnético (CM) e a preparação Cuba + Tampa são etapas que podem acontecer em paralelo.

A bobinagem tem como MP isolantes, barra de cobre ou alumínio e inicia-se com a preparação das máquinas AT e BT e respectivas bobinagens, para depois acoplar ao CM. O CM, normalmente, é construído na empresa, mas, em caso de necessidade, devido à limitada capacidade de produção, pode ser comprado externamente. Na sua montagem entram como MP isolantes, banda de chapa magnética cortada, que, juntamente com cartão cortado, travessas, pernos e tirantes são utilizados na montagem da parte ativa. Os isolantes são constituídos por cartão e papel que são cortados, formando calagens e tubos de cartão, para serem usados na Bobinagem AT e BT. Para além destes, também são isolantes: laminado de madeira, nomex e cola branca. Na preparação Cuba + Tampa usam-se mangas em conjunto com tubos de papel isolante e barra de ligações de cobre ou alumínio,

travessias, pernos e um comutador. O CM, a bobinagem, a cuba e a tampa constituem a parte ativa do PT.

Após a bobinagem, faz-se a secagem das bobinas a ar quente e depois sob vácuo, a calibragem, a formação de fases onde entra cartão e cola, e a secagem, novamente, a ar quente e depois sob vácuo.

Posteriormente, pode-se efetuar a montagem da parte ativa e as ligações internas AT e BT, isto é, liga-se a bobinagem AT ao comutador e às travessias AT na tampa, e a bobinagem BT às travessias BT, sendo a interligação entre as bobinas conforme o tipo de grupo de ligação do TRF. Estas ligações são executadas com a utilização de cabos multifilares, de papel, cola e acessórios de cravação.

Mais tarde, pode-se ir diretamente para a montagem final, onde entra o conjunto cuba + tampa e de seguida submeter o TRF a uma secagem *hot oil spray* (HOS) em cuba, ou passar primeiro por uma secagem *vapour phase* com vapor de querosene, e só depois realizar a sua montagem.

Por fim, dá-se o vácuo e o enchimento com óleo, a montagem do equipamento exterior, com o auxílio de juntas de borracha, dispositivos eletrónicos, aço inox e sílica gel, e os ensaios em laboratório para aprovar o TRF, e, finalmente, a expedição, onde se prepara o envio para o cliente de acordo com o respetivo caderno de encargos, e onde se utiliza madeira e plásticos para embrulhar.

Já relativamente ao processo de produção do PT Shell, que no geral tem MP semelhantes ao processo do PT Core, obtido também a partir de documentação interna da empresa, este apresenta-se na Figura 13 e é também descrito após esta.

Na fase de produção faz-se o tratamento de resíduos e o transporte dos mesmos.

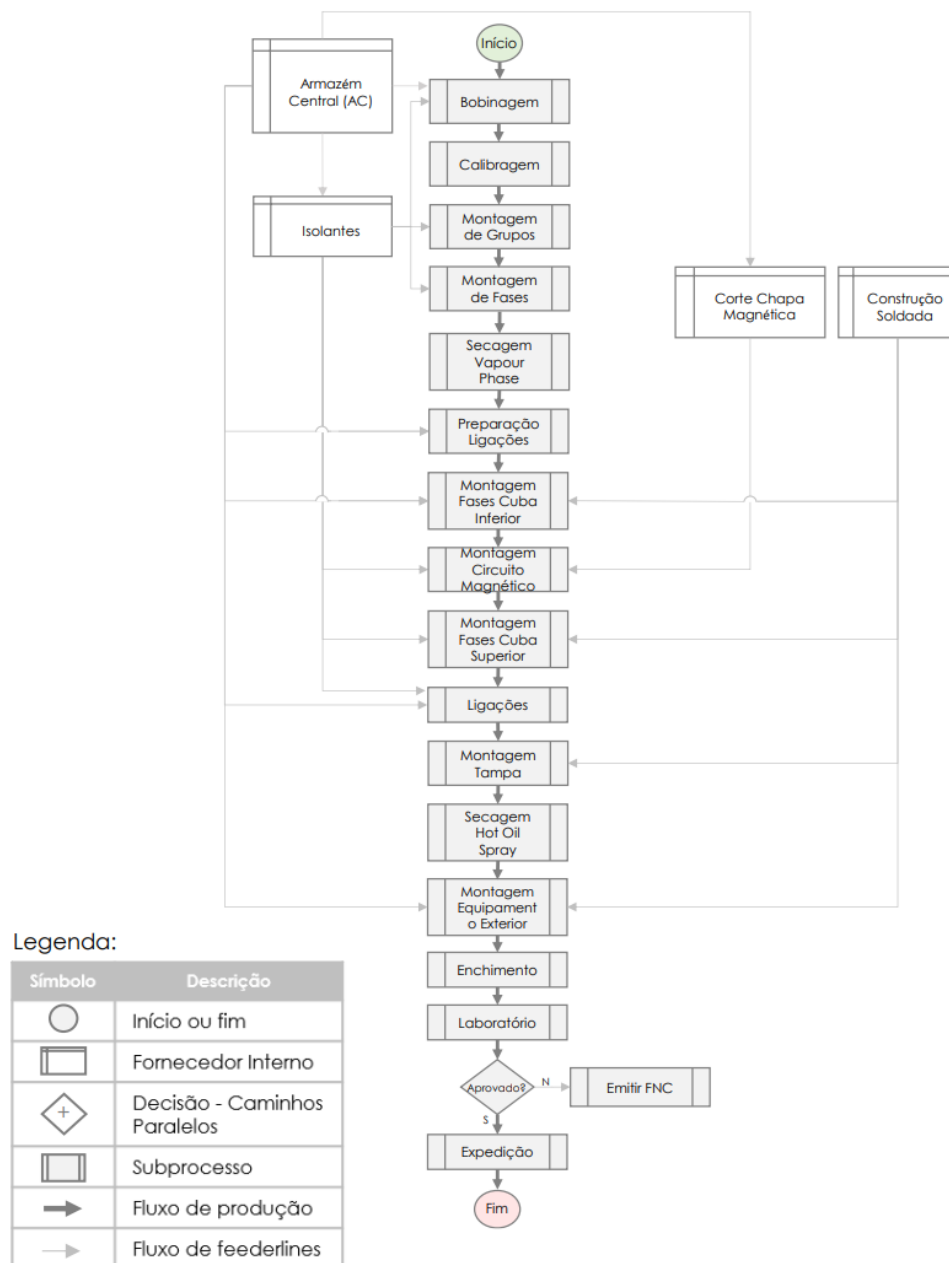


Figura 13. Processo Produtivo do TRF de Potência Shell

Na bobinagem entram as MP banda e barra de ligações de cobre ou alumínio, isolantes e inicia-se a calibragem, a montagem de grupos e de fases com isolantes.

Posteriormente, dá-se a secagem *vapour phase*, a preparação das ligações, a montagem de fases da cuba inferior e a montagem do CM. O CM, normalmente e mais uma vez, é feito na empresa, mas, em caso de necessidade, devido à limitada capacidade de produção, pode ser comprado externamente. Na sua montagem entram como MP isolantes, banda de chapa magnética cortada, que, juntamente com cartão cortado, travessas, pernos e tirantes são utilizados na montagem da parte ativa. Estes isolantes são constituídos por cartão e papel que são cortados formando calagens e écrans. Para além destes, e assim como nos TRF Core, também são isolantes: laminado de madeira, nomex e cola branca.

Na construção soldada são utilizados aço carbono, tintas, diluente, granelha e verniz.

Após a montagem do CM, efetua-se a montagem de fases da cuba superior com isolantes e as ligações internas AT e BT, isto é, liga-se a bobinagem AT ao comutador e às Travessias AT na tampa, e a bobinagem BT às travessias BT, sendo a interligação entre as bobinas conforme o tipo de grupo de TRF. Estas ligações são executadas com a utilização de cabos multifilares, papel, cola e acessórios de cravação.

Mais tarde, pode-se seguir para a montagem da tampa, secagem HOS e montagem do equipamento exterior, juntas de borracha, dispositivos eletrônicos, aço inox e sílica gel.

Por fim, dá-se o enchimento com óleo, os ensaios em laboratório para aprovar o TRF, e, finalmente, a expedição, recorrendo a madeira e plásticos, onde se prepara o envio para o cliente de acordo com o respetivo caderno de encargos.

Na fase de produção faz-se o tratamento de resíduos e o transporte destes.

3.1.3. Utilização

A fase de utilização do TRF inicia-se com o transporte do mesmo para o respetivo local, no final da sua produção. Após a sua instalação e ao longo da sua vida, o TRF tem consumos de energia para transformar a energia necessária. Para além disso, dá-se a degradação de materiais e componentes, o tratamento de resíduos da embalagem e o transporte dos mesmos.

3.1.4. Pós primeira vida

Após a primeira vida do TRF, o mesmo pode sofrer variadas transformações que promovem a EC para que este seja reintroduzido na cadeia, dando-lhe uma segunda vida. Este tipo de trabalhos pode ser feito no local onde se encontra o TRF ou nas próprias instalações da empresa, caso seja mais benéfico para o efeito ou necessário dependendo do tipo de manutenção. Os diferentes tipos de ações a que um TRF pode estar sujeito, de acordo com a Norma EN 50708-1-1:2020, são os seguintes (Standard, 2020):

- **Repair** – atividade de revisão que não prolonga o desempenho energético nem a esperança de vida de um TRF. Exemplos: substituição de componentes principais, substituição de uma fase de bobinagem, substituição de todas as bobinas de uma fase, substituição de um enrolamento, secagem e aperto da parte ativa ou reparação de fugas e proteção contra a corrosão;
- **Upgrade** – atividade de revisão que aumenta o desempenho energético, mas não aumenta a esperança de vida de um TRF. Exemplos: substituição do núcleo utilizando um material com uma menor perda específica, substituição de alguns enrolamentos por novos que proporcionam uma menor perda em carga ou substituição de ventiladores ou bombas por outros mais eficientes;
- **Refurbishment** – atividade de revisão que prolonga a esperança de vida, mas não aumenta o desempenho energético de um TRF, através da substituição de componentes ou peças cujo tempo de vida determina o tempo de vida global do TRF, envelhecendo mais rápido do que outros componentes. Exemplos: aumento do arrefecimento exterior para baixar a taxa relativa de envelhecimento térmico, substituição do líquido isolante, substituição de

todos os enrolamentos por novos do mesmo desenho e material, substituição do comutador de tomadas ou substituição do isolamento completo;

- **Retrofit** – atividade de revisão que aumenta o desempenho energético e a esperança de vida de um TRF. Exemplos: substituição de uma parte ativa completa por uma nova, proporcionando um maior desempenho energético ou substituição do comutador de tomadas, das travessias e do isolamento completo.

Nestas fases é, portanto, feito o tratamento de resíduos, através da reciclagem ou deposição em aterro, e transporte dos mesmos. Por fim, caso seja possível, o TRF é transportado novamente para o local para se dar início à sua segunda vida. O Anexo 2 apresenta o excerto da norma consultada.

3.1.5. Análise global

A duração de cada uma das etapas anteriormente apresentadas no capítulo 3.1.2 e o número de ciclos encontram-se na Tabela 5. De notar que os valores a considerar são relativos a um PT Core, mais à frente apresentado.

Tabela 5. Duração das etapas do processo produtivo

Etapa	Nº de ciclos	Duração (min)	Total (h)
Montagem CM	1	200,00	3,33
Bobinagem AT	3	3.324,00	166,20
Bobinagem BT	3	1.473,00	73,65
Secagem Ar quente + Vácuo	1	2.040,00	34,00
Formação de Fases	1	5.553,00	92,55
Secagem <i>Vapour phase</i>	3	3.300,00	165,00
Montagem Parte Ativa + Montagem Final	1	4.694,40	78,24
Vácuo + Enchimento	1	2.635,20	43,92
Montagem Equipamento Exterior	1	2.260,80	37,68
Ensaio de Vazio no Laboratório	1	60,00	1,00

Ensaio de Curto Circuito no Laboratório	1	90,00	1,50
Ensaio de Aquecimento no Laboratório	1	1.080,00	18,00
Ensaio Induzida no Laboratório	1	10,00	0,17

Relativamente à potência de cada uma das respetivas máquinas, a Tabela 6, apresenta as mesmas.

Tabela 6. Potência de cada máquina do processo

Máquina	Potência (kW)
Montagem do CM	30
Bobinagem AT	16
Bobinagem BT	16
Secagem Ar quente + Vácuo	260
Formação de Fases	12
Secagem <i>Vapour phase</i>	450
Montagem Parte Ativa + Montagem Final	60
Vácuo + Enchimento	130
Montagem Equipamento Exterior	30
Ensaio de Vazio no Laboratório	277,44
Ensaio de Curto Circuito no Laboratório	2.774,44
Ensaio de Aquecimento no Laboratório	2.774,44
Ensaio Induzida no Laboratório	34,94

Na montagem do CM dá-se o corte de chapa magnética que gasta uma potência de 30 kW.

Nas etapas de bobinagem, o trabalho inicial de colocar o mandril e retirar a bobina gasta uma potência de 7kW com a utilização de uma ponte rolante. No entanto, dado se tratar de uma potência baixa, não se considerou a mesma para o trabalho em estudo, visto não ser significativa.

A potência gasta na máquina da etapa “Secagem Ar quente + Vácuo” resulta do somatório de três potências, nomeadamente da unidade de calor (200 kW), dos ventiladores da cuba (30 kW) e da unidade de vácuo (30kW). A secagem é feita em ciclos de ar quente e vácuo. Ora, no ciclo de ar quente está em funcionamento a unidade de calor e os ventiladores, já no ciclo a vácuo está em funcionamento a unidade de calor e a unidade de vácuo.

Relativamente à “Formação de Fases”, esta exige um trabalho muito manual e é onde se utilizam uma ponte para movimentar bobinas e uma plataforma de elevação.

As secagens são as etapas em que as máquinas gastam uma maior potência, seguidas do vácuo e do enchimento.

Por fim, as montagens de equipamento apresentam potências gastas relativamente baixas, como a bobinagem.

No laboratório, como se pode observar nas tabelas apresentadas, dão-se quatro tipos de ensaios, sendo que, as potências mais elevadas são atingidas nos ensaios de curto-circuito e de aquecimento. As potências dos ensaios dizem respeito a potências de um motor alternador, de um *chiller* e de bombas de arrefecimento, sendo que as mesmas variam consoante o tipo de ensaio.

Desta forma, fazendo o produto da potência de cada máquina pela respetiva duração total da etapa e por um fator de redução, que considera os tempos de inatividade das máquinas e que foi acordado entre os membros da equipa de trabalho, pode-se obter o consumo energético em cada etapa do processo de produção de um PT Core, apresentado na Tabela 7. Estes consumos funcionam como *inputs* na ACV para além das MP existentes. Nas etapas bobinagens, formação de fases e montagens foi utilizado um fator de 70%. Nas secagens e no vácuo + enchimento não se multiplicou por nenhum fator. Já nos ensaios de vazio e induzida o fator foi de 5%, enquanto nos ensaios de curto-circuito e de aquecimento foi de 50%.

Tabela 7. Consumo energético total

Etapa	Consumo total (kWh)
Montagem do CM	70,00
Bobinagem AT	1.861,44
Bobinagem BT	824,88
Secagem Ar quente + Vácuo	8.840,00

Formação de Fases	777,42
Secagem <i>Vapour phase</i>	74.250,00
Montagem Parte Ativa + Montagem Final	3.286,08
Vácuo + Enchimento	5.709,60
Montagem Equipamento Exterior	791,28
Ensaio de Vazio no Laboratório	13,87
Ensaio de Curto Circuito no Laboratório	2.080,83
Ensaio de Aquecimento no Laboratório	24.969,96
Ensaio Induzida no Laboratório	0,29

Conclui-se então que as fases que consomem mais energia ao longo da produção do PT Core são as etapas Secagem, Ensaio de Aquecimento no Laboratório e Vácuo + Enchimento e a etapa que gasta menos energia é Ensaio Induzida no Laboratório. Na produção de um PT Core a energia total consumida é de, aproximadamente, 123.475 kWh.

Os resíduos que vão para tratamento ou aterro e as respectivas quantidades foram obtidos a partir do estudo da Ficha sobre Produção de resíduos fornecida pelo departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança. Estes dados encontram-se na Tabela 8 e dizem respeito à produção de PT Core.

Tabela 8. Resíduos extraídos da produção de PT Core

Descrição do(s) resíduo(s)	Tipo de processamento	Quantidade anual (Ton)	Quantidade PT Core (Kg)
080117 (*) Resíduos da remoção de tintas e vernizes, contendo solventes orgânicos ou outras substâncias perigosas)	Aterro	2,51	4,36
080117 (*) Resíduos da remoção de tintas e vernizes, contendo solventes orgânicos ou outras substâncias perigosas)	Reciclagem	7,97	13,85
120101 (Aparas e limalhas de metais ferrosos)	Reciclagem	149,09	259,04

120103 (Aparas e limalhas de metais não ferrosos)	Reciclagem	85,58	148,70
130208 ((*) Outros óleos de motores, transmissões e lubrificação)	Reciclagem	6,40	11,13
130307 ((*) Óleos minerais isolantes e de transmissão de calor não clorados)	Reciclagem	185,00	321,44
150101 (Embalagens de papel e cartão)	Reciclagem	39,16	68,05
150102 (Embalagens de plástico)	Reciclagem	13,82	24,01
150103 (Embalagens de madeira)	Reciclagem	252,21	438,21
150110 ((*) Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas)	Reciclagem	16,16	28,08
150202 ((*) Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo sem outras especificações), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas)	Reciclagem	20,41	35,47
170103 (Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos)	Reciclagem	9,22	16,02
170411 (Cabos não abrangidos em 17 04 10)	Reciclagem	4,82	8,37
200101 (Papel e cartão)	Reciclagem	5,02	8,72
200136 (Equipamento elétrico e eletrônico fora de uso não abrangido em 20 01 21, 20 01 23 ou 20 01 35)	Reciclagem	12,06	20,95
200138 (Madeira não abrangida em 20 01 37)	Reciclagem	105,92	184,04
200139 (Plásticos)	Reciclagem	2,50	4,34

200140 (Metais)	Reciclagem	575,08	999,20
200301 (Misturas de resíduos urbanos equiparados)	Aterro	97,34	169,13
200301 (Misturas de resíduos urbanos equiparados)	Reciclagem	5,28	9,17
080117 ((* Resíduos da remoção de tintas e vernizes, contendo solventes orgânicos ou outras substâncias perigosas)	Aterro	2,51	4,36
080117 ((* Resíduos da remoção de tintas e vernizes, contendo solventes orgânicos ou outras substâncias perigosas)	Reciclagem	7,97	13,85
120101 (Aparas e limalhas de metais ferrosos)	Reciclagem	149,09	259,04
120103 (Aparas e limalhas de metais não ferrosos)	Reciclagem	85,58	148,70
130208 ((* Outros óleos de motores, transmissões e lubrificação)	Reciclagem	6,40	11,13
130307 ((* Óleos minerais isolantes e de transmissão de calor não clorados)	Reciclagem	185,00	321,44
150101 (Embalagens de papel e cartão)	Reciclagem	39,16	68,05
150102 (Embalagens de plástico)	Reciclagem	13,82	24,01
150103 (Embalagens de madeira)	Reciclagem	252,21	438,21
150110 ((* Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas)	Reciclagem	16,16	28,08

150202 ((*)) Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo sem outras especificações), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas)	Reciclagem	20,41	35,47
170103 (Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos)	Reciclagem	9,22	16,02
170411 (Cabos não abrangidos em 17 04 10)	Reciclagem	4,82	8,37
200101 (Papel e cartão)	Reciclagem	5,02	8,72
200136 (Equipamento elétrico e eletrônico fora de uso não abrangido em 20 01 21, 20 01 23 ou 20 01 35)	Reciclagem	12,06	20,95
200138 (Madeira não abrangida em 20 01 37)	Reciclagem	105,92	184,04
200139 (Plásticos)	Reciclagem	2,50	4,34
200140 (Metais)	Reciclagem	575,08	999,20
200301 (Misturas de resíduos urbanos equiparados)	Aterro	97,34	169,13
200301 (Misturas de resíduos urbanos equiparados)	Reciclagem	5,28	9,17

A primeira coluna, designada “Descrição do(s) resíduo(s)”, como o nome indica diz respeito à descrição de todos os tipos de resíduos considerados no estudo. Já a coluna seguinte “Tipo de processamento” indica se o destino dos resíduos foi a eliminação em aterro ou a sua reciclagem. A terceira coluna “Quantidade anual (Ton)” apresenta as quantidades anuais de resíduos produzidos na Efacec Energia provenientes de todas as unidades de negócio, no ano de 2021. Desta forma, na última coluna seguiram-se os passos apresentados para se obter as quantidades de resíduos produzidas por um PT Core:

1. Sabendo que, a partir da ficha sobre produção de resíduos, as percentagens de resíduos de cada UN são:

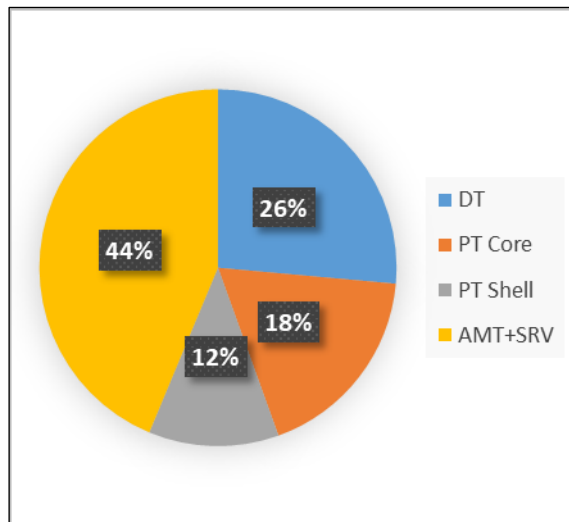


Figura 14. Gráfico dos resíduos por UN

Fez-se o produto das quantidades da terceira coluna, ou seja, das quantidades totais anuais, por 18%, sendo que, as quantidades de interesse eram as dos PT Core.

2. Multiplicou-se o resultado por 1000 de modo a fazer a conversão de toneladas para quilogramas;
3. Por fim, dividiu-se o valor obtido por 104, visto que, idealmente deveriam ser produzidos 2 PT Core por semana e como um ano tem 52 semanas, tem-se um total de 104 PT Core produzidos anualmente. Esta situação ideal foi considerada como sendo um pressuposto no projeto.

Na produção de um PT Core são então produzidos aproximadamente 2.772,294 Kg de resíduos.

Já ao longo da vida do TRF, e considerando esta com um tempo de, aproximadamente, 40 anos de acordo com CIGRE (2020, p. 124), sendo que o TRF está em funcionamento 24 horas por dia e que um ano tem 365 dias, perfaz um total de 350.400 horas de utilização a sua vida toda.

Segundo a União Europeia (2014, p. 1), Regulamento (UE) Nº 548/2014 da Comissão de 21 de maio de 2014, que dá execução à Diretiva 2009/125/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, no que diz respeito aos TRF de pequena, média e grande potência, a partir do estudo realizado, com as partes interessadas da União Europeia, para analisar aspetos ambientais e aspetos económicos relacionados com TRF, concluiu-se que “a energia na fase de utilização é o aspeto ambiental mais significativo que pode ser abordado através da conceção dos produtos”. Uns anos mais tarde, o estudo foi novamente realizado e, de acordo com a União Europeia (2019, p. 1), Regulamento (UE) 2019/1783 da Comissão de 1 de outubro de 2019, que altera o Regulamento (EU) nº 548/2014 da Comissão, previamente citado, “durante a fase de utilização, o impacto do consumo de energia sobre o potencial de aquecimento global continua a ser dominante”.

Desta forma, para se obter um valor aproximado das perdas em carga do TRF, durante a sua utilização, de acordo com o fabricante de chapa magnética Thyssenkrupp, com o qual se teve contacto por *email*, deve-se seguir a lógica presente na Equação 1.

$$Load losses = Working induction * Building factor * Core weight * 350400$$

Equação 1

Legenda:

1. *Working induction* = 1.5 T;
2. *Building factor* = 1.2;
3. *Core weight* = peso total da chapa magnética final.

Já para os TRF Efacec, estas perdas que o mesmo terá na sua utilização são medidas no laboratório e apresentadas no respetivo Relatório de ensaios. Assim, para um PT de 60/30kV e 20MVA, produto em estudo que será apresentado novamente mais à frente neste projeto, as perdas encontram-se apresentadas na Tabela 9. O excerto do relatório dos ensaios em laboratório utilizado para consulta encontra-se representado no Anexo 3.

Tabela 9. Perdas do Transformador de Potência

Tipo	Potência (kW)
Perdas em vazio	14,0
Perdas em carga	111,6
Perdas totais	125,6

De acordo com a União Europeia (2014, p. 4), as perdas em vazio são “a potência ativa absorvida à frequência nominal quando o TRF é alimentado e o circuito secundário está aberto” e permanecem constantes ao longo do tempo e as perdas em carga dizem respeito à “potência ativa absorvida à frequência nominal e à temperatura de referência associada a um par de enrolamentos, quando a corrente nominal passa através do ou dos terminais de linha de um dos enrolamentos e os terminais dos outros enrolamentos estão em curto-circuito com qualquer enrolamento equipado com tomadas ligado na tomada principal” e variam ao longo da vida do TRF.

Desta forma, e considerando o diagrama de cargas da REN de 2018 de uma área urbana, disponível no site da mesma, os valores obtidos foram os presentes na Tabela 10.

Tabela 10. Potências do diagrama de cargas

Potência máxima (MW)	8.793,9
Potência média (MW)	5.810,3

Ora, sendo que o TRF se localiza numa área urbana podem-se ter em consideração estes dados para o presente estudo. Desta forma, fazendo o quociente entre a potência média e a máxima, obtém-se que ao longo da sua vida este está a uma carga média de 66%. Assim, seguiu-se a fórmula presente na Equação 2 para realizar o cálculo da energia total gasta.

$E = (14,0 * 0,66 + 111,6 * 0,66^2) * 350400$	Equação 2
-----------------------------------------------	-----------

O resultado obtido para o valor total da energia consumida por um TRF na sua total utilização foi de 20.271.677 kWh.

Para além disso, a ABB publicou o artigo “Total Cost of Ownership (TCO) – Lifetime costs for transformers” em 2015 que aborda o custo total ao longo da vida de um TRF. Assim, de acordo com ABB (2015), o cálculo do custo total deve-se efetuar a partir da fórmula presente na Equação 3.

$TCO = Ct + (A * P0) + (B * Pk)$	Equação 3
----------------------------------	-----------

Legenda:

1. Ct = *Transformer purchase price* – pode ser considerado ou não para o projeto;
2. A = *Capitalization factor for no-load loss*;
3. B = *Capitalization factor for load-loss*;
4. $P0$ = *No-load loss*;
5. Pk = *Load loss*.

Em ABB (2009) fez-se um caso de estudo de exemplo em que se calcularam os fatores A e B, através de uma ferramenta de cálculo própria da empresa, para os quais se obteve os valores de 14,6 e 3,35 respetivamente. Desta forma, considerando o valor do preço de venda do TRF como sendo Ct , os valores dos fatores iguais ao do estudo da ABB de 2009 e as perdas os valores consultados no relatório de ensaios, foi possível calcular o valor do custo total do TRF durante a sua vida. Assim, TCO resultou no valor de $Ct+578.260$ euros.

Relativamente à fase de pós primeira vida, nesta também são produzidos resíduos sujeitos a tratamento, no entanto, não foi possível calcular estes dados devido ao tempo útil do projeto.

3.2. Avaliação de Ciclo de Vida do Transformador de Potência

Para realizar uma ACV é essencial a utilização de uma ferramenta adequada. Na Efacec já foi utilizada uma adaptação do *software* Ecolizer no MS Excel, no entanto, existem outros atualmente disponíveis no mercado, que servem o mesmo propósito, tendo por base a ISO 14040 e a ISO 14044. Estes são: SimaPro, GaBi, openLCA, Umberto LCA+, OneClickLCA, Ecochain Helix e Ecochain Mobius, encontrados através de uma pesquisa profunda e apresentados posteriormente. Para além disso, cada *software* tem disponível bases de dados, e, portanto, é fulcral estudar as mesmas e perceber qual a mais indicada. Para além destes temas, neste capítulo é desenvolvida a metodologia de ACV e apresentado o procedimento seguido no *software* para a aplicação prática.

3.2.1. Metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida

O desenvolvimento desta metodologia teve por base a norma ISO 14040:2006 de Gestão ambiental e Avaliação de Ciclo de Vida – Princípios e Enquadramento e a norma ISO 14044:2006 de Gestão ambiental e Avaliação de Ciclo de Vida – Requisitos e linhas de orientação.

1. Definição do objetivo e do âmbito

O objetivo deste estudo é a realização de uma ACV do PT Core da Efacec, através de um *software* e de uma base de dados qualificados para o efeito. Dada a disponibilidade dos dados, optou-se por focar num PT Core. Se a ACV abranger as MP como o aço, o cobre, isolantes e chapa magnética tem-se, aproximadamente, 99% do TRF estudado. Este estudo surgiu da necessidade de verificar

quais as etapas críticas ao nível ambiental destes TRF, tendo em consideração a emissão de gases com efeito de estufa e o consumo de energia. Por fim, é pretendida a identificação de novas soluções, sugestões e oportunidades de melhoria, de modo a rentabilizar a produção do TRF ao nível dos recursos usados, tendo em mente a redução da pegada carbónica. O público-alvo a quem se destina este projeto é a própria empresa, para, possivelmente, incluir no âmbito do projeto candidato através da “Aliança para a Transição Energética” ao PRR.

Relativamente ao âmbito, este engloba vários itens apresentados de seguida.

- Sistema de produto a ser estudado

O sistema de produto do estudo inclui MP, produção, utilização/vida e pós-vida de um PT.

- Funções do sistema de produto

A função do TRF de potência é converter uma tensão e corrente na energia elétrica necessária nos respetivos locais.

- Unidades funcionais

A unidade em estudo é um PT 60/30kV – 20MVA para a fase de produção e de utilização e dois PT 63/31,5kV – 15MVA e PT 60/31,4kV – 20MVA para a fase de pós primeira vida, dado que, devido ao tempo de vida de um TRF, não é possível considerar o mesmo para as três fases, mas foram considerados TRF de gamas iguais, para conferir a coerência do estudo. Desta forma, é como se se estivesse a avaliar sempre o mesmo TRF, desde o início da conceção até à fase posterior do seu fim de ciclo de vida, visto que, a fase de produção dos TRF a considerar na fase de pós primeira vida, é idêntica, ao nível das quantidades de material e de energia, à do TRF a avaliar nesta fase de produção, e vice-versa.

- Fronteira do sistema

A fronteira do sistema inclui os processos unitários e as suas inter-relações. Esta encontra-se representada na Figura 15.

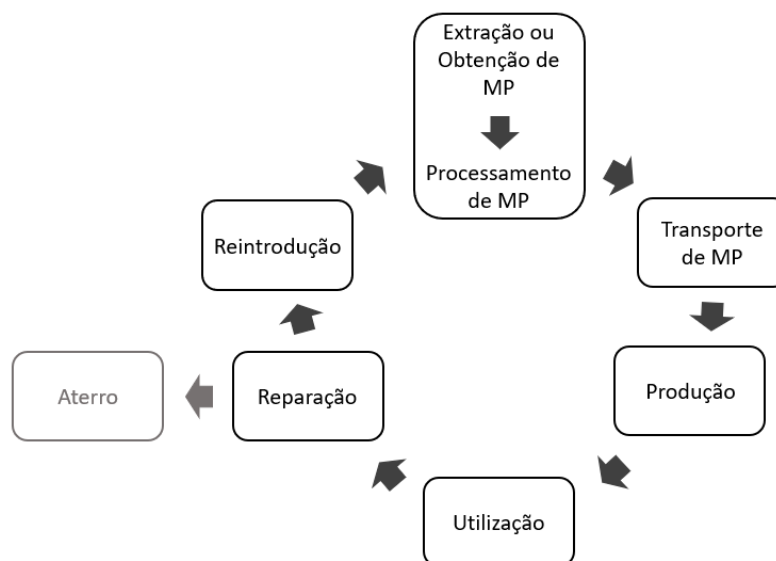


Figura 15. Fronteira do sistema

Os processos apresentados na Figura 15 já se encontram descritos no capítulo 3.1.

- Requisitos dos dados

Os dados que se pretendem recolher, em cada uma das fases de produção e de reparação na pós-vida, são as quantidades (em quilogramas) de MP que são utilizadas, as emissões de dióxido de carbono, metano e hexafluoreto de enxofre, o consumo de energia e os resíduos produzidos.

- Pressupostos e Limitações

Os valores dos fatores A e B para calcular o TCO foram considerados como pressupostos, uma vez que, se utilizaram para estes os valores de fatores calculados num estudo da ABB, já referenciado no capítulo 3.1.5. Relativamente às limitações encontradas, a única relevante foi o desconhecimento dos tipos e quantidades de resíduos produzidos na fase de pós primeira vida.

- Requisitos da qualidade dos dados

Os dados recolhidos dizem respeito a dados até ao presente ano 2022 e foram obtidos através da documentação disponível, manuais de produto e do *software* WinTree utilizado na empresa que permite consultar famílias de produtos e as respetivas quantidades utilizadas.

2. Inventário do ciclo de vida (ICV)

- Generalidades

O inventário engloba dados das três fases já indicadas no âmbito do estudo e os processos produtivos encontram-se representados e descritos no capítulo 3.1.2. Estes dados encontram-se apresentados no capítulo 3.2.6. Atualmente, por semana, existe a capacidade para produzir duas unidades funcionais de PT Core.

3. Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

Esta etapa da metodologia encontra-se documentada no capítulo 4.1.

4. Interpretação do ciclo de vida

Esta etapa encontra-se comentada no capítulo 4.2.

Após então a metodologia desenvolvida foi possível passar para a análise dos *softwares*.

3.2.2. Softwares

➤ Ecolizer

Desenvolvido pela OVAM, este *Software* pretende tornar o *design* ecológico mais acessível, calcular o impacto ambiental de um produto, de uma forma global ou com foco em fases específicas do ciclo de vida do mesmo e comparar resultados entre produtos (OVAM, 2022b). Para a realização dos cálculos recorre-se ao método “ReCiPe method” e os eco indicadores obtidos refletem o impacto ambiental, ou seja, quanto maior for o valor obtido, maior será este impacto (OVAM, 2022a).

➤ SimaPro

O SimaPro foi desenvolvido pela PRé Sustainability e é utilizado no mercado há mais de 30 anos. Este *software* visa modelar e analisar ciclos de vida complexos de forma sistemática e transparente, medir o impacto ambiental dos produtos e serviços ao longo das fases de vida e identificar os

hotspots na cadeia de abastecimento, desde a fase de extração de MP até à produção, distribuição, utilização e eliminação (SimaPro, 2022a).

➤ **GaBi**

O GaBi, desenvolvido pela Sphera e utilizado há mais de 30 anos, assim como o SimaPro, pretende identificar os *hotspots* ambientais, poupar custos e energia, encontrar *standards*, comparar *designs* alternativos e comunicar os resultados através de relatórios. Este *software* otimiza a sustentabilidade dos produtos através da modelação do seu ciclo de vida e da comparação entre cenários de *design* alternativos (Thinkstep, 2022).

➤ **openLCA**

Desenvolvido pela GreenDelta GmbH, este *software* está no mesmo patamar que os programas SimaPro, GaBi e Umberto LCA+, que será apresentado a seguir. O openLCA dá informação muito detalhada no que diz respeito à análise de resultados da ACV, promove a melhoria contínua, é bastante *user-friendly* e pode ser utilizado em vários grupos de negócio, tais como: indústria, consultoria, educação e pesquisa (greendelta, 2022).

➤ **Umberto LCA+**

O *software* Umberto LCA+ foi desenvolvido pela iPoint, é utilizado há mais de 25 anos e pode ser usado em várias indústrias, tais como: química, bens alimentares, de consumo e de construção (iPoint, 2022a). Este *software* realiza a ACV de acordo com a ISO 14040, a pegada de carbono vai ao encontro da ISO 14067 e rege-se pelo GHG Protocol, criando produtos eco eficientes através de uma combinação de recursos eficiente também (iPoint, 2022b).

➤ **OneClickLCA**

Este *software* desenvolve declarações ambientais de produtos, que facilitam no desenvolvimento de uma ACV, e calcula e otimiza os impactos dos ciclos de vida destes. Assim como o Umberto LCA+, rege-se segundo ISO *standards* e outras certificações. O OneClickLCA permite a importação de dados a partir de variados programas, como: Excel, Revit e Tekla (OneClickLCA, 2021).

➤ **Ecochain Helix**

Desenvolvido pela Ecochain Technologies, é um *software Activity-based* que permite calcular a pegada ambiental, aumentar a eficiência e reduzir custos, através da avaliação e determinação de *hotspots* ambientais. Para além disso, assim como o *software* Umberto LCA+, são vários setores onde este pode ser utilizado, sendo eles de construção e infraestruturas, têxtil, alimentar e agrícola, embalagem e de serviços (Ecochain, 2021a; Ecochain, 2021b).

➤ **Ecochain Mobius**

Também desenvolvido pela Ecochain Technologies, este *software* é *Object-based* e está em conformidade com a ISO 14040 e a ISO 14044, rege-se pelo GHG Protocol, permite criar várias versões dos produtos, de modo a poder compará-las antes e depois, analisar o impacto do produto ao longo do seu ciclo de vida e calcular as emissões de carbono. Assim como o Ecochain Helix, este também está disponível para os mesmos setores (Ecochain, 2021a; Ecochain, 2021c).

3.2.3. Estudo e Avaliação de *softwares*

Inicialmente, fez-se uma pesquisa de artigos para compreender se já tinham sido realizados estudos de comparação de *softwares* de ACV aprofundados. No entanto, não se encontrou o pretendido, apenas foram detetados artigos em que se utilizou apenas um *software* para realizar a avaliação e em que se analisaram vários estudos já feitos e quais os *softwares* e bases de dado mais usados, bem como os resultados obtidos, como se pode verificar a partir de Santos et al. (2019).

Desta forma, para que fosse possível comparar os programas, optou-se por desenvolver uma metodologia de seleção da melhor opção de *software*, fundamentada e sustentada teoricamente, que trouxesse um contributo positivo para a empresa. Assim, reuniram-se critérios relevantes que permitissem diferenciar os *softwares* entre si, através das suas características. Estes critérios surgiram a partir da consulta das características de cada *software* nos respetivos *sites* e foram posteriormente validados por um grupo de trabalho, mais à frente aqui apresentado. Dividiu-se o estudo em duas fases, de modo a obter o resultado mais fidedigno e confiável possível, sendo que a primeira foi composta por critérios gerais e funcionais e a segunda por critérios mais concretos e específicos, ou seja, mais direcionados ainda para o propósito. Após os resultados da primeira fase, seguiu-se com um menor número de *softwares* para serem avaliados na segunda e última fase. Desta forma, são apresentados de seguida na Tabela 11 os critérios escolhidos e respetivas descrições, a ter em conta na primeira fase da avaliação.

Fase 1:

Tabela 11. Critérios da primeira fase do estudo dos *softwares*

Categoria	Critério	Descrição
<i>Costs</i>	<i>Free of charge</i>	Não existem quaisquer custos de aquisição.
	<i>Free trial</i>	Está disponível um período de teste gratuito.
	<i>License renewal costs</i>	Existem custos de renovação da licença.
<i>Support</i>	<i>Technical support</i>	Há um apoio/suporte por parte da equipa técnica.*
	<i>Free training course</i>	Possibilidade de assistir a formações sem custos.
<i>Usage type</i>	<i>Online</i>	Funcionamento apenas na <i>web</i> .
	<i>Desktop</i>	Exigência de <i>download</i> para utilização.
	<i>Mobile App</i>	Disponível para utilizar no telemóvel.
<i>Languages</i>	<i>Portuguese version</i>	Língua portuguesa disponível.
	<i>English version</i>	Língua inglesa disponível.

<i>Import/Export</i>	<i>Link to Excel</i>	Possibilidade de ligação/exportação dos resultados para o MS Excel.
	<i>Import data</i>	Permissão para importar dados.
<i>Databases</i>	<i>Cloud based</i>	Base de dados na <i>cloud</i> .
	<i>Database source</i>	Base de dados importada necessariamente no <i>software</i> .
<i>Operating system</i>	<i>Windows</i>	Utilização em sistema operativo Windows.
	<i>Mac</i>	Utilização em sistema operativo Mac.
	<i>Android</i>	Utilização em sistema operativo Android.
<i>Others</i>	<i>Software usage</i>	Grau de utilização/conhecimento no mercado.
	<i>Theme framework</i>	Temática/objetivo do <i>software</i> de acordo com o projeto.
	<i>ISO Standards</i>	Padrões do programa de acordo com as normas ISO de ACV e GHG.
	<i>Add-ons</i>	Disponíveis <i>add-ons</i> como relatórios de resultados.
	<i>Multi-users</i>	Permissão para vários utilizadores em simultâneo.

*Este apoio/suporte categorizou-se pela existência ou não de cinco fatores, sendo estes, diferentes formas de entrar em contacto com a equipa responsável. Estes foram: *email*, *chat*, formulário, marcação de reunião e *frequently asked questions* (FAQ), tendo em conta que, o peso para cada uma destas opções foi distribuído de igual forma.

Após esta recolha foi necessário estudar cada *software* de modo a compreender que requisitos é que cada um preenchia e para isso foram-lhes atribuídos valores entre zero e um, sendo que caso o *software* tivesse o critério respetivo era-lhe atribuído o valor de um e caso contrário, o valor de zero, ou seja, por exemplo, caso o *software* openLCA seja gratuito, então para o critério “*free of charge*” o mesmo tomará o valor de um. De notar que o critério “*license renewal costs*” teve de ser avaliado ao contrário, isto é, caso os custos de renovação existissem e fossem elevados teria de ser atribuído o valor de zero, visto que, atribuir o valor de um é, digamos que, o “*best case*”.

No entanto, se um programa preencher um critério em parte, mas não na sua totalidade, então é-lhe atribuído um valor entre zero e um, por exemplo 0,60, como já fora explicado no caso do critério “*technical support*”. Para além deste, os critérios “*free trial*”, “*software usage*”, “*theme framework*” e “*add-ons*” também tomaram valores intermédios. No critério “*free trial*”, quando os dias de teste gratuito eram de 14, então atribuiu-se uma pontuação de 0,50, já quando estes dias eram de 30, então atribuiu-se uma pontuação de 0,75. Para determinar os valores do critério “*software usage*” recorreu-se ao LinkedIn e ao ResearchGate, onde se colocou a seguinte questão à rede: “*I’m*

working on a Circular Economy project. I would like to know which LCA softwares and databases are the best choices?”. A partir desta verificou-se que, possivelmente, não existe o melhor *software* de ACV, visto que, as respostas variaram muito, mas permitiu compreender quais os mais utilizados. Já para o critério “*theme framework*” fez-se uma reflexão entre os objetivos do trabalho e o que o programa promete oferecer e para além disso, também se contactaram as equipas de suporte dos mesmos responsáveis para obter mais informações quando necessário. Para além disso, durante esta pesquisa descartou-se o OneClickLCA por não se adequar com o propósito do trabalho, visto ser mais dedicado a ACV de edifícios no seu todo. Por fim, relativamente ao critério “*add-ons*”, através de pesquisas e de experiência dos *softwares*, quer seja através de licenças gratuitas ou através de vídeos de exemplificação do seu funcionamento, foi possível perceber como eram transmitidos os resultados finais das avaliações.

Posto isto, segue-se a Figura 16 com os resultados obtidos relativamente aos *softwares* e que critérios preenchem para a fase 1 do estudo comparativo.

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+
Free of charge	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Free trial	0,00	0,00	0,75	0,75	0,00	0,50	0,50
License renewal costs	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
Technical support	0,60	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40
Free training course	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Online	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
Desktop	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Mobile App	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
Portuguese version	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
English version	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
Link to Excel	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Import data	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cloud based	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
Database source	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Windows	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Mac	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Android	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
Software usage	0,35	0,60	0,70	0,70	0,40	0,40	0,60
Theme framework	0,90	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00
ISO Standards	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Add-ons	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00
Multi-users	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00

Figura 16. Resultados dos critérios de *softwares* para a fase 1

Concluiu-se então que, por exemplo, o *software* openLCA necessita de ser instalado no computador para ser utilizado, uma vez que, para o critério “*Desktop*”, foi-lhe atribuído o valor de um e o *software* SimaPro 9.3 não é suportado num telemóvel através de uma aplicação, visto que, para o critério “*Mobile App*” foi-lhe atribuído o valor de zero.

De seguida, selecionou-se de forma cuidada um grupo de pessoas para participar no estudo, tendo em consideração a sua habilitação e conhecimento sobre o tema em causa, de modo a obter resultados o mais fiáveis possível e a dar um bom contributo para o projeto. Este grupo foi constituído por três colaboradores da área de Tecnologia do SRV-EFACEC, outros três da área de Qualidade e Sustentabilidade da EFACEC e um elemento do INEGI. Este grupo participou no processo através da atribuição de pesos para cada um dos critérios escolhidos. Estes pesos compreenderam o intervalo de valores entre zero e dez, sendo que, caso a importância do critério

fosse o mais elevada possível, lhe fosse atribuído o valor dez, e vice-versa. Na Figura 17 apresenta-se os valores recolhidos de todos os elementos do grupo.

	Criteria weight ([0,10])						
	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6	Person 7
Free of charge	5,00	10,00	10,00	3,00	10,00	7,00	5,00
Free trial	5,00	5,00	7,00	7,00	10,00	0,00	5,00
License renewal costs	10,00	10,00	10,00	9,00	10,00	7,00	7,00
Technical support	10,00	10,00	9,50	9,00	10,00	3,00	7,00
Free training course	10,00	2,00	9,00	9,00	8,00	3,00	5,00
Online	0,00	5,00	10,00	3,00	8,00	0,00	0,00
Desktop	0,00	5,00	8,50	5,00	8,00	0,00	5,00
Mobile App	0,00	5,00	9,50	1,00	8,00	0,00	0,00
Portuguese version	0,00	5,00	9,50	1,00	6,00	0,00	0,00
English version	0,00	10,00	9,50	10,00	6,00	0,00	0,00
Link to Excel	5,00	5,00	8,00	7,00	9,00	3,00	3,00
Import data	10,00	8,00	8,00	9,00	9,00	3,00	7,00
Cloud based	2,50	10,00	9,00	7,00	7,00	0,00	5,00
Database source	5,00	5,00	7,50	9,00	5,00	0,00	7,00
Windows	0,00	10,00	9,50	1,00	5,00	10,00	10,00
Mac	0,00	5,00	7,00	1,00	5,00	0,00	0,00
Android	0,00	5,00	9,00	1,00	5,00	0,00	0,00
Software usage	10,00	5,00	8,00	10,00	7,00	3,00	7,00
Theme framework	10,00	10,00	10,00	10,00	7,00	10,00	7,00
ISO Standards	10,00	10,00	10,00	10,00	7,00	5,00	10,00
Add-ons	2,50	5,00	9,00	9,00	7,00	5,00	7,00
Multi-users	5,00	10,00	7,00	8,00	7,00	8,00	7,00

Figura 17. Pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho para a fase 1

Sendo o objetivo obter pesos para todos os critérios, que fossem coesos e que fizessem sentido, a partir dos sete pesos atribuídos por todos os participantes, pensou-se nas três medidas de tendência central: média, moda e mediana e numa condição que consistia em calcular a média caso a amplitude dos valores fosse inferior a 3 e calcular a mediana caso a amplitude fosse maior ou igual a 3. Ora, no caso da média, esta não era a opção mais indicada, uma vez que, não estando perante distribuições normais, conforme se pode verificar através da Figura 18, que contém todos os dados de cada colaborador, esta opção não seria cuidada o suficiente e iriam-se perder dados importantes.

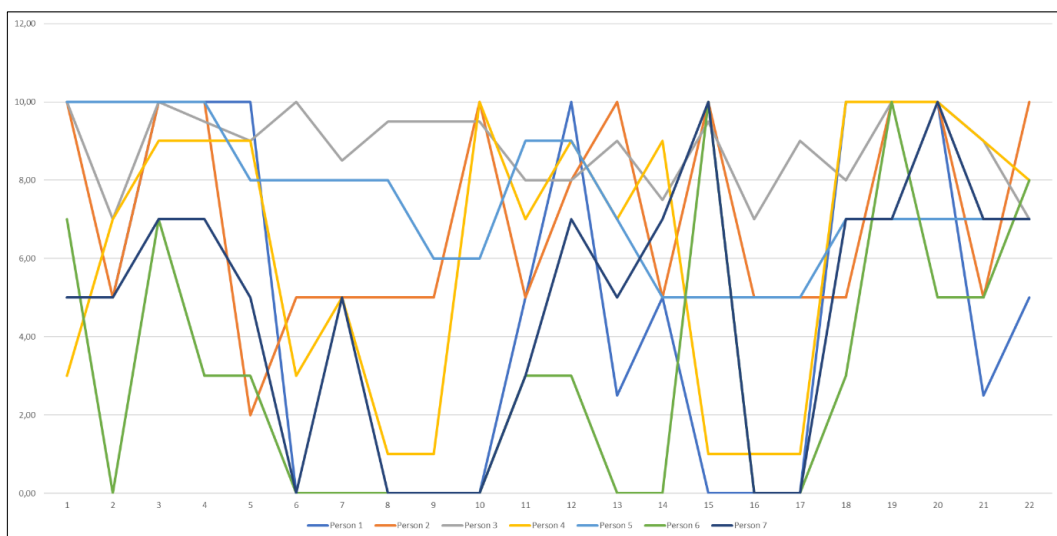


Figura 18. Gráfico das distribuições dos pesos da fase 1 do estudo dos softwares

Já no que diz respeito à moda, para além de que, pode não existir sempre uma moda, quando existe mais que uma moda, dizendo-se bimodal caso existam duas, o valor a retornar é o que aparece primeiro da esquerda para a direita e, sendo assim, não se considerou esta medida como sendo a mais aconselhável.

Relativamente à mediana, como esta é sugerida para distribuições retorcidas, como é o caso, e sendo esta o valor central de um conjunto de dados, constatou-se que seria a opção mais fiável para o estudo em causa.

A condição definida veio mostrar que se justificava calcular sempre a mediana, devido à grande amplitude dos dados.

A Figura 19 ilustra os pesos finais obtidos para cada um dos critérios, através do cálculo da média, da moda, da mediana e da condição, sendo que foi considerado, conforme justificado, o valor obtido através da mediana, verificando-se através da Figura 20.

	Criteria weight ([0,10])							Média	Moda	Mediana	Condição
	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6	Person 7				
Free of charge	5,00	10,00	10,00	3,00	10,00	7,00	5,00	7,14	10,00	7,00	7,00
Free trial	5,00	5,00	7,00	7,00	10,00	0,00	5,00	5,57	5,00	5,00	5,00
License renewal costs	10,00	10,00	10,00	9,00	10,00	7,00	7,00	9,00	10,00	10,00	10,00
Technical support	10,00	10,00	9,50	9,00	10,00	3,00	7,00	8,36	10,00	9,50	9,50
Free training course	10,00	2,00	9,00	9,00	8,00	3,00	5,00	6,57	9,00	8,00	8,00
Online	0,00	5,00	10,00	3,00	8,00	0,00	0,00	3,71	0,00	3,00	3,00
Desktop	0,00	5,00	8,50	5,00	8,00	0,00	5,00	4,50	5,00	5,00	5,00
Mobile App	0,00	5,00	9,50	1,00	8,00	0,00	0,00	3,36	0,00	1,00	1,00
Portuguese version	0,00	5,00	9,50	1,00	6,00	0,00	0,00	3,07	0,00	1,00	1,00
English version	0,00	10,00	9,50	10,00	6,00	0,00	0,00	5,07	0,00	6,00	6,00
Link to Excel	5,00	5,00	8,00	7,00	9,00	3,00	3,00	5,71	5,00	5,00	5,00
Import data	10,00	8,00	8,00	9,00	9,00	3,00	7,00	7,71	8,00	8,00	8,00
Cloud based	2,50	10,00	9,00	7,00	7,00	0,00	5,00	5,79	7,00	7,00	7,00
Database source	5,00	5,00	7,50	9,00	5,00	0,00	7,00	5,50	5,00	5,00	5,00
Windows	0,00	10,00	9,50	1,00	5,00	10,00	10,00	6,50	10,00	9,50	9,50
Mac	0,00	5,00	7,00	1,00	5,00	0,00	0,00	2,57	0,00	1,00	1,00
Android	0,00	5,00	9,00	1,00	5,00	0,00	0,00	2,86	0,00	1,00	1,00
Software usage	10,00	5,00	8,00	10,00	7,00	3,00	7,00	7,14	10,00	7,00	7,00
Theme framework	10,00	10,00	10,00	10,00	7,00	10,00	7,00	9,14	10,00	10,00	10,00
ISO Standards	10,00	10,00	10,00	10,00	7,00	5,00	10,00	8,86	10,00	10,00	10,00
Add-ons	2,50	5,00	9,00	9,00	7,00	5,00	7,00	6,36	5,00	7,00	7,00
Multi-users	5,00	10,00	7,00	8,00	7,00	8,00	7,00	7,43	7,00	7,00	7,00

Figura 19. Resultados obtidos para as 4 medidas utilizadas

	Mediana
Free of charge	7,00
Free trial	5,00
License renewal costs	10,00
Technical support	9,50
Free training course	8,00
Online	3,00
Desktop	5,00
Mobile App	1,00
Portuguese version	1,00
English version	6,00
Link to Excel	5,00
Import data	8,00
Cloud based	7,00
Database source	5,00
Windows	9,50
Mac	1,00
Android	1,00
Software usage	7,00
Theme framework	10,00
ISO Standards	10,00
Add-ons	7,00
Multi-users	7,00

Figura 20. Pesos finais para cada critério de *softwares* da fase 1

Concluiu-se que os três critérios com uma maior importância foram: “*License renewal costs*”, “*Theme framework*” e “*ISO Standards*”. Por outro lado, os três critérios selecionados como menos relevantes para o estudo foram: “*Mobile App*”, “*Mac*” e “*Android*”.

Uma vez que se encontraram os pesos adequados para cada critério e sabendo os critérios que cada *software* preenchia, seguiu-se a parte em que foi necessário aplicar um método para obter os resultados de quais os melhores *softwares* para esta primeira fase.

Dado o tempo disponível para este projeto e tendo em conta outras prioridades, como a necessidade de realizar uma ACV cuidada, optou-se por utilizar o método AHP, devido aos conhecimentos previamente adquiridos na unidade curricular de Modelos de Otimização e de Apoio à Decisão, do primeiro ano do Mestrado. Os estudos realizados segundo Pachemska et al. (2014) e Chauvy et al. (2020) são exemplos da aplicação deste método.

O método AHP para além de comparar as opções, neste caso, opções de *softwares*, com base os critérios, também compara os critérios selecionados entre si através dos seus pesos, chamando-se a isto *pairwise comparison* (Pachemska et al., 2014). Ao fazer esta comparação entre critérios numa matriz, de acordo com a base teórica do método, deve-se atribuir valores segundo uma escala de um a nove, sendo que o valor de 1 remete para critérios com a mesma importância e o valor de 9 utiliza-se quando um critério relativamente a outro é extremamente importante, detalhes que veremos de seguida aquando da explicação de todo o procedimento (Pachemska et al., 2014) (De Montis et al., 2004).

Sendo assim o método AHP rege-se segundo as seguintes etapas:

1. Definição das diferentes alternativas a escolher e critérios de seleção – já previamente feito, sendo que foram apresentados os critérios e os *softwares* no capítulo 3.2.2;
2. Matrizes de comparação de opções, critério a critério – apresentadas de seguida;

3. Matriz de comparação de critérios – apresentada de seguida;
4. Matriz final que compara os resultados de todas as matrizes anteriores – apresentada posteriormente.

Normalmente, este método compara opções tendo por base critérios, mas tendo em conta que todas as opções preenchem esses mesmos critérios. No entanto, no presente caso, uma vez que, nem todos os *softwares* têm todos os requisitos, como foi possível observar anteriormente, para se iniciar a aplicação do método AHP fez-se o produto dos valores da Figura 16 pelos pesos obtidos com a mediana na Figura 20, para se obter os pesos reais de cada critério para cada *software* correspondente a usar no método. Estes pesos finais podem ser observados na Figura 21.

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+
Free of charge	7.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Free trial	0.00	0.00	3.75	3.75	0.00	2.50	2.50
License renewal costs	10.00	10.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Technical support	5.70	3.80	5.70	5.70	5.70	5.70	3.80
Free training course	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
Online	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	3.00	0.00
Desktop	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00	0.00	5.00
Mobile App	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
Portuguese version	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
English version	6.00	0.00	6.00	0.00	6.00	6.00	6.00
Link to Excel	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Import data	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Cloud based	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	7.00	0.00
Database source	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00	0.00	5.00
Windows	9.50	9.50	9.50	9.50	0.00	0.00	9.50
Mac	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Android	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
Software usage	2.45	4.20	4.90	4.90	2.80	2.80	4.20
Theme framework	9.00	10.00	10.00	10.00	7.50	7.50	10.00
ISO Standards	10.00	5.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Add-ons	1.75	7.00	7.00	7.00	7.00	2.10	7.00
Multi-users	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	0.00

Figura 21. Pesos finais a usar no método AHP para comparação de opções

Assim, já se pode iniciar o método de acordo com o procedimento definido e tendo em consideração que a Etapa 1 já foi realizada no capítulo 3.2.2, procede-se à apresentação da segunda.

Etapa 2:

As matrizes de comparação de opções de *softwares* critério a critério foram realizadas, com base estes pesos demonstrados na Figura 21. É apresentado um exemplo, mais concretamente o do critério “*free of charge*” e as restantes matrizes encontram-se no capítulo dos apêndices, mais concretamente no Apêndice 1.

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vector	Calc. Aux.	Lambda						
Ecolizer 2.0	1,00	1,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00				
openLCA	1,00	1,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00				
GaBi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
SimaPro 9.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Ecochain Helix	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Ecochain Mobius	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
TOTAL	2,00	2,00	140,00	140,00	140,00	140,00	140,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00		0,57				
																					CI	CR		
																							-1,07	-0,81

Figura 22. Matriz de comparação para o critério “*free of charge*” para *softwares* de ACV

Na primeira tabela para obtenção dos valores fez-se a divisão do peso do *software* presente na linha pelo peso do *software* presente na coluna, isto é, por exemplo, o valor “70,00” obtido no cruzamento da linha 2 com a coluna 3, foi calculado a partir da divisão do peso do *software* openLCA pelo do GaBi para o critério “*free of charge*” presentes na Figura 21, ou seja, fez-se “7,00” a dividir por “0,00”. No entanto, como não é possível fazer a divisão de um número por zero e como era necessário obter um valor para se avançar com uma adaptação do método adotado, visto se tratar de um estudo em que as opções não têm todos os critérios considerados, nestes casos, e para todas as restantes matrizes em que aconteceu situação semelhante, em vez de se fazer a divisão por zero fez-se por “0,10”. De notar que, não foi encontrado um estudo semelhante a este, e, portanto, desta forma, sendo este uma adaptação, como já fora referido, esta foi a única solução viável encontrada. Sendo “0,10” um valor muito próximo de zero e que respeita o número de casas decimais utilizado, o valor obtido foi de “70,00”. Para além disso, sendo que o valor “0,00” remetia para situações em que o *software* não preenchia o requisito em questão, ao ser utilizado o valor “0,10” teve-se isto em consideração e ao se utilizar “0,00” ou “0,10” não causou um impacto significativo nos resultados.

Já na segunda tabela, a “Matriz Normalizada”, nesta fez-se a divisão de cada um dos valores obtidos, na primeira, pela soma de todos eles da mesma coluna, presente na última linha “TOTAL”, de forma a *standardizar* todos os pesos.

A coluna “Vetor” apresenta a média de todos os valores de cada linha da matriz normalizada, e o mesmo foi transposto para a última linha da matriz normalizada, para ser útil de seguida.

Na coluna “Calc. Aux.”, como o nome indica, fez-se um cálculo auxiliar, que resultou da função “=SOMARPRODUTO()” de cada uma das linhas da primeira tabela com a última linha da matriz normalizada, isto é, do vetor resultante transposto.

A coluna “Lambda” faz a divisão do valor obtido no vetor pelo do cálculo auxiliar, para todas as linhas.

O valor do “CI” – *consistency index* – resulta da fórmula presente na Equação 4, sendo que o valor máximo de lambda está presente na última linha da coluna “Lambda” e calcula-se através da média de todos os lambdas e o valor de “n” é o número de alternativas.

$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$	Equação 4
----------------------------------------	-----------

Por fim, o valor do “CR” – *consistency ratio* – deve ser inferior a 0,1 para conferir a consistência e coerência entre os valores calculados, e obtêm-se a partir da Equação 5. CI já fora calculado e RI varia consoante o valor de “n” como se pode verificar através da Tabela 12.

$CR = \frac{CI}{RI}$	Equação 5
----------------------	-----------

Tabela 12. Valores de RI consoante “n”

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Etapa 3:

Nesta etapa foi realizada uma matriz para comparar os critérios todos entre si, apresentada por partes de seguida. A Figura 23 representa a tabela com o cálculo dos pesos iniciais, que já fora explicado anteriormente, ou seja, fez-se a divisão do peso do critério presente na linha pelo peso do critério presente na coluna. Já a Figura 24 a apresenta a matriz normalizada da tabela presente na Figura 23, obtida da mesma forma que a matriz normalizada apresentada anteriormente.

Etapa 4:

Na última etapa de aplicação do método AHP fez-se a matriz final que reúne os resultados obtidos nos vetores das matrizes anteriores e que mostra o resultado obtido na coluna “SOLUTION”. Este obteve-se, mais uma vez, a partir da função “=SOMARPRODUTO()” entre os resultados de cada *software*, que correspondem aos vetores obtidos para cada critério, e da linha “FINAL”, que corresponde ao vetor obtido na matriz normalizada. Esta matriz resultante está representada na Figura 25.

	Free of charge	Free trial	License renewal costs	Technical support	Free training course	Online	Desktop	Mobile App	Portuguese version	English version	Link to Excel	Import data	Cloud based	Database source	Windows	Mac	Android	Software usage	Theme framework	ISO Standards	Add-ons	Multi-users	SOLUTION
Ecolizer 2.0	0.30	0.00	0.33	0.16	0.00	0.00	0.03	0.00	0.25	0.20	0.14	0.14	0.00	0.20	0.20	0.33	0.00	0.09	0.14	0.15	0.05	0.17	0.1511
OpenLCA	0.30	0.00	0.33	0.11	0.00	0.00	0.24	0.00	0.25	0.00	0.14	0.14	0.00	0.20	0.20	0.33	0.00	0.16	0.16	0.08	0.18	0.17	0.1524
Garbi	0.00	0.30	0.00	0.16	0.00	0.00	0.24	0.00	0.25	0.20	0.14	0.14	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.19	0.16	0.15	0.18	0.17	0.1298
SimaPro 9.3	0.00	0.30	0.00	0.16	0.00	0.00	0.24	0.00	0.25	0.00	0.14	0.14	0.00	0.20	0.20	0.33	0.00	0.19	0.16	0.15	0.18	0.17	0.1232
Ecochain Helix	0.00	0.00	0.33	0.16	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.20	0.14	0.14	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.11	0.12	0.15	0.18	0.17	0.1487
Ecochain Mobius	0.00	0.20	0.00	0.16	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	0.20	0.14	0.14	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.11	0.12	0.15	0.05	0.17	0.1245
Umberto LCA+	0.00	0.20	0.00	0.11	1.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.20	0.14	0.14	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.16	0.16	0.15	0.18	0.00	0.1703
FINAL	0.05	0.04	0.08	0.07	0.06	0.02	0.04	0.01	0.01	0.05	0.04	0.06	0.05	0.04	0.07	0.01	0.01	0.05	0.08	0.08	0.05	0.05	

Figura 25. Matriz final de resultados da fase 1 do estudo de *softwares*

Desta forma, constatou-se que, como resultado da fase 1 do estudo desenvolvido, as duas melhores opções possíveis de *software* para realizar uma ACV foram o **Umberto LCA+** e o **openLCA**, uma vez que, apresentaram os dois valores mais elevados, **0.1703** e **0.1524**, respetivamente. No entanto, observou-se também que, os resultados entre todas as opções foram bastante próximos, ou seja, não variaram muito, tendo em conta que o seu somatório teria de ser igual ao valor de 1. Sendo assim, prosseguiu-se para a fase 2 do estudo apenas com estes dois *softwares*.

Fase 2:

Para comparar então os *softwares* de uma forma mais precisa, reuniram-se diferentes critérios relevantes. Assim, são apresentados na Tabela 13 os critérios escolhidos e suas descrições, para ter em consideração na segunda e última fase da avaliação e seleção.

Tabela 13. Critérios da segunda fase do estudo de *softwares*

Critério	Descrição
<i>Open source</i>	<i>Software</i> do tipo <i>open source</i> com código aberto e disponível.
<i>Diagrams</i>	Diagramas fornecidos pelo <i>software</i> – de preferência barras ou sankey.
<i>Reports</i>	Relatórios completos com diagramas, resultados e recomendações.*
<i>User-friendly</i>	<i>Software</i> de fácil utilização e rápida aprendizagem.

*O tipo de relatórios categorizou-se pela existência ou não de cinco fatores, sendo estes: diagramas, resultados, recomendações, disponibilização de um relatório formal e exportação de resultados para Excel, tendo em conta que, o peso atribuído para cada uma destas opções foi de 0.20, 0.20, 0.20, 0.10 e 0.30, respetivamente.

Nesta fase seguiram-se as mesmas etapas da Fase 1, de acordo com o procedimento elaborado e o método AHP, e, portanto, as matrizes das etapas 2 e 3 realizadas encontram-se nos apêndices 2, 3 e 4.

Etapa 4:

Por fim, nesta última etapa fez-se, novamente, a matriz final que se apresenta na Figura 26.

	Open source	Diagrams	Reports	User-friendly	SOLUTION
openLCA	1.00	0.50	0.46	0.47	0.60
Umberto LCA+	0.00	0.50	0.54	0.53	0.40
FINAL	0.23	0.23	0.30	0.23	

Figura 26. Matriz final de resultados da fase 2 do estudo de *softwares*

Sendo assim, concluiu-se que, a melhor opção de *software* para realizar uma ACV da forma mais fidedigna possível foi o *software* **openLCA**, visto que, apresentou o valor mais elevado, **0.60**, de

entre as duas opções. Desta forma, o openLCA foi o *software* onde se realizou a ACV do PT para o projeto em estudo.

3.2.4. Bases de Dados

Ora, como já fora referido, para realizar uma ACV num *software* especializado é necessário recorrer também a uma base de dados, e, portanto, fez-se um levantamento e estudo das existentes e mais reconhecidas.

➤ Eco-invent database

Pertence a uma associação sem fins lucrativos sediada na Suíça e está disponível em todos os *softwares* apresentados. As suas atividades são financiadas através das receitas das licenças de utilização da base de dados, bem como, das receitas baseadas em projetos (ecoinvent, 2022c). Esta é uma base de dados de inventário de ciclo de vida, suporta avaliações ambientais de produtos e processos (ecoinvent, 2022b) e ajuda na recolha de dados para inventários de *Greenhouse Gases* (GHG) da cadeia de valor (Protocol, 2022). O Protocolo GHG é uma parceria de empresas, organizações não governamentais, governos e outros convocados pela World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e tem como missão desenvolver, a nível internacional, normas e ferramentas sobre gases com efeito de estufa e promover a sua adoção, de modo a alcançar uma economia com baixas emissões a nível mundial (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2011). Atualmente, a Eco-invent contém mais do que dezoito mil *datasets* com dados relativos a recursos naturais extraídos do ambiente, emissões emitidas para a água, o solo e o ar, produtos de outros processos, como a eletricidade, e resíduos produzidos (ecoinvent, 2022a).

➤ Eco-invent Methods

Aliada à base de dados Eco-invent, surge a Eco-invent Methods que engloba as metodologias de cálculo para realizar a ACV e alguns fluxos.

➤ Environmental footprint

Esta base de dados foi concebida para apoiar a utilização das regras da categoria da pegada ambiental dos produtos e as regras do setor da pegada ambiental da organização, contém conjuntos de dados de ICV secundários e um método de avaliação de impacto (SimaPro, 2022b). Estes *datasets* incluem categorias como: tratamentos de pós-vida, energia utilizada, produção de materiais, sistemas e serviços de transporte (Recanati & Ciroth, 2019). Para além disso, faz parte da Iniciativa do Mercado Único para Produtos Verdes da Comissão Europeia (SimaPro, 2022b).

➤ US LCI

Fornece uma contabilidade *gate-to-gate*, *cradle-to-gate* e *cradle-to-grave* dos fluxos de energia e material para dentro e fora do ambiente que estão associados à produção de um material, componente ou sua montagem e armazena dados sobre materiais, produtos e processos utilizados. Os dados de ICV revistos criticamente são consistentes com um protocolo de investigação comum e com normas internacionais e dão apoio para desenvolver ACV de produtos, sistemas de apoio, e ferramentas. Esta base de dado é uma coleção de processos unitários e está disponível para todos os utilizadores do *software* GaBi gratuitamente (Sphera, 2022; NREL, 2022).

3.2.5. Estudo e Avaliação de bases de dados

Mais uma vez, para comparar as bases de dados, reuniram-se critérios, dividiu-se o estudo em duas fases e após os resultados da primeira fase, seguiu-se com um número menor de bases de dados para serem avaliadas na segunda, portanto, aplicou-se o mesmo método utilizado no estudo e avaliação de *softwares*, presente no capítulo 3.2.3. Assim, são apresentados na Tabela 14 os critérios escolhidos e respetivas descrições, a ter em conta na primeira fase da avaliação.

Fase 1:

Tabela 14. Critérios da primeira fase do estudo de bases de dados

Categoria	Critério	Descrição
<i>Costs</i>	<i>Free of charge</i>	Não existem quaisquer custos de aquisição.
	<i>License renewal costs</i>	Existem custos de renovação da licença.
<i>Support</i>	<i>Technical support</i>	Há um apoio/suporte por parte da equipa técnica.*
	<i>Free training</i>	Possibilidade de assistir a formações sem custos.
<i>Type</i>	<i>Cloud based</i>	Base de dados na <i>cloud</i> .
	<i>Database source</i>	Base de dados importada necessariamente no <i>software</i> .
<i>Others</i>	<i>DB usage</i>	Grau de utilização/conhecimento no mercado da base de dados.
	<i>Dimension</i>	Dimensão da base de dados de acordo com os dados necessários.
	<i>ISO Standards</i>	Padrões da base de dados de acordo com as normas ISO de ACV e GHG.

*Este apoio/suporte, mais uma vez, categorizou-se pela existência ou não de cinco fatores, sendo estes, diferentes formas de entrar em contacto com a equipa responsável. Estes foram: *email*, *chat*, formulário, marcação de reunião e FAQ, tendo em conta que, o peso para cada uma destas opções foi distribuído de igual forma.

Uma vez que o método seguido já fora apresentado na avaliação dos *softwares*, o AHP, as matrizes das etapas 2 e 3 para a primeira fase do estudo da avaliação das bases de dados encontram-se nos apêndices 5, 6 e 7. No entanto, é necessário fazer referência a um caso diferente, em que, para o critério “Cloud based”, como a soma dos valores do vetor foi diferente de um, devido a todos os valores serem iguais a zero, foi necessário contornar o método e atribuir “0,25” para cada base de dados para o respetivo critério, dado serem quatro bases de dados a considerar e o somatório ter

de ser necessariamente igual ao valor de 1. Na fase 2 do estudo aconteceu a mesma situação para outro critério e procedeu-se da mesma forma, de modo a conferir a coesão aos dados.

Etapa 4:

Na última etapa fez-se, mais uma vez, a matriz final representada na Figura 27.

	Free of charge	License renewal costs	Technical support	Free training	Cloud based	Database source	DB usage	Dimension	ISO Standards	SOLUTION
Eco-invent database	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.33	0.25	0.29	0.23
Eco-invent Methods	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.33	0.25	0.29	0.30
Environmental footprint	0.50	0.25	0.38	0.25	0.25	0.25	0.17	0.25	0.29	0.29
US LCI	0.00	0.25	0.13	0.25	0.25	0.25	0.17	0.25	0.14	0.18
FINAL	0.14	0.14	0.10	0.08	0.10	0.09	0.11	0.11	0.14	

Figura 27. Matriz final de resultados da fase 1 do estudo de bases de dados

Assim, como resultado da fase 1 do estudo desenvolvido, as duas melhores opções possíveis de bases de dados para realizar uma ACV foram a **Eco-invent**, sendo que a bases de dados e os métodos funcionam apenas como um pacote, e a **Environmental footprint**, uma vez que, apresentaram os dois valores mais elevados. Desta forma, prosseguiu-se para a fase 2 do estudo com estas três bases de dados.

Fase 2:

Para realizar a comparação mais precisa das bases de dados reuniram-se diferentes critérios, apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Critérios da segunda fase do estudo de bases de dados

Critério	Descrição
<i>GHG Emissions</i>	Base de dados englobar as emissões de CO ₂ , CH ₄ e SF ₆ .
<i>Energy Consumption</i>	Base de dados abranger o consumo de energia.
<i>MP information</i>	Dados relativos a MP: renovável, reciclável, biodegradável, escassa ou de comércio justo.

Nesta fase seguiram-se as mesmas etapas da Fase 1, e, portanto, as matrizes das etapas 2 e 3 realizadas encontram-se nos apêndices 8, 9 e 10.

Etapa 4:

Por fim, na quarta etapa fez-se, novamente, a matriz final que se apresenta na Figura 28.

	GHG Emissions	Energy Consumption	MP information	SOLUTION
Eco-invent database	0.33	0.33	0.33	0.33
Eco-invent Methods	0.33	0.33	0.33	0.33
Environmental footpri	0.33	0.33	0.33	0.33
FINAL	0.33	0.33	0.33	

Figura 28. Matriz final de resultados da fase 2 do estudo de bases de dados

Concluiu-se que a melhor opção de base de dados para realizar uma ACV tanto pode ser a **Eco-Invent** como a **Environmental footprint**, visto que, ambas apresentaram valores finais idênticos. Assim, dada a informação disponibilizada e encontrada, optou-se por se selecionar para se utilizar no presente estudo, a **Eco-Invent database** e a **Eco-Invent Methods**.

Existem diferentes métodos disponíveis na base de dados Eco-Invent, e, assim, para dar a conhecer o método que será aplicado aquando da utilização da mesma no respetivo *software*, faz-se uma breve apresentação deste e da sua lógica de funcionamento.

O método de cálculo mais utilizado na base de dados Eco-Invent e presente em todos os *softwares* apresentados, denomina-se ReCiPe (ecoinvent, 2022a). O ReCiPe é um método para utilizar numa avaliação de inventário numa ACV e traduz as emissões e a extração de recursos num número limitado de pontuações de impacto ambiental, através de fatores de caracterização. Existem, portanto, duas formas de obter estes fatores, através de indicadores disponíveis do tipo “midpoint” ou do tipo “endpoint” (National Institute for Public Health and the Environment, 2011). A Figura 29 apresenta as relações entre os *midpoint indicators* e os *endpoint indicators*.

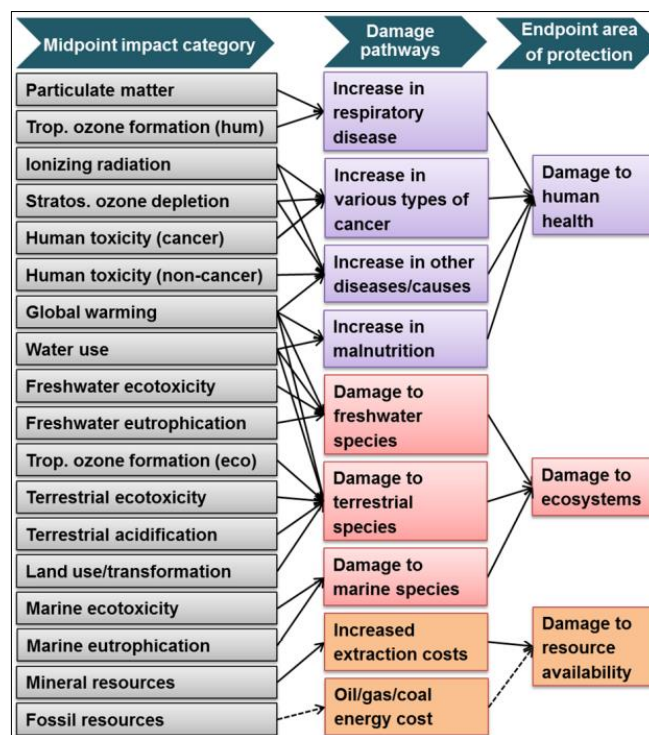


Figura 29. Estrutura do método de cálculo ReCiPe (Huijbregts et al., 2017)

Tendo em conta a Figura 29, a coluna “Midpoint impact category”, que corresponde aos *midpoint indicators*, diz respeito a problemas ambientais específicos e, por sua vez, a coluna “Endpoint area of protection”, que corresponde aos *endpoint indicators*, traduz-se em impactes ambientais em três importantes setores (National Institute for Public Health and the Environment, 2011):

- Saúde humana;
- Ecossistemas;
- Disponibilidade de recursos.

Os *endpoint indicators* são derivados dos *midpoint indicators* e obtêm-se a partir da Equação 6 (Huijbregts et al., 2017).

$$CF_{e,c,a} = CF_{m,c} * F_M \rightarrow E, c, a$$

Equação 6

Sendo que (Huijbregts et al., 2017):

- CF_e – *endpoint characterization factors*;
- c – perspectiva cultural: individualista (curto prazo – 20 anos), hierárquica (médio prazo – 100 anos) ou igualitária (longo prazo – a partir de 500 anos);
- a – área de proteção, que corresponde a um dos três setores identificados;
- CF_m – *midpoint characterization factors*;
- F_M – *conversion factors* que se encontram apresentados, para cada uma das perspectivas e setores, na Figura 30.

	Unit ^{1,2}	I	H	E
Human health				
climate change	yr/kg CO ₂ to air	8.1E-08	9.3E-07	1.3E-05
ozone depletion	yr/kg CFC11 to air	2.4E-04	5.3E-04	1.3E-03
ionizing radiation	yr//kBq Co-60 to air	6.8E-09	8.5E-09	1.4E-08
fine particulate matter formation	yr/kg PM2.5 to air	6.3E-04	6.3E-04	6.3E-04
photochemical ozone formation	yr/kg NO _x to air	9.1E-07	9.1E-07	9.1E-07
cancer toxicity	yr/kg 1,4-DCB to air	3.3E-06	3.3E-06	3.3E-06
non-cancer toxicity	yr/kg 1,4-DCB to air	6.7E-09	6.7E-09	6.7E-09
water use	yr/m ³ water	3.1E-06	2.2E-06	2.2E-06
Ecosystem quality: terrestrial				
climate change	species.yr/kg CO ₂ to air	5.3E-10	2.8E-09	2.5E-08
photochemical ozone formation	species.yr/kg NO _x to air	1.3E-07	1.3E-07	1.3E-07
acidification	species.yr/kg SO ₂ to air	2.1E-07	2.1E-07	2.1E-07
toxicity	species.yr/kg 1,4-DCB to industrial soil	5.4E-08	5.4E-08	5.4E-08
water use	species.yr/m ³ water consumed	0	1.4E-08	1.4E-08
land use	species/m ² annual crop land	8.9E-09	8.9E-09	8.9E-09
Ecosystem quality: fresh water				
climate change	species.yr/kg CO ₂	1.5E-14	7.7E-14	6.8E-13
eutrophication	species.yr/kg P to fresh water	6.1E-07	6.1E-07	6.1E-07
toxicity	species.yr/kg 1,4-DCB to fresh water	7.0E-10	7.0E-10	7.0E-10
water use	species.yr/m ³ water consumed	6.0E-13	6.0E-13	6.0E-13
Ecosystem quality: marine				
toxicity	species.yr/kg 1,4-DCB	1.1E-10	1.1E-10	1.1E-10
eutrophication	species.yr/kg N to marine water	1.7E-09	1.7E-09	1.7E-09
Resource scarcity				
minerals	US ₂₀₁₃ \$/kg Cu	0.16	0.23	0.23
fossils ³	US ₂₀₁₃ \$/kg crude oil	0.46	0.46	0.46
	US ₂₀₁₃ \$/kg hard coal	0.03	0.03	0.03
	US ₂₀₁₃ \$/Nm ³ natural gas	0.30	0.30	0.30

Figura 30. Fatores de conversão dos *midpoint indicators* em *endpoint indicators*

Tendo em conta que as emissões gasosas que se pretendem estudar, com uma maior urgência, ao longo do ciclo de vida do PT, são as emissões de dióxido de carbono, metano e hexafluoreto de enxofre os fatores de caracterização do *midpoint* destes GHG, para cada uma das perspectivas, são apresentados na Tabela 16 (Huijbregts et al., 2017).

Tabela 16. Fatores de caracterização dos GHG (Huijbregts et al., 2017)

Gás	Individualista	Hierárquica	Igualitária
Dióxido de carbono	1	1	1
Metano	84	34	4,8
Hexafluoreto de enxofre	17500	26087	34368,5

Ora, tendo em consideração que as três perspetivas são fundamentais para uma boa análise de impacto e resultados, de modo a não descorar o possível futuro impacto do produto em questão, apesar da sua vida útil se encontrar entre o tempo da primeira e da segunda perspetiva, efetuou-se a ACV com o método escolhido no openLCA para as três.

3.2.6. Procedimento no *software* openLCA

Os casos de estudo a considerar, como já fora referido, foram três:

- PT 60/30kV – 20MVA para a fase de produção e de utilização;
- PT 63/31,5kV – 15MVA para a fase de pós primeira vida;
- PT 60/31,4kV – 20MVA para a fase de pós primeira vida.

Esta seleção baseou-se no facto de que se queriam estudar, na fase de pós primeira vida, TRF que estavam em fábrica no momento e, na fase de produção e utilização um TRF da mesma gama e para o qual estivesse disponível o maior detalhe possível de MP.

PT 60/30kV – 20MVA de 2014: Número C-0875A e Projeto E1110875A

Projeto de produção de um TRF de acordo com o processo produtivo apresentado no capítulo 3.1.2.

PT 63/31,5Kv – 15MVA de 1987: Número C-11841

- Assunto: Avaliação de mérito do TRF Efacec nº C-11841.
- Empresa emissora do pedido: E-Redes Distribuição.
- Data: 18-03-2021.
- Objetivo: realizar trabalhos de reparação no TRF da subestação da Glória.
- Problema: TRF com problemas no regulador de carga ACEC tipo S – Nº 1RC26148 – 93239 manobras, nomeadamente o desgaste e desalinhamento de alguns contactos e a existência de algumas folgas na caixa de comando.
- Solução: substituição integral do regulador de carga nas instalações da Efacec Arroiteia, visto o regulador atual se tratar de um equipamento descontinuado.
- Trabalhos:
 1. Desmontagem e preparação para transporte;
 2. Transporte do TRF para as instalações da Efacec SRV;
 3. Reparação em fábrica:

- Descarga do TRF completo;
- Esvaziamento total do óleo para depósitos limpos e secos, fornecidos pela Efacec;
- Desmontagem dos acessórios exteriores;
- Preparação para descobagem da parte ativa;
- Descubagem da parte ativa;
- Desmontagem do regulador em carga, caixa de comando e sistema de transmissão;
- Desmontagem dos radiadores, lavagem do seu interior com óleo quente e sopragem com ar comprimido, para remoção de lamas e resíduos e remontagem dos radiadores, com substituição das juntas;
- Limpeza do interior da cuba do TRF e acessórios exteriores, para a remoção das lamas e detritos depositados, pelo sistema de projeção direta de óleo quente;
- Limpeza e desengorduramento do exterior da cuba do TRF e dos acessórios a reutilizar;
- Fornecimento de novo regulador em carga do fabricante MR, tipo VIII200Y, incluindo nova caixa de comando tipo ED100S, novo relé de fluxo tipo RS2001 e novos veios de comando;
- Montagem do novo regulador em carga, incluindo adaptação do mesmo à tampa e à cuba do TRF e execução das ligações internas a cada uma das bobinas, reutilizando os cabos existentes das bobinagens;
- Encubagem da parte ativa do TRF e preparação da secagem;
- Secagem da parte ativa em instalação de secagem apropriada, pelo sistema de *hot-oil-spray* sob vácuo, durante um período mínimo de 4 dias, 24 h/dia;
- Reapertos da parte ativa e encubagem do TRF com substituição da junta da tampa;
- Circulação de óleo anteriormente retirado, em cuba fornecida pela EFACEC e apropriada para o efeito, para tratamento de desgaseificação, desumidificação e filtragem, através de estação de tratamento de óleo (*stream-line*);
- Enchimento do TRF com o óleo anteriormente retirado, previamente tratado, sob vácuo;
- Montagem do equipamento exterior;
- Substituição da parafusaria mexida ou considerada em mau estado, por material com tratamento por zincagem a quente, resistente às condições exteriores adversas;
- Substituição geral de juntas;
- Substituição da sílica-gel do secador existente;
- Substituição da chapa de características existente por nova chapa de características, em alumínio;
- Preparação do TRF para ensaios de rotina;
- Ensaios finais de rotina a realizar no laboratório da nossa fábrica de acordo com as normas CEI 60076-1, com a presença do cliente;
- Carga do TRF completo, com óleo, para a composição de transporte;
- Fornecimento de relatório com a descrição dos trabalhos realizados e ensaios efetuados.

4. Transporte para as instalações de origem;
 5. Montagem.
- Informações confidenciais para proteção de dados: prazo de provisionamento e de execução, preço, condições de faturação e de pagamento, limites de fornecimento, garantia e responsabilidade, validade da proposta e condições gerais de venda.

PT 60/31,4kV – 20MVA de 1979: Número C-19270

- Assunto: Diagnóstico e Reparação do TRF Efacec nº C-19270.
- Empresa emissora do pedido: E-Redes.
- Data: 11-02-2022.
- Objetivo: realizar trabalhos de diagnóstico e reparação no TRF da subestação de Moura.
- Problema: TRF com danos nas travessias, com especial incidência na travessia AT da fase V, devido a uma descarga atmosférica.
- Solução: realização de um conjunto de ensaios elétricos ao TRF, para averiguar se a descarga afetou internamente a parte ativa.
- Trabalhos:
 1. Diagnóstico do TRF no local;
 2. Desmontagem e Transporte para as instalações da Efacec SRV;
 3. Reparação em fábrica:
 - Descarga do TRF e acessórios;
 - Esvaziamento total do óleo do TRF para depósitos disponibilizados pela Efacec;
 - Desmontagem dos acessórios exteriores;
 - Preparação para descubagem da parte ativa;
 - Descubagem da parte ativa;
 - Inspeção visual detalhada da parte ativa, enrolamentos e CM, incluindo a limpeza dos materiais resultantes da quebra da travessia;
 - Limpeza do interior da cuba do TRF e acessórios exteriores, para a remoção das lamas e detritos depositados, pelo sistema de projeção direta de óleo quente. A lavagem será realizada com óleo novo tratado, do tipo Ergon Hivolt I, não inibido;
 - Limpeza e desengorduramento do exterior da cuba do TRF e dos acessórios a reutilizar;
 - Lavagem dos radiadores, no exterior com água quente, no interior com óleo quente e sopragem com ar comprimido, para remoção de lamas e resíduos e remontagem dos radiadores, com substituição das juntas;
 - Substituição da válvula de amostragem inferior por nova válvula esférica;
 - Pintura da cuba, tampa, tubagens e conservador do TRF e acessórios exteriores, consistindo no tratamento anticorrosivo;
 - Pintura exterior dos radiadores do TRF;
 - Inspeção do seletor do regulador em carga;
 - Revisão do regulador em carga;
 - Encubagem da parte ativa do TRF e preparação da secagem;
 - Secagem da parte ativa em instalação de secagem apropriada, pelo sistema de *hot-oil-spray* sob vácuo, durante um período mínimo de 4 dias, 24 h/dia;

- Reapertos da parte ativa e encubagem do TRF com substituição da junta da tampa;
 - Enchimento do TRF, sob vazio, com óleo novo do tipo Ergon Hivolt I, não inibido, de fornecimento Efacec, após tratamento em circuito fechado, através de estação de tratamento (*stream-line*), para desumidificação, desgaseificação e filtragem de partículas sólidas;
 - Montagem do equipamento exterior;
 - Substituição da parafusaria mexida ou considerada em mau estado, por material com tratamento por zincagem a quente, resistente às condições exteriores adversas;
 - Substituição geral de juntas, por novas juntas;
 - Substituição das travessias AT existentes por 4 novas travessias AT, do tipo TRENCH COT 325-800;
 - Substituição das travessias BT existentes por 4 novas travessias BT, do tipo DIN 30E1000M;
 - Substituição da cablagem exterior existente por nova cablagem, utilizando cabo flexível equipado com bainha de cobre, do tipo Screen Flex fixado com abraçadeiras de inox revestidas, reutilizando os troços de calha e caminhos de cabos existentes na cuba;
 - Preparação do TRF para ensaios de rotina;
 - Ensaios finais de rotina a realizar no laboratório da nossa fábrica de acordo com as normas CEI 60076-1, com a presença do cliente;
 - Preparação do TRF para transporte, com a desmontagem e embalagem dos acessórios exteriores necessários para o transporte do mesmo (travessias AT e conservador);
 - Carga do TRF, com óleo e acessórios, para a composição de transporte.
4. Transporte;
 5. Montagem do TRF nas instalações de origem.
- Informações confidenciais para proteção de dados: prazo de aprovisionamento e de execução, preço, condições de faturação e de pagamento, limites de fornecimento, garantia e responsabilidade, validade da proposta e condições gerais de venda.

Sendo assim, antes de se realizar a aplicação prática no *software* openLCA foi necessário recolher o ICV dos casos de estudo, ou seja, os *inputs* e *outputs* do sistema, e para isto utilizou-se o programa interno WinTree que serve como uma ferramenta de cálculo digital das massas dos materiais utilizados nos TRF Efacec. Iniciou-se esta recolha pelos materiais do caso de estudo PT 60/30kV – 20MVA. O procedimento seguido neste programa regeu-se segundo os passos:

1. Pesquisa por projeto (consultar Figura 31);



Figura 31. Pesquisa por projeto no WinTree

2. Selecionar a etapa do ciclo de produção pretendida para consultar as respetivas folhas de cálculo, como se pode visualizar na Figura 32.

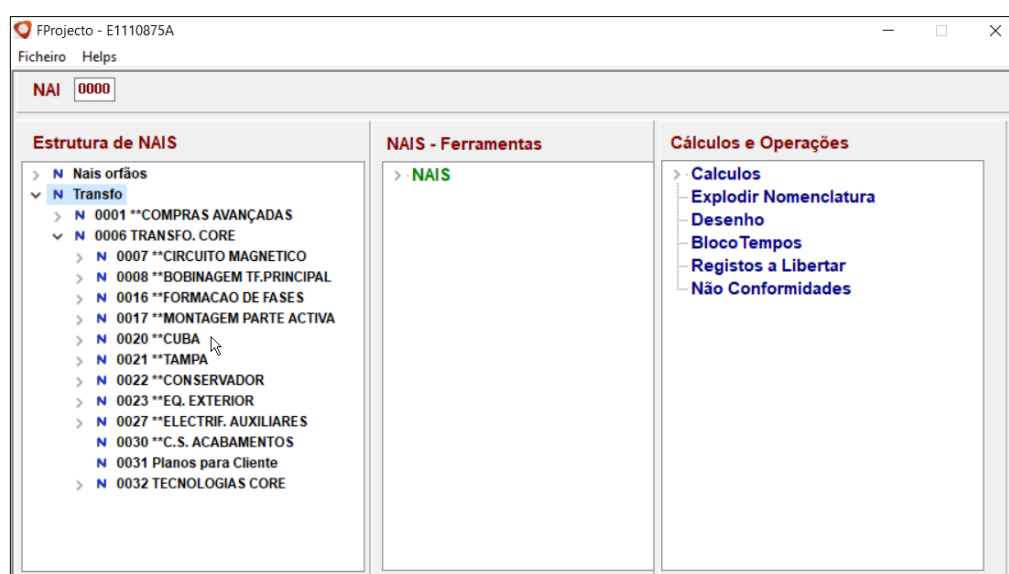


Figura 32. Seleção da etapa no WinTree

Para além das folhas de cálculo disponíveis no WinTree, também surgiu a necessidade de consultar encomendas, faturas, contratos e a capa de processo para identificar ou calcular massas em falta. Ao longo da recolha e levantamento dos dados teve-se por base as seguintes normas e os regulamentos:

- **Safety Information Sheet, According to Article 32 – thyssenkrupp** (thyssenkrupp, 2021), utilizada para obter a composição química da chapa magnética, ou conforme indicado “*Chemical Composition of grain oriented electrical steel (GOES)*”. Para além da ficha técnica facultada, também foram fornecidos dados importantes por *email* da fabricante;
- **EN 10025:1990 Hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels** (European Standard, 2004), aprovada pelo European Committee for Standardization (CEN) em 2004 – utilizada para obter as percentagens dos elementos químicos constituintes do aço em causa, em função da espessura do mesmo;
- **Norma ENM-2004 Aço laminado, qualidade Fe 310-0, perfil U com h=100mm** (Efacec Power Solutions, 2004) – utilizada para calcular a massa de um produto, quando a mesma era desconhecida, a partir do produto do comprimento pela respetiva massa linear;

- **Regulamento Laminated Pressboard and Laminated Wood Products in Power Transformers de 2007** (Heinrich et al., 2007) – utilizado para consultar a densidade do cartão PSP 3052 DIN 7733;
- **Norma ISO 65:1981 Carbon steel tubes suitable for screwing in accordance with ISO 7/1** – Pipe threads where pressure-tight joints are made on the threads (ISO, 1981) – utilizada para consultar a espessura do Tubo DN25 Série Média Preto ISO 65.

Os anexos 4, 5, 6, 7 e 8 apresentam os excertos das normas e dos regulamentos usados, respetivamente.

Os dados obtidos para realizar a ACV no openLCA foram recolhidos no MS Excel e encontram-se apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Inventário do Ciclo de Vida do PT 60/30kV – 20MVA

Produto	Designação Matéria-prima	Elementos químicos constituintes	% Elementos químicos	Massa Elementos (KG)	Massa MP (KG)	Massa Produto (KG)
Chapa magnética bruta	CHAPA GRADE M15030	Carbono (C)	0,010%	1,024	10236,50	10236,50
		Manganésio (Mn)	0,100%	10,237		
		Fósforo (P)	0,030%	3,071		
		Enxofre (S)	0,020%	2,047		
		Silício (Si)	3,150%	322,450		
		Ferro (Fe)	96,690%	9897,672		
Chapa magnética final	CHAPA GRADE M15030	Carbono (C)	0,010%	0,972	9723,00	9723,00
		Manganésio (Mn)	0,100%	9,723		
		Fósforo (P)	0,030%	2,917		
		Enxofre (S)	0,020%	1,945		
		Silício (Si)	3,150%	306,275		
		Ferro (Fe)	96,690%	9401,169		
Chapa magnética desperdício	CHAPA GRADE M15030	Carbono (C)	0,010%	0,051	513,50	513,50
		Manganésio (Mn)	0,100%	0,514		
		Fósforo (P)	0,030%	0,154		
		Enxofre (S)	0,020%	0,103		
		Silício (Si)	3,150%	16,175		
		Ferro (Fe)	96,690%	496,503		
Travessa sup. AT	PERFIL U C=2590 UNP 240 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,230%	0,198	86,00	117,17
		Manganésio (Mn)	1,500%	1,290		
		Fósforo (P)	0,045%	0,039		
		Enxofre (S)	0,045%	0,039		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,012		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,516		
		Ferro (Fe)	97,566%	83,907		
	NERVURA ALM S275 JR	Carbono (C)	0,240%	0,018	7,44	
		Manganésio (Mn)	1,600%	0,119		

ESP. 12mm EN-10025	Fósforo (P)	0,045%	0,003	3,75
	Enxofre (S)	0,045%	0,003	
	Nitrogénio (N)	0,014%	0,001	
	Cobre (Cu)	0,600%	0,045	
	Ferro (Fe)	97,456%	7,251	
TACO PARA TRAVESSA ALM C=12 S275 JR EN-10025	Carbono (C)	0,240%	0,009	10,80
	Manganésio (Mn)	1,600%	0,060	
	Fósforo (P)	0,045%	0,002	
	Enxofre (S)	0,045%	0,002	
	Nitrogénio (N)	0,014%	0,001	
	Cobre (Cu)	0,600%	0,023	
	Ferro (Fe)	97,456%	3,655	
SUPORTE PARAF. PRESSAO C=70 ALM D45 S235 JR	Carbono (C)	0,230%	0,025	5,78
	Manganésio (Mn)	1,500%	0,162	
	Fósforo (P)	0,045%	0,005	
	Enxofre (S)	0,045%	0,005	
	Nitrogénio (N)	0,014%	0,002	
	Cobre (Cu)	0,600%	0,065	
	Ferro (Fe)	97,566%	10,537	
BARRA SUPORTE ALM 100*16 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,190%	0,011	1,00
	Manganésio (Mn)	1,500%	0,087	
	Fósforo (P)	0,045%	0,003	
	Enxofre (S)	0,045%	0,003	
	Nitrogénio (N)	0,014%	0,001	
	Cobre (Cu)	0,600%	0,035	
	Ferro (Fe)	97,606%	5,642	
CHAPA PARA BOTAO ALM ESP.25 S275 JR EN-10025	Carbono (C)	0,240%	0,002	2,40
	Manganésio (Mn)	1,600%	0,016	
	Fósforo (P)	0,045%	0,000	
	Enxofre (S)	0,045%	0,000	
	Nitrogénio (N)	0,014%	0,000	
	Cobre (Cu)	0,600%	0,006	
	Ferro (Fe)	97,456%	0,975	
VARAO PARA BOTAO C=60 ALM S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,230%	0,006	2,342
	Manganésio (Mn)	1,500%	0,036	
	Fósforo (P)	0,045%	0,001	
	Enxofre (S)	0,045%	0,001	
	Nitrogénio (N)	0,014%	0,000	
	Cobre (Cu)	0,600%	0,014	
	Ferro (Fe)	97,566%	2,342	

	SUPORTE PARA TRAVESSA C=176 UNP S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,230%	0,006	2,82	
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,042		
		Fósforo (P)	0,045%	0,001		
		Enxofre (S)	0,045%	0,001		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,017		
		Ferro (Fe)	97,566%	2,747		
	DEFLETOR ALM D20 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,190%	0,009	4,93	
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,074		
		Fósforo (P)	0,045%	0,002		
		Enxofre (S)	0,045%	0,002		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,030		
		Ferro (Fe)	97,606%	4,812		
	NERVURA ALM S275 JR ESP.16mm EN-10025	Carbono (C)	0,240%	0,001	0,21	
		Manganésio (Mn)	1,600%	0,003		
		Fósforo (P)	0,045%	0,000		
		Enxofre (S)	0,045%	0,000		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,001		
		Ferro (Fe)	97,456%	0,209		
Travessa sup. BT	PERFIL U C=2590 UNP 240 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,230%	0,198	86,00	
		Manganésio (Mn)	1,500%	1,290		
		Fósforo (P)	0,045%	0,039		
		Enxofre (S)	0,045%	0,039		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,012		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,516		
		Ferro (Fe)	97,566%	83,907		
	NERVURA ALM S275 JR ESP.12mm EN-10025	Carbono (C)	0,240%	0,018	7,44	
		Manganésio (Mn)	1,600%	0,119		
		Fósforo (P)	0,045%	0,003		
		Enxofre (S)	0,045%	0,003		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,045		
		Ferro (Fe)	97,456%	7,251		
	TACO PARA TRAVESSA ALM C=12 S275 JR EN-10025	Carbono (C)	0,240%	0,009	3,75	
		Manganésio (Mn)	1,600%	0,060		
		Fósforo (P)	0,045%	0,002		
		Enxofre (S)	0,045%	0,002		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
	117,17					

		Cobre (Cu)	0,600%	0,023		
		Ferro (Fe)	97,456%	3,655		
	SUPORTE PARAF. PRESSAO C=70 ALM D45 S235 JR		Carbono (C)	0,230%	0,025	10,80
			Manganésio (Mn)	1,500%	0,162	
			Fósforo (P)	0,045%	0,005	
			Enxofre (S)	0,045%	0,005	
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,002	
			Cobre (Cu)	0,600%	0,065	
			Ferro (Fe)	97,566%	10,537	
	BARRA SUPORTE ALM 100*16 S235 JR EN-10025		Carbono (C)	0,190%	0,011	5,78
			Manganésio (Mn)	1,500%	0,087	
			Fósforo (P)	0,045%	0,003	
			Enxofre (S)	0,045%	0,003	
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,001	
			Cobre (Cu)	0,600%	0,035	
			Ferro (Fe)	97,606%	5,642	
	CHAPA PARA BOTAO ALM ESP.25 S275 JR EN-10025		Carbono (C)	0,240%	0,002	1,00
			Manganésio (Mn)	1,600%	0,016	
			Fósforo (P)	0,045%	0,000	
			Enxofre (S)	0,045%	0,000	
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,000	
			Cobre (Cu)	0,600%	0,006	
			Ferro (Fe)	97,456%	0,975	
VARAO PARA BOTAO C=60 ALM S235 JR EN-10025		Carbono (C)	0,230%	0,006	2,40	
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,036		
		Fósforo (P)	0,045%	0,001		
		Enxofre (S)	0,045%	0,001		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,014		
		Ferro (Fe)	97,566%	2,342		
SUPORTE PARA TRAVESSA C=176 UNP S235 JR EN-10025		Carbono (C)	0,230%	0,006	2,82	
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,042		
		Fósforo (P)	0,045%	0,001		
		Enxofre (S)	0,045%	0,001		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,017		
		Ferro (Fe)	97,566%	2,747		
DEFLETOR ALM D20 S235 JR EN-10025		Carbono (C)	0,190%	0,004	1,97	
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,030		
		Fósforo (P)	0,045%	0,001		

		Enxofre (S)	0,045%	0,001			
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000			
		Cobre (Cu)	0,600%	0,012			
		Ferro (Fe)	97,606%	1,925			
	NERVURA ALM S275 JR ESP.16mm EN-10025		Carbono (C)	0,240%	0,001		0,21
			Manganésio (Mn)	1,600%	0,003		
			Fósforo (P)	0,045%	0,000		
			Enxofre (S)	0,045%	0,000		
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
			Cobre (Cu)	0,600%	0,001		
			Ferro (Fe)	97,456%	0,209		
	Travessa inf. AT	PERFIL U C=2590 UNP 240 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,230%	0,198		86,00
			Manganésio (Mn)	1,500%	1,290		
			Fósforo (P)	0,045%	0,039		
Enxofre (S)			0,045%	0,039			
Nitrogénio (N)			0,014%	0,012			
Cobre (Cu)			0,600%	0,516			
Ferro (Fe)			97,566%	83,907			
NERVURA ALM S275 JR ESP.12mm EN-10025			Carbono (C)	0,240%	0,018	7,44	
			Manganésio (Mn)	1,600%	0,119		
			Fósforo (P)	0,045%	0,003		
			Enxofre (S)	0,045%	0,003		
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
			Cobre (Cu)	0,600%	0,045		
			Ferro (Fe)	97,456%	7,251		
BARRA SUPORTE ALM 100*16 S235 JR EN-10025			Carbono (C)	0,190%	0,011	5,78	
			Manganésio (Mn)	1,500%	0,087		
			Fósforo (P)	0,045%	0,003		
			Enxofre (S)	0,045%	0,003		
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
			Cobre (Cu)	0,600%	0,035		
			Ferro (Fe)	97,606%	5,642		
PERNO ALM D12 S235 JR EN-10025			Carbono (C)	0,190%	0,011	0,22	
			Manganésio (Mn)	1,500%	0,087		
			Fósforo (P)	0,045%	0,003		
	Enxofre (S)		0,045%	0,003			
	Nitrogénio (N)		0,014%	0,001			
	Cobre (Cu)		0,600%	0,035			
	Ferro (Fe)		97,606%	5,642			

	DEFLETOR ALM D20 S235 JR EN- 10025	Carbono (C)	0,190%	0,006	2,96	
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,044		
		Fósforo (P)	0,045%	0,001		
		Enxofre (S)	0,045%	0,001		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,018		
		Ferro (Fe)	97,606%	2,887		
Travessa inf. BT	PERFIL U C=2590 UNP 240 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,230%	0,198	86,00	99,22
		Manganésio (Mn)	1,500%	1,290		
		Fósforo (P)	0,045%	0,039		
		Enxofre (S)	0,045%	0,039		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,012		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,516		
		Ferro (Fe)	97,566%	83,907		
	NERVURA ALM S275 JR ESP.12mm EN- 10025	Carbono (C)	0,240%	0,018	7,44	
		Manganésio (Mn)	1,600%	0,119		
		Fósforo (P)	0,045%	0,003		
		Enxofre (S)	0,045%	0,003		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,045		
		Ferro (Fe)	97,456%	7,251		
	BARRA SUPORTE ALM 100*16 S235 JR EN- 10025	Carbono (C)	0,190%	0,011	5,78	
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,087		
		Fósforo (P)	0,045%	0,003		
		Enxofre (S)	0,045%	0,003		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,035		
		Ferro (Fe)	97,606%	5,642		
PERNO ALM D12 S235 JR EN- 10025	Carbono (C)	0,190%	0,011	0,22		
	Manganésio (Mn)	1,500%	0,087			
	Fósforo (P)	0,045%	0,003			
	Enxofre (S)	0,045%	0,003			
	Nitrogénio (N)	0,014%	0,001			
	Cobre (Cu)	0,600%	0,035			
	Ferro (Fe)	97,606%	5,642			
Placa de núcleo	CHAPA St 44 ALM ESP. 10 S275 JR EN- 10025	Carbono (C)	0,240%	0,361	150,60	178,10
		Manganésio (Mn)	1,600%	2,410		
		Fósforo (P)	0,045%	0,068		
		Enxofre (S)	0,045%	0,068		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,021		

		Cobre (Cu)	0,600%	0,904			
		Ferro (Fe)	97,456%	146,769			
	TACO PARA PL.NUCLEO ALM 120*12 S275 JR EN-10025		Carbono (C)	0,240%	0,018	7,50	
			Manganésio (Mn)	1,600%	0,120		
			Fósforo (P)	0,045%	0,003		
			Enxofre (S)	0,045%	0,003		
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
			Cobre (Cu)	0,600%	0,045		
			Ferro (Fe)	97,456%	7,309		
			PLACA SUPERIOR ALM ESP.12 S275 JR EN-10025		Carbono (C)		
	Manganésio (Mn)	1,600%			0,112		
	Fósforo (P)	0,045%			0,003		
	Enxofre (S)	0,045%			0,003		
	Nitrogénio (N)	0,014%			0,001		
	Cobre (Cu)	0,600%			0,042		
	Ferro (Fe)	97,456%			6,822		
	PERFIL U C=87 UNP 180 S235 JR EN-10025		Carbono (C)	0,230%	0,014	6,00	
			Manganésio (Mn)	1,500%	0,090		
			Fósforo (P)	0,045%	0,003		
			Enxofre (S)	0,045%	0,003		
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
			Cobre (Cu)	0,600%	0,036		
			Ferro (Fe)	97,566%	5,854		
	PLACA INFERIOR ALM ESP.12 S275 JR EN-10025		Carbono (C)	0,240%	0,017	7,00	
			Manganésio (Mn)	1,600%	0,112		
			Fósforo (P)	0,045%	0,003		
Enxofre (S)			0,045%	0,003			
Nitrogénio (N)			0,014%	0,001			
Cobre (Cu)			0,600%	0,042			
Ferro (Fe)			97,456%	6,822			
Isolante de núcleo	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	6,144	6,14	6,14	
Travessa de assento	ALM C=40 S275 JR EN-10025	Carbono (C)	0,240%	0,252	105,00	105,00	
		Manganésio (Mn)	1,600%	1,680			
		Fósforo (P)	0,045%	0,047			
		Enxofre (S)	0,045%	0,047			
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,015			
		Cobre (Cu)	0,600%	0,630			
		Ferro (Fe)	97,456%	102,329			
Base isolante	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	2,175	2,17	2,17	

Calagem culassa sup.	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	4,140	4,14	4,82
	CARTAO PSP 3052 RETALHOS	Celulose	100,000%	0,684	0,68	
Calagem culassa inf.	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	4,140	4,14	4,39
	CARTAO PSP 3052 RETALHOS	Celulose	100,000%	0,252	0,25	
Bloco de calagem	LINGNOSTONE L I/2/E3 E=60	Madeira laminada	100,000%	6,000	6,00	6,00
Bloco de pressão	LINGNOSTONE L I/2/E3 E=60	Madeira laminada	100,000%	23,600	23,60	23,60
Bloco de pressão (2)	LINGNOSTONE L I/2/E3 E=60	Madeira laminada	100,000%	23,600	23,60	23,60
Régua de aperto	LINGNOSTONE L I/2/E3 E=20	Madeira laminada	100,000%	4,000	4,00	4,00
Régua de aperto (2)	LINGNOSTONE L I/2/E3 E=20	Madeira laminada	100,000%	2,000	2,00	2,00
U de calagem	BARRA SUPORTE ALM 100*12 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,190%	0,004	2,00	29,42
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,030		
		Fósforo (P)	0,045%	0,001		
		Enxofre (S)	0,045%	0,001		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,012		
		Ferro (Fe)	97,606%	1,952		
	PERFIL U 240 C=413 UNP S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,230%	0,063	27,42	
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,411		
		Fósforo (P)	0,045%	0,012		
		Enxofre (S)	0,045%	0,012		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,004		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,165		
		Ferro (Fe)	97,566%	26,756		
U de proteção	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	4,000	4,00	4,00
U de calagem (2)	BARRA SUPORTE ALM 100*12 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,190%	0,004	2,00	27,83
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,030		
		Fósforo (P)	0,045%	0,001		
		Enxofre (S)	0,045%	0,001		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,012		
		Ferro (Fe)	97,606%	1,952		
	PERFIL U 240 C=389 UNP S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,190%	0,049	25,83	
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,387		
		Fósforo (P)	0,045%	0,012		
		Enxofre (S)	0,045%	0,012		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,004		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,155		

		Ferro (Fe)	97,606%	25,211		
U de travamento	PERFIL U C=463 UNP 120 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,230%	0,014	6,20	6,20
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,093		
		Fósforo (P)	0,045%	0,003		
		Enxofre (S)	0,045%	0,003		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,037		
		Ferro (Fe)	97,566%	6,053		
	BARRA ALM ESP.12 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,190%	0,003	1,79	1,79
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,027		
		Fósforo (P)	0,045%	0,001		
		Enxofre (S)	0,045%	0,001		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,011		
		Ferro (Fe)	97,606%	1,746		
U de proteção (2)	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	1,000	1,00	1,00
U de travamento (2)	PERFIL U C=464 UNP 120 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,230%	0,014	12,44	12,44
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,093		
		Fósforo (P)	0,045%	0,003		
		Enxofre (S)	0,045%	0,003		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,001		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,037		
		Ferro (Fe)	97,566%	6,053		
	BARRA ALM ESP.12 S235 JR EN-10025	Carbono (C)	0,190%	0,003	1,79	1,79
		Manganésio (Mn)	1,500%	0,027		
		Fósforo (P)	0,045%	0,001		
		Enxofre (S)	0,045%	0,001		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,011		
		Ferro (Fe)	97,606%	1,746		
U de proteção (3)	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	2,000	2,00	2,00
Régua de aperto (3)	LINGNOSTONE L I/2/E3 E=20	Madeira laminada	100,000%	6,000	6,00	6,00
U de proteção (4)	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	6,000	6,00	6,00
TOTAL CM MONTAGEM						11127,58
Enrolamento AT bruto	PAPER TAPE COVERED RECTANGULAR COPPER WIRE	Paper tape covered rectangular copper wire	100,000%	2086,000	2086,00	2086,00
Enrolamento AT final	PAPER TAPE COVERED	Paper tape covered	100,000%	2044,000	2044,00	2044,00

	RECTANGULAR COPPER WIRE	rectangular copper wire				
Enrolamento AT desperdício	PAPER TAPE COVERED RECTANGULAR COPPER WIRE	Paper tape covered rectangular copper wire	100,000%	42,000	42,00	42,00
Isolantes AT	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	15,77745	15,78	67,60
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	23,460	23,46	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,253	0,25	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,018	0,02	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,027	0,03	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	3,000	3,00	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	3,000	3,00	
	PAPEL INSULDUR	Celulose	100,000%	12,431	12,43	
	PAPEL INSULDUR	Celulose	100,000%	9,368	9,37	
	RACCORD	Latão para fundição	100,000%	0,241	0,24	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,005	0,005	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,014	0,014	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%		0,007	
Enrolamento BT bruto	CONTINUOUSLY TRANPOSED CABLE	Continuously transposed cable	100,000%	1470,000	1470,00	1470,00
Enrolamento BT final	CONTINUOUSLY TRANPOSED CABLE	Continuously transposed cable	100,000%	1370,000	1370,00	1370,00
Enrolamento BT desperdício	CONTINUOUSLY TRANPOSED CABLE	Continuously transposed cable	100,000%	100,000	100,00	100,00
Isolantes BT	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	13,128	13,13	65,58
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	29,791	29,79	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,282	0,28	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	1,000	1,00	
	PAPEL INSULDUR	Celulose	100,000%	9,561	9,56	
	PAPEL INSULDUR	Celulose	100,000%	7,212	7,21	
	RACCORD	Latão para fundição	100,000%	0,241	0,24	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,005	0,005	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	3,000	3,00	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,008	0,008	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,012	0,012	

	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,901	0,90	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,041	0,041	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,018	0,018	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,027	0,027	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,350	0,35	
Enrolamento Reg. bruto	PAPER TAPE COVERED RECTANGULAR COPPER WIRE	Paper tape covered rectangular copper wire	100,000%	343,000	343,00	343,00
Enrolamento Reg. final	PAPER TAPE COVERED RECTANGULAR COPPER WIRE	Paper tape covered rectangular copper wire	100,000%	315,000	315,00	315,00
Enrolamento Reg. desperdício	PAPER TAPE COVERED RECTANGULAR COPPER WIRE	Paper tape covered rectangular copper wire	100,000%	28,000	28,00	28,00
Isolantes Regulação	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	39,383	39,38	63,56
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	6,044	6,04	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	6,044	6,04	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	6,044	6,04	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	6,044	6,04	
EDGE STRIP TIPO 1 E12	PAPER TAPE COVERED RECTANGULAR COPPER WIRE	Paper tape covered rectangular copper wire	100,000%	7,000	7,00	7,00
TOTAL BOBINAGEM						4102,74
Reserva de cartão	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	900,000	900,00	905,00
	LINGNOSTONE L 1/2/E3 E=20	Madeira laminada	100,000%	5,000	5,00	
TOTAL FORMAÇÃO DE FASES						905,00
Ligações lado AT	CABO FLEXÍVEL 95MM2	Epoxy Coated Insuldur Kraft Paper	100,000%	102,000	102,00	164,72
	CABO FLEXÍVEL 95MM2	Epoxy Coated Insuldur Kraft Paper	100,000%	1,000	1,00	
	LINGNOSTONE L 1/2/E3 E=20	Madeira laminada	100,000%	3,000	3,00	
	LINGNOSTONE L 1/2/E3 E=40	Madeira laminada	100,000%	11,000	11,00	
	LINGNOSTONE L 1/2/E3 E=60	Madeira laminada	100,000%	36,000	36,00	
	CARTÃO PSP 3050	Celulose	100,000%	3,960	3,96	
	CARTÃO PSP 3050	Celulose	100,000%	2,174	2,17	

	CARTÃO PSP 3050	Celulose	100,000%	0,378	0,38	
	CARTÃO PSP 3050	Celulose	100,000%	0,378	0,38	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	2,896	2,896	
	TUBO ISOLANTE L=27	Celulose	100,000%	0,237	0,24	
	TUBO ISOLANTE L=500	Celulose	100,000%	0,548	0,55	
	TUBO ISOLANTE L=61	Celulose	100,000%	0,601	0,60	
	TUBO ISOLANTE L=500	Celulose	100,000%	0,548	0,55	
Ligações lado BT	CABO FLEXÍVEL 240MM2	Epoxy Coated Insuldur Kraft Paper	100,000%	17,000	17,00	43,68
	LINGNOSTONE L I/2/E3 E=20	Madeira laminada	100,000%	3,000	3,00	
	LINGNOSTONE L I/2/E3 E=40	Madeira laminada	100,000%	21,000	21,00	
	CU ETP 50*1MM	Paper tape covered rectangular copper wire	100,000%	0,100	0,10	
	CABO FLÉXIVEL 70MM2	Epoxy Coated Insuldur Kraft Paper	100,000%	0,600	0,60	
	CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Celulose	100,000%	0,057	0,06	
	TUBO ISOLANTE L=29	Celulose	100,000%	0,826	0,83	
	TUBO ISOLANTE L=500	Celulose	100,000%	1,095	1,10	
TOTAL MONT. PARTE ATIVA						208,40
TOTAL CUBA						2400,00
TOTAL TAMPA						780,00
Conservador balão	ALM C=12 S275 JR EN-10025	Carbono (C)	0,240%	0,200	83,19	634,39
		Manganésio (Mn)	1,600%	1,331		
		Fósforo (P)	0,045%	0,037		
		Enxofre (S)	0,045%	0,037		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,012		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,499		
		Ferro (Fe)	97,456%	81,074		
	ALM C=8 S275 JR EN-10025	Carbono (C)	0,240%	0,043	17,75	
		Manganésio (Mn)	1,600%	0,284		
		Fósforo (P)	0,045%	0,008		
		Enxofre (S)	0,045%	0,008		
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,002		
		Cobre (Cu)	0,600%	0,106		
		Ferro (Fe)	97,456%	17,296		
	Carbono (C)	0,240%	0,003	1,25		

	ALM S275 JR EN-10025	Manganésio (Mn)	1,600%	0,020			
		Fósforo (P)	0,045%	0,001			
		Enxofre (S)	0,045%	0,001			
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000			
		Cobre (Cu)	0,600%	0,007			
		Ferro (Fe)	97,456%	1,215			
	ALM S275 JR EN-10025	Carbono (C)	0,240%	0,005	2,21		
		Manganésio (Mn)	1,600%	0,035			
		Fósforo (P)	0,045%	0,001			
		Enxofre (S)	0,045%	0,001			
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,000			
		Cobre (Cu)	0,600%	0,013			
	ZONAS VEDAÇÃO - CONSTR. SOLDADA	Carbono (C)	0,190%	1,007	530,00		
		Manganésio (Mn)	1,500%	7,950			
		Fósforo (P)	0,045%	0,239			
		Enxofre (S)	0,045%	0,239			
		Nitrogénio (N)	0,014%	0,074			
		Cobre (Cu)	0,600%	3,180			
TOTAL CONSERVADOR						634,39	
	Eq. exterior	ZONAS VEDAÇÃO - CONSTR. SOLDADA	Carbono (C)	0,190%	0,295	155,00	155,00
			Manganésio (Mn)	1,500%	2,325		
			Fósforo (P)	0,045%	0,070		
			Enxofre (S)	0,045%	0,070		
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,022		
			Cobre (Cu)	0,600%	0,930		
			Ferro (Fe)	97,606%	151,289		
	Rodados	ZONAS VEDAÇÃO - CONSTR. SOLDADA	Carbono (C)	0,190%	0,255	134,00	134,00
			Manganésio (Mn)	1,500%	2,010		
			Fósforo (P)	0,045%	0,060		
			Enxofre (S)	0,045%	0,060		
			Nitrogénio (N)	0,014%	0,019		
			Cobre (Cu)	0,600%	0,804		
			Ferro (Fe)	97,606%	130,792		
	TOTAL EQ. EXTERIOR						289,00

Na primeira coluna encontram-se os produtos propriamente ditos utilizados na produção do PT Core, como a chapa magnética, as travessas, os isolantes, os enrolamentos, as ligações, entre outros. Na segunda coluna são apresentadas as MP dos respetivos produtos e na coluna seguinte

os elementos químicos constituintes de cada MP, obtidos a partir do WinTree. Já na coluna quatro colocaram-se as percentagens de cada um destes elementos, consultadas na norma EN 10025:1990. Relativamente às três últimas colunas, estas apresentam as massas dos produtos, MP e elementos, sendo que esta última foi calculada através do produto das percentagens pelas massas das MP, encontradas no WinTree, assim como, as dos produtos.

A Norma ENM-2004 foi utilizada quando era desconhecida a massa real de um produto ou MP, como foi o caso, por exemplo, do Suporte para Travessa C=176 UNP S235 JR EN-10025 da Travessa superior AT. Para esta MP, sendo que o seu comprimento era de 176 milímetros e h era de 140 milímetros, fez-se o produto de 0,176 metros pela massa linear respetiva, ou seja, para um h=140 teve-se uma massa linear de 16 kg/m. Assim, a massa do suporte obtida foi de 2,82 kg.

Relativamente ao Regulamento Laminated Pressboard and Laminated Wood Products in Power Transformers, o mesmo foi utilizado quando a massa de alguns isolantes não era apresentada nas folhas de cálculo no WinTree. Assim, por exemplo, para a Calagem culassa superior, na MP cartão PSP 3052 DIN 7733, utilizou-se uma densidade de 1,25 g/cm³, uma vez que, o regulamento dita um valor mínimo para a densidade de 1,15 g/cm³ e máximo de 1,35 g/cm³, e, desta forma, optou por se utilizar o valor médio. Ao fazer o produto desta densidade pelo volume e pelo número de unidades da MP, obteve-se a massa desconhecida de 4,14 kg.

A Norma ISO 65:1981 foi usada no cálculo da massa de tubos de aço quando não se conhecia a sua espessura, como se deu o caso do Tubo DN25 S.Média Preto ISO 65 de ALM S275 JR EN-10025 do Conservador. Para esta MP, uma vez que DN=25 e Série=M, a sua espessura foi de 3,2 milímetros.

Ao longo da Tabela 17, como se pode ver a sombreado, fizeram-se as somas das quantidades em cada uma das fases de produção, após a recolha de todas as MP, nomeadamente Montagem do CM, Bobinagem, Formação de Fases, Montagem da parte ativa, Cuba, Tampa, Conservador e Equipamento Exterior.

Para além dos dados de inventário recolhidos, também se considerou a energia gasta como sendo um *input* no sistema. Uma vez que já foram analisados os gastos/consumos energéticos na produção deste PT Core no capítulo 3.1.5, no presente capítulo analisou-se de onde era proveniente a energia elétrica então utilizada. Para isto, consultou-se o site da EDP e fez-se uma filtragem da origem da energia em Portugal no primeiro trimestre de 2022 no setor empresas, como se pode consultar na Figura 33.

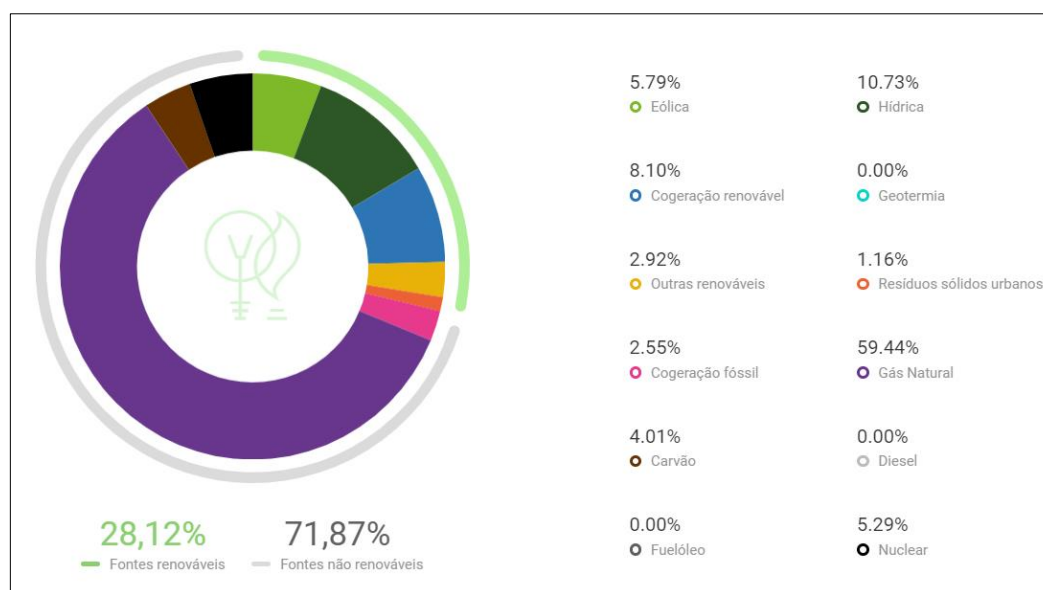


Figura 33. Origem da energia trimestral para empresas (EDP, 2022)

Desta forma, fez-se o produto do consumo energético de cada etapa da produção por cada um dos tipos de energia provenientes da EDP e pelo fator de conversão de kWh para MJ (3,6), visto o megajoule ser a unidade de energia mais considerada no *software*, por forma a obter o consumo total de cada etapa da cadeia para cada um dos tipos de energia. Não fazia sentido considerar o valor do consumo energético em euros, uma vez que o valor do kWh muda ao longo do tempo. A Tabela 18 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 18. Energia em megajoule em cada etapa

	Bobinagem AT	Bobinagem BT	Secagem Ar quente + Vácuo	Formação de Fases	Secagem Vapour phase	Secagem HOS	Montagem Parte Ativa + Montagem Final	Vácuo + Enchimento	Montagem Equipamento Exterior
Eólica	14,591	387,999	171,938	1.842,610	162,045	15.476,670	684,951	1.190,109	164,934
Hídrica	27,040	719,037	318,635	3.414,715	300,302	28.681,290	1.269,347	2.205,504	305,656
Cogeração renovável	20,412	542,796	240,535	2.577,744	226,696	21.651,300	958,221	1.664,919	230,737
Geotermia	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Outras renováveis	7,358	195,675	86,711	929,261	81,722	7.805,160	345,433	600,193	83,179
Resíduos sólidos urbanos	2,923	77,734	34,447	369,158	32,465	3.100,680	137,227	238,433	33,044
Cogeração fóssil	6,426	170,880	75,724	811,512	71,367	6.816,150	301,662	524,141	72,640
Gás Natural	149,789	3.983,184	1.765,111	18.916,186	1.663,554	158.883,120	7.031,685	12.217,630	1.693,213
Carvão	10,105	268,717	119,080	1.276,142	112,228	1.0718,730	474,379	824,238	114,229
Diesel	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fuelóleo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Nuclear	13,331	354,493	157,090	1.683,490	148,052	1.4140,170	625,801	1.087,336	150,691
---------	--------	---------	---------	-----------	---------	------------	---------	-----------	---------

Os dados relativos aos resíduos apresentados no capítulo 3.1.5 dizem respeito aos *outputs* do sistema, enquanto os dados de inventário e a energia elétrica consumida funcionam como *inputs*.

Após os dados recolhidos foi possível iniciar a ACV com recurso ao openLCA. Os *inputs* referentes ao PT 63/31,5Kv – 15MVA e ao PT 60/31,4Kv – 20MVA encontram-se no Apêndice 11, no entanto, a ACV realizada apenas incluiu a fase de produção do PT Core dado o material encontrado e o tempo disponível para a realização do projeto. Assim, de acordo com a literatura é uma avaliação do tipo “Gate-to-gate”. Por outro lado, a recolha de inventário da fase de reparação será útil numa perspetiva após o projeto.

Inicialmente, fez-se o *download* do *software* openLCA versão 1.11.0 de 2022 a partir do *site* oficial do mesmo e importou-se a base de dados Eco-Invent Methods versão 3.5 de 2019 no *software*, descarregada do banco de bases de dados openLCA Nexus, disponível *online*. Após a iniciação da base de dados, o menu inicial do openLCA tem o aspeto apresentado na Figura 34.



Figura 34. Menu do *software* openLCA

No canto superior esquerdo do menu inicial do *software* podem-se observar os setores incluídos na base de dados “*Projects*”, “*Product Systems*”, “*Processes*”, “*Flows*”, “*Indicators and parameters*” e “*Background data*”:

- *Projects* – “compare the impacts of different product systems” (Greendelta, 2020, p. 28);
- *Product Systems* – “contains all processes under study” (Greendelta, 2020, p. 21);
- *Processes* – “sets of interacting activities that transform inputs into outputs” (Greendelta, 2020, p. 13);
- *Flows* – “all product, material or energy inputs and outputs of processes in the product system under study” (Greendelta, 2020, p. 9);
- *Indicators and parameters* – inclui os métodos de cálculo disponíveis;
- *Background data* – engloba moedas, fontes usadas e localizações consideradas.

A Figura 35 ilustra um exemplo de interação entre os termos apresentados.

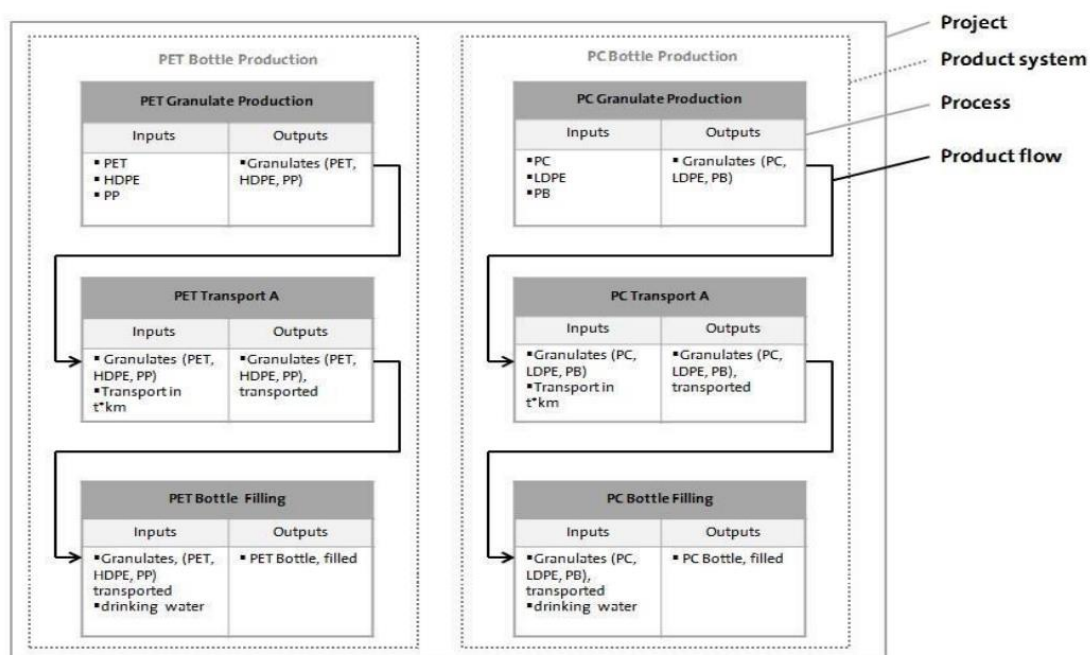


Figura 35. Exemplo de modelação no openLCA (Greendelta, 2020, p. 8)

A Figura 35 mostra que “Product flow” sai de um processo e entra noutro, “Process” constitui um processo e está dentro do sistema de produto (“Product system”) e “Project” engloba dois ou mais sistemas quando surge a necessidade de realizar comparações.

Para uma correta e eficaz utilização do openLCA estudou-se o manual de utilizador disponível, recorreu-se ao apoio técnico via e-mail da equipa do *software* e fez-se uso do seu fórum de perguntas e respostas.

Com o inventário recolhido, ao nível de *inputs* e *outputs*, o passo seguinte passou por encontrar na Eco-Invent Methods correspondência para todos os dados, através da sua pesquisa na barra no canto superior direito, como se pode ver onde se pesquisou por “wind energy” na Figura 34. Este processo revelou-se uma grande limitação, uma vez que, na base de dados não estavam a ser encontrados a maioria destes. Ora, isto aconteceu, possivelmente, por se estar a utilizar a versão gratuita e incompleta da Eco-invent, a Eco-Invent Methods. Desta forma, e após uma discussão com membros do INEGI, considerou-se que a melhor solução seria descarregar do Nexus todas as bases de dados disponíveis e gratuitas para efeitos de ACV e importar as mesmas no openLCA, de modo a utilizá-las em simultâneo para pesquisa de dados. De notar que, no contexto do presente projeto a única possibilidade era a utilização de meios gratuitos. As bases de dados consideradas foram:

- Agribalyse de 2021, versão 3.0.1;
- Bioenergiedat de 2018, sem versão específica;
- Eco-invent Methods de 2018, versão 3.3;
- ELCD de 2018, versão 3.2;
- Environmental Footprints de 2022, sem versão específica;
- Exiobase de 2018, versão 3.4;
- Impact World, sem ano e versão específicos;
- Needs Complete de 2018, sem versão específica;

- OZlci de 2019, sem versão específica;
- USDA, sem ano e versão específicos;
- Worldsteel de 2020, versão 3.0.

Após o agrupamento de todas as bases de dados numa única, de nome “final_database_combination”, fez-se a correspondência entre todos os *inputs/outputs*, os *flows* propriamente ditos, e os dados encontrados na base de dados combinada. As tabelas 18, 19 e 20 evidenciam estas correspondências.

Tabela 19. MP na base de dados

MP	Termo na base de dados
ALM C=12 S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
ALM C=40 S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
ALM C=8 S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
ALM S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
BARRA ALM ESP.12 S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
BARRA SUPORTE ALM 100*12 S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
BARRA SUPORTE ALM 100*16 S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
CABO FLEXÍVEL 240MM2	Copper wire
CABO FLÉXIVEL 70MM2	Copper wire
CABO FLEXÍVEL 95MM2	Copper wire
CARTÃO PSP 3050	Cellulose (excluding blowing)
CARTÃO PSP 3052 DIN 7733	Cellulose (excluding blowing)
CARTAO PSP 3052 RETALHOS	Cellulose (excluding blowing)
CHAPA GRADE M15030	Steel plate
CHAPA PARA BOTAO ALM ESP.25 S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
CHAPA St 44 ALM ESP. 10 S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
CONTINUOUSLY TRANSPOSED CABLE	Copper wire
CU ETP 50*1MM	Copper wire
DEFLETOR ALM D20 S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
LINGNOSTONE L I/2/E3 E=20	Veneer, hardwood, dry, at veneer mill, E
LINGNOSTONE L I/2/E3 E=40	Veneer, hardwood, dry, at veneer mill, E
LINGNOSTONE L I/2/E3 E=60	Veneer, hardwood, dry, at veneer mill, E
NERVURA ALM S275 JR ESP.12mm EN-10025	Steel Engineering Steel

NERVURA ALM S275 JR ESP.16mm EN-10025	Steel Engineering Steel
PAPEL INSULDUR	Cellulose (excluding blowing)
PAPER TAPE COVERED RECTANGULAR COPPER WIRE	Copper wire
PERFIL U 240 C=389 UNP S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
PERFIL U 240 C=413 UNP S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
PERFIL U C=2590 UNP 240 S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
PERFIL U C=463 UNP 120 S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
PERFIL U C=464 UNP 120 S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
PERFIL U C=87 UNP 180 S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
PERNO ALM D12 S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
PLACA INFERIOR ALM ESP.12 S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
PLACA SUPERIOR ALM ESP.12 S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
RACCORD	Brass Casting
SUPORTE PARA TRAVESSA C=176 UNP S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
SUPORTE PARAF. PRESSAO C=70 ALM D45 S235 JR	Steel Engineering Steel
TACO PARA PL.NUCLEO ALM 120*12 S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
TACO PARA TRAVESSA ALM C=12 S275 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
TUBO ISOLANTE L=27	Cellulose (excluding blowing)
TUBO ISOLANTE L=29	Cellulose (excluding blowing)
TUBO ISOLANTE L=500	Cellulose (excluding blowing)
TUBO ISOLANTE L=61	Cellulose (excluding blowing)
VARAO PARA BOTAO C=60 ALM S235 JR EN-10025	Steel Engineering Steel
ZONAS VEDAÇÃO - CONSTR. SOLDADA	Steel Engineering Steel

Tabela 20. Energia na base de dados

Energia	Termo na base de dados
Eólica	electricity from wind power
Hídrica	electricity from hydroelectric power plant
Cogeração renovável	*

Geotermia	Thermal energy credit
Outras renováveis	*
Resíduos sólidos urbanos	*
Cogeração fóssil	Electricity from fossil unspecified
Gás Natural	Natural gas, at consumer EU-27
Carvão	Hard coal, at consumer EU-27
Diesel	Diesel
Fuelóleo	Light fuel oil {Europe without Switzerland} market for Cut-off, S - Copied from Ecoinvent
Nuclear	Electricity, nuclear, at power plant

*Termo não encontrado, e, portanto, o tipo de energia não foi considerado para o estudo por este motivo e devido à soma das suas percentagens ser aproximadamente 12%, ou seja, ter um peso significativamente baixo.

Tabela 21. Resíduos na base de dados

Resíduo	Termo na base de dados
080117 ((* Resíduos da remoção de tintas e vernizes, contendo solventes orgânicos ou outras substâncias perigosas)	Waste, toxic
080117 ((* Resíduos da remoção de tintas e vernizes, contendo solventes orgânicos ou outras substâncias perigosas)	Waste, toxic
120101 (Aparas e limalhas de metais ferrosos)	Metal waste
120103 (Aparas e limalhas de metais não ferrosos)	Metal waste
130208 ((* Outros óleos de motores, transmissões e lubrificação)	Oil waste
130307 ((* Óleos minerais isolantes e de transmissão de calor não clorados)	Oil waste
150101 (Embalagens de papel e cartão)	Packaging waste, paper and board
150102 (Embalagens de plástico)	Packaging waste, plastic
150103 (Embalagens de madeira)	Packaging waste, wood
150110 ((* Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas)	Waste, toxic
150202 ((* Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo sem outras especificações), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas)	Waste, toxic
170103 (Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos)	*

170411 (Cabos não abrangidos em 17 04 10)	*
200101 (Papel e cartão)	Packaging waste, paper and board
200136 (Equipamento elétrico e eletrônico fora de uso não abrangido em 20 01 21, 20 01 23 ou 20 01 35)	Electronic waste
200138 (Madeira não abrangida em 20 01 37)	Wood waste
200139 (Plásticos)	Plastic waste
200140 (Metais)	Metal waste
200301 (Misturas de resíduos urbanos equiparados)	*
200301 (Misturas de resíduos urbanos equiparados)	*

*Termo não encontrado na base de dados, e, portanto, o resíduo não foi tido em conta no estudo.

Dado os *flows* estarem já associados a categorias de impacto, os processos foram adicionados de raiz no *software* para lhes fazer corresponder os respetivos *inputs* e *outputs*. Durante esta fase foi imprescindível avaliar se as relações entre os *inputs* e os *outputs* faziam sentido entre si para que o processo funcionasse no openLCA, ou seja, o que entrava no sistema tinha de conseguir produzir o que saía no fim do processo. Desta forma, na presença de desperdícios, isto é, quando se tinha o registo de quantidades encomendadas e efetivamente utilizadas, estes foram considerados, por exemplo, na utilização da chapa grade e do aço laminado. Relativamente às unidades, as MP e os resíduos foram utilizados em quilogramas e a energia em mega joule. O Apêndice 12 mostra a base de dados final realizada no MS Excel com os inputs e outputs a inserir no openLCA, através da associação das respetivas quantidades de MP e energia aos seus termos.

O procedimento seguido no *software* passou pelos seguintes passos:

1. Adicionar novo processo (ver Figura 36);

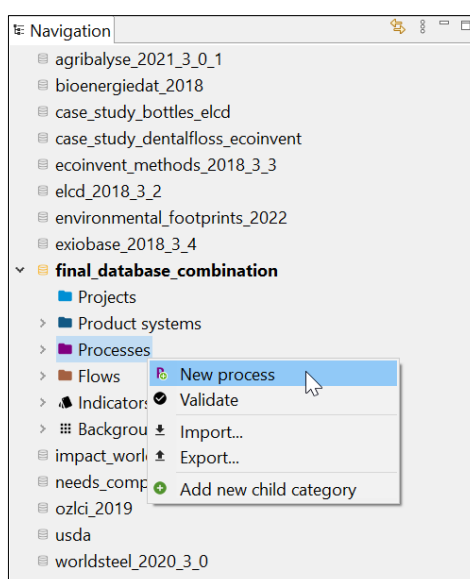


Figura 36. Adicionar novo processo na base de dados

2. Preencher o campo “Name” e selecionar o *flow quantitative reference* que corresponde à MP usada com mais abundância no processo (consultar Figura 37);

The screenshot shows a 'New process' dialog box. The 'Name' field contains 'Process_Example'. Below it are two checkboxes: 'Create a waste treatment process' and 'Create a new flow for the process (as quantitative reference)'. The 'Quantitative reference' field contains 'steel engineering steel'. A dropdown menu is open, showing a tree structure: 'Materials production' > 'Metals and semimetals' > 'Steel Engineering Steel'. The 'Finish' button is highlighted with a mouse cursor.

Figura 37. Preencher campos do processo na base de dados

3. Adicionar manualmente novos *flows* nos *inputs* e nos *outputs* do processo, através da sua pesquisa na base de dados, e definir as suas quantidades nas respetivas unidades (ver Figura 38) ou importar de uma forma rápida, fazendo copiar e colar, a base de dados realizada no MS Excel presente no Apêndice 12. A Figura 39 mostra um exemplo completo com *inputs* e *outputs*;

The screenshot shows the 'Inputs/Outputs: Process_Example' window. The 'Inputs' table is empty. The 'Outputs' table has one row: 'Steel Engineering Steel' with category 'Materials productio...', amount '1.00000', and unit 'kg'. A context menu is open over the 'Inputs' table with options like 'Create new', 'Remove selected', 'Set as quantitative reference', 'Copy', 'Paste', 'Open flow', and 'Open provider'.

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided ...	Provider	Data quali...	Descript...
Steel Engineering Steel	Materials productio...	1.00000	kg		none				

Figura 38. Adicionar novo *flow* no processo na base de dados

The screenshot shows a software interface for 'Inputs/Outputs: Montagem CM'. It contains two tables: 'Inputs' and 'Outputs'. Both tables have columns for Flow, Category, Amount, Unit, Costs/Rev..., Uncertainty, Avoided p..., Provider, Data quali..., and Descripti....

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided p...	Provider	Data quali...	Descripti...
Cellulose (excluding blowing)	Organic chemicals/nan	30.53000	kg		none				
Electricity from fossil unspeci...	Energy carriers and te...	6.43000	MJ		none				
electricity from hydroelectric ...	Energy carriers and te...	27.04000	MJ		none				
electricity from wind power	Energy carriers and te...	14.59000	MJ		none				
Electricity, nuclear, at power p...	Utilities/Nuclear Electri...	13.33000	MJ		none				
Hard coal, at consumer EU-27	Energy carriers and te...	10.11000	MJ		none				
Natural gas, at consumer EU-...	Energy carriers and te...	149.79000	MJ		none				
Steel Engineering Steel	Materials production/...	804.22000	kg		none				
Steel plate	Materials production/...	1.02365E4	kg		none				
Veneer, hardwood, dry, at ve...	Wood/Softwood Ven...	65.20000	kg		none				

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev...	Uncertainty	Avoided p...	Provider	Data quali...	Descripti...
Cellulose (excluding blowing)	Organic chemicals/nan	30.53000	kg		none	<input type="checkbox"/>			
Electronic waste	Waste/unspecified	20.95000	kg		none				
Metal waste	Waste/unspecified	1406.93000	kg		none				
Steel Engineering Steel	Materials productio...	804.22000	kg		none				
Steel plate	Materials production/...	9723.00000	kg		none	<input type="checkbox"/>			
Steel waste	Waste/ecopoints 97, ...	513.50000	kg		none				
Veneer, hardwood, dry, at ve...	Wood/Softwood Ven...	65.20000	kg		none	<input type="checkbox"/>			

Figura 39. Exemplo do processo Montagem CM com os seus *inputs* e *outputs*

4. Adicionar novo sistema de produto (ver Figura 40);

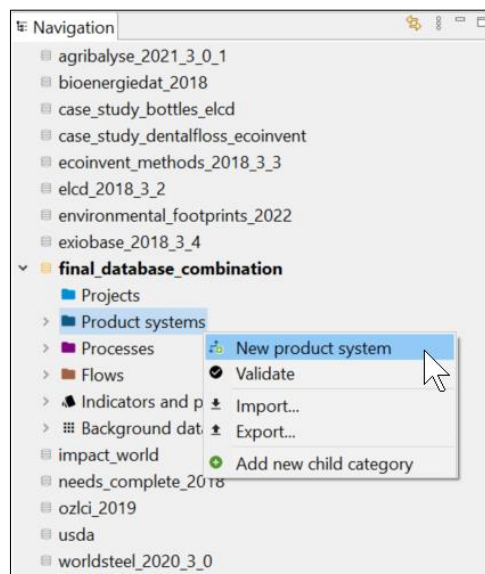


Figura 40. Adicionar novo sistema de produto na base de dados

5. Preencher o campo “Name” e seleccionar o *reference process* que corresponde ao primeiro processo do sistema (consultar Figura 37);

Figura 41. Preencher campos do sistema de produto na base de dados

6. Arrastar os restantes processos, isto é, as restantes etapas de produção, para o modelo gráfico do sistema criado e expandir a cadeia completa através da seleção processo a processo (consultar Figura 42);

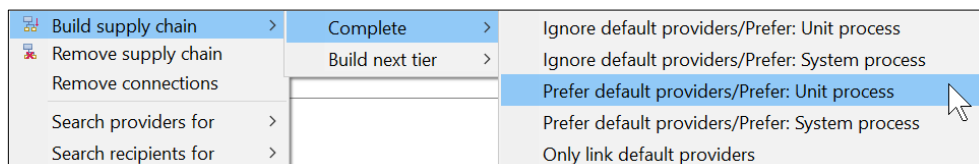


Figura 42. Expandir o modelo gráfico do sistema de produto

7. No separador “*General information*” selecionar a opção “Calculate” para obter os resultados da ACV do sistema de produto realizado, denominado “Produção_PT Core” (ver Figura 43);

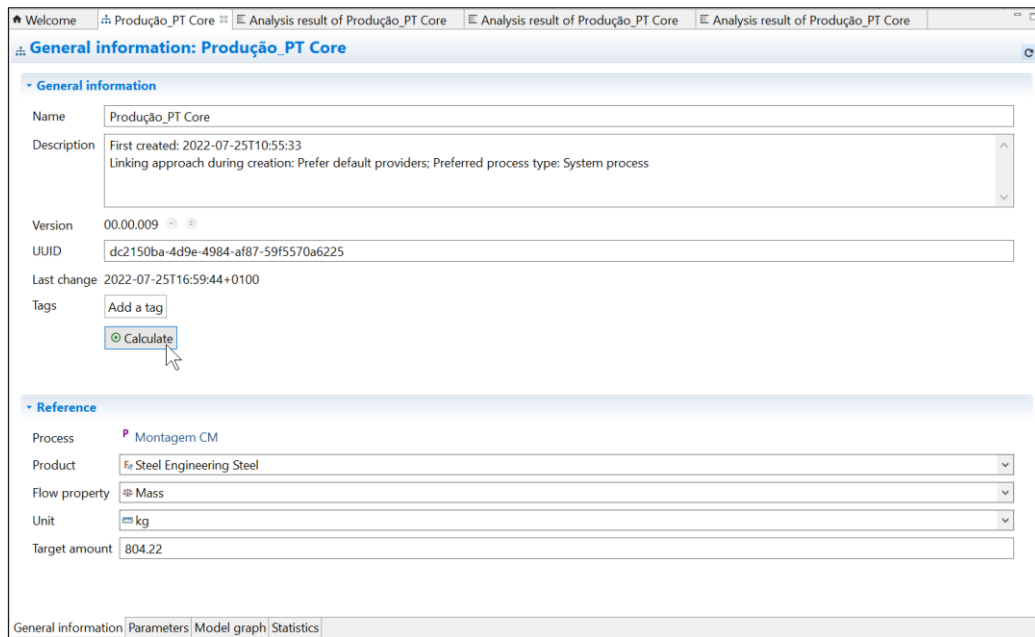
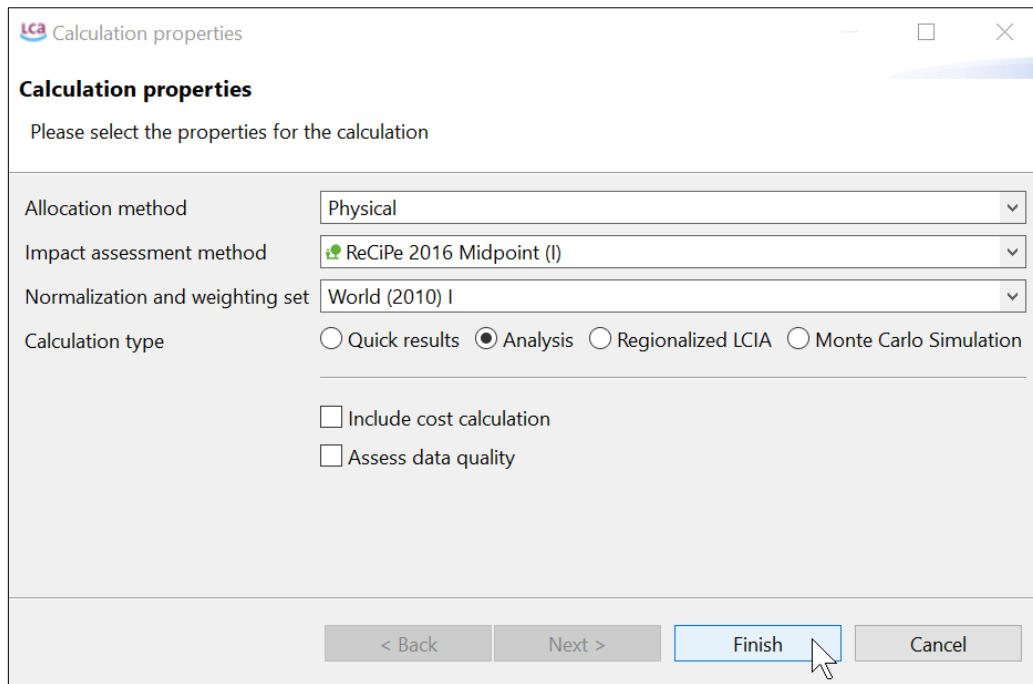


Figura 43. Calcular a ACV do sistema de produto

8. Calcular a ACV do sistema de produto de acordo com o método ReCiPe, já apresentado no capítulo 3.2.5, através dos *midpoint indicators*, visto que, estes indicadores, para além de discutido com membros do INEGI como sendo os que se devessem considerar, permitem obter resultados mais aproximados da realidade, mais detalhados e em unidades ambientais. O cálculo foi realizado para as três perspetivas temporais, selecionando um sistema de normalização disponível e o método de alocação “physical”, que segundo Ciroth (2020, p. 58), “*For physical allocation, the default (reference) flow property is used to calculate the physical ratio between the main product and the coproduct on the bases of their amounts, e.g. in units of mass or energy.*”. As figuras 42, 43 e 44 mostram as opções selecionadas.

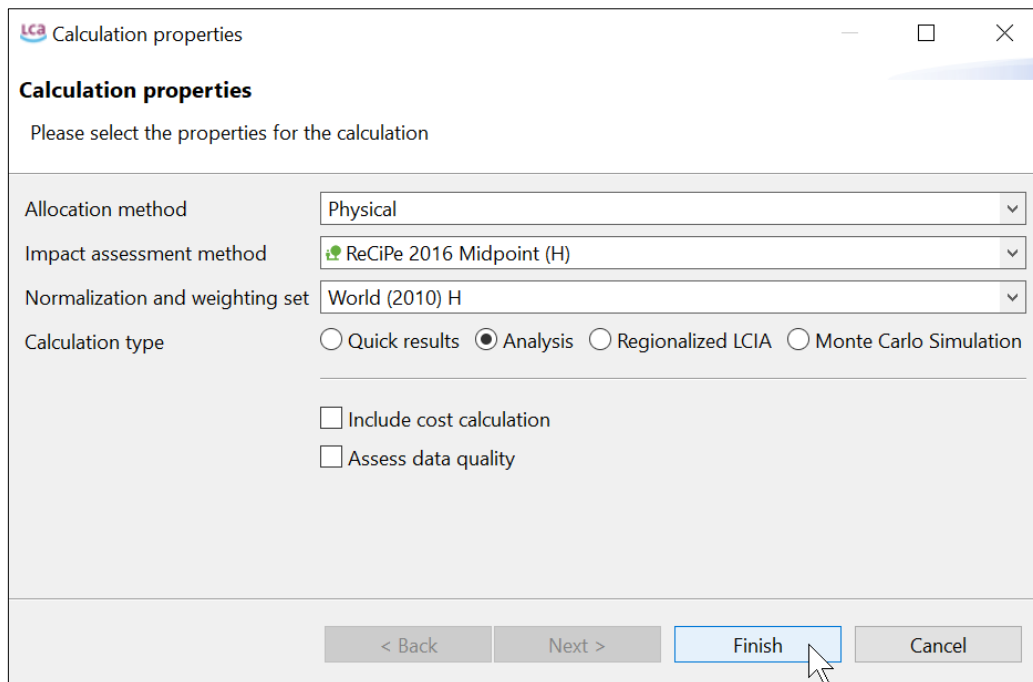


The screenshot shows a software window titled "Lca Calculation properties". The main heading is "Calculation properties" with the instruction "Please select the properties for the calculation". The settings are as follows:

- Allocation method: Physical
- Impact assessment method: ReCiPe 2016 Midpoint (I)
- Normalization and weighting set: World (2010) I
- Calculation type: Analysis, Quick results, Regionalized LCIA, Monte Carlo Simulation
- Include cost calculation
- Assess data quality

At the bottom, there are four buttons: "< Back", "Next >", "Finish", and "Cancel". A mouse cursor is pointing at the "Finish" button.

Figura 44. ACV com o método “ReCiPe 2016 Midpoint” para a perspectiva Individualista (horizonte temporal de 20 anos)



The screenshot shows the same "Lca Calculation properties" window, but with different settings:

- Allocation method: Physical
- Impact assessment method: ReCiPe 2016 Midpoint (H)
- Normalization and weighting set: World (2010) H
- Calculation type: Analysis, Quick results, Regionalized LCIA, Monte Carlo Simulation
- Include cost calculation
- Assess data quality

The bottom buttons are the same: "< Back", "Next >", "Finish", and "Cancel". A mouse cursor is pointing at the "Finish" button.

Figura 45. ACV com o método “ReCiPe 2016 Midpoint” para a perspectiva Hierarquista (horizonte temporal de 100 anos)

Calculation properties

Please select the properties for the calculation

Allocation method: Physical

Impact assessment method: ReCiPe 2016 Midpoint (E)

Normalization and weighting set: World (2010) E

Calculation type: Quick results Analysis Regionalized LCIA Monte Carlo Simulation

Include cost calculation

Assess data quality

< Back Next > Finish Cancel

Figura 46. ACV com o método “ReCiPe 2016 Midpoint” para a perspectiva Iguatária (horizonte temporal de 500 anos)

3.2.7. Revisão Crítica

Os resultados da ACV são comentados e analisados no capítulo 4.2.

3.3. Nível de Circularidade do Transformador de Potência

Já foram realizados alguns estudos, por parte do departamento de Sustentabilidade, no que ao grau de circularidade e à *performance* circular dos DT diz respeito, com recurso às plataformas CTI e Circulytics. Fez-se uma pesquisa de mercado e concluiu-se que estas duas ferramentas são as mais utilizadas e recomendadas atualmente e também as que mais se adequam ao propósito pretendido. Após uma ACV, realizar o cálculo da circularidade de um produto funciona como um complemento fundamental ao estudo e contribui para uma melhor implementação de ações de EC, daí se considerar relevante fazer também um estudo destas ferramentas, para mais tarde se fazer o cálculo.

3.3.1. Ferramentas

➤ CTI

A CTI foi desenvolvida pela WBCSD e permite realizar o estudo de Indicadores de Transição Circular (World Business Council for Sustainable Development, 2021, p. 8) e avaliar três pontos do fluxo de materiais que atravessa a empresa (ver Figura 47) (World Business Council for Sustainable Development, 2021, p. 16): fluxos de entrada (*inflow*), fluxos de saída (*outflow*) – potencial de recuperação e saída (*outflow*) – recuperação efetiva. Segundo João Meneses em World Business Council for Sustainable Development (2021, p. 5) “a CTI é uma ferramenta valiosa que vem proporcionar às empresas um meio para realizarem a autoavaliação, a monitorização e a

comunicação do seu desempenho circular de uma forma estruturada e eficaz.”, sendo este um passo muito importante para a transição necessária para a neutralidade carbónica e eficiência na utilização de recursos.

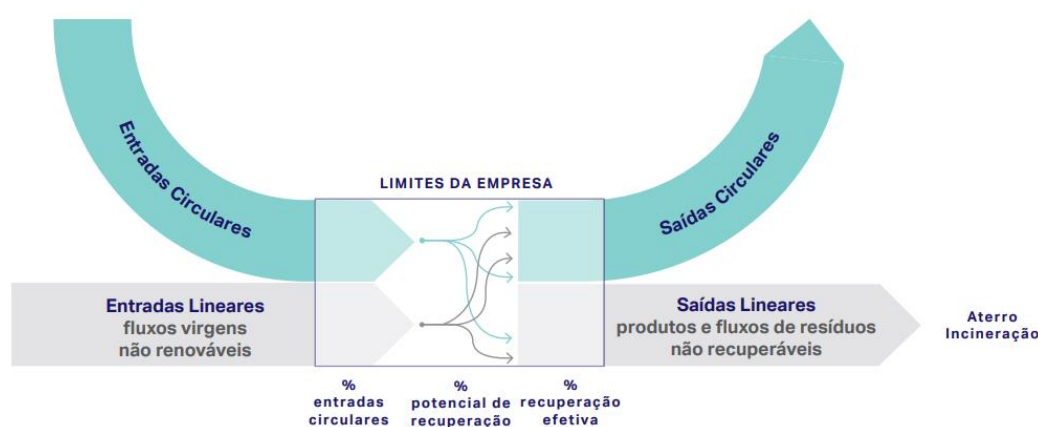


Figura 47. Fluxos de materiais (World Business Council for Sustainable Development, 2021, p. 16)

➤ Circulytics

Esta ferramenta, desenvolvida pela Ellen MacArthur Foundation, avalia o nível de circularidade ao longo das operações da empresa, e não só em torno de um produto, ajuda na tomada de decisão e no desenvolvimento estratégico para a adoção de uma EC, realça forças e pontos que requerem melhorias, providencia transparência e gera valor para os investidores e clientes e permite a abertura para novas oportunidades (Ellen MacArthur Foundation, 2022). A Circulytics, assim como a CTI, baseia-se no preenchimento de um formulário com dados, que podem ser importados, ou não, para mais tarde gerar um relatório com os resultados obtidos da circularidade do produto ou processo requerido.

3.3.2. Estudo e Avaliação de ferramentas

Para comparar estes dois programas, novamente, reuniram-se critérios e fez-se um estudo, desta vez de apenas uma única fase. A Tabela 22 contém os critérios escolhidos e suas descrições.

Tabela 22. Critérios do estudo das ferramentas de circularidade

Categoria	Critério	Descrição
Costs	<i>Free of charge</i>	Não existem quaisquer custos de aquisição.
	<i>Test free</i>	Está disponível um período de teste gratuito.
	<i>License renewal costs</i>	Existem custos de renovação da licença.
Support	<i>Technical support</i>	Há um apoio/suporte por parte da equipa técnica.*
Usage type	<i>Online</i>	Funcionamento apenas na <i>web</i> .

	<i>Desktop</i>	Exigência de <i>download</i> para utilização.
<i>Languages</i>	<i>Portuguese version</i>	Língua portuguesa disponível.
	<i>English version</i>	Língua inglesa disponível.
<i>Import</i>	<i>Import data</i>	Permissão para importar dados.
<i>Operating system</i>	<i>Windows</i>	Utilização em sistema operativo Windows.
	<i>Mac</i>	Utilização em sistema operativo Mac.
<i>Others</i>	<i>Software usage</i>	Grau de utilização/conhecimento no mercado.
	<i>Theme framework</i>	Temática/objetivo da ferramenta de acordo com o projeto.

*Este apoio/suporte, mais uma vez, categorizou-se pela existência ou não de cinco fatores, sendo estes, diferentes formas de entrar em contacto com a equipa responsável. Estes foram: *email*, *chat*, formulário, marcação de reunião e FAQ, tendo em conta que, o peso para cada uma destas opções foi distribuído de igual forma.

Não se incluiu o critério “*ISO Standards*”, visto que, a ISO da circularidade e para a EC ainda está atualmente em desenvolvimento.

O método seguido já fora apresentado na avaliação dos *softwares* e das bases de dados, e, assim, as matrizes das etapas 2 e 3 do estudo da avaliação das ferramentas de circularidade encontram-se nos apêndices 13, 14 e 15. De notar que, uma vez que $n=2$, isto é, o número de alternativas é igual a 2, tem-se que RI toma o valor de zero. Assim, não foi possível obter um valor para CR para cada uma das matrizes de comparação de opções para cada critério, presentes nos apêndices.

Etapa 4:

Na última etapa fez-se a matriz final representada na Figura 48.

	Free of charge	Test free	License renewal costs	Technical support	Online	Desktop	Portuguese version	English version	Import data	Windows	Mac	Software usage	Theme framework	SOLUTION
CTI	0.00	1.00	0.00	0.75	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.55	0.46
Circulytics	1.00	0.00	1.00	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.54
FINAL	0.09	0.06	0.12	0.12	0.04	0.06	0.01	0.07	0.10	0.12	0.01	0.09	0.12	

Figura 48. Matriz final de resultados de ferramentas de circularidade

Assim, concluiu-se que a melhor opção de ferramenta para calcular a circularidade do PT do presente trabalho é a **Circulytics** devido ao seu valor final ser o mais elevado, mais concretamente **0,54**.

página propositadamente em branco

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo evidenciam-se os resultados obtidos com a ACV do sistema de produto, a partir do procedimento apresentado no capítulo 3.2.6, para os três horizontes temporais e respectivos comentários e análise dos mesmos, comparando-os com os de certos casos de estudo. Relativamente à questão de investigação, esta é respondida no capítulo 5.2.

4.1. Apresentação de resultados

ACV através do método ReCiPe 2016 *Midpoint* – Perspetiva Individualista (20 anos)

Através da normalização dos dados e sua demonstração num gráfico, presente na Figura 49, e exportando os resultados para o MS Excel, foi possível constatar que o maior impacte ambiental se deu na categoria de impacto “Terrestrial ecotoxicity”, ecossistemas terrestres, visto esta ser a categoria com o indicador mais elevado. Por outro lado, a categoria de impacto “Marine ecotoxicity”, ecossistemas marinhos, foi a categoria onde se deu o menor impacte. De acordo com o openLCA, a unidade da categoria “Terrestrial ecotoxicity” é em quilogramas de diclorobenzeno (“kg 1,4-DCB”), um composto químico formado pela ligação de um ou mais átomos de cloro a um par de anéis de benzeno, cuja exposição pode originar problemas de saúde graves, incluindo cancro, e efeitos nocivos para os sistemas imunitário, reprodutivo, neurológico e endócrino (ATSDR, 2022; EPA, 2022). Segundo Goedkoop et al. (2013, p. 7), a área ecossistemas diz respeito à perda de espécies durante um ano. O valor do indicador da categoria mais preocupante dita que, com a produção anual do PT Core são emitidos 1.048.510 kg 1,4-DCB. As categorias de impacto funcionam como um indicador de *performance*. O sistema de normalização teve como unidades “Pt” que representa a milionésima parte da carga ambiental anual de um cidadão europeu.

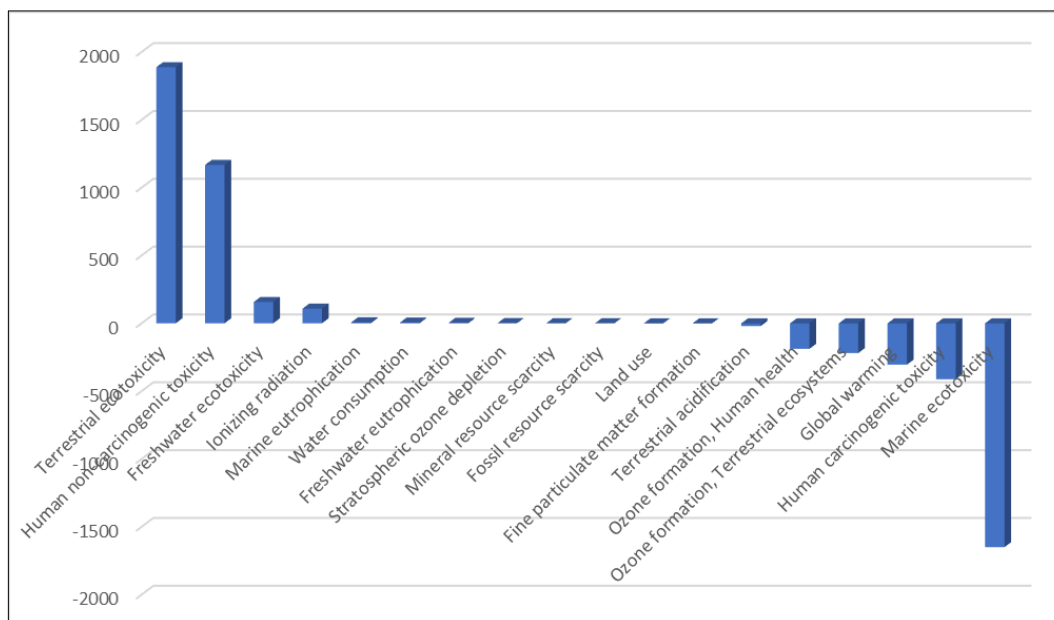


Figura 49. Normalização das categorias de impacto (I)

À categoria mais crítica seguiram-se as categorias “Human non-carcinogenic toxicity” e a “Freshwater ecotoxicity”, como se pode visualizar na Figura 49, que estão relacionadas com a área

saúde humana e ecossistemas de água doce, respetivamente. As categorias com resultados positivos revelam uma situação em que se está a contribuir para a depleção dos recursos naturais associados à mesma ou a provocar emissões nocivas. As categorias com resultados negativos, indicam a não emissão de poluição para o respetivo compartimento ambiental.

Posto isto, também se analisaram os cinco processos que mais contribuíram de forma direta para o valor do indicador obtido na categoria “Terrestrial ecotoxicity”, como se pode ver na Figura 50.

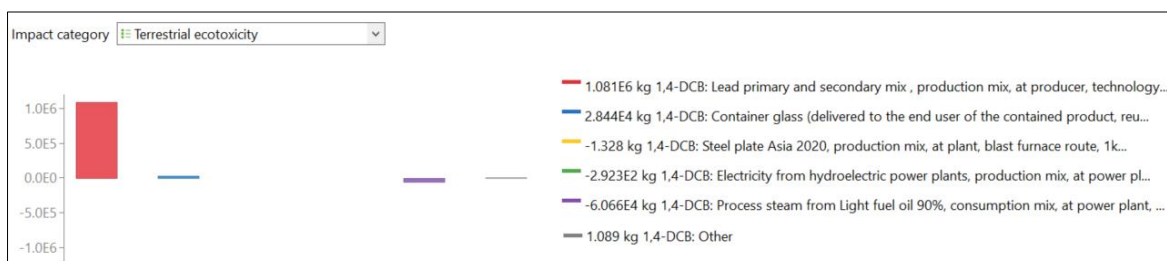


Figura 50. Terrestrial ecotoxicity (I)

Ao realizar o modelo gráfico com os processos de produção, o *software* criou automaticamente processos a jusante que estão na origem dos adicionados. De acordo com a Figura 50, pode-se concluir que o processo “Lead primary and secondary mix...” foi o que mais influenciou para a categoria mais preocupante ser a “Terrestrial ecotoxicity”. De acordo com GaBi (2022), pode-se confirmar que o inventário por trás deste processo pode ser utilizado para vários tipos de estudos de ACV, por exemplo nos que incluem “alloys”, como é o caso do sistema de produto do PT Core que contém aço em grandes quantidades. Através de uma consulta no modelo gráfico dos processos no sistema de produto, verificou-se que o processo “Lead primary and secondary mix...” está na origem de todos os processos da cadeia de produção, não tornando possível a deteção de qual a etapa da cadeia que mais está a prejudicar a produção do PT Core.

ACV através do método ReCiPe 2016 *Midpoint* – Perspetiva Hierarquistica (100 anos)

Mais uma vez, através da normalização dos dados, presente na Figura 51, foi possível constatar que o maior impacte ambiental se deu na categoria de impacto “Human non-carcinogenic toxicity”, saúde humana, sendo esta a categoria com o maior indicador. Por outro lado, a categoria de impacto “Marine ecotoxicity” foi, novamente, a categoria onde se deu o menor impacto. A unidade da categoria “Human non-carcinogenic toxicity” é também em quilogramas de diclorobenzeno (“kg 1,4-DCB”) e, de acordo com Goedkoop et al. (2013, p. 7), a área saúde humana é relativa à perda de anos de vida ajustada a deficiência. Com a produção anual do PT Core são emitidos 392.649 kg 1,4-DCB.

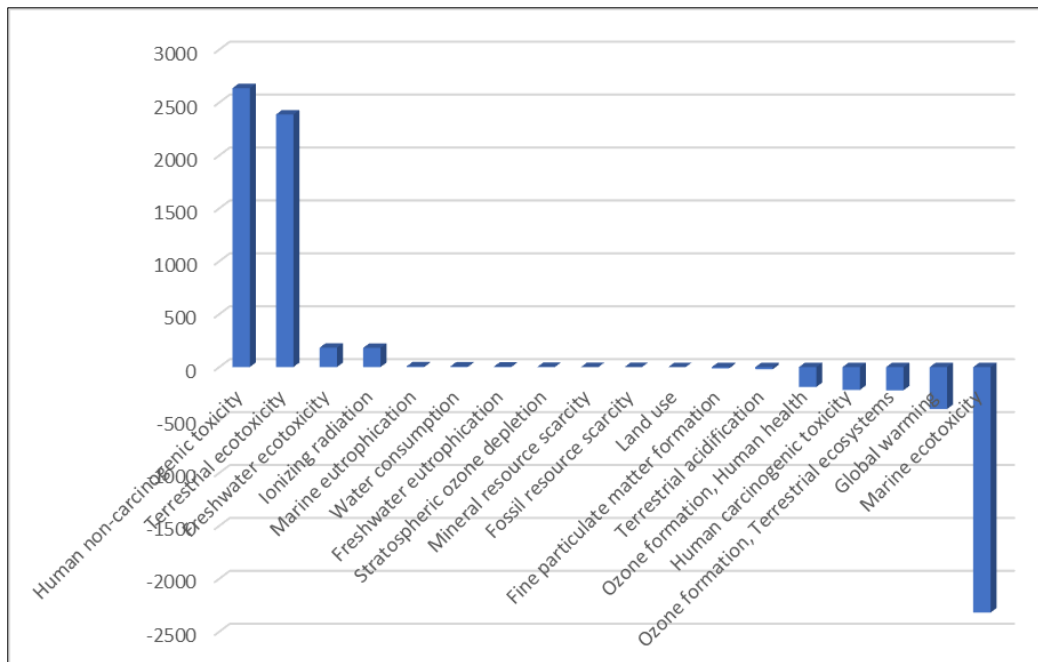


Figura 51. Normalização das categorias de impacto (H)

A esta seguiram-se as categorias “Terrestrial ecotoxicity” e a “Freshwater ecotoxicity”, como se pode visualizar na Figura 51, ambas relacionadas com a área ecossistemas.

Também se analisaram os cinco processos que mais contribuíram para o valor de indicador obtido na categoria “Human non-carcinogenic toxicity”, como se pode ver na Figura 52.

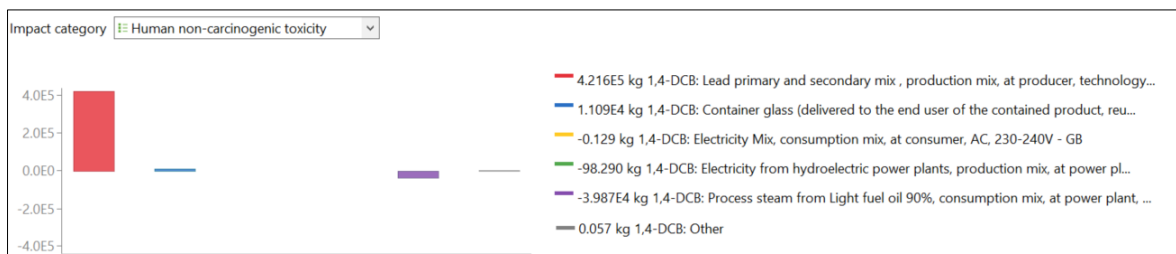


Figura 52. Human non-carcinogenic toxicity (H)

Assim, de acordo com a Figura 52, é possível concluir que o processo “Lead primary and secondary mix...”, que está na origem de todos os processos da cadeia de produção do PT Core, foi, uma vez mais, o que mais influenciou de forma direta para a categoria mais preocupante ser a “Human non-carcinogenic toxicity”.

ACV através do método ReCiPe 2016 *Midpoint* – Perspetiva Igualitária (500 anos)

Novamente, com a normalização dos dados, presente na Figura 53, foi possível constatar que o maior impacto ambiental se deu na categoria de impacto “Terrestrial ecotoxicity”, ecossistemas terrestres, como no primeiro horizonte temporal de 20 anos. Por outro lado, a categoria de impacto “Human carcinogenic toxicity” foi a categoria onde se deu o menor impacto. Com a produção anual do PT Core são emitidos 2.666.210 kg 1,4-DCB.

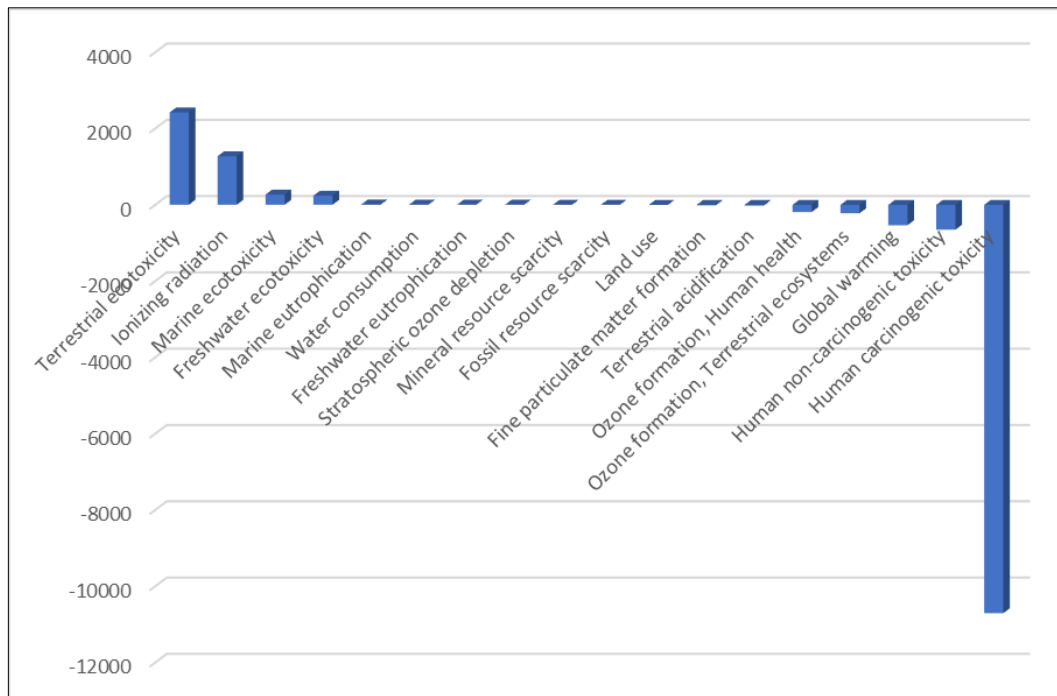


Figura 53. Normalização das categorias de impacto (E)

À mesma seguiram-se as categorias “Ionizing radiation” e a “Marine ecotoxicity”, relacionadas com a área da saúde humana e ecossistemas marinhos, respetivamente, como se pode visualizar na Figura 53.

Analisaram-se também os cinco processos que mais contribuíram para o valor de indicador obtido na categoria “Terrestrial ecotoxicity”, como se pode ver na Figura 54.

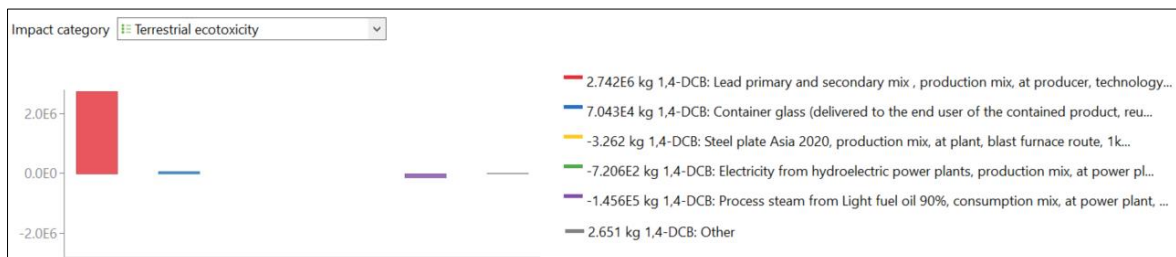


Figura 54. Terrestrial ecotoxicity (E)

Assim, de acordo com a Figura 54, pode-se concluir que o processo “Lead primary and secondary mix...”, como nas outras perspetivas, foi o que mais influenciou de forma direta para a categoria mais preocupante ser a “Terrestrial ecotoxicity”.

Para cada um dos horizontes temporais analisaram-se as emissões dos três principais gases com efeito de estufa, já referidos anteriormente, dióxido de carbono, metano e hexafluoreto de enxofre e verificou-se que os valores obtidos foram os mesmos nas três perspetivas. Assim, nas figuras 55, 56 e 57 é possível visualizar os cinco processos onde a emissão destes gases é mais relevante. De lembrar que, ao realizar o modelo gráfico com os processos de produção, o *software* criou automaticamente processos a jusante que estão na origem dos inseridos.

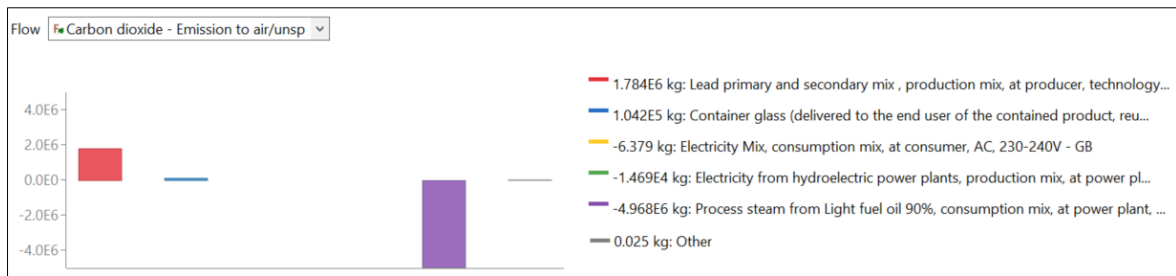


Figura 55. Emissões de Dióxido de Carbono para o ar (I)

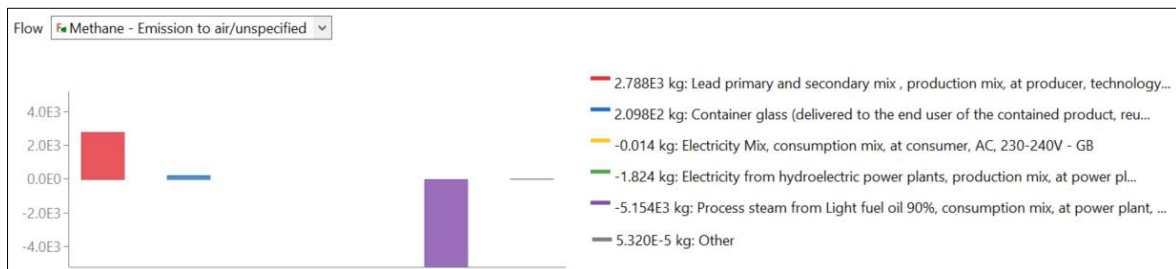


Figura 56. Emissões de Metano para o ar (I)

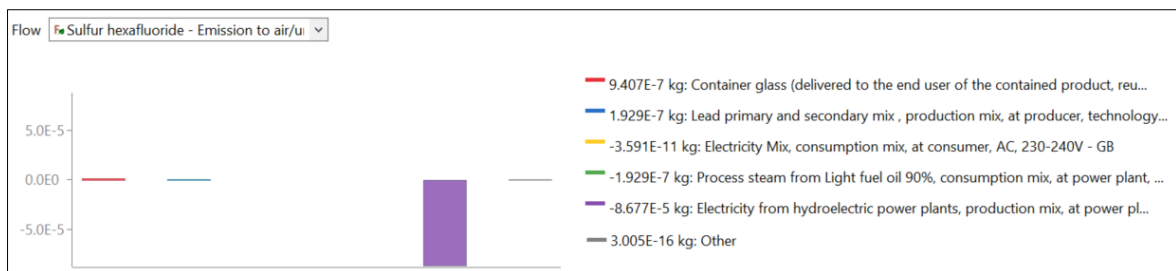


Figura 57. Emissões de Hexafluoreto de Enxofre para o ar (I)

A partir das figuras 55, 56 e 57, verifica-se que as emissões de dióxido de carbono são dominantes para os mesmos processos.

De acordo com a ISO 14067 (ISO, 2018) – Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification, “carbon footprint of a product: sum of GHG emissions and GHG removals in a product system, expressed as CO₂ equivalents and based on a life cycle assessment using the single impact category of climate change”. Desta forma, fez-se a soma das quantidades emitidas de dióxido de carbono e de metano, não considerando as de hexafluoreto de enxofre dado serem relativamente baixas. Para além disso, também não se teve em consideração as eliminações de gases, dado serem dados desconhecidos, portanto o valor obtido é uma aproximação da realidade.

Analisando os fatores de caracterização dos GHG, rapidamente se conclui que no pior cenário, que é a perspectiva individualista, cada quilograma de metano corresponde à emissão de 84 quilogramas de dióxido de carbono, tal como é possível consultar na Tabela 16. Sendo assim, foi necessário fazer a conversão do valor das emissões de metano para o valor de dióxido de carbono equivalente, através do produto dessa mesma quantidade pelo fator 84 (Connection, 2022). O resultado obtido para a pegada de carbono anual da produção do PT Core foi de 2.018.192 kg de dióxido de carbono equivalente, correspondendo a, aproximadamente, 19 toneladas de dióxido de carbono equivalente por cada PT Core.

página propositadamente em branco

4.2. Discussão de resultados

Neste capítulo são apresentados três casos de estudo em que se realizaram ACV para ser possível comparar os resultados dos mesmos com os obtidos na ACV deste trabalho.

Segundo ABB (2003), com o tema “Environmental Product Declaration”, a ACV de um LDT, de acordo com PSR 2000:6 e MSR 1999:2, mostrou que o maior impacto ambiental na fase de produção se dá nas categorias “Global warming” e “Acidification”, visto que foram os que apresentaram os maiores valores para o *endpoint indicator*. Estes estão relacionados com as áreas de proteção saúde humana e ecossistemas, conforme se pode verificar na Figura 29.

Em Carlen et al. (2011), de tema “Life Cycle Assessment of Dry-Type and Oil-Immersed Distribution Transformers with Amorphous Metal Core”, a ACV foi de dois tipos de DT, através do *software* GaBi e das bases de dados da Eco-invent. Assim, esta revelou que na fase de produção tanto o DT do tipo imerso como o DT do tipo seco têm um maior impacto na categoria “Human Toxicity Potential” que está relacionado com a área saúde humana, como se pode verificar, novamente, na Figura 29.

De acordo com Hegedic et al. (n.d.), de título “Life Cycle Assessment of Power Transformer – Case Study”, a ACV realizada a um PT, com recurso ao *software* SimaPRO e através do método de cálculo “IMPACT 2002+”, revelou que o maior impacto ambiental na fase de produção é na área de proteção ecossistemas. A esta segue-se a área da saúde humana e por fim disponibilidade de recursos. Para além disso, a produção de um PT contribui cerca de 2,9% com emissões de dióxido de carbono, sendo que a fase de utilização contribui com 84,9%, que como visto no capítulo 3.1.5 é a fase de vida do TRF mais dispendiosa.

Ora, tendo em conta os resultados obtidos na ACV do PT deste projeto, apresentados no capítulo 4.1, pode-se dizer que o resultado das áreas de proteção mais afetadas, a saúde humana e os ecossistemas, foi semelhante ao obtido no caso de estudo desenvolvido pela ABB. Uma vez que, nos horizontes temporais a curto e longo prazo, 20 e 500 anos, as áreas foram os ecossistemas e no horizonte a médio prazo, 100 anos, foi a da saúde humana. Relativamente à categoria “Terrestrial ecotoxicity”, segundo Borrión (2012), *“is dominated by pesticide emissions to agriculture soil as well as the use of both sulphuric acid and steam during the conversion process”*. Através da consulta dos dados no *software* openLCA, verificou-se que o *flow* que tem um maior fator de caracterização nesta categoria no método ReCiPe 2016 se denomina “Cypermethrin” que é um pesticida usado no solo agrícola, o que confirma a literatura. Já a categoria “Human non-carcinogenic toxicity”, de acordo com Edgar G. Hertwich (2001), *“reflects the potential harm of a unit of chemical released into the environment, is based on both the inherent toxicity of a compound and its potential dose. It is used to weight emissions inventoried as part of a life-cycle assessment or in the toxics release inventory and to aggregate emissions in terms of a reference compound.”* De acordo com os dados do openLCA, mais uma vez, a unidade das categorias mais prejudicadas é em quantidade de “polychlorinated biphenyl, PCB-1254” que é o composto químico diclorobenzeno, kg 1,4-DCB, já mencionado. Com isto, torna-se evidente a necessidade de olhar para a emergência climática com outros olhos e preocupações, uma vez que, como já referido, se está a considerar a perda de espécies por ano e a perda de anos de vida por quilogramas de diclorobenzeno emitidos. Adicionalmente, é bastante interessante o facto dos resultados a curto prazo coincidirem com os resultados a longo prazo, situação que deverá requerer um estudo futuro para se esclarecer a causa responsável.

página propositadamente em branco

5. CONCLUSÃO

5.1. Conclusões finais

A Economia Circular é uma área que defende uma utilização eficiente de recursos materiais e energéticos. Para implementar a Economia Circular numa organização pode-se partir da realização de uma Avaliação de Ciclo de Vida onde se consideram todas ou apenas algumas etapas de uma cadeia. Esta avaliação tem como objetivo analisar o impacto ambiental de cada etapa considerada e do sistema no seu todo, para que no final se possam desenvolver e implementar ações que promovam uma Economia Circular e, conseqüentemente, reduzam o impacto global ambiental.

Este projeto teve como foco o estudo e análise do ciclo de vida de um Transformador de Potência de 60/30 Kv e 20 MVA. Atualmente, as fases da sua produção que gastam mais energia, isto é, as etapas que são mais críticas ao nível do consumo energético, são: a Secagem, o Ensaio de Aquecimento no Laboratório e o Vácuo + Enchimento. Por outro lado, a etapa menos preocupante, ou seja, na qual o consumo tem o menor valor é o Ensaio Induzida no Laboratório. Relativamente à quantidade de resíduos produzidos esta é aproximadamente de 2.772,294 Kg. O valor total da energia consumida pelo transformador na sua utilização é de 20.271.677 kWh e o valor do custo é de preço de venda+578.260 euros. Os principais constituintes de um transformador são o aço, os isolantes, o cobre e a chapa magnética.

A realização de uma Avaliação de Ciclo de Vida exige a utilização de um *software* que tenha por base as normas ISO 14040 e ISO 14044. Para além do *software*, é também necessária uma base de dados adequada. Com a aplicação do método Analytical Hierarchical Procedure verificou-se que o melhor *software* para este tipo de avaliação é o openLCA e as bases de dados mais apropriadas são a Eco-Invent e a Environmental footprint. Aquando da avaliação, para além do Inventário de Ciclo de Vida ser considerado como *input* do sistema, também a energia consumida deve ser incluída. Após uma avaliação deste tipo, deve-se considerar o cálculo da circularidade do Transformador para uma melhor implementação de ações relacionadas com a Economia Circular. A ferramenta mais indicada para calcular a circularidade, obtida através da aplicação do mesmo método utilizado nos *softwares* e bases de dados, denomina-se Circulytics.

Por fim, a Avaliação de Ciclo de Vida de um Transformador de Potência funciona como um indicador do impacto ambiental presente em toda a sua cadeia. A partir dos resultados obtidos na mesma, pode-se afirmar que as áreas que requerem uma maior preocupação e atenção são a área da saúde humana e dos ecossistemas, nomeadamente pelos resultados obtidos nas categorias *Terrestrial ecotoxicity* e *Human non-carcinogenic toxicity*. Para além disso, as emissões de dióxido de carbono são dominantes. É através de estudos e avaliações como esta, que a unidade de Service poderá melhorar os seus processos e adotar uma metodologia pré-definida para implementar novas ações e intervenções. Estas são enumeradas no próximo capítulo 5.2, sendo que, fazem parte da resposta à questão de investigação apresentada no capítulo 1.2.

5.2. Limitações e investigação futura

Relativamente às limitações encontradas ao longo deste projeto, as mesmas foram:

- Era desconhecido o modo de funcionamento do *software* openLCA, sendo inevitável um período de aprendizagem;
- As bases de dados inicialmente utilizadas não tinham todos os fluxos necessários, pelo que foi imprescindível recorrer a outras fontes;
- As matérias-primas não estavam todas representadas de igual forma no programa interno da empresa, o que dificultou toda a sua recolha;
- A memória RAM do computador não foi suficiente para obter resultados ambientais no *software* para cada uma das etapas de produção individualmente, sendo necessário optar pela situação global do processo.

No que diz respeito à investigação futura deste projeto, constata-se que quantificar antes do planeamento de ações de melhoria é ótimo para mais tarde desenvolver, executar e implementar medidas, atendendo às quantificações previamente feitas e devidamente obtidas.

Assim, com os resultados da Avaliação de Ciclo de Vida poderá prosseguir-se para o cálculo da circularidade do transformador através da utilização da ferramenta Circulytics, de modo a complementar o estudo desenvolvido com um passaporte digital do transformador com os indicadores de circularidade.

De acordo com Wachter & Jezdinsky (2022, p. 88), *“In the case of oil-filled transformers, about 75% of the material can be reused or is subject to first-grade recycling. Its degree of circularity can be enhanced further when copper is used for the high voltage winding because the metal can be recuperated and recycled at high purity. Copper windings also increase the end-of-life value of the unit, enhancing the business case for recycling and reuse.”* e a partir de Hegedic et al. (n.d., p. 9), *“When considering CO2 emission as key environmental indicator results show that production of the transformer contributes with only 2.9 %, transport with 1.9 %, procurement of the material and equipment 10.3 % and the biggest contributor is use phase with 84.9 %. Having this in mind, one can conclude that the biggest improvement in the environmental impact can be achieved when using renewable energy sources as well when lowering the transformer losses”*. Tendo em consideração estas referências e os resultados obtidos no presente trabalho, poderá seguir-se o desenvolvimento de um protocolo de atuação e melhoramento da *performance* ambiental do transformador com novas práticas de Economia Circular que vão de encontro às solicitadas na questão de investigação, que deverá incluir as seguintes diretrizes:

- Integrar nas etapas mais críticas novas matérias-primas de materiais de fontes recicladas, recicláveis e renováveis;
- Recorrer, o mais possível, à utilização de fontes renováveis de energia;
- Desenvolver sistemas de apoio à decisão para uma melhor seleção de componentes para reutilização ou reciclagem, evitando que o tipo de processamento seja o aterro;
- Regeneração dos gases emitidos, através de equipamentos especializados para o efeito;

- Adaptar/transformar os processos, a partir do desenvolvimento das intervenções necessárias, de modo a garantir certificações e declarações ambientais de referência, fomentando o reaproveitamento e reutilização de materiais.

página propositadamente em branco

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. (2003). *Environmental Product Declaration*.
<https://portal.environdec.com/api/api/v1/EPDLibrary/Files/8a5b645b-298b-4243-b8f6-08d8d1855218/Data>
- ABB. (2009). *Transformer Loss Capitalization calculator*.
- ABB. (2014). *Mature Transformer Management Program (MTMP) Managing your transformer fleet with transformer design knowledge using data and statistics*.
- ABB. (2015). *Total Cost of Ownership (TCO) - Lifetime costs for transformers*. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2425PL1256-W1-en&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- Agência Lusa. (2021). *Transição energética é “demasiado lenta”, avisa Agência Internacional da Energia*. Dnoticias.Pt. <https://www.dnoticias.pt/2021/10/13/280911-transicao-energetica-e-demasiado-lenta-avisa-agencia-internacional-da-energia/>
- Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2021). *Acordo de Paris*. <https://www.apambiente.pt/clima/acordo-de-paris>
- Antonia Gawel. (2022). *Circular Economy and Material Value Chains*. <https://www.weforum.org/projects/circular-economy>
- ATSDR. (2022). *What Are Polychlorinated Biphenyls (PCBs)?* https://www.atsdr.cdc.gov/csem/polychlorinated-biphenyls/what_are.html
- BCSD PORTUGAL. (2021a). *Neutralidade Carbónica*. <https://bcdsptugal.org/neutralidade-carbonica/>
- BCSD PORTUGAL. (2021b). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e o BCSD Portugal*. <https://www.ods.pt/>
- Borrion, A. L., Khraisheh, M., & Benyahia, F. (2012). Environmental life cycle impact assessment of Gas-to-Liquid processes. *Proceedings of the 3rd Gas Processing Symposium, 3*, 71–77. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59496-9.50011-4>
- Camões - Instituto da Cooperação e da Língua. (2016). *Agenda 2030 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. <https://www.instituto-camoes.pt/activity/o-que-fazemos/cooperacao/cooperacao-portuguesa/mandato/ajuda-ao-desenvolvimento/agenda-2030>
- Campbell-Johnston, K., Vermeulen, W. J. V., Reike, D., & Brullot, S. (2020). The Circular Economy and Cascading: Towards a Framework. *Resources, Conservation and Recycling: X*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100038>
- Cardoso, J. L. (2018). The circular economy: historical grounds. In *Changing Societies: Legacies and Challenges - The Diverse Worlds of Sustainability: Vol. III* (pp. 115–127). Imprensa de Ciências Sociais. <https://doi.org/10.31447/ics9789726715054.04>
- Carlen, M., Överstam, U., Ramanan, V. V., Tepper, J., Swanstrom, L., Klys, P., & Stryken, E. (2011).

- Life Cycle Assessment of Dry-Type and Oil-Immersed Distribution Transformers With Amorphous Metal Core. *21st International Conference on Electricity Distribution*, 1–4.
- CCDRN. (2021). *CCDR-NORTE participa em lançamento de projeto europeu de economia circular*. <https://www.ccdr-n.pt/noticia/servicos/ccdr-norte-participa-em-lancamento-de-projeto-europeu-de-economia-circular>
- Chauvy, R., Lepore, R., Fortemps, P., & De Weireld, G. (2020). Comparison of multi-criteria decision-analysis methods for selecting carbon dioxide utilization products. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 194–210. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.002>
- Chevalier, B., Reyes-Carrillo, T., & Laratte, B. (2011). Methodology for choosing life cycle impact assessment sector-specific indicators. *ICED 11*, 5.
- Christiansen, K., Jensen, A. A., & Schmidt, A. (1998). *Life cycle assessment (LCA) - a guide to approaches, experiences and information sources*. 6.
- CIGRE. (2020). *Life Extension of Oil Filled Transformers*.
- Ciroth, A., Noi, C., Lohse, T., & Srocka, M. (2020). *openLCA 1.10 - Comprehensive User Manual*. <https://www.openlca.org/learning/>
- Connection, C. C. (2022). *CO2 EQUIVALENTS*. <https://climatechangeconnection.org/emissions/co2-equivalents/>
- Coutinho, C. P. (2018). *Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: Teoria e Prática* (Almedina (ed.); Reimpressã).
- De Montis, A., De Toro, P., Droste-Franke, B., Omann, I., & Stagl, S. (2004). *Assessing the quality of different MCDA methods*. <https://doi.org/10.4324/9780203412879-14>
- Direção-Geral das Atividades Económicas. (2022). *Economia Circular*. <https://www.dgae.gov.pt/servicos/sustentabilidade-empresarial/economia-circular.aspx>
- EATON. (2020). *Eaton Launches Capacitor Recycling Program to Drive More Circular Economy*. <https://www.pumpsandsystems.com/news/2020-09-01/eaton-launches-capacitor-recycling-program-drive-more-circular-economy>
- EATON. (2022). *Driving sustainable use of a shared resource*. <https://www.eaton.com/us/en-us/company/sustainability/water-use/water-use-in-a-circular-economy.html>
- Eco.nomia. (2022a). *Sonae - Projeto Trevo*. <https://economicircular.gov.pt/pt/exemplos/sonae>
- Eco.nomia. (2022b). *Sonae Arauco - Bioeconomia Circular Sustentável*. <https://eco.nomia.pt/pt/exemplos/sonae-arauco>
- Ecochain. (2021a). *100's of products. 100's of footprints. 1 application*. <https://ecochain.com/solutions/helix/>
- Ecochain. (2021b). *Ecochain*. <https://ecochain.com/>
- Ecochain. (2021c). *Mobius*. <https://ecochain.com/solutions/product-environmental-footprint/>
- ecoinvent. (2022a). *Ecoinvent Database*. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>
- ecoinvent. (2022b). *For the availability of environmental data worldwide*. <https://ecoinvent.org/>

- ecoinvent. (2022c). *Governance*. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-association/governance/>
- Edgar G. Hertwich, Mateles, S. F., Pease, W. S., & McKone, T. E. (2001). *Human toxicity potentials for life-cycle assessment and toxics release inventory risk screening*. [https://doi.org/10.1897/1551-5028\(2001\)020<0928:HTPFLC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1897/1551-5028(2001)020<0928:HTPFLC>2.0.CO;2)
- EDP. (2022). *Conheça a origem da energia*. <https://www.edp.pt/origem-energia/?sector=17026&year=2022&trimester=1>
- Efacec Power Solutions. (2004). *Aço Laminado a quente - Perfil U*.
- Efacec Power Solutions. (2021). *Política de Sustentabilidade*.
- Efacec Power Solutions. (2022a). *Efacec - Quem Somos*. <https://www.efacec.pt/quem-somos/>
- Efacec Power Solutions. (2022b). *Efacec - Service*. <https://www.efacec.pt/servicing-transformadores-energia-equipamentos/>
- Efacec Power Solutions. (2022c). *Efacec - Sustentabilidade*. <https://www.efacec.pt/sustentabilidade/>
- Efacec Power Solutions. (2022d). *Efacec - Transformadores*. <https://www.efacec.pt/transformadores/>
- Efacec Power Solutions. (2022e). *Service*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2022). *Measure business circularity: Circulytics*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/resources/circulytics/overview>
- EPA. (2022). *Learn about Polychlorinated Biphenyls (PCBs)*. <https://www.epa.gov/pcbs/learn-about-polychlorinated-biphenyls-pcbs>
- European Standard. (2004). *Hot Rolled Products of Structural Steels - Part 2*.
- Fellows, R. F., & Liu, A. M. M. (2021). *Research Methods for Construction* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Fonseca, L. M., Domingues, J. P., Pereira, M. T., Martins, F. F., & Zimon, D. (2018). Assessment of Circular Economy within Portuguese Organizations. *Sustainability*, 10. <https://doi.org/10.3390/su10072521>
- GaBi. (2022). *Process data set: Lead primary and secondary mix; technology mix; production mix, at producer; primary 46% / secondary 54% (en)*. <http://gabi-documentation-2022.gabi-software.com/xml-data/processes/137f2286-e426-4231-b65d-e65503fa6e5c.xml>
- GE's Grid Solutions. (2021). *Power Transformers Contribute to a Circular Economy*. https://www.gegridsolutions.com/press/gepress/20200715_reduce_environmental_impact_power.htm
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- Goedkoop, M. J., Heijungs, R., Huijbregts, M. A. J., Schryver, A. De, Struijs, J., & van Zelm, R. (2013). ReCiPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. In *ResearchGate*.

- Gomes da Silva, F. J., & Gouveia, R. M. (2020). *Cleaner Production - Towards a Better Future* (Vol. 11). Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23165-1>
- greendelta. (2022). *openLCA*. <https://www.openlca.org/>
- Greendelta. (2020). *openLCA Tutorial - Basic Modelling in openLCA: PC and PET Bottle Case Study*. https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2021/10/Report_PC_PET_Tutorial.pdf
- Hegedic, M., Opetuk, T., Dukic, G., Draskovic, H., & Lucica, I. (n.d.). *Life Cycle Assessment of Power Transformers-Case Study*.
- Heinrich, B., Gasser, H. P., & Krause, C. (2007). *Laminated Pressboard and Laminated Wood Products in Power Transformers*.
- Huijbregts, M., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., Hollander, A., Zijp, M., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe 2016 - A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. In *National Institute for Public Health and the Environment*. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0104.pdf>
- IAPMEI. (2018). *Sistemas de Incentivos à Economia Circular*.
- Iberdrola. (2021). *Princípios e ações regulatórias da descarbonização energética que contribuem para um marco sustentável e eficiente para combater as mudanças climáticas*. <https://www.iberdrola.com/quem-somos/energetica-do-futuro/descarbonizacao-economia-principios-aco-es-regulacao>
- INEGI. (2021). *INEGI vai contribuir para tornar a indústria transformadora portuguesa mais circular e sustentável*. <http://www.inegi.pt/pt/noticias/inegi-vai-contribuir-para-tornar-a-industria-transformadora-portuguesa-mais-circular-e-sustentavel/?l=28&s=2383>
- International council of chemical associations. (2018). *How to Know If and When it's Time to Commission a Life Cycle Assessment An Executive Guide*.
- iPoint. (2022a). *Umberto LCA+*.
- iPoint. (2022b). *Umberto LCA+*. <https://www.ifu.com/umberto/lca-software/>
- ISO. (1981). *ISO 65 Carbon steel tubes*.
- ISO. (2006). *14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*.
- ISO. (2015). *Introduction to ISO 14001:2015*.
- ISO. (2018). *Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification*.
- João Pedro Matos Fernandes. (2022). *A Iniciativa Eco.nomia*. <https://eco.nomia.pt/pt/acerca>
- Jurado, P. J. M., & Fuentes, J. M. (2014). Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, 85, 134–150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.042>
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., & Rosado, L. (2018). Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation & Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>

- Kevin van Langen, S., Vassillo, C., Ghisellini, P., Restaino, D., Passaro, R., & Ulgiati, S. (2021). Promoting circular economy transition: A study about perceptions and awareness by different stakeholders groups. *Journal of Cleaner Production*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128166>
- Kiser, B. (2016). Getting the circulation going. *Comment - Nature*, 531, 443–444. <https://www.nature.com/articles/531443a.pdf>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecol. Econ*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Kumar, R. (2018). *Research methodology: a step-by-step guide for beginners*. SAGE.
- Luis, E. C., & Celma, D. (2020). Circular economy. A review and bibliometric analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/SU12166381>
- Muralikrishna, I. V., & Manickam, V. (2018). Life cycle assessment. In *Environmental Management*. <https://doi.org/10.4324/9781315778730>
- National Institute for Public Health and the Environment. (2011). *LCIA: the ReCiPe model*. <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>
- Nations, U. (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1201/b20466-7>
- NREL. (2022). *U.S. Life Cycle Inventory Database*. <https://www.nrel.gov/lci/>
- OECD. (2009). *Sustainable Manufacturing and Eco-innovation: Towards a Green Economy*. www.oecd.org/publications/Policybriefs%5Cn
- Oliveira, L. A. (2011). *Dissertação e Tese em Ciência e Tecnologia Segundo Bolonha*. Lidel.
- OneClickLCA. (2021). *OneClickLCA*. <https://www.oneclicklca.com/>
- Ormazabal. (2021). *Ormazabal joins forces with the Basque Government and 13 other Basque companies to form the largest public-private alliance in ecodesign and circular economy in Spain*. <https://www.ormazabal.com/en/highlights/news/ormazabal-joins-forces-basque-government>
- OVAM. (2022a). *Ecolizer 2.0 ecodesign tool*.
- OVAM. (2022b). *Ecolizer design tool*. <https://ecolizer.be/>
- Pachemska, T. A., Lapevski, M., & Timovski, R. (2014). Analytical Hierarchical Process (AHP) method application in the process of selection and evaluation. *Proceedings. Gabrovo: International Scientific Conference "UNITECH". 21-22 November 2014*, 373–380. https://www.researchgate.net/publication/276985609_ANALYTICAL_HIERARCHICAL_PROCESS_AHP_METHOD_APPLICATION_IN_THE_PROCESS_OF_SELECTION_AND_EVALUATION
- Protocol, G. (2022). *Life Cycle Databases*. <https://ghgprotocol.org/life-cycle-databases>
- Pushpanjali, P., Bisht, S., & Azhar, A. (2016). Life Assessment of Transformer: A Case Study. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(02), 1–7.
- Rashid, A., Farazee, M. A., Krajnik, P., & Nicolescu, C. (2013). Resource conservative manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 57, 166–177.

- Recanati, F., & Ciroth, A. (2019). *EF Secondary data for openLCA*.
- Recuperar Portugal. (2021). *Plano de Recuperação e Resiliência*. <https://recuperarportugal.gov.pt/rePLANT>.
- rePLANT. (2021). *Economia Circular e Cadeias de Valor*. <https://replant.pt/economia-circular-e-cadeias-de-valor/>
- Ribeiro, A. V., Fonseca, L. M., & Santos, S. (2018). *Economia Verde e Economia Circular: desafios e oportunidades* (S. Santos (ed.); 1st ed.). Lidergraf.
- Ritzén, S., & Sandström, G. Ö. (2017). Barriers to the Circular Economy - Integration of Perspectives and Domains. *Procedia CIRP*, 64, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.005>
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., & Cluzel, F. (2017). How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework. *Recycling*, 2(1). <https://doi.org/10.3390/recycling2010006>
- Santos, A., Barbosa-Póvoa, A., & Carvalho, A. (2019). Life cycle assessment in chemical industry – a review. *Chemical Engineering*, 26, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2019.09.009>
- Schneider Electric. (2020). *Schneider Electric's 2019 Circular Economy Highlights*.
- Shrivastava, S., & Unnikrishnan, S. (2021). *Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA)* (Subramanian Senthilkannan Muthu (ed.); 1st ed.). Springer Nature Singapore Pte. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-4562-4>
- Siemens. (2022). *Siemens is leading the way towards carbon neutrality*. <https://new.siemens.com/global/en/company/sustainability/carbonneutral.html>
- SimaPro. (2022a). *About SimaPro*. <https://simapro.com/about/>
- SimaPro. (2022b). *Environmental Footprint database 3.0*. <https://simapro.com/products/environmental-footprint-database/>
- Sphera. (2022). *U.S. LCI databases*. <https://gabi.sphera.com/international/databases/us-lci-databases/>
- Stahel, W. R. (2016). Circular economy - A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs. *Comment*, 531, 435–438. <https://www.nature.com/articles/531435a.pdf>
- Standard, E. (2020). *EN 50708-1-1:2020*.
- State of Green. (2017). *10 Examples of Circular Economy Solutions*. <https://stateofgreen.com/en/partners/state-of-green/news/10-examples-of-circular-economy-solutions/>
- Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G., & Soto-Oñate, D. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production*, 214, 952–961. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271>
- Suchek, N., Fernandes, C. I., Kraus, S., Filser, M., & Sjögrén, H. (2021). *Innovation and the circular economy: A systematic literature review*. <https://doi.org/10.1002/bse.2834>
- Thinkstep. (2022). *GaBi ts Leading Sustainability & LCA Software*.

- thyssenkrupp. (2021). *Safety Information Sheet*.
- União Europeia. (2014). *Jornal Oficial da União Europeia*. https://www.igfse.pt/upload/docs/2014/Decisao472_2014AnoEuropeuparaoDesenvolvimeto2015.pdf
- União Europeia. (2019). *Regulamento da Comissão de 1 de outubro de 2019*.
- Voss, C., Tsiriktsis, N., & Frohlich, M. (2002). Case Research in Operations Management. *International Journal of Operations & Production Management*, 22, 195–219. <https://doi.org/10.1108/01443570210414329>
- Wachter, B. D. E., & Jezdinsky, T. (2022). The circularity of medium-power electrical transformers. *Transformers Magazine*, 9(1), 84–89.
- Walliman, N. (2011). *Research Methods: The Basics*. Routledge.
- World Business Council for Sustainable Development. (2021). *Indicadores de Transição Circular V2.0*.
- World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. (2011). *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*. http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard-EReader_041613.pdf
- Yin., R. K. (2014). Case Study Research Design and Methods. *The Canadian Journal of Program Evaluation*, 282. <https://doi.org/10.3138/cjpe.30.1.108>
- Yue, D., & You, F. (2014). Life Cycle Assessment Methodology. In *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*.

página propositadamente em branco

APÊNDICE 1. Matrizes de comparação de critérios para *softwares* de ACV da fase 1

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda							
Ecolizer 2.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
openLCA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
GaBi	37,50	37,50	1,00	1,00	37,50	1,50	1,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	1,20	4,00				
SimaPro 9.3	37,50	37,50	1,00	1,00	37,50	1,50	1,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	1,20	4,00				
Ecochain Helix	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Ecochain Mobius	25,00	25,00	0,67	0,67	25,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,80	4,00				
Umberto LCA+	25,00	25,00	0,67	0,67	25,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,80	4,00				
TOTAL	125,00	125,00	3,33	3,33	125,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,20	0,20	1,00					2,29					
																						CI	CR		
																								-0,79	-0,60

Figura 58. Matriz do critério “Free trial”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda								
Ecolizer 2.0	1,00	1,00	100,00	100,00	1,00	100,00	100,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00					
openLCA	1,00	1,00	100,00	100,00	1,00	100,00	100,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00					
GaBi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
SimaPro 9.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
Ecochain Helix	1,00	1,00	100,00	100,00	1,00	100,00	100,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00					
Ecochain Mobius	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
TOTAL	3,00	3,00	300,00	300,00	3,00	300,00	300,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	1,00					1,29						
																						CI	CR			
																									-0,95	-0,72

Figura 59. Matriz do critério “License renewal costs”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda									
Ecolizer 2.0	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	1,11	7,00						
openLCA	0,67	1,00	0,67	0,67	0,67	0,67	1,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,74	7,00						
GaBi	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	1,11	7,00						
SimaPro 9.3	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	1,11	7,00						
Ecochain Helix	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	1,11	7,00						
Ecochain Mobius	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	1,11	7,00						
Umberto LCA+	0,67	1,00	0,67	0,67	0,67	0,67	1,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,74	7,00						
TOTAL	6,33	9,50	6,33	6,33	6,33	6,33	9,50	0,16	0,11	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,11	1,00				7,00						
																						CI	CR				
																										0,00	0,00

Figura 60. Matriz do critério “Technical support”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda			
Ecolizer 2.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
openLCA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
GaBi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SimaPro 9.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Helix	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Mobius	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Umberto LCA+	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
TOTAL	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00		0,14	-1,14	-0,87

Figura 61. Matriz do critério “Free training course”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda			
Ecolizer 2.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
openLCA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
GaBi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SimaPro 9.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Helix	30,00	30,00	30,00	30,00	1,00	1,00	30,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Ecochain Mobius	30,00	30,00	30,00	30,00	1,00	1,00	30,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTAL	60,00	60,00	60,00	60,00	2,00	2,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	1,00		0,57	-1,07	-0,81

Figura 62. Matriz do critério “Online”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Ecolizer 2.0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	1,00		
openLCA	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	1,00	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	1,00	4,12		
GaBi	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	1,00	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	1,00	4,12		
SimaPro 9.3	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	1,00	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	1,00	4,12		
Ecochain Helix	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Mobius	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Umberto LCA+	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	1,00	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	1,00	4,12		
TOTAL	5,00	4,00	4,00	4,00	200,00	200,00	4,00	0,03	0,24	0,24	0,24	0,00	0,00	0,24	0,24	1,00		2,50	-0,75	-0,57

Figura 63. Matriz do critério “Desktop”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda			
Ecolizer 2.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
openLCA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
GaBi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SimaPro 9.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Helix	10,00	10,00	10,00	10,00	1,00	1,00	10,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00			
Ecochain Mobius	10,00	10,00	10,00	10,00	1,00	1,00	10,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00			
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
TOTAL	20,00	20,00	20,00	20,00	2,00	2,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	1,00			0,57	-1,07	-0,81	

Figura 64. Matriz do critério “Mobile App”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda				
Ecolizer 2.0	1,00	1,00	1,00	1,00	10,00	10,00	10,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
openLCA	1,00	1,00	1,00	1,00	10,00	10,00	10,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
GaBi	1,00	1,00	1,00	1,00	10,00	10,00	10,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
SimaPro 9.3	1,00	1,00	1,00	1,00	10,00	10,00	10,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Ecochain Helix	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Mobius	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTAL	4,00	4,00	4,00	4,00	40,00	40,00	40,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00		2,29	-0,79	-0,60

Figura 65. Matriz do critério “Portuguese Version”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda				
Ecolizer 2.0	1,00	60,00	1,00	60,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
openLCA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
GaBi	1,00	60,00	1,00	60,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
SimaPro 9.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Helix	1,00	60,00	1,00	60,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
Ecochain Mobius	1,00	60,00	1,00	60,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
Umberto LCA+	1,00	60,00	1,00	60,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
TOTAL	5,00	300,00	5,00	300,00	5,00	5,00	5,00	0,20	0,00	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00		3,57	-0,57	-0,43

Figura 66. Matriz do critério “English version”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda				
Ecolizer 2.0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
openLCA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
GaBi	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
SimaPro 9.3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
Ecochain Helix	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
Ecochain Mobius	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
Umberto LCA+	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
TOTAL	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00		7,00	0,00	0,00

Figura 67. Matriz do critério “Link to Excel”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda				
Ecolizer 2.0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
openLCA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
GaBi	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
SimaPro 9.3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
Ecochain Helix	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
Ecochain Mobius	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
Umberto LCA+	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00	7,00		
TOTAL	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00		7,00	0,00	0,00

Figura 68. Matriz do critério “Import data”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR
Ecolizer 2.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
openLCA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
GaBi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SimaPro 9.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ecochain Helix	70,00	70,00	70,00	70,00	1,00	1,00	70,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Ecochain Mobius	70,00	70,00	70,00	70,00	1,00	1,00	70,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTAL	140,00	140,00	140,00	140,00	2,00	2,00	140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	1,00		0,57	-1,07	-0,81	

Figura 69. Matriz do critério “Cloud based”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR
Ecolizer 2.0	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
openLCA	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
GaBi	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
SimaPro 9.3	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
Ecochain Helix	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Mobius	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Umberto LCA+	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
TOTAL	5,00	5,00	5,00	5,00	250,00	250,00	5,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	1,00		3,57	-0,57	-0,43	

Figura 70. Matriz do critério “Database source”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR
Ecolizer 2.0	1,00	1,00	1,00	1,00	95,00	95,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
openLCA	1,00	1,00	1,00	1,00	95,00	95,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
GaBi	1,00	1,00	1,00	1,00	95,00	95,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
SimaPro 9.3	1,00	1,00	1,00	1,00	95,00	95,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
Ecochain Helix	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Mobius	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Umberto LCA+	1,00	1,00	1,00	1,00	95,00	95,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	5,00		
TOTAL	5,00	5,00	5,00	5,00	475,00	475,00	5,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	1,00		3,57	-0,57	-0,43	

Figura 71. Matriz do critério “Windows”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR
Ecolizer 2.0	1,00	1,00	10,00	1,00	10,00	10,00	10,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
openLCA	1,00	1,00	10,00	1,00	10,00	10,00	10,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
GaBi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
SimaPro 9.3	1,00	1,00	10,00	1,00	10,00	10,00	10,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
Ecochain Helix	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Ecochain Mobius	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTAL	3,00	3,00	30,00	3,00	30,00	30,00	30,00	0,33	0,33	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	1,00		1,29	-0,95	-0,72	

Figura 72. Matriz do critério “Mac”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR				
Ecolizer 2.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
openLCA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GaBi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
SimaPro 9.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Ecochain Helix	10,00	10,00	10,00	10,00	1,00	1,00	10,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00		
Ecochain Mobius	10,00	10,00	10,00	10,00	1,00	1,00	10,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00		
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
TOTAL	20,00	20,00	20,00	20,00	2,00	2,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	1,00			0,57	-1,07	-0,81				

Figura 73. Matriz do critério “Android”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR			
Ecolizer 2.0	1,00	0,58	0,50	0,50	0,88	0,88	0,58	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09		
openLCA	1,71	1,00	0,86	0,86	1,50	1,50	1,00	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16			
GaBi	2,00	1,17	1,00	1,00	1,75	1,75	1,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19			
SimaPro 9.3	2,00	1,17	1,00	1,00	1,75	1,75	1,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19			
Ecochain Helix	1,14	0,67	0,57	0,57	1,00	1,00	0,67	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11			
Ecochain Mobius	1,14	0,67	0,57	0,57	1,00	1,00	0,67	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11			
Umberto LCA+	1,71	1,00	0,86	0,86	1,50	1,50	1,00	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16			
TOTAL	10,71	6,25	5,36	5,36	9,38	9,38	6,25	0,09	0,16	0,19	0,19	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	1,00	7,00	0,00	0,00		

Figura 74. Matriz do critério “Software usage”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR			
Ecolizer 2.0	1,00	0,90	0,90	0,90	1,20	1,20	0,90	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14			
openLCA	1,11	1,00	1,00	1,00	1,33	1,33	1,00	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16			
GaBi	1,11	1,00	1,00	1,00	1,33	1,33	1,00	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16			
SimaPro 9.3	1,11	1,00	1,00	1,00	1,33	1,33	1,00	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16			
Ecochain Helix	0,83	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12			
Ecochain Mobius	0,83	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12			
Umberto LCA+	1,11	1,00	1,00	1,00	1,33	1,33	1,00	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16			
TOTAL	7,11	6,40	6,40	6,40	8,53	8,53	6,40	0,14	0,16	0,16	0,16	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	1,00	7,00	0,00	0,00		

Figura 75. Matriz do critério “Theme framework”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR			
Ecolizer 2.0	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15			
openLCA	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08			
GaBi	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15			
SimaPro 9.3	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15			
Ecochain Helix	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15			
Ecochain Mobius	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15			
Umberto LCA+	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15			
TOTAL	6,50	13,00	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	0,15	0,08	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	1,00	7,00	0,00	0,00		

Figura 76. Matriz do critério “ISO Standards”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR									
Ecolizer 2.0	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,83	0,25	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
openLCA	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,33	1,00	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
GaBi	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,33	1,00	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
SimaPro 9.3	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,33	1,00	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Ecochain Helix	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,33	1,00	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Ecochain Mobius	1,20	0,30	0,30	0,30	0,30	1,00	0,30	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Umberto LCA+	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,33	1,00	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
TOTAL	22,20	5,55	5,55	5,55	5,55	18,50	5,55	0,05	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,05	0,18	1,00			7,00		0,00	0,00						

Figura 77. Matriz do critério “Add-ons”

	Ecolizer 2.0	openLCA	GaBi	SimaPro 9.3	Ecochain Helix	Ecochain Mobius	Umberto LCA+	Matriz Normalizada								Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR									
Ecolizer 2.0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	70,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
openLCA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	70,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
GaBi	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	70,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
SimaPro 9.3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	70,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Ecochain Helix	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	70,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Ecochain Mobius	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	70,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	420,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,00	1,00			5,14		-0,31	-0,23					

Figura 78. Matriz do critério “Multi-users”

APÊNDICE 2. Resultados dos critérios de *softwares*, pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho, resultados obtidos para as 4 medidas e pesos finais utilizados na fase 2

	openLCA	Umberto LCA+	Criteria weight ([0,10])							Média	Moda	Mediana	Condição
			Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6	Person 7				
Open source	1,00	0,00	5,00	10,00	7,00	8,00	9,00	5,00	5,00	7,00	5,00	7,00	7,00
Diagrams	1,00	1,00	6,00	5,00	9,00	9,00	7,00	8,00	5,00	7,00	5,00	7,00	7,00
Reports	0,60	0,70	7,00	10,00	9,00	9,00	10,00	10,00	5,00	8,57	10,00	9,00	9,00
User-friendly	0,90	1,00	7,00	5,00	10,00	9,00	10,00	3,00	5,00	7,00	5,00	7,00	7,00

Figura 79. Matriz inicial para o estudo de *softwares* na fase 2

	openLCA	Umberto LCA+
Open source	7,00	0,00
Diagrams	7,00	7,00
Reports	5,40	6,30
User-friendly	6,30	7,00

Figura 80. Pesos finais para o estudo de *softwares* na fase 2

APÊNDICE 3. Matrizes de comparação de critérios para *softwares* de ACV da fase 2

	openLCA	Umberto LCA+	Matriz normalizada	Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
openLCA	1,00	70,00	1,00 1,00	1,00	1,00	1,00		
Umberto LCA+	0,00	0,00	0,00 0,00	0,00	0,00	0,00	CI	CR
TOTAL	1,00	70,00	1,00 0,00	1,00		0,50	-1,17	-1,30

Figura 81. Matriz do critério “Open-source”

	openLCA	Umberto LCA+	Matriz normalizada	Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
openLCA	1,00	1,00	0,50 0,50	0,50	1,00	2,00		
Umberto LCA+	1,00	1,00	0,50 0,50	0,50	1,00	2,00	CI	CR
TOTAL	2,00	2,00	0,50 0,50	1,00		2,00	-0,67	-0,74

Figura 82. Matriz do critério “Diagrams”

	openLCA	Umberto LCA+	Matriz normalizada	Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
openLCA	1,00	0,86	0,46 0,46	0,46	0,92	2,00		
Umberto LCA+	1,17	1,00	0,54 0,54	0,54	1,08	2,00	CI	CR
TOTAL	2,17	1,86	0,46 0,54	1,00		2,00	-0,67	-0,74

Figura 83. Matriz do critério “Reports”

	openLCA	Umberto LCA+	Matriz normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
openLCA	1,00	0,90	0,47	0,47	0,47	0,95	2,00		
Umberto LCA+	1,11	1,00	0,53	0,53	0,53	1,05	2,00	CI	CR
TOTAL	2,11	1,90	0,47	0,53	1,00		2,00	-0,67	-0,74

Figura 84. Matriz do critério “User-friendly”

APÊNDICE 4. Pairwise comparison Matrix e Matriz normalizada para critérios de softwares da fase 2

	Open source	Diagrams	Reports	User-friendly	Matriz normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Open source	1,00	1,00	0,78	1,00	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,93	4,00		
Diagrams	1,00	1,00	0,78	1,00	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,93	4,00		
Reports	1,29	1,29	1,00	1,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	1,20	4,00		
User-friendly	1,00	1,00	0,78	1,00	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,93	4,00	CI	CR
TOTAL	4,29	4,29	3,33	4,29	0,23	0,23	0,30	0,23	1,00		4,00	0,00	0,00

Figura 85. Matrizes finais para critérios de softwares da fase 2

APÊNDICE 5. Resultados dos critérios de bases de dados, pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho, resultados obtidos para as 4 medidas e pesos finais utilizados na fase 1

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Criteria weight ([0,10])							Média	Moda	Mediana	Condição
					Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6	Person 7				
Free of charge	0,00	1,00	1,00	0,00	6,67	10,00	10,00	4,00	10,00	10,00	5,00	7,95	10,00	10,00	10,00
License renewal costs	1,00	1,00	1,00	1,00	6,67	10,00	10,00	5,00	10,00	10,00	7,00	8,38	10,00	10,00	10,00
Technical support	0,40	0,40	0,60	0,20	6,67	10,00	9,50	7,00	9,00	6,00	5,00	7,60	#N/D	7,00	7,00
Free training	1,00	1,00	1,00	1,00	6,67	5,00	9,00	4,00	9,00	6,00	3,00	6,10	9,00	6,00	6,00
Cloud based	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	10,00	9,00	7,00	7,00	0,00	5,00	6,38	7,00	7,00	7,00
Database source	1,00	1,00	1,00	1,00	6,67	5,00	7,50	9,00	7,00	0,00	5,00	5,74	5,00	6,67	6,67
DB usage	1,00	1,00	0,50	0,50	8,33	5,00	8,00	9,00	7,00	10,00	10,00	8,19	10,00	8,33	8,33
Dimension	1,00	1,00	1,00	1,00	10,00	5,00	9,00	7,00	8,00	10,00	5,00	7,71	10,00	8,00	8,00
ISO Standards	1,00	1,00	1,00	0,50	8,33	10,00	10,00	8,00	10,00	8,00	10,00	9,19	10,00	10,00	9,19

Figura 86. Matriz inicial para o estudo de bases de dados na fase 1

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI
Free of charge	0,00	10,00	10,00	0,00
License renewal costs	10,00	10,00	10,00	10,00
Technical support	2,80	2,80	4,20	1,40
Free training	6,00	6,00	6,00	6,00
Cloud based	0,00	0,00	0,00	0,00
Database source	6,67	6,67	6,67	6,67
DB usage	8,33	8,33	4,17	4,17
Dimension	8,00	8,00	8,00	8,00
ISO Standards	10,00	10,00	10,00	5,00

Figura 87. Pesos finais para o estudo de bases de dados na fase 1

APÊNDICE 6. Matrizes de comparação de critérios para bases de dados de ACV da fase 1

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Matriz Normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Eco-invent Methods	100,00	1,00	1,00	100,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Environmental footprint	100,00	1,00	1,00	100,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
US LCI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	CI	CR
TOTAL	200,00	2,00	2,00	200,00	0,00	0,50	0,50	0,00	1,00		1,00	-1,00	-1,11

Figura 88. Matriz do critério “Free of charge”

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Matriz Normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Eco-invent Methods	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Environmental footprint	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
US LCI	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00	CI	CR
TOTAL	4,00	4,00	4,00	4,00	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00		4,00	0,00	0,00

Figura 89. Matriz do critério “License renewal costs”

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Matriz Normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	1,00	1,00	0,67	2,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Eco-invent Methods	1,00	1,00	0,67	2,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Environmental footprint	1,50	1,50	1,00	3,00	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	1,50	4,00		
US LCI	0,50	0,50	0,33	1,00	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,50	4,00	CI	CR
TOTAL	4,00	4,00	2,67	8,00	0,25	0,25	0,38	0,13	1,00		4,00	0,00	0,00

Figura 90. Matriz do critério “Technical support”

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Matriz Normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Eco-invent Methods	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Environmental footprint	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
US LCI	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00	CI	CR
TOTAL	4,00	4,00	4,00	4,00	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00		4,00	0,00	0,00

Figura 91. Matriz do critério “Free training”

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Matriz Normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00		
Eco-invent Methods	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00		
Environmental footprint	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00		
US LCI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	CI	CR
TOTAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00		0,00	-1,33	-1,48

Figura 92. Matriz do critério “Cloud based”

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Matriz Normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Eco-invent Methods	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Environmental footprint	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
US LCI	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00	CI	CR
TOTAL	4,00	4,00	4,00	4,00	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00		4,00	0,00	0,00

Figura 93. Matriz do critério “Database source”

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Matriz Normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	1,00	1,00	2,00	2,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,33	4,00		
Eco-invent Methods	1,00	1,00	2,00	2,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,33	4,00		
Environmental footprint	0,50	0,50	1,00	1,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,67	4,00		
US LCI	0,50	0,50	1,00	1,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,67	4,00	CI	CR
TOTAL	3,00	3,00	6,00	6,00	0,33	0,33	0,17	0,17	1,00		4,00	0,00	0,00

Figura 94. Matriz do critério “Database usage”

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Matriz Normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Eco-invent Methods	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
Environmental footprint	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00		
US LCI	1,00	1,00	1,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00	4,00	CI	CR
TOTAL	4,00	4,00	4,00	4,00	0,25	0,25	0,25	0,25	1,00		4,00	0,00	0,00

Figura 95. Matriz do critério “Dimension”

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	US LCI	Matriz Normalizada				Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR
Eco-invent database	1,00	1,00	1,00	2,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	1,14	4,00		
Eco-invent Methods	1,00	1,00	1,00	2,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	1,14	4,00		
Environmental footprint	1,00	1,00	1,00	2,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	1,14	4,00		
US LCI	0,50	0,50	0,50	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,57	4,00		
TOTAL	3,50	3,50	3,50	7,00	0,29	0,29	0,29	0,14	1,00		4,00	0,00	0,00

Figura 96. Matriz do critério “ISO Standards”

APÊNDICE 7. Pairwise comparison Matrix e Matriz normalizada para critérios de bases de dados da fase 1

	Free of charge	License renewal costs	Technical support	Free training	Cloud based	Database source	DB usage	Dimension	ISO Standards	Matriz normalizada									Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR						
Free of charge	1,00	1,00	1,43	1,67	1,43	1,50	1,20	1,25	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,23	9,00		
License renewal costs	1,00	1,00	1,43	1,67	1,43	1,50	1,20	1,25	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,23	9,00		
Technical support	0,70	0,70	1,00	1,17	1,00	1,05	0,84	0,88	0,70	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,86	9,00		
Free training	0,60	0,60	0,86	1,00	0,86	0,90	0,72	0,75	0,60	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,74	9,00		
Cloud based	0,70	0,70	1,00	1,17	1,00	1,05	0,84	0,88	0,70	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,86	9,00		
Database source	0,67	0,67	0,95	1,11	0,95	1,00	0,80	0,83	0,67	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,82	9,00		
DB usage	0,83	0,83	1,19	1,39	1,19	1,25	1,00	1,04	0,83	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	1,03	9,00		
Dimension	0,80	0,80	1,14	1,33	1,14	1,20	0,96	1,00	0,80	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,99	9,00		
ISO Standards	1,00	1,00	1,43	1,67	1,43	1,50	1,20	1,25	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,23	9,00		
TOTAL	7,30	7,30	10,43	12,17	10,43	10,94	8,76	9,13	7,30	0,14	0,14	0,10	0,08	0,10	0,09	0,11	0,11	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,00		9,00	0,00	0,00

Figura 97. Matrizes finais para critérios de bases de dados da fase 1

APÊNDICE 8. Resultados dos critérios de bases de dados, pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho, resultados obtidos para as 4 medidas e pesos finais utilizados na fase 2

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	Criteria weight ([0,10])							Média	Moda	Mediana	Condição
				Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6	Person 7				
GHG Emissions	1,00	1,00	1,00	7,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,57	10,00	10,00	10,00
Energy Consumption	1,00	1,00	1,00	7,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	9,57	10,00	10,00	10,00
MP information	0,00	0,00	0,00	7,00	10,00	8,50	8,00	10,00	10,00	10,00	9,07	10,00	10,00	10,00

Figura 98. Matriz inicial para o estudo de bases de dados na fase 2

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint
GHG Emissions	10,00	10,00	10,00
Energy Consumption	10,00	10,00	10,00
MP information	0,00	0,00	0,00

Figura 99. Pesos finais para o estudo de bases de dados na fase 2

APÊNDICE 9. Matrizes de comparação de critérios para bases de dados de ACV da fase 2

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	Matriz Normalizada			Vetor	Calc. Aux.	Lambda	CI	CR
Eco-invent database	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
Eco-invent Methods	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
Environmental footprint	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
TOTAL	3,00	3,00	3,00	0,33	0,33	0,33	1,00		3,00	0,00	0,00

Figura 100. Matriz do critério "GHG Emissions"

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	Matriz Normalizada			Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
Eco-invent Methods	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
Environmental footprint	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00	CI	CR
TOTAL	3,00	3,00	3,00	0,33	0,33	0,33	1,00		3,00	0,00	0,00

Figura 101. Matriz do critério "Energy Consumption"

	Eco-invent database	Eco-invent Methods	Environmental footprint	Matriz Normalizada			Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
Eco-invent database	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00		
Eco-invent Methods	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00		
Environmental footprint	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	CI	CR
TOTAL	0,00	0,00	0,00	0,33	0,33	0,33	1,00		0,00	-1,50	-2,59

Figura 102. Matriz do critério "MP Information"

APÊNDICE 10. Pairwise comparison Matrix e Matriz normalizada para critérios de bases de dados da fase 2

	GHG Emissions	Energy Consumption	MP information	Matriz normalizada			Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
GHG Emissions	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
Energy Consumption	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00		
MP information	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00	CI	CR
TOTAL	3,00	3,00	3,00	0,33	0,33	0,33	1,00		3,00	0,00	0,00

Figura 103. Matrizes finais para critérios de bases de dados da fase 2

APÊNDICE 11. Inputs nos PT Core em estudo na fase de reparação

Produto	Massa (KG)
CM chapa	8404,00
Cobre	4072,00
CM total com estrutura	8860,00
Bobinagem e ligações	4200,00
Cuba sem harpas	2160,00
Isolantes	590,00
Radiadores + válvula	1340,00
Pratos + madeira	120,00
Rodados	310,00
Conservador com nível	280,00
Tampa	490,00
Bornes AT	100,00
Bornes BT	80,00
Computador	250,00
Estrutura e Cuba	150,00
Ventiladores	100,00
Caixa dispersão	30,00
Óleo	7700,00
TOTAL	26760,00
Sílica gel	4,00
Tubo galv.	4,00
ALML, ST33, 60*60*6	2,00
ALML, ST33, UPN 120*55*7	33,60
ALML, ST33 40*40*4	1,00
TOTAL EQ. EXTERIOR	44,60
Cabo flexível 50mm ²	3,70
Cabo rígido 50mm ²	37,50
TOTAL Ligações AT	41,20
Cabo Flexível 95mm ²	3,10
Cabo Flexível 95mm ²	4,90
TOTAL Ligações BT	8,00

Figura 104. PT 63/31,5 Kv - 15 MVA

Produto	Massa (KG)
Óleo	10600
CM + Bobinagem	21000
Transporte	34000

Figura 105. PT 60/31,4 Kv - 20 MVA

APÊNDICE 12. Base de dados final com *inputs e outputs*

	Flow	Amount
TOTAL CM MONTAGEM	Steel Engineering Steel	804.22
	Cellulose (excluding blowing)	30.53
	Steel plate	10236.50
	Copper wire	0.00
	Veneer, hardwood, dry, at veneer mill, E	65.20
	Brass Casting	0.00
	electricity from wind power	14.59
	electricity from hydroelectric power plant	27.04
	Thermal energy credit	0.00
	Electricity from fossil unspecified	6.43
	Natural gas, at consumer EU-27	149.79
	Hard coal, at consumer EU-27	10.11
	Diesel	0.00
	Light fuel oil {Europe without Switzerland} market for Cut-off, S - Copied from Ecoinvent	0.00
	Electricity, nuclear, at power plant	13.33
TOTAL BOBINAGEM	Steel Engineering Steel	0.00
	Cellulose (excluding blowing)	196.26
	Steel plate	0.00
	Copper wire	7805.00
	Veneer, hardwood, dry, at veneer mill, E	0.00

	Brass Casting	0.48
	electricity from wind power	559.94
	electricity from hydroelectric power plant	1037.67
	Thermal energy credit	0.00
	Electricity from fossil unspecified	246.60
	Natural gas, at consumer EU-27	5748.29
	Hard coal, at consumer EU-27	387.80
	Diesel	0.00
	Light fuel oil {Europe without Switzerland} market for Cut-off, S - Copied from Ecoinvent	0.00
	Electricity, nuclear, at power plant	511.58
TOTAL FORMAÇÃO DE FASES	Steel Engineering Steel	0.00
	Cellulose (excluding blowing)	900.00
	Steel plate	0.00
	Copper wire	0.00
	Veneer, hardwood, dry, at veneer mill, E	5.00
	Brass Casting	0.00
	electricity from wind power	162.05
	electricity from hydroelectric power plant	300.30
	Thermal energy credit	0.00
	Electricity from fossil unspecified	71.37
	Natural gas, at consumer EU-27	1663.55
	Hard coal, at consumer EU-27	112.23
	Diesel	0.00
	Light fuel oil {Europe without Switzerland} market for Cut-off, S - Copied from Ecoinvent	0.00
Electricity, nuclear, at power plant	148.05	
TOTAL MONT. PARTE ATIVA	Steel Engineering Steel	0.00
	Cellulose (excluding blowing)	13.70
	Steel plate	0.00

	Copper wire	120.70
	Veneer, hardwood, dry, at veneer mill, E	74.00
	Brass Casting	0.00
	electricity from wind power	684.95
	electricity from hydroelectric power plant	1269.35
	Thermal energy credit	0.00
	Electricity from fossil unspecified	301.66
	Natural gas, at consumer EU-27	7031.69
	Hard coal, at consumer EU-27	474.38
	Diesel	0.00
	Light fuel oil {Europe without Switzerland} market for Cut-off, S - Copied from Ecoinvent	0.00
	Electricity, nuclear, at power plant	625.80
TOTAL CONSERVADOR	Steel Engineering Steel	634.39
	Cellulose (excluding blowing)	0.00
	Steel plate	0.00
	Copper wire	0.00
	Veneer, hardwood, dry, at veneer mill, E	0.00
	Brass Casting	0.00
	electricity from wind power	0.00
	electricity from hydroelectric power plant	0.00
	Thermal energy credit	0.00
	Electricity from fossil unspecified	0.00
	Natural gas, at consumer EU-27	0.00
	Hard coal, at consumer EU-27	0.00
	Diesel	0.00
	Light fuel oil {Europe without Switzerland} market for Cut-off, S - Copied from Ecoinvent	0.00
	Electricity, nuclear, at power plant	0.00
	Steel Engineering Steel	289.00

TOTAL EQ. EXTERIOR	Cellulose (excluding blowing)	0.00
	Steel plate	0.00
	Copper wire	0.00
	Veneer, hardwood, dry, at veneer mill, E	0.00
	Brass Casting	0.00
	electricity from wind power	164.93
	electricity from hydroelectric power plant	305.66
	Thermal energy credit	0.00
	Electricity from fossil unspecified	72.64
	Natural gas, at consumer EU-27	1693.21
	Hard coal, at consumer EU-27	114.23
	Diesel	0.00
	Light fuel oil {Europe without Switzerland} market for Cut-off, S - Copied from Ecoinvent	0.00
	Electricity, nuclear, at power plant	150.69
TOTAL RESÍDUOS	Waste, toxic	81.77
	Metal waste	1406.93
	Oil waste	332.57
	Packaging waste, paper and board	76.77
	Packaging waste, plastic	24.01
	Packaging waste, wood	438.21
	Electronic waste	20.95
	Wood waste	184.04
	Plastic waste	4.34

APÊNDICE 13. Resultados dos critérios de ferramentas de Circularidade, pesos atribuídos aos critérios pelo grupo de trabalho, resultados obtidos para as 4 medidas e pesos finais utilizados

	CTI	Circularity	Criteria weight ([0,10])							Média	Moda	Mediana	Condição
			Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	Person 5	Person 6	Person 7				
Free of charge	0,00	1,00	5,00	10,00	10,00	3,00	10,00	7,00	5,00	7,14	10,00	7,00	7,00
Test free	1,00	0,00	5,00	5,00	7,00	7,00	10,00	0,00	5,00	5,57	5,00	5,00	5,00
License renewal costs	0,00	1,00	10,00	10,00	10,00	9,00	10,00	7,00	7,00	9,00	10,00	10,00	10,00
Technical support	0,60	0,20	10,00	10,00	9,50	9,00	10,00	3,00	7,00	8,36	10,00	9,50	9,50
Online	1,00	1,00	0,00	5,00	10,00	3,00	8,00	0,00	0,00	3,71	0,00	3,00	3,00
Desktop	0,00	0,00	0,00	5,00	8,50	5,00	8,00	0,00	5,00	4,50	5,00	5,00	5,00
Portuguese version	1,00	1,00	0,00	5,00	9,50	1,00	6,00	0,00	0,00	3,07	0,00	1,00	1,00
English version	1,00	1,00	0,00	10,00	9,50	10,00	6,00	0,00	0,00	5,07	0,00	6,00	6,00
Import data	1,00	1,00	10,00	8,00	8,00	9,00	9,00	3,00	7,00	7,71	8,00	8,00	8,00
Windows	1,00	1,00	0,00	10,00	9,50	1,00	5,00	10,00	10,00	6,50	10,00	9,50	9,50
Mac	1,00	1,00	0,00	5,00	7,00	1,00	5,00	0,00	0,00	2,57	0,00	1,00	1,00
Software usage	0,90	0,90	10,00	5,00	8,00	10,00	7,00	3,00	7,00	7,14	10,00	7,00	7,00
Theme framework	0,90	0,75	10,00	10,00	10,00	10,00	7,00	10,00	7,00	9,14	10,00	10,00	10,00

Figura 106. Matriz inicial para o estudo das ferramentas

	CTI	Circularity
Free of charge	0,00	7,00
Test free	5,00	0,00
License renewal costs	0,00	10,00
Technical support	5,70	1,90
Online	3,00	3,00
Desktop	0,00	0,00
Portuguese version	1,00	1,00
English version	6,00	6,00
Import data	8,00	8,00
Windows	9,50	9,50
Mac	1,00	1,00
Software usage	6,30	6,30
Theme framework	9,00	7,50

Figura 107. Pesos finais para o estudo das ferramentas

APÊNDICE 14. Matrizes de comparação de critérios para ferramentas de Circularidade

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Circulytics	70,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	CI	CR
TOTAL	70,00	1,00	0,00	1,00	1,00		0,50	-1,50	#DIV/0!

Figura 108. Matriz do critério "Free of charge"

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	50,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Circulytics	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	CI	CR
TOTAL	1,00	50,00	1,00	0,00	1,00		0,50	-1,50	#DIV/0!

Figura 109. Matriz do critério "Test free"

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Circulytics	100,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	CI	CR
TOTAL	100,00	1,00	0,00	1,00	1,00		0,50	-1,50	#DIV/0!

Figura 110. Matriz do critério "License renewal costs"

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	3,00	0,75	0,75	0,75	1,50	2,00		
Circulytics	0,33	1,00	0,25	0,25	0,25	0,00	0,00	CI	CR
TOTAL	1,33	4,00	0,75	0,25	1,00		1,00	-1,00	#DIV/0!

Figura 111. Matriz do critério "Technical support"

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Circulytics	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	CI	CR
TOTAL	2,00	2,00	0,50	0,50	1,00		2,00	0,00	#DIV/0!

Figura 112. Matriz do critério "Online"

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00		
Circulytics	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	CI	CR
TOTAL	0,00	0,00	0,50	0,50	1,00		0,00	-2,00	#DIV/0!

Figura 113. Matriz do critério "Desktop"

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Circulytics	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	CI	CR
TOTAL	2,00	2,00	0,50	0,50	1,00		2,00	0,00	#DIV/0!

Figura 114. Matriz do critério "Portuguese version"

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Circulytics	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	CI	CR
TOTAL	2,00	2,00	0,50	0,50	1,00		2,00	0,00	#DIV/0!

Figura 115. Matriz do critério "English version"

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Circulytics	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	CI	CR
TOTAL	2,00	2,00	0,50	0,50	1,00		2,00	0,00	#DIV/0!

Figura 116. Matriz do critério "Import data"

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Circulytics	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	CI	CR
TOTAL	2,00	2,00	0,50	0,50	1,00		2,00	0,00	#DIV/0!

Figura 117. Matriz do critério “Windows”

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Circulytics	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	CI	CR
TOTAL	2,00	2,00	0,50	0,50	1,00		2,00	0,00	#DIV/0!

Figura 118. Matriz do critério “Mac”

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00		
Circulytics	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	2,00	CI	CR
TOTAL	2,00	2,00	0,50	0,50	1,00		2,00	0,00	#DIV/0!

Figura 119. Matriz do critério “Software usage”

	CTI	Circulytics	Matriz Normalizada		Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
CTI	1,00	1,20	0,55	0,55	0,55	1,09	2,00		
Circulytics	0,83	1,00	0,45	0,45	0,45	0,91	2,00	CI	CR
TOTAL	1,83	2,20	0,55	0,45	1,00		2,00	0,00	#DIV/0!

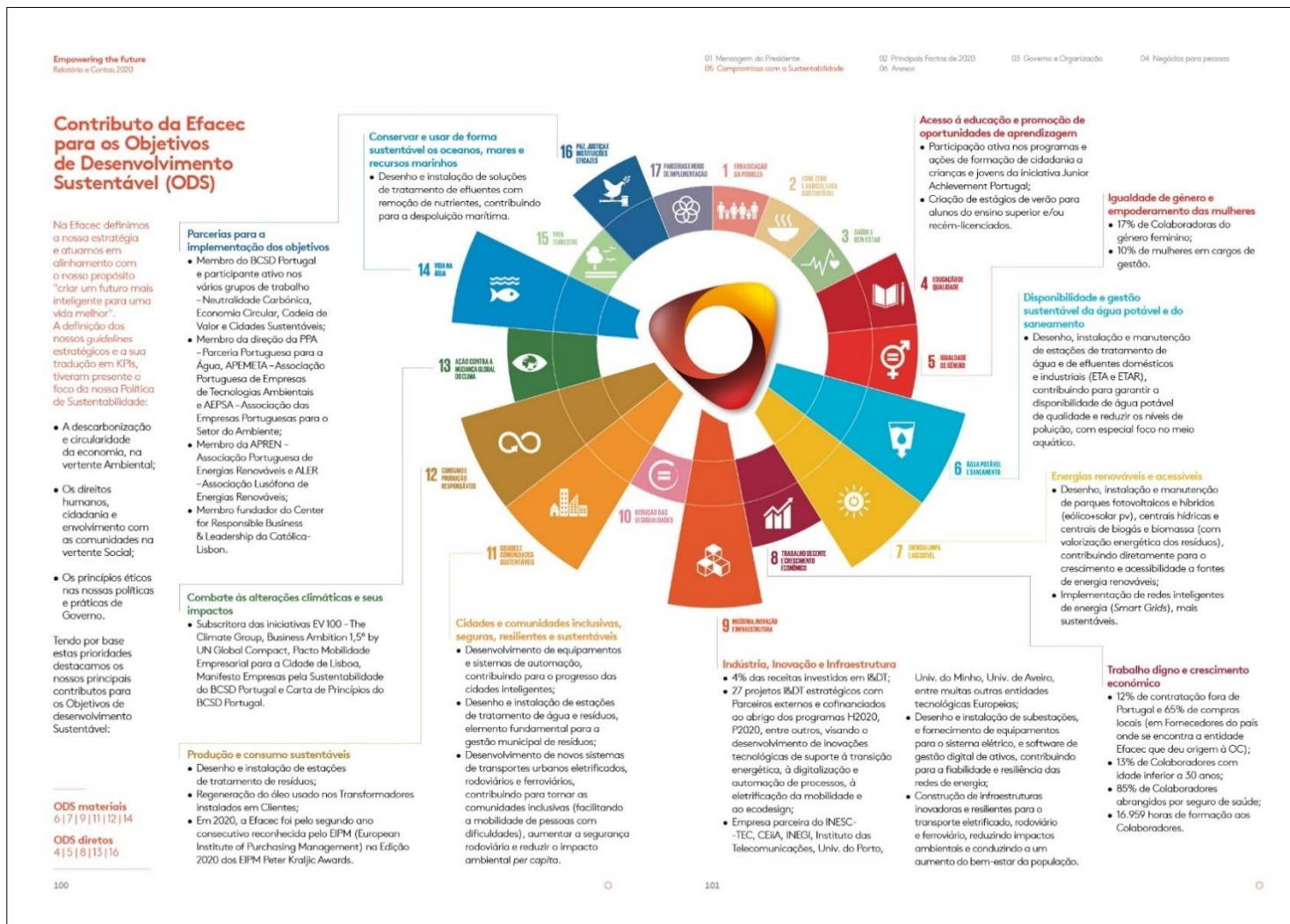
Figura 120. Matriz do critério “Theme framework”

APÊNDICE 15. *Pairwise comparison Matrix* e Matriz normalizada para critérios de ferramentas de Circularidade

	Free of charge	Test free	License renewal costs	Technical support	Online	Desktop	Portuguese version	English version	Import data	Windows	Mac	Software usage	Theme framework	Matriz normalizada																Vetor	Calc. Aux.	Lambda		
														0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09				0,09	0,09
Free of charge	1,00	1,40	0,70	0,74	2,33	1,40	7,00	1,17	0,88	0,74	7,00	1,00	0,70	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	1,11	13,00	
Test free	0,71	1,00	0,50	0,53	1,67	1,00	5,00	0,83	0,63	0,53	5,00	0,71	0,50	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,79	13,00	
License renewal costs	1,43	2,00	1,00	1,05	3,33	2,00	10,00	1,67	1,25	1,05	10,00	1,43	1,00	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	1,59	13,00	
Technical support	1,36	1,90	0,95	1,00	3,17	1,90	9,50	1,58	1,19	1,00	9,50	1,36	0,95	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	1,51	13,00	
Online	0,43	0,60	0,30	0,32	1,00	0,60	3,00	0,50	0,38	0,32	3,00	0,43	0,30	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,48	13,00
Desktop	0,71	1,00	0,50	0,53	1,67	1,00	5,00	0,83	0,63	0,53	5,00	0,71	0,50	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,79	13,00	
Portuguese version	0,14	0,20	0,10	0,11	0,33	0,20	1,00	0,17	0,13	0,11	1,00	0,14	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,16	13,00
English version	0,86	1,20	0,60	0,63	2,00	1,20	6,00	1,00	0,75	0,63	6,00	0,86	0,60	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,95	13,00	
Import data	1,14	1,60	0,80	0,84	2,67	1,60	8,00	1,33	1,00	0,84	8,00	1,14	0,80	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	1,27	13,00	
Windows	1,36	1,90	0,95	1,00	3,17	1,90	9,50	1,58	1,19	1,00	9,50	1,36	0,95	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	1,51	13,00	
Mac	0,14	0,20	0,10	0,11	0,33	0,20	1,00	0,17	0,13	0,11	1,00	0,14	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,16	13,00
Software usage	1,00	1,40	0,70	0,74	2,33	1,40	7,00	1,17	0,88	0,74	7,00	1,00	0,70	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	1,11	13,00	
Theme framework	1,43	2,00	1,00	1,05	3,33	2,00	10,00	1,67	1,25	1,05	10,00	1,43	1,00	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	1,59	13,00		
TOTAL	11,71	16,40	8,20	8,63	27,33	16,40	82,00	13,67	10,25	8,63	82,00	11,71	8,20	0,09	0,06	0,12	0,12	0,04	0,06	0,01	0,07	0,10	0,12	0,01	0,09	0,12	0,01	0,09	0,12	1,00	13,00	0,00	0,00	

Figura 121. Matrizes finais para critérios das ferramentas

ANEXO 1. CONTRIBUTOS EM 2020 PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



ANEXO 2. EN 50708-1-1:2020

EN 50708-1-1:2020 (E)

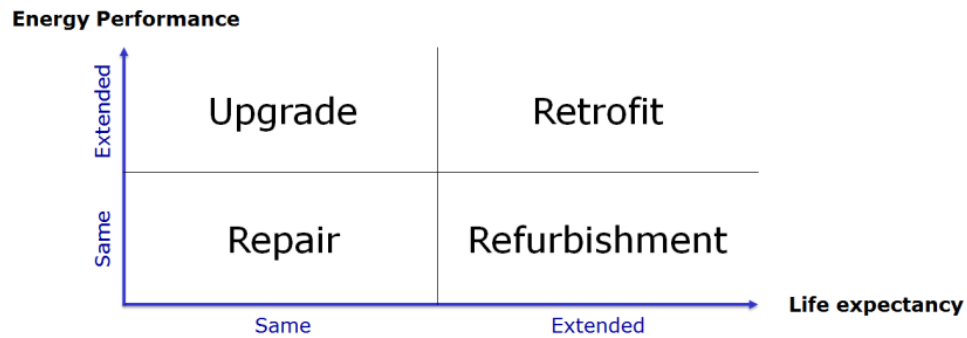


Figure E.1 — Overhaul activities

E.2.2 Repair

Repair means an overhaul activity, which does not extend either the energy performance or the life expectancy of a transformer. Examples of possible repair activities:

- Replacing major components (tap changer, motor drive unit, bushings)
- Replacing one phase winding or part of it
- Replacing all coils on a specific leg in a three phase transformer
- Replacing one winding of a three phase transformer
- Drying and tightening the active part
- Repairing leakages, corrosion protection

E.2.3 Upgrade

Upgrade means an overhaul activity, which extends the energy performance of a transformer without increasing its life expectancy. Examples of possible upgrade activities:

- Replacing the core (or part of it) using a material with lower specific loss
- Replacing some (but not all) windings with new ones providing lower load loss
- Replacing fans or pumps with more efficient ones

E.2.4 Refurbishment

Refurbishment means an overhaul activity, which increases the life expectancy of a transformer without increasing its energy performance. In general it refers to replacing components or transformers parts whose life time determine the overall lifetime of the transformers, they are in the critical path as they are aging faster than other transformer components. Examples of possible refurbishment activities:

- Increasing the outer cooling (fans or pumps) to lower the relative thermal ageing rate
- Replacing insulating liquid
- Replacing all windings with new ones of the same design and material, replacing the tap changer, replacing the bushings and the complete insulation

EN 50708-1-1:2020 (E)

E.2.5 Retrofit

Retrofit means an overhaul activity, which extends both the energy performance and the life expectancy of a transformer. Examples of possible retrofit activities:

- Replacement of a complete active part with a new one providing increased energy performance, replacement of the tap changer, of the bushings and of the complete insulation

ANEXO 3. RELATÓRIO DE ENSAIOS CE: 14.3141 – TRANSFORMADOR TRIFÁSICO TIPO CONCÊNTRICO – 14/20 MVA 60.0/30.0 KV



LABORATÓRIOS & ENSAIOS
Laboratório - Power Transformers

Relatório de Ensaio - CE: 14.3141

1 - Normas de fabrico
CEI 60076

2 - Perdas

2.1 - Ensaio em vazio

2.1.1 - Perdas em vazio (kW)

	Garantidas	Tolerância (%)	Valor limite	Valor medido
$1.00 \times U_n$	17.0	+15	19.6	14.0

2.2 - Perdas em carga e tensão de CC : AT/BT

2.2.1 - Perdas em carga (kW) a 75°C

Base (MVA)	Pos. Reg.	Garantidas	Tolerância (%)	Valor limite	Valor medido
20	1	-	-	-	111.6
20	9	118.0	+15	135.7	111.6
20	21	-	-	-	140.5

2.2.2 - Tensão de CC (%)

Base (MVA)	Pos. Reg.	Garantidas	Tolerância (%)	Valor limite	Valor medido
20	1	-	-	-	10.7
20	9	11.0	± 7.5	10.2 11.8	10.2
20	21	-	-	-	9.87

2.2.3 - Impedância de CC (Ω /fase)

Lado	Pos. Reg.	Garantidas	Tolerância (%)	Valor limite	Valor medido
AT	1	-	-	-	23.3
AT	9	-	-	-	18.3
AT	21	-	-	-	12.8

2.3 - Perdas totais (kW) : AT/BT

Base (MVA)	Pos. Reg.	Garantidas	Tolerância (%)	Valor limite	Valor medido
20	9	135.0	+10	148.5	125.6

2.4 - Ensaio dielétricos

O transformador foi submetido aos ensaios dielétricos de acordo com a norma CEI 60076-3.

2.5 - Conclusão

O transformador suportou os ensaios efectuados sem vestígios de defeito.

EFACEC 2014-07-14

CLIENTE 2014-07-14

Página 4 de 11

Handwritten signature

ANEXO 4. CHEMICAL COMPOSITION OF GRAIN ORIENTED ELECTRICAL STEEL FROM THYSSENKRUPP

Chemical Composition of grain oriented electrical steel (GOES)

Koshorst, Rüdiger <ruediger.koshorst@thyssenkrupp.com>

ter, 31/05/2022 12:43

Para: Beatriz Teixeira (1170600) <1170600@isep.ipp.pt>

Cc: Hilgers, Marcel <marcel.hilgers@thyssenkrupp.com>

📎 1 anexos (101 KB)

powercore® GO Electrical Steel_english_08.06.2021.pdf;

Dear Beatriz Teixeira,

The general chemical composition of grain oriented electrical steel is as follows:

C: < 0,01 %
Mn: < 0.10 %
Si: ~ 3,15%
P: < 0,03 %
S: < 0.02 %

This chemical composition applies to all grades of GOES, i.e. independent from the magnetic characteristics.

Furthermore please also find enclosed the respective safety data sheet.

For further questions or remarks regarding the topic you are working for please always feel free to contact me.

Kind regards

Rüdiger Koshorst
Technical Customer Service
Customer, Markets & Technology
SE-ES/CMT-TCS

P: +49 209 407 50824, M: +49 172 2865347, ruediger.koshorst@thyssenkrupp.com



thyssenkrupp Electrical Steel GmbH, Kurt-Schumacher-Str. 95, 45881 Gelsenkirchen, www.thyssenkrupp-electrical-steel.com

Executive Management: Georgios Giovanakis (Chairman), Dr. Jan Janssen, Dr. Markus Weber, Markus Zobel
Domicile: Gelsenkirchen, Registry Court: Gelsenkirchen HRB 7796

This e-mail (including any attachments) may contain confidential and/or privileged information. Any unauthorized use or dissemination of this message in whole or in part is strictly prohibited. If you are not the intended recipient (or have received this e-mail in error) please notify the sender immediately and destroy this e-mail.

ANEXO 5. EN 10025:1990 HOT ROLLED PRODUCTS OF STRUCTURAL STEELS – PART 2: TECHNICAL DELIVERY CONDITIONS FOR NON-ALLOY STRUCTURAL STEELS


EN 10025-2:2004 (E)

Table 4 - Chemical composition of the product analysis based on Table 2^a

Designation		Method of deoxidation b	C in % max. for nominal product thickness in mm			Si % max.	Mn % max.	P % max. d	S % max. d e	N % max. f	Cu % max. g	Other % max. h
According EN 10027-1 and CR 10260	According EN 10027-2		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ^c							
S235JR	1.0038	FN	0,19	0,19	0,23	-	1,50	0,045	0,045	0,014	0,60	-
S235J0	1.0114	FN	0,19	0,19	0,19	-	1,50	0,040	0,040	0,014	0,60	-
S235J2	1.0117	FF	0,19	0,19	0,19	-	1,50	0,035	0,035	-	0,60	-
S275JR	1.0044	FN	0,24	0,24	0,25	-	1,60	0,045	0,045	0,014	0,60	-
S275J0	1.0143	FN	0,21	0,21	0,21 ⁱ	-	1,60	0,040	0,040	0,014	0,60	-
S275J2	1.0145	FF	0,21	0,21	0,21 ⁱ	-	1,60	0,035	0,035	-	0,60	-
S355JR	1.0045	FN	0,27	0,27	0,27	0,60	1,70	0,045	0,045	0,014	0,60	-
S355J0	1.0553	FN	0,23 ^j	0,23 ^k	0,24	0,60	1,70	0,040	0,040	0,014	0,60	-
S355J2	1.0577	FF	0,23 ^j	0,23 ^k	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60	-
S355K2	1.0596	FF	0,23 ^j	0,23 ^k	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60	-
S450J0 ^l	1.0590	FF	0,23	0,23 ^k	0,24	0,60	1,80	0,040	0,040	0,027	0,60	m

^a See 7.2.
^b FN = rimming steels not permitted; FF = fully killed steel (see 6.2.2).
^c For sections with nominal thickness > 100 mm the C content by agreement.
 See option 26.
^d For long products the P and S content can be 0,005 % higher.
^e For long products the max. S content can be increased for improved machinability by 0,015 % by agreement if the steel is treated to modify the sulphide morphology and the chemical composition shows min. 0,0020 % Ca.
 See option 27.
^f The max. value for nitrogen does not apply if the chemical composition shows a minimum total Al content of 0,015 % or alternatively min. 0,013 % acid soluble Al or if sufficient other N binding elements are present. In this case the N binding elements shall be mentioned in the inspection document.
^g Cu content above 0,45 % may cause hot shortness during hot forming.
^h If other elements are added, they shall be mentioned on the inspection document.
ⁱ For nominal thickness > 150 mm: C = 0,22 % max..
^j For grades suitable for cold roll forming (see 7.4.2.2.3): C = 0,24 % max..
^k For nominal thickness > 30 mm: C = 0,24 % max..
^l Applicable for long products only.
^m The steel may show a Nb content of max. 0,06 %, a V content of max. 0,15 % and a Ti content of max. 0,06 %.

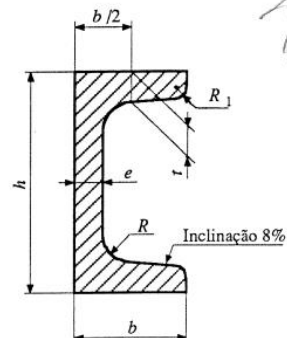
ANEXO 6. NORMA ENM-2004 AÇO LAMINADO, QUALIDADE FE 310-0, PERFIL U COM H=100MM

<p>NORMA</p> 	<p>AÇO LAMINADO A QUENTE Fe 310-0 PERFIL U ⁽¹⁾</p>	<p>ENM-2004 1992.OUT</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

CDU 669.14

CÓDIGO DE BASE: A0109

Designação (exemplo): ALM FE310-0 U 100 ENM-2004
[Aço laminado (ALM), qualidade Fe 310-0, perfil U com h=100 mm, segundo ENM-2004].



QUADRO 1

Dimensões em milímetros

<i>h</i>	<i>b</i>	<i>e</i>	<i>t</i>	<i>R</i>	<i>R₁</i>	Massa linear ⁽²⁾ kg/m	CÓDIGO
30	15	4	4,5	4,5	2	1,74	10 06 175
40	20	5	5,5	5	2,5	2,87	10 06 177
50	38	5	7	7	3,5	5,59	10 06 180
65	42	5,5	7,5	7,5	4	7,09	10 06 182
80	45	6	9	9	4	8,64	10 06 183
100	50	6	8,5	8,5	4,5	10,6	10 06 184
120	55	7	9	9	4,5	13,4	10 06 185
140	60	7	10	10	5	16,0	10 06 186
160	65	7,5	10,5	10,5	5,5	18,8	10 06 187
180	70	8	11	11	5,5	22,0	10 06 188
200	75	8,5	11,5	11,5	6	25,3	10 06 189
220	80	9	12,5	12,5	6,5	29,4	10 06 190
240	85	9,5	13	13	6,5	33,2	10 06 191
260	90	10	14	14	7	37,9	10 06 192
280	95	10	15	15	7,5	41,8	10 06 193
300	100	10	16	16	8	46,2	10 06 194

Material: Aço laminado a quente, qualidade Fe 310-0 segundo NP EN 10025 ⁽³⁾.

(1) — Correspondente ao perfil UPN da Siderurgia Nacional.

(2) — Valores arredondados, considerando a massa volúmica de 7,85 kg/dm³.

(3) — Correspondente à antiga designação DIN St 33.

(Continua)

<p>EFACEC - Energia AG/ND</p>	<p>Apoiada na norma NP 338 (1964) excepto tolerâncias de forma</p>	<p>3ª edição</p>
-----------------------------------	--------------------------------------------------------------------	------------------

ANEXO 7. REGULAMENTO LAMINATED PRESSBOARD AND LAMINATED WOOD PRODUCTS IN POWER TRANSFORMERS DE 2007

ARWtr2007

Advanced Research Workshop on Transformers. 29 -31 October 2007. Baiona – Spain

Laminated Pressboard and Laminated Wood Products in Power Transformers

Bernhard HEINRICH, Hans Peter GASSER, Christoph KRAUSE

Weidmann Electrical Technology AG
Neue Jonastrasse 60, CH-8640 Rapperswil-Jona, Switzerland
Phone: +41(0)55 221 44 09, fax: +41(0)55 222 84 46, e-mail: bernhard.heinrich@wicor.com

Abstract — In oil-cooled power transformers, a substantial part of the solid cellulosic insulation consists of thick solid blocks, beams, rails and clamping rings or plates. Over the years, the use of laminated wood (plywood) products as an alternative to laminated pressboard has become popular, despite some difficulties these materials may entail.

Comparing laboratory tests have been conducted in order to demonstrate the differences between the insulating materials, and this paper discusses the results from investigations of dielectric, mechanical and chemical nature. The AC dielectric behaviour was studied with partial discharge and breakdown measurements on different samples immersed in transformer oil. The aging characteristics were investigated in extensive, long-term accelerated aging test series. It was found that due to the nature of manufacture, laminated wood properties are with regard to important features – as dielectric and mechanical strength, acids and sludge formation - noticeably inferior to laminated pressboard.

Keywords — laminated, pressboard, wood, electrical, aging

I. INTRODUCTION

The fundamental differences between the two materials investigated, i.e. plywood and laminated pressboard, are caused by different base materials and laminating processes.

Laminated Transformerboard is produced by laminating individual sheets of high-density pressboard together with either a non-aqueous (polyester resin) adhesive or with water based (casein) glue [1]. Laminated wood is produced by joining sheets of wood veneers (typically beech) together with a thermosetting synthetic adhesive (typically phenolic) under pressure and heat. There are many grades of laminated wood products available for the transformer industry. The variations are the density of the laminated wood and the directionality of the wood veneers [2].

Due to the following parameters, it can be expected that pressboard and wood behave differently:

- Lignin content
- Microscopic structure of the fibres
- Macroscopic structure of the sheets
- Type and amount of adhesive
- Stacking of the solid insulation layers.

Tests have been conducted with samples made from the following materials, Table I.

Table I. Materials

Base Material	Notation	IEC Type	DIN Type	Density [g/cm ³]
Laminated Pressboard	LPB	60763-3-1 LB3.1	–	1.15 – 1.35
Laminated Wood	LWLD	61061-3-2 C2R	7707: 20222	0.90 – 1.10
Laminated wood	LWHD	61061-3-2 C3R	7707: 20224	1.10 – 1.20

ANEXO 8. NORMA ISO 65:1981 CARBON STEEL TUBES SUITABLE FOR SCREWING IN ACCORDANCE WITH ISO 7/1

ISO 65-1981 (E)

Table 2 – Dimensions

DN	Designation of thread	Outside diameter ¹⁾ D mm	Thicknesses (T) and masses per unit length (M) according to the series											
			Heavy series			Medium series			Light series 1			Light series 2		
			T mm	Plain end M kg/m	Screwed socketed M kg/m	T mm	Plain end M kg/m	Screwed socketed M kg/m	T mm	Plain end M kg/m	Screwed socketed M kg/m	T mm	Plain end M kg/m	Screwed socketed M kg/m
6	1/8	10,2	2,6	0,487	0,490	2,0	0,404	0,407	1,8	0,366	0,369	1,8	0,360	0,363
8	1/4	13,5	2,9	0,765	0,769	2,3	0,641	0,645	2,0	0,570	0,574	1,8	0,515	0,519
10	3/8	17,2	2,9	1,02	1,03	2,3	0,839	0,845	2,0	0,742	0,748	1,8	0,670	0,676
15	1/2	21,3	3,2	1,44	1,45	2,6	1,21	1,22	2,3	1,08	1,09	2,0	0,947	0,956
20	3/4	26,9	3,2	1,87	1,88	2,6	1,56	1,57	2,3	1,39	1,40	2,3	1,38	1,39
25	1	33,7	4,0	2,93	2,95	3,2	2,41	2,43	2,9	2,20	2,22	2,6	1,98	2,00
32	1 1/4	42,4	4,0	3,79	3,82	3,2	3,10	3,13	2,9	2,82	2,85	2,6	2,54	2,57
40	1 1/2	48,3	4,0	4,37	4,41	3,2	3,56	3,60	2,9	3,24	3,28	2,9	3,23	3,27
50	2	60,3	4,5	6,19	6,26	3,6	5,03	5,10	3,2	4,49	4,56	2,9	4,08	4,15
65	2 1/2	76,1	4,5	7,93	8,05	3,6	6,42	6,54	3,2	5,73	5,85	3,2	5,71	5,83
80	3	88,9	5,0	10,3	10,5	4,0	8,36	8,53	3,6	7,55	7,72	3,2	6,72	6,89
100	4	114,3	5,4	14,5	14,8	4,5	12,2	12,5	4,0	10,8	11,1	3,6	9,75	10,0
125	5	139,7	5,4	17,9	18,4	5,0	16,6	17,1						
150	6	165,12 ²⁾	5,4	21,3	21,9	5,0	19,8	20,4						

1) See table 3 and clause 8.1.

2) This diameter is not listed in ISO 4200 but the mass per unit length for this tube has been calculated according to the rules laid down in clause 3.

Table 3 – Tolerances on the outside diameter

Dimensions in millimetres

DN	Designation of thread	Maximum and minimum outside diameter according to the series					
		Heavy and medium series		Light series 1		Light series 2	
		max.	min.	max.	min.	max.	min.
6	1/8	10,6	9,8	10,4	9,7	10,1	9,7
8	1/4	14,0	13,2	13,9	13,2	13,6	13,2
10	3/8	17,5	16,7	17,4	16,7	17,1	16,7
15	1/2	21,8	21,0	21,7	21,0	21,4	21,0
20	3/4	27,3	26,5	27,1	26,4	26,9	26,4
25	1	34,2	33,3	34,0	33,2	33,8	33,2
32	1 1/4	42,9	42,0	42,7	41,9	42,5	41,9
40	1 1/2	48,8	47,9	48,6	47,8	48,4	47,8
50	2	60,8	59,7	60,7	59,6	60,2	59,6
65	2 1/2	76,6	75,3	76,3	75,2	76,0	75,2
80	3	89,5	88,0	89,4	87,9	88,7	87,9
100	4	115,0	113,1	114,9	113,0	113,9	113,0
125	5	140,8	138,5				
150	6	166,5	163,9				