

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Dora Marlene Oliveira Lopes de Araújo

**Economia Circular – avaliação do ciclo
de vida em dois produtos Efacec**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Biológica

Trabalho realizado sob orientação da
Doutora Luciana de Jesus dos Santos Peixoto
e da
Engenheira Ana Luísa Lopes de Oliveira

outubro de 2018

DECLARAÇÃO

Nome: Dora Marlene Oliveira Lopes de Araújo

Título da dissertação: Economia Circular – avaliação do ciclo de vida em dois produtos Efacec

Orientadoras:

Doutora Luciana de Jesus dos Santos Peixoto

Engenheira Ana Luísa Lopes de Oliveira

Ano de conclusão: 2018

Mestrado Integrado em Engenharia Biológica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, 18 / 10 / 2018

Assinatura: *Dora Marlene Oliveira Lopes Araújo*

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas, às quais deixo os meus sinceros agradecimentos:

À Efacec pela oportunidade de estágio e a todos os colegas do departamento de QAS pelo excelente acolhimento e ambiente de trabalho que me proporcionaram.

À Eng.^a Ana Oliveira pela simpatia, pelo apoio e valorização que sempre demonstrou por mim e por todos os ensinamentos transmitidos.

À Dr.^a Luciana Peixoto pela sua amabilidade, pelo apoio nos momentos mais complicados, quer a nível de estágio, quer a nível da dissertação, e pela orientação prestada.

A todos os professores da Universidade do Minho que de uma forma ou outra contribuíram para o meu crescimento académico.

À minha mãe, pelo apoio e suporte.

Ao meu irmão e cunhada, por tudo, mas principalmente por me ajudarem a embarcar nesta aventura.

À minha irmã e cunhado por todo o carinho e apoio.

Aos meus sobrinhos.

Ao meu namorado pelo apoio, pela força quando precisei e por ter sempre acreditado em mim.

À Cacilda e ao António pela prontidão em ajudar sempre que precisei.

Ao Cristiano pela ajuda imprescindível no início do estágio.

À minha tia Vicência e prima Rita por me acolherem na sua casa.

A todos aqueles que percorreram comigo este percurso de 5 anos.

Aos meus amigos.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização do estágio e a todos aqueles que sempre me desejaram o melhor.

RESUMO

A presente dissertação teve como principal objetivo a Avaliação do Ciclo de Vida de dois equipamentos produzidos pela Efacec, tendo em conta o projeto de Economia Circular em que esta empresa se insere. Os equipamentos estudados foram um relé de proteção TPU S430 e um transformador de distribuição imerso em óleo mineral.

Pretendia-se a obtenção de informação acerca da performance ambiental dos produtos, de modo a disponibilizar a mesma às respetivas Unidades de Negócio. Desta forma, a equipa poderá repensar o produto, tendo em vista as possíveis estratégias para redução do impacto ambiental causado e a promoção de medidas de circularidade.

Foi utilizada uma adaptação do *software* Ecolizer 2.0 no Microsoft Excel, que mede o dano ambiental em milipontos. Foram seguidas as normas NP EN ISO 14044:2010 e ISO 14040:2006, sendo que, por limitações da ferramenta utilizada, a Avaliação de Impactes de Ciclo de Vida não foi realizada.

Relativamente à TPU, considerou-se um cliente nacional e um internacional. Assumindo 20 anos de vida útil, para o caso nacional, a pontuação total do equipamento foi de $5,00E+05$ mPt, enquanto que para o internacional se verificou a pontuação de $4,44E+05$ mPt. Constatou-se que o aspeto ambiental mais significativo de todo o ciclo de vida do equipamento é o consumo de energia elétrica aquando da sua utilização. No entanto, o consumo de materiais e as questões relacionadas com a manutenção são também responsáveis por uma parte significativa do dano ambiental gerado.

No que diz respeito ao transformador, por sua vez, verificou-se que a pontuação total do equipamento foi de $1,37E+11$ mPt e que o consumo de energia aquando da utilização do produto é tão relevante, que representa aproximadamente 100 % dos impactes totais gerados por este produto.

Foi possível concluir que as metodologias e ferramentas utilizadas, mesmo tendo as suas limitações, foram o suficiente para atingir os resultados desejados e fazer cumprir o objetivo dos estudos.

Palavras-Chave: ACV, economia circular, TPU, transformador

ABSTRACT

This dissertation had as main objective the Life Cycle Assessment of two equipments produced by Efacec, considering the project of Circular Economy in which this company is inserted. The equipment studied were the TPU S430 protection relay and the distribution transformer immersed in oil.

The intention was to obtain information about the environmental performance of the products, to make it available to the respective Business Units. In this way, the team can rethink the product, considering possible strategies to reduce the environmental impact caused and to promote circularity measures.

An adaptation of Ecolizer 2.0 software was used, which measures the environmental damage in milipoints. NP EN ISO 14044: 2010 and ISO 14040: 2006 were followed, but because of the limitations of the tool used, the Life Cycle Impact Analysis was not performed.

Regarding the TPU, it was considered a national and an international customer. Assuming 20 years of useful life, for the national case, the total score of the equipment was of $5,00E+05$ mPt, whereas for the international one the score of $4,44E+05$ mPt was verified. It was found that the most significant environmental aspect of the entire equipment life cycle is the consumption of electric energy when used. However, material consumption and maintenance-related issues are also responsible for a significant portion of the environmental damage generated.

Concerning the transformer, the total score of the equipment was found to be $1,37E + 11$ mPt and the energy consumption when using the product is so relevant that it represents approximately 100 % of the total impact caused by the product.

It was possible to conclude that the methodologies and tools used, even with their limitations, were enough to achieve the desired results and to fulfill the objective of the studies.

KEYWORDS: LCA, CIRCULAR ECONOMY, TPU, TRANSFORMER

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvii
1. Introdução	1
2. Economia circular	7
2.1 Conceitos relacionados com a Economia Circular	10
2.1.1 <i>Eco-design</i>	10
2.1.2 Eco-inovação	11
2.1.3 Extensão do ciclo de vida do produto	11
2.1.4 Eco-eficiência	12
2.1.5 Simbiose industrial	12
2.1.6 Novos modelos de negócio, desmaterialização	12
2.2 Dinamização da Economia Circular	13
2.3 Incentivos para a Economia Circular	17
3. Avaliação do Ciclo de Vida.....	21
3.1 Tipologias e etapas de uma ACV.....	24
3.1.1 Definição do objetivo e do âmbito.....	26
3.1.2 Inventário do Ciclo de Vida.....	27
3.1.3 Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida	28
3.1.4 Interpretação do Ciclo de Vida	29
4. Efacec	31
4.1 Economia Circular em produtos Efacec.....	33
4.1.1 TPU S430	34
4.1.2 Transformador de Distribuição Imerso em Óleo Mineral.....	35

5.	Ferramentas e metodologias utilizadas nos estudos de ACV dos produtos Efacec	39
5.1	Ecolizer 2.0.....	40
5.1.1	Adaptação do Ecolizer 2.0 no Microsoft Excel.....	43
5.2	openLCA.....	44
5.3	Metodologia de AICV: ReCipe.....	46
6.	Avaliações do Ciclo de Vida de produtos Efacec	49
6.1	Notas acerca das normas utilizadas.....	49
6.2	Considerações para a realização da ACV	49
6.2.1	Tipo de ACV.....	50
6.2.2	Fronteira do sistema	50
6.2.3	Critérios de inclusão e exclusão de fluxos de entrada e saída.....	51
6.2.4	Limitações dos estudos e recomendações.....	51
6.3	Definição de conceitos.....	51
6.4	Confidencialidade.....	52
6.5	Declarações de fim de vida.....	52
7.	Estudo de ACV da TPU S430 – Ecolizer 2.0	53
7.1	Definição do objetivo	53
7.2	Definição do âmbito	53
7.2.1	Sistema de produto	54
7.2.2	Funções do sistema de produto	54
7.2.3	Unidade funcional.....	54
7.2.4	Tipos de dados e requisitos de qualidade dos dados	54
7.3	Inventário do Ciclo de Vida	55
7.3.1	Processo produtivo	57
7.3.2	Recolha de dados: Produção.....	59
7.3.3	Recolha de dados: utilização.....	62
7.3.4	Recolha de dados: fim de vida	65
7.3.5	Identificação de aspetos ambientais.....	65

7.4	Interpretação de resultados	66
7.4.1	Identificação de aspetos ambientais significativos.....	66
7.4.2	Avaliação dos aspetos ambientais	71
7.4.3	Conclusões da ACV.....	72
8.	Estudo de ACV do DTIO.....	75
8.1	Definição do objetivo	75
8.2	Definição do âmbito	75
8.2.1	Sistema de produto	75
8.2.2	Funções do sistema de produto	75
8.2.3	Unidade funcional.....	76
8.2.4	Tipos de dados e requisitos de qualidade dos dados	76
8.3	Inventário de Ciclo de Vida	77
8.3.1	Processo produtivo	79
8.3.2	Recolha de dados: produção.....	85
8.3.3	Recolha de dados: utilização.....	90
8.3.4	Identificação de aspetos ambientais.....	92
8.4	Interpretação de resultados	94
8.4.1	Identificação de aspetos ambientais significativos.....	94
8.4.2	Análise dos aspetos ambientais	96
8.4.3	Conclusões.....	98
9.	Limitações das ACV realizadas e recomendações para estudos futuros	101
10.	Conclusões	103
	Referências bibliográficas	105
	Referências normativas.....	107
	Anexo I – Indicadores utilizados para a realização da ACV da TPU S430.....	109
	Anexo II – Indicadores utilizados para a realização da ACV do DTIO.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visão sobre os negócios, tendo em conta o pensamento de ciclo de vida (adaptado de SEBRAE, 2017a).....	5
Figura 2. Etapas consideradas num modelo económico circular (adaptado de Fernandes, 2018).....	8
Figura 3. Etapas de um processo de Avaliação do Ciclo de Vida, segundo a norma ISO 14040:2006.	25
Figura 4. Etapas a seguir para a realização do Inventário de uma Avaliação do Ciclo de Vida (NP EN ISO 14044:2010).	27
Figura 5. Estrutura societária da Efacec Power Solutions (Efacec, n.d.- a).	32
Figura 6. Relé de proteção TPU S430 (Efacec, n.d.- b).	34
Figura 7. Configuração de um transformador trifásico: três transformadores monofásicos (A) e um único núcleo trifásico (B) (adaptado de Alves, n.d.).....	36
Figura 8. Transformador de distribuição imerso em óleo mineral produzido pela Efacec (Efacec, n.d.- c).	38
Figura 9. Fotografia do núcleo trifásico do transformador em estudo.	38
Figura 10. Relação entre os parâmetros do Inventário de Ciclo de Vida (ICV), os indicadores midpoint e os indicadores endpoint, segundo o método ReCipe.....	48
Figura 11. Fronteira do sistema de produto em estudo na ACV de ambos os produtos em estudo (as linhas a tracejado indicam a exclusão da fase do ciclo de vida).	50
Figura 12. Árvore de processos de uma TPU S430, produzida pela Efacec.	56
Figura 13. Fluxograma do processo de produção de uma TPU S430, produzida pela Efacec.....	58
Figura 14. Distribuição da pontuação (e conseqüente dano ambiental) da TPU S430 por fase do ciclo de vida, para o caso do cliente nacional (empresa A, em Faro, Portugal).	67
Figura 15. Distribuição da pontuação (e conseqüente dano ambiental) da TPU S430 por fase do ciclo de vida, para o caso do cliente internacional (empresa B, na Roménia).	67
Figura 16. Distribuição da pontuação total da TPU S430 (e conseqüente dano ambiental) pelos aspetos ambientais considerados no ciclo de vida de uma TPU S430, para o caso do cliente nacional (empresa A, em Faro, Portugal).....	69
Figura 17. Distribuição da pontuação total da TPU S430 (e conseqüente dano ambiental) pelos aspetos ambientais considerados no ciclo de vida, para o caso do cliente nacional (empresa B, na Roménia). 70	

Figura 18. Árvore de processos do transformador de distribuição imerso em óleo mineral, produzido pela Efacec.....	78
Figura 19. Fluxograma do processo de produção de um transformador de distribuição imerso em óleo mineral, produzido pela Efacec.	80
Figura 20. Contribuição de cada matéria-prima e material auxiliar utilizados na produção de um DTIO, relativamente à pontuação total obtida no uso de matérias-primas e auxiliares.	97
Figura 21. Percentagem de contribuição do uso de gás natural e eletricidade para o impacte total gerado pela utilização de energia aquando da produção do DTIO.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela I. Entradas e saídas consideradas e excluídas em cada fase do ciclo de vida na fronteira da TPU S430.....	55
Tabela II. Matérias-primas utilizadas na construção de uma TPU S430, respetivas massas (m) e milipontos obtidos	60
Tabela III. Tipo e massa (m) de resíduos gerados na unidade produtiva da TPU S430, aquando da produção de uma unidade funcional	62
Tabela IV. Entradas e saídas consideradas e excluídas em cada fase do ciclo de vida na fronteira do DTIO	76
Tabela V. Matérias-primas utilizadas na produção de um DTIO, respetivas massas (m) e milipontos obtidos.....	86
Tabela VI. Tipo e massa (m) de resíduos gerados pela unidade produtiva de um DTIO, na produção de uma unidade funcional	88
Tabela VII. Emissões atmosféricas geradas pela unidade produtiva do DTIO e respetivas massas (m), na produção de cada unidade funcional.....	89
Tabela VIII. Milipontos obtidos para cada processo existente na fase de produção do DTIO	96
Tabela IX. Indicadores utilizados na Avaliação do Ciclo de Vida da TPU S430, produzida pela Efacec109	
Tabela X. Indicadores utilizados na Avaliação do Ciclo de Vida do transformador de distribuição imerso em óleo mineral, produzido pela Efacec	111

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ACEC – *Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi*

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AICV – Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida

AT – Alta Tensão

BCSD – *Business Council for Sustainable Development*

BoM – *Bill of Materials*

BT – Baixa Tensão

CM – Circuito Magnético

CMAD – Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento

CNUAH – Conferência das Nações Unidas Sobre o Ambiente Humano

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

CUF – Companhia de União Fabril

DTIO – Transformador de Distribuição Imerso em Óleo

EC – Economia Circular

EFME – Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, SARL

EUA – Estados Unidos da América

EPS – *Efacec Power Solutions*

FITEC – Fundo para a Inovação, Tecnologia e Economia Circular

GEE – Gases de Efeito de Estufa

I&D – Investigação e Desenvolvimento

I&DT – Investigação e Desenvolvimento Tecnológico

I&I – Investigação e Inovação

IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação

IED – *Intelligent Electronic Device*

ICV – Inventário de Ciclo de Vida

IRC – Imposto sobre o Rendimento das Pessoas Coletivas

ISO – *International Standardization Organization*

LCA – *Life Cycle Assessment*

LER – Lista Europeia de Resíduos
SGA – Sistema de Gestão Ambiental
SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade
SI – Sistema de Incentivos às empresas
PA - Poliamida
PAEC – Plano de Ação para a Economia Circular
PCB – *Printed Circuit Board*
PIB – Produto Interno Bruto
PME – Pequenas e Médias Empresas
PNUA – Programa das Nações Unidas para o Ambiente
PO SEUR – Plano Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos
PUR – Poliuretano
PVC – Policloreto de Vinila
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OHSAS – *Occupational Health and Safety Assessment Series*
TPU – *Terminal Protection Unit*
UE – União Europeia
UN – Unidade de Negócio

1. INTRODUÇÃO

Durante séculos, o crescimento populacional assumiu uma forma linear, gerando um reduzido impacte ambiental, dado que os recursos naturais existentes eram suficientes em relação ao consumo. Consequentemente, a produção de resíduos era reduzida, diluindo-se facilmente (Antunes, 2010).

A partir do século XIX, com o surgimento da Revolução Industrial, deu-se um enorme desenvolvimento das condições de vida e de trabalho e, consequentemente, um drástico agravamento do impacte ambiental advindo das atividades humanas. Como disse Thomas Malthus, em 1798, na sua primeira publicação “*First Essay on Population*”, “o poder de consumo da população tornou-se indefinidamente maior que o poder da Terra de produzir subsistência para a humanidade”. Quer isto dizer que o planeta não consegue repor os recursos naturais ao mesmo ritmo a que estes são consumidos, levando à sua escassez, além de que a produção de resíduos se tornou maior do que a capacidade que o planeta tem para os absorver.

A par do aumento do crescimento populacional, aumentou o consumo de energia, o que é natural uma vez que os sistemas energéticos se encontram presentes em todas as atividades humanas, quer a nível industrial, quer a nível doméstico. Essencial nos dias de hoje, associados a este bem, estão impactes significativos no ambiente, originados tanto na sua produção, transporte e distribuição, como na própria utilização (Antunes, 2010).

Durante muito tempo, as questões ambientais não eram tidas como motivo de preocupação e as organizações eram vistas apenas como instituições económicas que permitiam a criação de produtos e serviços de forma a garantir o conforto do Homem.

A preocupação para com o estado ambiental do planeta surgiu em 1972, aquando da Conferência das Nações Unidas Sobre o Ambiente Humano (CNUAH), realizada em Estocolmo e da qual resultou o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA) (Agência Portuguesa do Ambiente [APA], 2018a).

Em 1983, o Secretário-geral das Nações Unidas solicitou a Gro Harlem Brundtland, que instituisse e presidisse a uma comissão especial e independente para a elaboração de um relatório acerca do ambiente e desenvolvimento, surgindo aqui a Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento (CMAD). Assim, em 1987, foi apresentado o Relatório de Brundtland, no qual se

define Desenvolvimento Sustentável como um modelo de desenvolvimento que responde às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras poderem satisfazer as suas próprias necessidades (APA, 2018a). Inicialmente, associava-se o termo “sustentabilidade” apenas ao meio ambiente. No entanto, atualmente, o conceito assume três pilares base: ambiental, social e económico. Para que uma organização se desenvolva de um modo sustentável, estes componentes devem coexistir e interagir entre si harmoniosamente.

Nas últimas décadas, com o avanço industrial, têm-se verificado notórias consequências da degradação ambiental, o que levou este tema a atingir um grande mediatismo. Deste modo, atualmente é dada importância ao desenvolvimento de políticas que promovam a proteção ambiental através de práticas sustentáveis, prezando-se por uma atitude mais proativa na implementação de medidas, além de se verificar a priorização de produtos e serviços cujos processos envolvidos no seu ciclo de vida sejam realizados numa vertente mais sustentável. Por conseguinte, este tem sido um tema frequente nos *media*, havendo mais informação e campanhas de sensibilização acerca dos problemas ambientais atuais. Isto, por sua vez, provoca a crescente consciencialização, a nível global, relativamente à importância da preservação do planeta.

Constata-se, atualmente, que os consumidores começam a dar preferência a produtos e/ou serviços rotulados como “verdes” e “ecológicos”, menos poluentes, sendo este, cada vez mais, um dos seus requisitos aquando das suas decisões de compra. Assim, para que se dê a satisfação do cliente, cada vez mais as empresas são forçadas a proceder a alterações de conduta, no sentido de reduzir os efeitos ambientais que as suas atividades causam.

Ao promover práticas sustentáveis e ao optar por uma gestão ambiental adequada, as organizações ficam em vantagem competitiva, visto evitarem problemas com coimas (Santos & Porto, 2013), possivelmente reduzirem os seus custos produtivos, além de adquirirem uma boa imagem perante a opinião pública (SEBRAE, 2017a). Desta forma, também os seus produtos e/ou serviços serão mais desejados perante outros com a mesma função que procedam a atividades menos “limpas”.

As empresas podem ver o seu bom desempenho ambiental reconhecido através da adesão a instrumentos de gestão ambiental tais como: o Rótulo Ecológico, o Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria ou o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) ISO 14001 (Fernandes, Guerra, Ribeiro, & Rodrigues, 2018).

A existência de um SGA permite que uma organização demonstre um desempenho ambiental correto no que diz respeito ao controlo do impacto das suas atividades, produtos e/ou serviços no meio ambiente. Neste contexto, é importante que este seja incluído no sistema de gestão integrado das organizações.

O sistema de gestão integrado é normalmente composto por normas que têm por base a norma ISO 9001. Este pode ser formado pelo Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), implementado através da norma ISO 9001; pelo SGA, implementado através da norma ISO 14001; e/ou pelo Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho, implementado através da norma OHSAS (*Occupational Health and Safety Assessment Series*) 18001. Em março de 2018 surgiu também a ISO 45001 que, a médio prazo, poderá substituir a OHSAS (Associação Portuguesa de Certificação [APCER], 2018).

A norma ISO 14001, referente a SGA, passou pelo seu terceiro ciclo de revisão, resultando na sua nova versão, lançada no ano de 2015. Como tal, as organizações detentoras da certificação têm um período de até três anos para procederem à transição da versão antiga da norma, referente a 2004, para a atual.

Na nova versão da referida norma, é apresentada a perspetiva de ciclo de vida como um requisito inteiramente novo para o processo de implementação e certificação do SGA, indicando a necessidade das organizações em identificar os aspetos e impactes ambientais além da fase de fabrico, ou seja, durante a totalidade do ciclo de vida dos seus produtos e/ou serviços (NP EN ISO 14001:2015). A norma não exige a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) formal. Requer, no entanto, que se analise cada etapa sob a qual se tem controlo ou influência, tais como: *design* e desenvolvimento do produto, aquisição de matérias-primas, produção, transporte ou fornecimento, instalação, utilização, manutenção, tratamento de fim de vida e destino final dos seus produtos e/ou serviços.

Na secção 8 da norma, referente à Operacionalização, são detalhados os requisitos relativos ao ciclo de vida, nomeadamente:

- Estabelecimento de controlos para assegurar o tratamento dos requisitos ambientais nas fases de *design* e desenvolvimento;
- Requisitos ambientais para a aquisição de produtos e serviços;
- Comunicar os requisitos ambientais a fornecedores e contratados;

- Disponibilizar informação ambiental sobre o ciclo de vida dos produtos e serviços como, por exemplo, tratamento de fim de vida e destino final adequados.

O ciclo de vida de um produto é formado por diversas cadeias de valor que, por sua vez, englobam outras empresas. Segundo a NP EN ISO 14001:2015, uma cadeia de valor consiste no conjunto de atividades ou partes que fornecem ou recebem valor sob a forma de produtos ou serviços, tais como: fornecedores, terceirizados, trabalhadores, empreiteiros, investidores, Investigação e Desenvolvimento (I&D), clientes, consumidores e sócios. Uma nota importante a referir é que a maioria dos impactos ambientais relacionados com um produto ocorrem, não no local em que ele é produzido, mas sim ao longo da cadeia de valor (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas [SEBRAE], 2017a).

O grande foco da perspectiva de ciclo de vida é a procura de melhores práticas socio ambientais para a produção e o consumo conscientes, incluindo o uso eficiente de matérias-primas e energia, responsabilidade enquanto utilizador, além de um enquadramento adequado na hierarquia de gestão de resíduos.

Desta forma, esta mudança aumenta a responsabilidade das organizações sobre a cadeia de valor, exigindo o estabelecimento de uma melhor comunicação e cooperação de cada empresa com outros atores do seu negócio, visando a eficiência de recursos (SEBRAE, 2017a). A Figura 1 ilustra a visão dos negócios tendo em conta o ciclo de vida.

O aumento dos riscos ambientais aos quais as empresas estão expostas, as pressões regulatórias e a necessidade da avaliação dos ciclos de vida são tendências irreversíveis (SEBRAE, 2017b).

Esta expansão da análise dos impactes causados ao longo do ciclo de vida é a base conceptual de importantes estratégias para o desenvolvimento sustentável, como é exemplo disso a Economia Circular.

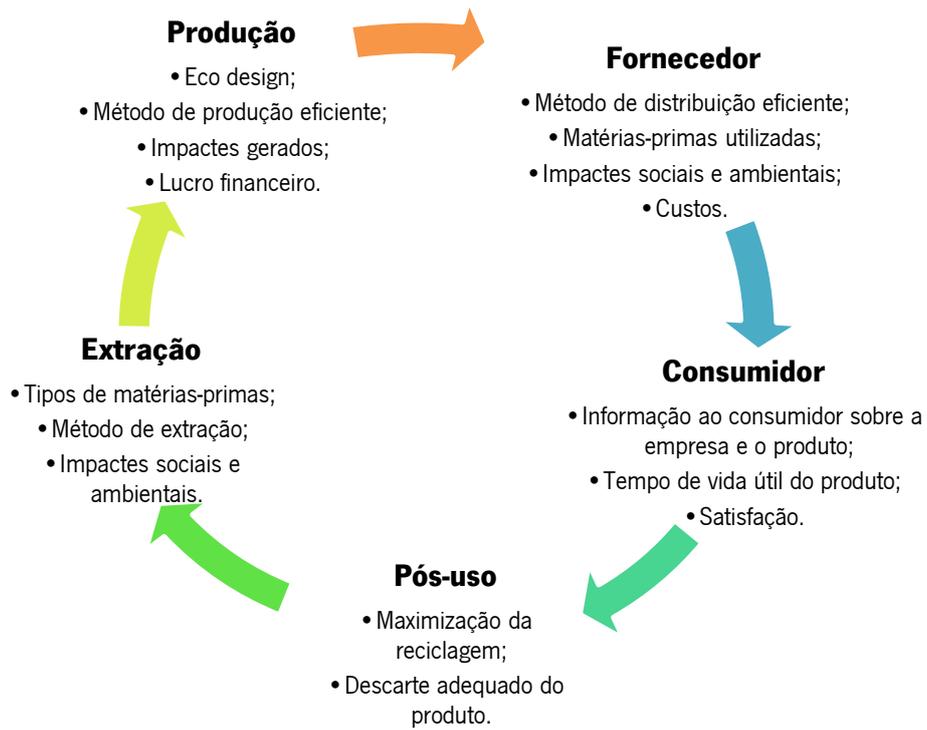


Figura 1. Visão sobre os negócios, tendo em conta o pensamento de ciclo de vida (adaptado de SEBRAE, 2017a).

2. ECONOMIA CIRCULAR

Ao longo dos tempos, o Homem seguia nas suas atividades os conceitos de uma economia linear, a qual se baseia na recolha, produção e eliminação e onde se considera que todos os produtos irão alcançar inevitavelmente o seu fim de vida útil.

Sendo a Terra um planeta com recursos finitos e serviços ambientais no limite da sua capacidade e, no contexto do contínuo crescimento populacional, do aumento da procura de matérias-primas e conseqüente aumento da pressão sobre o ambiente e os recursos naturais, a adoção da economia linear não será sustentável a longo prazo (Fernandes et al., 2018).

A Economia Verde consiste numa economia de baixo carbono, eficiente no uso de recursos e promotora de emprego e bem-estar. É um dos pilares da estratégia europeia, que tem o objetivo de alcançar uma economia inteligente, sustentável e inclusiva até ao ano 2020 (*Business Council for Sustainable Development* [BCSD], 2017a).

O conceito de Economia Circular (EC), uma das ferramentas da Economia Verde, surge como resposta ao desejo de um crescimento que seja sustentável, uma economia mais “verde”, que assegure o desenvolvimento económico, a melhoria das condições de vida e emprego, ao mesmo tempo que permite a regeneração do capital natural (BCSD,2017a). Isto porque este modelo económico é um conceito estratégico cujo foco é direcionado para a reutilização, reparação, renovação e reciclagem dos materiais, produtos e energia existentes, possibilitando a transformação daquilo que se considerava um resíduo num recurso (Fernandes, 2018), traduzindo-se num ciclo de vida fechado, como ilustrado na Figura 2.

Segundo este modelo, o resíduo gerado numa determinada indústria pode ser utilizado como recurso nessa mesma indústria (através da reentrada no processo que lhe deu origem ou noutros processos, através de sinergias internas) ou, em alternativa, poderão ser criadas sinergias externas, cedendo esse resíduo a outra indústria que o possa utilizar nos seus processos (Santos, 2018).

Segundo a NP EN ISO 14001:2015, a EC estabelece uma abordagem sistémica para o *design* de modelos de negócio, permitindo uma gestão sustentável de recursos em produtos e serviços. Os seus princípios base assentam na preservação e aumento do capital natural, em ciclos fechados, na circulação de produtos no seu maior nível de utilidade, e na promoção de um

novo paradigma social. Esta mudança de paradigma irá contribuir para uma dinâmica mais equilibrada e criativa entre empresas, consumidores e recursos naturais, permitindo a dissociação entre o crescimento económico e o consumo de recursos não renováveis (Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A/2017).



Figura 2. Etapas consideradas num modelo económico circular (adaptado de Fernandes, 2018).

O modelo económico circular está correlacionado com todo o ciclo de vida do produto, podendo ser aplicada nas suas diferentes fases. Assim, uma determinada empresa deve ter em conta a EC em todas as etapas existentes para a produção de um dado produto, nomeadamente nas fases de:

- **Design do produto:** deve-se procurar a aplicação de metodologias de *Eco-design*, participar em projetos de I&D e estudar quais os requisitos ambientais normativos implicados no processo;
- **Compras:** é necessário que se verifique a lista de materiais necessários e se proceda à identificação de materiais e conteúdo reciclado, além da identificação dos fornecedores e origem dos materiais;
- **Produção:** na fase de produção, é importante considerar os aspetos e impactes ambientais envolvidos no processo, fazer uma gestão de resíduos adequada e ter

em consideração projetos de inovação e a escolha de processos de produção mais limpos, com reduzido recurso a tóxicos;

- **Transporte:** deve ser promovida a otimização do processo de embalagem (menor quantidade de materiais utilizados, por exemplo) e transporte (uso de meios de transporte menos poluentes e recurso a transporte conjunto com outras empresas, por exemplo);
- **Utilização:** a EC promove a extensão do ciclo de vida dos produtos e a eficiência energética, além de considerar importante a inclusão de informação ambiental nos manuais de instruções do produto;
- **Fim de vida:** nesta fase, deve assegurar-se o correto desmantelamento e encaminhamento dos componentes do produto para o destino final mais adequado, divulgando, para esse efeito, instruções para eliminação e declaração de fim de vida do produto, por exemplo.

Assim, existem alguns conceitos intimamente ligados ao tema da Economia Circular e que devem estar presentes em organizações que apoiam a transição para este modelo. Estes conceitos encontram-se descritos no ponto 2.1. da presente dissertação.

Este novo modelo económico traz consigo inúmeros benefícios ambientais, sociais e económicos (BCSD, 2017b), entre eles:

- A promoção da eco-inovação;
- Criação de novas oportunidades e modelos de negócio, produtos e serviços;
- Permite manter os produtos, materiais e recursos na economia pelo maior período de tempo possível;
- Redução da dependência dos combustíveis fósseis;
- Minimização da produção de resíduos;
- Conservação do capital natural;
- Diminuição das emissões de carbono;
- Contribuição para o combate às alterações climáticas;
- Criação de empregos;
- Melhoria da competitividade da economia;
- Nova relação com o cliente.

Várias empresas adotaram já este novo modelo económico, promovendo o desenvolvimento de projetos de inovação tendo em vista metas relativas à redução das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE), redução de resíduos e incorporação dos mesmos num processo produtivo, reutilização de águas residuais tratadas, partilha de energia residual, desenvolvimento de novos produtos, entre muitos outros.

2.1 Conceitos relacionados com a Economia Circular

Nos pontos seguintes, são explicitados alguns conceitos relacionados com as metodologias a aplicar nas diferentes fases do ciclo de vida de um produto, no âmbito de uma EC.

2.1.1 Eco-design

Este conceito defende que, aquando da conceção ou desenho do produto, se deve prezar por produtos que sejam mais competitivos e duradouros, isto é, promove-se a extensão do ciclo de vida do produto.

Além disso, deve dar-se preferência a produtos com utilização menos intensiva de recursos e os materiais eleitos para a sua construção deverão ser, preferencialmente, renováveis e não perigosos (ao ambiente e à saúde humana), privilegiando-se, se possível, a reutilização de matérias-primas recuperadas (Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação [IAPMEI], 2018).

Também a modularização dos componentes constitui numa boa tática, visto permitir uma desmontagem mais simples do produto bem como uma melhor recuperação, reaproveitamento e triagem de fim de vida (IAPMEI, 2018).

Adicionalmente, devem ser definidos critérios de reciclagem, reutilização e extensão do ciclo de vida, considerando possíveis aplicações úteis de subprodutos e resíduos (SEBRAE, 2017a), em articulação com métodos como a atribuição de rótulos ecológicos ou as declarações ambientais de produto (IAPMEI, 2018).

2.1.2 Eco-inovação

A sobrevivência de um negócio é, em muito, conseguida através da capacidade de inovar. A eco-inovação remete para todas as formas de inovação (tecnológica ou não) que criam oportunidades de negócio e beneficiam o ambiente, otimizando a utilização de recursos (SEBRAE, 2017b) e tendo em vista a progressos significativos no objetivo do desenvolvimento sustentável (APA, 2018b). Engloba todas as mudanças que promovam a redução do uso de recursos ao longo do ciclo de vida, mesmo que essas mudanças não tenham sido realizadas com intenção ambiental, podendo constar em todas as atividades económicas (APA, 2018b).

A adoção deste conceito implica um redireccionamento do olhar do empresário para além da própria empresa e exige a capacidade de antecipar possíveis riscos e transformá-los em oportunidades para inovação, produtividade e competitividade (SEBRAE, 2017b).

Este conceito é importante no sentido em que, ao transitar para uma EC, passa-se a levar em consideração o facto de que cada decisão da empresa gera impactes económicos, sociais e ambientais, sejam estes positivos ou negativos, ao longo de toda a cadeia de negócio. Reduzir os impactes negativos ou potencializar os positivos requer uma nova forma de pensamento, focada na criação de soluções inovadoras para a empresa, que beneficiam a sociedade e o meio ambiente (SEBRAE, 2017b).

2.1.3 Extensão do ciclo de vida do produto

A EC promove o alargamento do ciclo de vida do produto através da adoção de sistemas ou modelos de negócio centrados na manutenção, reparação, reacondicionamento e remanufactura de produtos, bem como sistemas de recolha eficiente associados. Valorizam-se métodos como o “*upcycling*”, isto é, o processo de conversão de resíduos em novos materiais ou produtos de maior valor acrescentado; e o “*downcycling*”, que diz respeito ao processo de conversão em materiais e produtos de menor qualidade (www.eco.nomia.pt).

Deste modo, ao desenvolver um novo produto ou serviço, além da escolha das estratégias de *marketing* e *design* associados ao processo, deverão ser tidos em conta aspetos como: a manutenção dos ecossistemas que asseguram a existência das matérias-primas, a gestão dos recursos utilizados no processo de produção e logística, a gestão dos resíduos decorrentes do

processo de produção, os impactes ambientais advindos do consumo do bem, e o destino final dos produtos após consumo ou após o fim de vida (BCSD, 2017b).

2.1.4 Eco-eficiência

O termo Eco-eficiência diz respeito ao processo produtivo e à otimização de recursos no interior do mesmo (Pinto, 2018). Assim, este modelo económico defende que devem ser eleitos os processos produtivos menos poluentes, limitando a utilização de substâncias tóxicas. Isto, conseqüentemente, leva à promoção da eficiência energética e de materiais e à identificação de novas utilizações para os subprodutos gerados (IAPMEI, 2018).

2.1.5 Simbiose industrial

A simbiose industrial consiste na partilha de recursos e serviços entre empresas, tendo como princípio que o resíduo de uma indústria pode servir como subproduto ou matéria-prima na cadeia de produção de outra indústria (BCSD,2017b). Assim, pode estabelecer-se uma colaboração entre empresas de diferentes setores, na qual a troca de materiais e a partilha de resíduos, energia residual ou de serviços, ou a reutilização de águas residuais tratadas, por exemplo, geram vantagens competitivas a todos os intervenientes (Santos, 2018).

Os benefícios associados a esta metodologia podem estar relacionados, por exemplo, com o aumento da valorização dos resíduos e a conseqüente redução do consumo de recursos primários, o que leva, do ponto de vista económico e ambiental, à redução dos custos associados à extração de matérias-primas, transporte das mesmas e tratamento de resíduos (Santos, 2018). Além disso, desta forma são requeridas novas atividades necessárias à transformação dos recursos para serem utilizados ou relacionados com a valorização dos recursos laborais, o que leva à criação de emprego.

2.1.6 Novos modelos de negócio, desmaterialização

Também, neste contexto, nascem novos modelos de negócio ou desmaterialização que promovem a substituição de serviços físicos por serviços virtuais que lhes sejam equivalentes, e o

desenvolvimento de plataformas de partilha e aluguer que maximizem a produtividade de equipamentos e conservem recursos (www.eco.nomia.pt).

O uso eficiente de recursos e a adoção de novas dinâmicas de inovação leva a reduções na importação de matérias-primas, contribui diretamente para o cumprimento de objetivos ambientais internacionais, além de que melhora a competitividade económica. Isto, por sua vez, leva ao aumento do potencial de exportação e impacto local (IAPMEI, 2018).

Assim, esta mudança é considerada uma boa oportunidade de negócio, visto contribuir para uma boa eficiência de recursos, além de promover uma economia de baixo carbono, reduzindo os custos e riscos da cadeia de abastecimento, ao mesmo tempo que gera valor económico e tem a vantagem de ser socialmente bem visto. A EC permite assim a criação de novos mercados que respondem às mudanças nos padrões de consumo, contribuindo para a criação de empregos.

2.2 Dinamização da Economia Circular

O modelo económico-social dominante no último século teve como base dois pilares: os recursos naturais e a tecnologia. Contudo, a impossibilidade do crescimento sem limites foi assumida pela sociedade em geral e a preocupação com os limites do modelo económico adotado começaram a surgir em meados do século passado (Pinto, 2018).

O conceito de EC não é novo, estando associado à área da ecologia industrial e às avaliações do ciclo de vida dos produtos (Santos, 2018). O modelo de economia circular, em alternativa ao linear, é uma forma de responder aos desafios que se colocam atualmente, tais como: o crescimento demográfico e do consumo; a crescente necessidade de produção de bens; a instabilidade económica, política e social de fornecedores de matérias-primas; e a limitação de recursos naturais (BCSD,2017b).

Apesar de este conceito não poder ser ligado a uma única data nem a um único autor, a sua aplicação prática adquiriu uma nova dinâmica desde o fim da década de 1970 (*Ellen MacArthur Foundation* [EMF], n.d.). A sua origem encontra-se associada a diversas escolas de pensamento desde a ecologia industrial (Frosh e Gallopoulos); a economia azul (Gunther Paul); *permaculture* (Bill Mollison e David Holmgren); *performance* económica (Walter Stahel); bioquímica (Janine Benyus); desenho regenerativo (John Lyle); e *crade to cradle* (Michael Braungart e William McDonough) (Pinto, 2018).

Atualmente, no seguimento do tema das alterações climáticas, constitui um tema central na política pública nacional e europeia (BCSD, 2017b), sendo adotada em variadas empresas como um meio para reduzir os impactes ambientais dos seus produtos e/ou serviços, protegendo o meio ambiente, ao mesmo tempo que se geram vantagens a nível financeiro e social.

A visão da Europa para 2020 centraliza como objetivo a liderança na tecnologia, a inovação e a competitividade económica, pelo que o desenvolvimento de estratégias ligadas à investigação e inovação assume uma relevância estratégica no espaço europeu. A estratégia Europa 2020 fornece uma visão global da evolução preconizada para a União Europeia (UE) até 2020 no que diz respeito a parâmetros essenciais como o emprego, a investigação e desenvolvimento, as alterações climáticas e energia, a educação, a pobreza e exclusão social. Também na parceria entre Portugal e a Comissão Europeia (Portugal 2020) se definem princípios de programação que consagram a política de desenvolvimento económico, social e territorial, para promover Portugal (entre 2014 e 2020).

Com o objetivo de dinamizar a EC na UE, foram criadas as agendas europeia e nacional para a Economia Circular, nomeadamente o Pacote de Economia Circular “Fechar o Ciclo – Plano de ação UE para a economia circular”, lançado a dezembro de 2015, e o “Plano de Ação para a Economia Circular em Portugal” (PAEC), lançado a dezembro de 2017. Estas agendas vieram provocar uma maior ambição às empresas, desencadeando oportunidades para a tecnologia, inovação, modelos de negócio e imaginação (Santos, 2018).

Nestes planos são previstas propostas legislativas onde são identificadas linhas estratégicas da UE para uma economia mais circular no que diz respeito a questões como a melhoria da gestão dos resíduos, o aumento da reciclagem e a conseqüente diminuição de deposição de resíduos em aterro (IAPMEI, 2018).

O PAEC engloba ações nacionais cujo foco vai desde o *design* e a reutilização, passando pelo desperdício alimentar, até à investigação e inovação (Costa, 2018). É essencial que este plano seja flexível para acomodar a evolução do tema, visto não se tratar de um setor, mas sim da transformação de um paradigma de desenvolvimento, não podendo ser determinada por decreto.

Segundo os dados do PAEC, estima-se que, com o avanço das “ações circulares” (nomeadamente no que concerne à melhoria da eficiência no uso de materiais), se gerem poupanças líquidas de cerca de 6,0E+05 milhões de euros por ano às empresas da UE (que

podem atingir 1,80E+06 milhões de euros por ano com efeitos multiplicadores) (Resolução do Conselho de Ministros n.º 190–A/2017), criando 170 000 empregos diretos até 2035. Espera-se, simultaneamente, uma redução de 2 a 4 % das emissões anuais de GEE (Resolução do Conselho de Ministros n.º 190–A/2017). Para Portugal, aponta-se para a existência de 36 000 empregos diretos relacionados com a EC, até 2030 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 190–A/2017). Este impacto no emprego vai desde o setor da gestão de resíduos até aos setores de conceção, reparação, remanufactura e desassemblagem fina.

Prevê-se que a concretização de medidas de EC na mobilidade, ambiente construído e sistema agroalimentar, até 2030 provoque, na UE, o aumento de 11 % do Produto Interno Bruto (PIB), com 1,80E+06 milhões de euros em poupanças e uma redução de 50 % das emissões de GEE relativamente aos níveis de 2015 (Costa, 2018). Poderiam ser criados, simultaneamente, mais 2 milhões de postos de trabalho em comparação com a situação atual (EMF, 2017).

Várias estratégias de EC têm sido adotadas a nível global, europeu e nacional, como por exemplo: “Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)”, o Acordo de Paris para as Alterações Climáticas e a alteração do Código dos Contratos Públicos em Portugal (Fernandes, 2018). A adoção destas estratégias traz consigo a necessidade de adaptar as políticas centrais e setoriais e empresariais.

De modo a conseguir avaliar e acompanhar a evolução dos seus Estados-membro no que concerne à implementação da EC, a UE criou uma série de indicadores (Pinto, 2018). Estes podem dividir-se em dois grupos: produção de resíduos, tratamento e reciclagem; e indicadores sobre emprego, atividade e uso de materiais em setores circulares.

Entre as ferramentas de apoio a esta mudança de paradigma é possível encontrar normas que foram desenvolvidas como auxiliares de gestão das organizações e que permitem assimilar os princípios da sustentabilidade e da EC nas suas políticas, procedimentos, metodologias e na sua relação com partes interessadas.

Publicada em maio de 2017, a BS 8001 é a primeira norma guia de orientação para todos os tipos de organizações que pretendam implementar ações no âmbito da EC e fornece informações sobre como as organizações podem repensar de forma holística o modo como os seus recursos são geridos, com vista a melhorar os benefícios ambientais, sociais e económicos (*British Standards Institution* [BSI], 2017). Esta norma tem como objetivo clarificar conceitos chave

acerca do que é a EC e qual a sua importância para o crescimento do negócio, ao mesmo tempo que fornece orientação para a implementação dos seus princípios, a fim de criar valor direto e indireto como resultado da inovação do modelo de negócio ou do produto/serviço.

A BS 8001 tem por base os seguintes princípios (BSI, 2017):

- **System thinking:** As organizações devem perceber como as decisões e atividades individuais interagem com o restante sistema.
- **Inovação:** As organizações inovam constantemente para criar valor de negócio através da gestão sustentável.
- **Stewardship:** As organizações gerem os impactos diretos e indiretos das suas decisões e atividades sobre o sistema.
- **Colaboração:** As organizações colaboram interna e externamente através de acordos formais e/ou informais de modo a criar valor de negócio mútuo.
- **Otimização de valor:** As organizações mantêm todos os seus produtos, componentes e materiais no seu máximo valor e utilidade.
- **Transparência:** As organizações são claras acerca de decisões e atividades que afetam a sua capacidade de fazer a transição para um modo mais sustentável de operação.

Também a Organização Internacional para a Normalização ou, em inglês, *International Standardization Organization* (ISO) tem desenvolvido várias normas que podem ser utilizadas neste contexto, estando as seguintes entre as várias existentes:

- ISO 20400:2017 – *Sustainable procurement – Guidance*;
- ISO 20121:2012 – *Event sustainability management systems – Requirements with guidance for use*;
- ISO 14001:2015 – *Environmental management systems – Requirements with guidance for use*;
- ISO 50001:2011 – *Energy management systems – Requirements with guidance for use*;
- ISO 14006:2011 – *Environmental management systems – Guidelines for incorporating eco-design*.

2.3 Incentivos para a Economia Circular

A transição para este modelo económico é um processo complexo, quer pelas atividades económicas, quer pelos agentes envolvidos, que podem ir desde decisores políticos aos próprios consumidores (Comissão Europeia, 2016).

Em termos políticos, é essencial que se dê uma alteração nos instrumentos políticos, proporcionando condições de enquadramento, previsibilidade e confiança às empresas, assim como reforçar o papel dos consumidores e definir as mudanças em curso (Borrego, 2018).

Os consumidores, por sua vez, constituem o “motor” desta alteração de paradigma, devendo proceder a uma alteração de comportamento (Borrego, 2018).

Quanto às atividades económicas, a mudança do modelo económico exige alterações de conduta e implica que se repensem as atividades, cadeias de fornecimento e modelos de negócio da organização, alterando os processos que lhes são inerentes ou mesmo iniciar novos projetos que visem a eficiência e circularidade de recursos (Borrego, 2018).

As empresas estão interessadas em fazer a transição para modelos mais amigos do ambiente, apostando em negócios que implementam uma economia mais eficiente no uso de recursos e com menores emissões de GEE. No entanto, para isso, é necessário que existam incentivos apropriados e mecanismos de financiamento adequados aos seus processos de inovação, investigação e comunicação (BCSD, 2017a). Desta forma, torna-se fundamental que o modelo económico atual proceda à gestão dos riscos e oportunidades ambientais associados a temas do desenvolvimento sustentável. É imprescindível que o setor bancário compreenda as oportunidades de negócio dos projetos circulares, para que assim lhes proporcionem financiamento.

O Ministério do Ambiente assumiu a transição para uma EC, tendo formalizado ações concretas como, entre outros, o desenvolvimento de um portal de conhecimento em português, o ECO.NOMIA, que se assume não só como um espaço de partilha de conhecimento, como um fórum de interação para projetos colaborativos de investimento no âmbito deste modelo económico.

Além desse portal, a nível de apoios comunitários e sistemas de incentivos, destacam-se algumas ferramentas que se tornam úteis no objetivo da circularidade:

- Horizonte 2020 – O maior programa europeu de financiamento de Investigação e Inovação (I&I) que, entre 2018 e 2020, irá disponibilizar cerca de 960 milhões de euros em concursos competitivos na área da EC (Borrego, 2018);
- COMPETE 2020 – Mobiliza os Fundos Europeus Estruturais e de Investimento para o período entre 2014 e 2020, em linha com orientações estratégicas nacionais e europeias (BCSD, 2017a); Os apoios às empresas estão concentrados no Sistema de Incentivos às Empresas (SI), que se divide em três: SI I&DT (Investigação e Desenvolvimento Tecnológico), SI Inovação Empresarial e Empreendedorismos e SI Qualificação e Internacionalização de Pequenas e Médias Empresas (PME);
- PO SEUR – Plano Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos - um dos programas nacionais que podem alicerçar a evolução para a EC através do financiamento de projetos inovadores em três eixos principais: apoiar a transição para uma economia com baixas emissões de carbono em todos os setores (Eixo I); promover a adaptação às alterações climáticas e a prevenção e gestão de riscos (Eixo II); e proteger o ambiente e promover a eficiência do uso de recursos (Eixo III) (Borrego, 2018).
- INTERFACE – tem o objetivo de valorizar os produtos portugueses através da inovação, do aumento da produtividade, da incorporação de tecnologia nos processos produtivos das empresas nacionais (acelerando, por exemplo, a transferência de tecnologia das universidades ou outras entidades não empresariais para as empresas) (BCSD, 2017a), além de potenciar a certificação dos produtos (Borrego, 2018);
- FITEC – Fundo para a Inovação, Tecnologia e Economia Circular – reforço da ação dos centros de interface tecnológicos, alargando o seu contributo para melhorar a inovação das empresas;
- Fundo Ambiental – consiste numa plataforma de investimento no apoio de políticas ambientais no seguimento do desenvolvimento sustentável que prevê, para 2018, um investimento de 2 milhões de euros em projetos de transição para a EC (Borrego, 2018).

Algumas organizações, como a Caixa Central de Crédito Agrícola Mútuo ou o BCSD Portugal – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, juntam empresas e banca em torno do desenvolvimento de medidas e mecanismos financeiros de modo a apoiar modelos de negócio que promovam a EC. Também o Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação

(IAPMEI), sendo parceiro das empresas no que diz respeito ao desenvolvimento e inovação, disponibiliza uma gama de sistemas de incentivos (IAPMEI, 2018) cujo objetivo é incrementar a competitividade das empresas através da inovação dos seus modelos de negócio, produtos e serviços, promovendo uma eficiência no contexto da EC.

Desta forma, existem já diversas ferramentas disponíveis, quer a nível europeu quer a nível nacional, que os empresários podem utilizar para alavancar a EC nas suas organizações, gerando benefícios económicos e sociais ao mesmo tempo que preservam os recursos naturais.

3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Cada produto contribui para a poluição do ambiente, em maior ou menor grau, derivado da extração das matérias-primas, da sua produção e tratamento de fim de vida. Além disso, por vezes, durante a própria utilização, embalagem e distribuição do produto são também gerados danos ambientais, dado que o produto pode ter um consumo elevado de energia ou materiais.

Com a crescente consciencialização da importância da proteção do ambiente e dos possíveis impactes associados a produtos e serviços, o interesse pelo desenvolvimento de métodos para um melhor entendimento destes impactes tem aumentado significativamente (NP EN ISO 14044:2010).

A EC tem por base o fecho dos ciclos de vida, assumindo que um subproduto ou resíduo pode voltar a ser introduzido no processo de produção, por exemplo (BCSD, 2017b). Para que se perceba como se pode atuar para concretizar esse princípio, é essencial conhecer o ciclo de vida dos produtos/serviços.

O ciclo de vida de um produto (ou serviço) consiste na sucessão de etapas interligadas do sistema de produto, desde a obtenção de matérias-primas, ou a sua produção a partir de recursos naturais, passando pelo seu uso, até ao seu fim de vida (NP EN ISO 14001:2015).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) consiste na compilação das entradas e saídas (ou seja, os aspetos ambientais existentes), bem como dos potenciais impactes ambientais derivados de um produto/serviço ao longo do seu ciclo de vida (ISO 14040:2006).

Geralmente, a ACV não trata os aspetos económicos ou sociais do produto, mas a abordagem de ciclo de vida e as metodologias descritas na norma ISO 14044:2010 poderão ser aplicadas a estes dois aspetos (NP EN ISO 14044:2010), pelo que a ACV pode incluir todas as vertentes do desenvolvimento sustentável. A nível social, podem ser considerados aspetos como as condições de trabalho da mão de obra e a existência de trabalho infantil. A nível económico, são avaliados todos os custos e receitas, ao longo do ciclo de vida.

Com base nos dados recolhidos numa ACV, são avaliados os impactes existentes nos recursos naturais, no ambiente e na saúde humana. Não só os impactes negativos deverão ser identificados, de modo a que se dê a sua amenização ou eliminação. Também os impactes positivos devem ser tidos em conta, de modo a que possam ser ampliados através de estratégias

a definir pela empresa (SEBRAE, 2017a). Onde se verificar maior geração de impactes, há maior potencial para aprimorar e inserir a sustentabilidade (SEBRAE, 2017b).

Esta metodologia pode, então, ser útil na identificação de oportunidades de melhoria do desempenho ambiental de produtos e serviços em vários pontos do seu ciclo de vida; no planeamento estratégico, definição de prioridades em políticas ambientais, *design* de produtos ou processos (contribuindo para a informação dos decisores da indústria); na seleção de indicadores relevantes de desempenho ambiental, bem como técnicas de medição; e no *marketing*, através da promoção de atitudes que levem a uma rotulação ecológica, por exemplo (NP EN ISO 14044:2010).

O termo Avaliação do Ciclo de Vida, ou em inglês, *Lyfe Cycle Assessment* (LCA) surgiu nos Estados Unidos da América (EUA), em 1990, sendo que a designação dada aos estudos de ciclo de vida ambiental, utilizados nos EUA desde 1970, era “*Resource and Environmental Profile Analysis*” (Cavadas, 2011).

Um dos primeiros estudos realizados no âmbito da quantificação de recursos utilizados, emissões e resíduos produzidos ocorreu em 1969 e foi levado a cabo pelo *Midwest Research Institute* para prestar auxílio à empresa Coca-Cola na tomada de decisões no que diz respeito a embalagens que utilizavam (Cavadas, 2011).

No final do ano de 1972, a *U.S. Environmental Protection Agency* encomendou um estudo nas embalagens de cervejas e sumos, o qual marcou o início da metodologia de ACV como se conhece atualmente (Araújo, 2013).

Após um longo período de tempo durante o qual o interesse público em ACV não mostrava ser relevante, surgiu um relatório, em 1984, realizado pelo Laboratório Federal Suíço para Teste e Investigação de Materiais, que tinha como objetivo estabelecer uma base de dados para os materiais de embalagem considerados mais importantes: alumínio, vidro, plásticos, papel, cartão e chapas de lata. Este estudo introduziu um método de normalização das emissões, utilizando normas, o que mais tarde veio a ser desenvolvido, até surgir a proposta de cálculo de ecopontos.

A partir de 1990, as atividades de ACV na Europa e nos EUA sofreram um notável crescimento e começaram a surgir as primeiras bases de dados para a realização de ACV (Liimatainen, 2012).

A Organização Internacional para a Normalização (ISO) criou, em 1992, um comitê técnico tendo em vista a normalização de um número de abordagens de gestão ambiental, incluindo a ACV. Este comitê vai lançando e atualizando normas relacionadas com esta metodologia, sendo as principais:

- ISO 14040:2008 – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e enquadramento (atualização da ISO 14040:2006);
- ISO 14044:2010 – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Requerimentos e linhas guia, incluindo inventário de ciclo de vida, avaliação de impactos e interpretação dos resultados e natureza e qualidade dos dados (atualização da ISO 14044:2006);
- ISO 14047:2012 – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Exemplos de Aplicação;
- ISO 14048:2002 – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Formata da informação documental;
- ISO 14049:2012 – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Exemplos de aplicação dos objetivos, âmbito e inventário de ciclo de vida;
- ISO 14071:2014 – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Processo de revisão crítica;
- ISO 14072:2014 – Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida: Requerimentos e linhas guia adicionais para organização do LCA;

A ACV assume uma grande importância nos dias de hoje pois, muitas vezes, a oportunidade de melhoria ambiental de um produto encontra-se a montante ou a jusante da etapa de produção (SEBRAE, 2017a), por exemplo:

- A escolha de determinado material na fase de projeto de um dado produto pode diminuir de modo mais eficiente os problemas na sua disposição final;
- Melhorar a performance de determinados equipamentos na fase de utilização pode render ganhos ambientais muito mais significativos do que investir na melhoria da sua produção ou em estratégias de fim de vida;

- Pensar na concepção do produto antecipando o seu fim de vida permite garantir uma recuperação de componentes e materiais para reinserção no ciclo produtivo.

Esta ferramenta possui, no entanto, algumas limitações, nomeadamente no que diz respeito à necessidade de vários recursos e ao grande período de tempo pelo qual é necessário que se prolongue. Além disso, este tipo de estudo não determina qual produto ou processo é mais caro ou funciona melhor, sendo benéfica a sua utilização como componente de um processo de decisão, juntamente com a análise de custo e a performance.

3.1 Tipologias e etapas de uma ACV

Existem três níveis de abordagem distintos para a realização de uma ACV: conceptual, simplificada e detalhada, variando entre as diferentes abordagens o nível de pormenor dos estudos, o nível de precisão requerido para a recolha de dados e a certeza dos resultados obtidos (Cavadas, 2011).

A ACV conceptual é a mais simples, recorrendo a um inventário do ciclo de vida limitado e normalmente qualitativo e baseado em informações gerais. Pode ser útil para fornecer informações básicas para decisões relativas a *marketing* ambiental e desenvolvimento de novos produtos, uma vez que estes não necessitam de um elevado número de análises, exigindo apenas uma perceção das vantagens, desvantagens e incertezas relativas a um produto ou serviço (Cavadas, 2011). No entanto, este tipo de ACV não é adequado para divulgação pública de resultados, servindo apenas como auxílio para os decisores identificarem quais os produtos e componentes com maior vantagem competitiva em termos de redução de impactes ambientais.

A ACV simplificada introduz um dilema uma vez que é provável que a simplificação afete a precisão e fiabilidade dos resultados obtidos no estudo. Assim, o primeiro passo de um processo de simplificação é identificar as áreas da ACV que podem ser omissas e simplificadas sem comprometer significativamente os resultados finais. Esta tipologia tem como objetivo obter uma imagem superficial de todo o ciclo de vida, usando dados genéricos (quantitativos e/ou qualitativos) e módulos *standard* para transporte ou produção de energia (Cavadas, 2011).

Por último, na ACV detalhada pretende-se obter uma imagem o mais completa possível de todos os processos, materiais, fluxos, impactes, entradas e saídas envolvidos durante todo o ciclo de vida do sistema de produto.

As técnicas de ACV podem ter diferentes aplicações. Internamente, a ACV pode ser útil nas tomadas de decisão, isto é, as indústrias podem servir-se das ACV para reduzir os impactes ambientais aquando do desenvolvimento ou otimização dos seus produtos, através da seleção de indicadores ambientais relevantes para a avaliação de projetos. A nível externo, por sua vez, estas técnicas podem ser utilizadas para divulgar ao consumidor ou a órgãos ambientais informação acerca da performance ambiental dos seus produtos. Além disso, permite também a comparação da qualidade ambiental com os produtos dos seus concorrentes (Cavadas, 2011).

Os estudos de ACV devem ser realizados segundo o enquadramento e princípios descritos na norma ISO 14040.

O processo de ACV é uma metodologia composta por quatro fases (ilustradas na Figura 3): definição de objetivos e âmbito, inventário do ciclo de vida, avaliação de impacte e interpretação dos resultados (ISO 14040:2006).

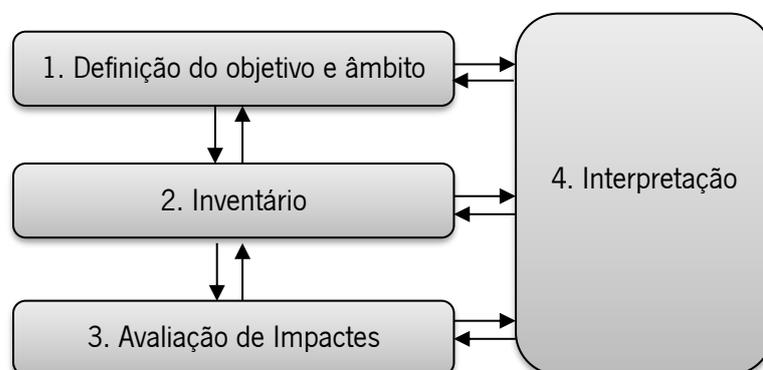


Figura 3. Etapas de um processo de Avaliação do Ciclo de Vida, segundo a norma ISO 14040:2006.

Nos subcapítulos seguintes, será realizada uma explicação mais detalhada de cada uma destas fases existentes numa ACV, tomando como referência o descrito na norma NP EN ISO 14044:2010.

3.1.1 Definição do objetivo e do âmbito

O objetivo e âmbito de uma ACV devem ser claramente definidos e devem ser consistentes com a aplicação pretendida para o estudo em causa. Com o decorrer do estudo, o objetivo poderá ter de ser refinado (NP EN ISO 14044:2010).

No objetivo devem ser descritos de forma inequívoca qual a aplicação pretendida, as razões para a realização do estudo, o público-alvo a que este se destina e, por fim, se os resultados do estudo se destinam a serem usados em declarações comparativas para divulgação pública.

O âmbito, por sua vez, deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o nível de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para que se atinjam os objetivos. Assim, o âmbito deve definir claramente, entre outros:

- Sistema de produto e respetivas funções;
- Unidade funcional mensurável;
- Fronteira do sistema;
- Procedimentos de alocação;
- Metodologia utilizada para a fase de Avaliação de Inventário de Ciclo de Vida (AICV) e tipos de impacte existentes;
- Interpretação a ser usada;
- Tipos e fontes dos dados e requisitos de qualidade;
- Limitações.

No que diz respeito à fronteira do sistema, em particular, esta é essencial visto determinar o nível de pormenor do estudo. Numa ACV completa, as entradas em cada processo são consideradas desde o ponto em que são extraídos os recursos da natureza e as saídas, por sua vez, até à disposição final do resíduo no ambiente (visão “*from cradle to grave*”) (Cavadas, 2011). No entanto, isto pode tornar-se impraticável num estudo, pelo que se deve decidir que etapas, processos e entradas/saídas devem ser ou não incluídos no estudo. Este procedimento requer a identificação e explicação daqueles que forem excluídos, uma vez que só se pode proceder à eliminação de etapas caso não alterem a conclusão final do estudo (NP EN ISO 14044:2010);

3.1.2 Inventário do Ciclo de Vida

O Inventário de Ciclo de Vida (ICV) pode referir-se a dois conceitos distintos que é preciso saber diferenciar: estudo de ICV e fase de ICV. A fase de ICV é uma das 4 fases existentes no contexto de uma ACV. Um estudo de ICV, por sua vez, é semelhante a um estudo de ACV, mas exclui a fase de Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida (AICV) (NP EN ISO 14044:2010).

Existem casos em que, para cumprir o objetivo de uma ACV, basta apenas realizar um inventário e uma interpretação. Isto é normalmente referido como um estudo de ICV (NP EN ISO 14044:2010).

A fase de ICV de uma ACV pretende identificar e quantificar (seja por cálculos ou estimativas) as entradas e saídas de e para o ambiente do sistema de produto em estudo. Isto significa que deverão ser recolhidos dados para cada processo unitário incluído na fronteira do sistema.

Para realizar a fase de ICV deverão ser realizados os passos indicados na Figura 4.

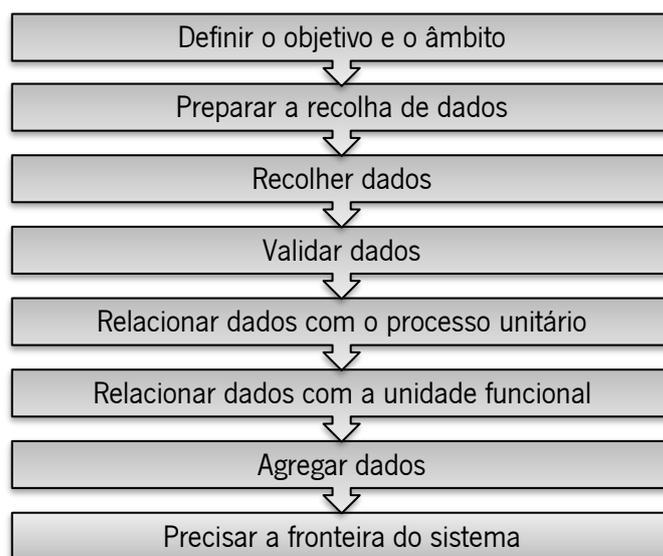


Figura 4. Etapas a seguir para a realização do Inventário de uma Avaliação do Ciclo de Vida (NP EN ISO 14044:2010).

O processo realizado é iterativo uma vez que, à medida que se adquire mais informação acerca do sistema, surgem novos requisitos de dados ou limitações, o que pode levar à alteração dos procedimentos de recolha de dados para que o objetivo e âmbito possam ser satisfeitos (NP EN ISO 14044:2010). Desta forma, no final do processo, há necessidade de rever a ficha de recolha de dados, consoante se verifique ou não a necessidade de adicionar ou remover processos unitários.

Os principais grupos nos quais se classificam os dados recolhidos incluem, entre outros: entradas de energia, matérias-primas e auxiliares, ou outras entradas físicas; produtos, coprodutos e resíduos; e emissões e descargas para o ar, água e solo (NP EN ISO 14044:2010).

A quantidade de dados necessária para a realização de uma ACV é, geralmente, muito grande, uma vez que se deve ter em conta os dados relativos a toda a cadeia de valor.

Ao avaliar o ciclo de vida de um produto específico numa dada empresa, em princípio, alguns dos dados são de fácil acesso, nomeadamente: dados relativos à sua produção (por exemplo, materiais utilizados, número de equipamentos produzidos e processos de produção); dados relativos ao fim de vida; e dados relativamente ao desempenho do produto na fase de utilização. Isto porque a equipa responsável por esse produto conhece o processo produtivo e as características técnicas dos produtos, podendo facultar essa informação.

Pelo contrário, é praticamente impossível recolher e organizar dados do sistema em “*background*”, isto é, todos os procedimentos que ocorrem anteriormente à fase de produção. Esses procedimentos incluem a extração das matérias-primas, o processamento desses materiais (para posterior utilização em processos de produção) e os meios de transporte envolvidos durante essas etapas, bem como o transporte para o distribuidor e desse local para o produtor. Uma vez que a lista de materiais pode ser bastante extensa e envolve diferentes processos e vários agentes envolvidos, o período de tempo necessário para essa recolha de dados seria demasiado longo.

Para resolver essa questão, existem bases de dados para utilização neste tipo de estudos. Aecoinvent é, atualmente, a base de dados mais utilizada em estudos de ACV, oferecendo cadeias de fornecimento de processos unitários totalmente interligados para todos os produtos presentes na base de dados. Os dados cobrem todos os fluxos ambientais relevantes, como a extração de recursos, o uso da terra e emissões, bem como utilização de materiais e energia (Weidema et al., 2013).

3.1.3 Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida

A Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida (AICV) é a terceira fase de uma ACV e pretende avaliar a significância ambiental dos resultados do inventário por meio de modelos e fatores de caracterização contidos nos métodos de AICV (Mendes, Bueno, & Ometto, 2013).

A AICV difere de outras técnicas, como a avaliação de impacto ambiental ou avaliação do risco, por ser uma abordagem relativa baseada numa unidade funcional. No entanto, este tipo de estudos poderá utilizar dados provenientes de uma dessas outras técnicas (NP EN ISO 14044:2006).

Para que esta fase contenha o mínimo de incertezas possível, é importante que se tenha em conta se a qualidade dos dados do ICV é suficiente para realizar a AICV, de modo a estar concordante com o objetivo e o âmbito. É necessário, igualmente, assegurar que a fronteira do sistema e as decisões de exclusão foram devidamente revistas e se a relevância ambiental dos resultados de AICV foi reduzida devido ao cálculo da unidade funcional, ao cálculo das médias, agregações e alocações à escala do sistema (NP EN ISO 14044:2010).

Esta fase deve incluir, obrigatoriamente:

- Seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização;
- Imputação dos resultados de ICV às categorias de impacto selecionadas;
- Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria.

3.1.4 Interpretação do Ciclo de Vida

A fase de interpretação compreende a identificação dos aspetos significativos com base nos resultados obtidos.

Os resultados das fases de ICV e AICV devem ser interpretados de acordo com o objetivo e o âmbito do estudo, pelo que a interpretação deve incluir uma avaliação que considere controlos de integralidade, sensibilidade e coerência das entradas, saídas e escolhas metodológicas significativas de forma a aferir a incerteza dos resultados (NP EN ISO 14044:2010).

É também nesta fase que se retiram conclusões e se mencionam as limitações encontradas ao longo do estudo e possíveis recomendações para estudos posteriores.

4. EFACEC

A Efacec é a maior indústria portuguesa no setor elétrico e eletromecânico reconhecida por desenvolver produtos de alta tecnologia, soluções e sistemas usados diariamente por milhares de pessoas em todo o mundo (Efacec, n.d.- a).

A sua história remonta ao ano de 1905, onde se deu a fundação de “A Moderna Sociedade de Serração Mecânica”, a qual veio a originar em 1921 a “Electro-Moderna, Lda.”, dedicando-se à produção de “motores, geradores, transformadores e acessórios elétricos”.

No ano de 1948, deu-se a transição para “EFME – Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, SARL”, originando o nascimento da marca e do projeto Efacec. O capital da empresa estava então distribuído entre a Electro-Moderna, com 20 %, os “ACEC – *Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi*” com 20 %, a CUF – Companhia União Fabril, com 45 %, estando os restantes 15 % distribuídos por outros acionistas.

Após diversas alterações na distribuição de capital, os ACEC passaram a ser os acionistas maioritários, surgindo o nome EFACEC – Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, SARL, em 1962. No final da década, a Efacec torna-se uma das primeiras empresas portuguesas cotadas na Bolsa de Valores de Lisboa.

Já no século XXI, em resposta à crise económica e financeira, a Efacec adotou um novo posicionamento que levou ao redimensionamento da sua estrutura internacional e na simplificação do seu portefólio, passando a designar-se Efacec Power Solutions, SA. (EPS), constituída em 2014 (Efacec, n.d.- a). No final desse ano, a EPS passou a constituir ela própria, um grupo de empresas que reúne todos os meios de produção, tecnologias e competências técnicas e humanas para o desenvolvimento das suas atividades.

Em 2015, a sociedade *Winterfall Industries* adquiriu a maioria do capital da empresa, deixando os anteriores acionistas, Grupos José de Mello e Têxtil Manuel Gonçalves, com uma posição minoritária no capital da empresa e levando à eleição de novos Órgãos Sociais.

Atualmente, o grupo Efacec é uma das maiores empresas elétricas de capitais portugueses, encontrando-se presente a nível internacional em mais de 65 países (Efacec, n.d.- a).

Encontra-se certificada pelas normas ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001, garantindo, desta forma, a satisfação do cliente.

A empresa tem sede num dos polos industriais, no lugar de Arroteia, Leça do Balio, concelho de Matosinhos. Possui mais dois polos em Portugal, situados na Maia e em Oeiras, Lisboa.

O grupo EPS abrange uma vasta rede de filiais, sucursais e agentes espalhados por quatro continentes, como ilustra a Figura 5.

O seu portefólio de atividades inclui:

- Produtos de Energia: Transformadores, Aparelhagem, *Service* e Automação;
- Sistemas: Energia, Ambiente e Indústria e Transportes;
- Mobilidade Elétrica.

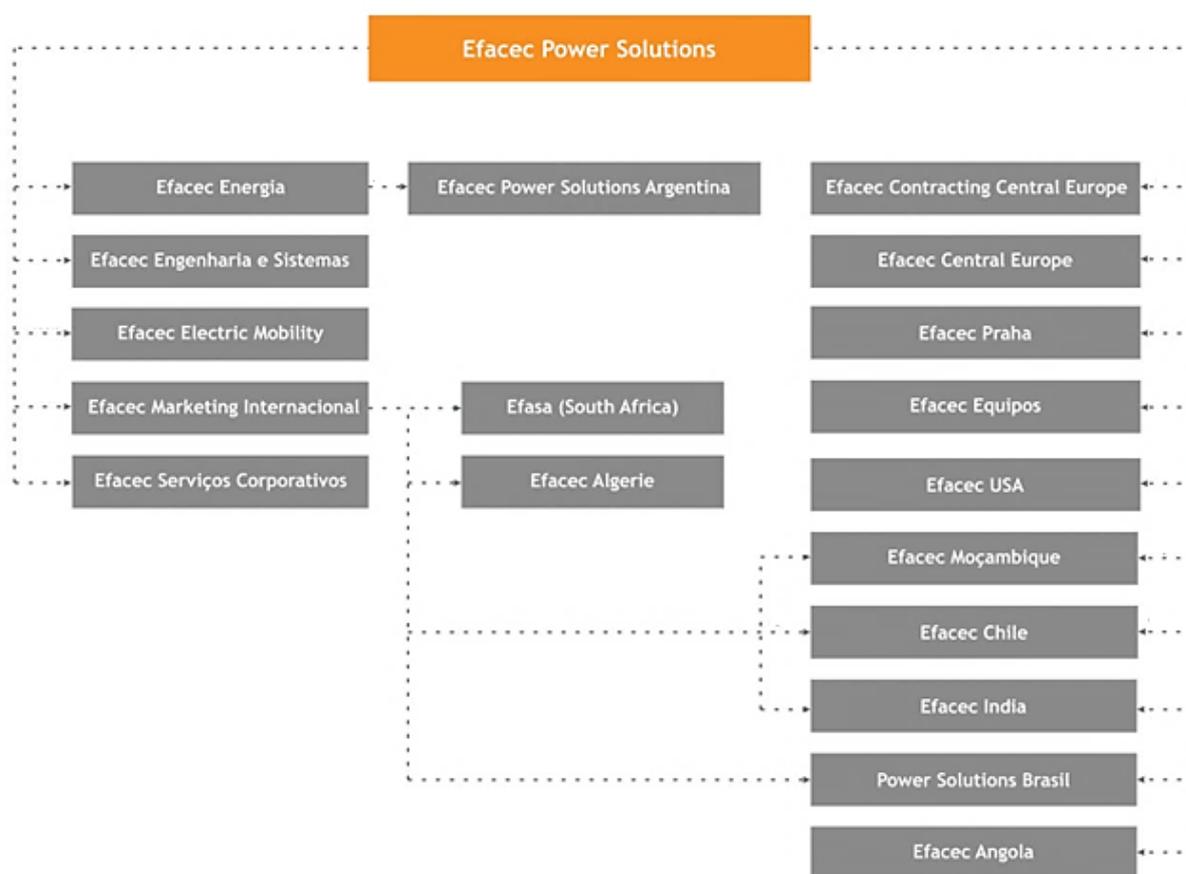


Figura 5. Estrutura societária da Efacec Power Solutions (Efacec, n.d.- a).

Desde a sua criação, a Efacec incorpora elementos ambientais e sociais na sua gestão, tendo iniciado um programa formal de Sustentabilidade em 2004. Nesse mesmo ano, tornou-se membro do BCSD Portugal, subsidiária portuguesa do *Business Council for Sustainable Development* (BCSD), ou, em português, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento

Sustentável, tornando público o seu compromisso para com a Sustentabilidade e garantindo que este é um fator decisivo em todas as suas políticas e estratégias (Efacec, 2018).

Ao longo dos anos, manteve-se a preocupação da empresa para com os impactes ambientais inerentes às suas atividades, pelo que foram implementadas diversas estratégias para a preservação do ambiente, entre as quais se encontra a Economia Circular.

4.1 Economia Circular em produtos Efacec

Em busca da melhoria dos seus desempenhos ambientais, a Efacec esforça-se no desenvolvimento de novos produtos com melhor desempenho ambiental ou destinados a permitir um melhor desempenho ambiental dos clientes e centra-se na redução sistemática dos impactes ambientais resultantes das suas atividades (Efacec, 2018). Isto vai de encontro ao alinhamento da empresa com orientações sociais como a Economia Circular e a Economia de Baixo Carbono

A empresa assumiu um compromisso para com a EC em 2017, criando uma equipa que promove e coordena os esforços da Efacec neste tema.

A Efacec participou num grupo de trabalho Meet 2030, uma iniciativa do BCSD Portugal, que teve como objetivo a identificação de um conjunto de recomendações para o desenvolvimento de uma Economia de Baixo Carbono, em Portugal (Efacec, 2018).

No âmbito da EC, a empresa estabeleceu como um dos objetivos para atingir essa meta que se procedesse a ACV sistemáticas dos seus produtos de modo a verificar, entre outros, os aspetos e impactes que estes causam a nível ambiental. Além disso, pretende-se que, através dos resultados obtidos desse tipo de estudos, se repense cada produto com vista a diminuir esse impacte, através da implementação de possíveis ações de melhoria.

A Efacec tem desenvolvido estudos de ACV em vários dos seus produtos, surgindo assim a oportunidade do estágio curricular no âmbito da EC, que permitiu entre outras aprendizagens a elaboração da presente dissertação. Ao longo do estágio foram realizadas ACV a três produtos, tendo-se iniciado a recolha de dados de um quarto produto que, por término do período de estágio, ficou por concluir.

Nesta dissertação, encontram-se tratadas as ACV de dois dos produtos estudados no âmbito desse projeto de EC: o relé de proteção TPU S430, produzido pela Unidade de Negócio (UN) de

Automação, localizada no polo da Maia; e um transformador de distribuição imerso em óleo mineral (DTIO), produzido pela UN de Transformadores, localizada no polo da Arroteia.

4.1.1 TPU S430

Os relés de proteção, ou em inglês, *Terminal Protection Unit* (TPU), da Efacec incluem as séries 500, 450, 430 e 220, que garantem uma proteção segura, flexível e de confiança em aplicações de transmissão, distribuição e indústria.

A TPU S430 (Figura 6) é um relé de proteção multifuncional que garante uma solução económica para a proteção do sistema de distribuição de energia elétrica, disponibilizando também funções de controlo, medida e registo para uma gestão fácil e segura do sistema (Efacec, n.d.- b).



Figura 6. Relé de proteção TPU S430 (Efacec, n.d.- b).

Este equipamento é um *Intelligent Electronic Device* (IED) que consiste numa plataforma baseada em microprocessador, com processamento digital de todas as funções. Utiliza um processador de 32-bit e um processador digital de sinal de vírgula flutuante, de modo a garantir um elevado desempenho. A tecnologia e componentes utilizados possibilitam a concretização dos requisitos das normas de compatibilidade eletromagnética.

A principal aplicação deste equipamento é a proteção de linhas aéreas ou cabos subterrâneos do sistema energético, em redes de alta ou média tensão, ligadas à terra, de baixa impedância, com neutro isolado ou compensado (Efacec, n.d.- b). Essa proteção é conseguida

através do deslastre de carga e reposição, da localização de defeitos precisa e da verificação de sincronismo opcional.

Outra funcionalidade é a proteção e controlo das baterias de condensadores, podendo também ser utilizado como reserva da proteção diferencial do transformador principal ou outros ativos (Efacec, n.d.- b) e como proteção de tensão de barramento para aplicação de deslastre de cargas/descargas.

Possui ainda funções adicionais de controlo e supervisão que alargam a aplicação do relé, permitindo uma engenharia *plug-and-play* com *templates* de configuração adequados que oferecem opção para personalização de esquemas de proteção e lógica de automação definidas pelo utilizador. A integração na ferramenta *Automation Studio* permite uma configuração, programação e gestão simples tanto em aplicações independentes ou em sistema.

4.1.2 Transformador de Distribuição Imerso em Óleo Mineral

Por motivos técnicos, económicos e de segurança, existe a necessidade de adaptar a tensão às diferentes etapas dos sistemas de geração e distribuição de energia elétrica: produção da energia nas centrais, transporte dessa energia por grandes linhas, e a sua distribuição e consumo. É esta necessidade que justifica o emprego do transformador (Araújo, 2013).

Um transformador consiste em dois ou mais enrolamentos conectados através de um fluxo magnético em comum (Fitzgerald, Kingsley Jr., & Umans, 2003). Se um dos enrolamentos (primário) for ligado a uma fonte de tensão alternada, será produzido um fluxo alternado cuja amplitude dependerá da tensão do primário, da frequência da tensão aplicada e do número de espiras. O fluxo comum estabelece, então, uma ligação com o enrolamento secundário, induzindo neste uma tensão cujo valor depende do número de espiras do secundário, assim como da magnitude do fluxo comum, bem como da frequência.

Este tipo de equipamento funciona segundo a lei de Faraday, que diz que uma corrente elétrica é induzida num circuito se este estiver sob efeito de um campo magnético variável (SEN, 1997). É através do núcleo do transformador que isto é possível, sendo que existem os núcleos de ar, cujos enrolamentos ficam em contacto com a atmosfera, e os núcleos ferromagnéticos. Neste último caso, a ligação torna-se muito mais eficiente (Fitzgerald et al., 2003).

De um modo simplista, um transformador consiste em fios enrolados à volta de cada lado de um núcleo de ferro, formando de um lado a bobina primária e do outro uma secundária (Araújo, 2013). Estabelecendo uma proporção adequada entre o número de espiras do primário e do secundário, várias relações de tensões ou transformações podem ser obtidas (Fitzgerald et al., 2003). Sendo o número de espiras da bobina secundária maior que o da primária, os valores de tensão são maiores e os valores de corrente da bobina secundária são menores que os da primária, traduzindo-se num transformador que eleva a tensão. Por outro lado, se o número de espiras da bobina secundária for menor que o da primária, observam-se menores valores de tensão e maiores de corrente relativamente à bobina primária, o que caracteriza um transformador que baixa a tensão (Araújo, 2013).

No que diz respeito ao número de fases, os transformadores podem ser monofásicos e trifásicos, aumentando a capacidade do equipamento em função do número de fases. Os primeiros dizem respeito a transformadores que operam no máximo em duas fases, enquanto os segundos funcionam em três fases e são aplicados na transformação de tensão e corrente na qual se eleva a tensão e se diminui a corrente, diminuindo as perdas por Efeito de Joule (sobreaquecimento dos enrolamentos) (Araújo, 2013). Um sistema trifásico é geralmente usado para gerar e transmitir energia em massa (SEN, 1997).

Um transformador trifásico pode ser construído de duas formas: pode ser composto por três transformadores monofásicos conectados entre si, como ilustrado na Figura 7-A, ou então construído por um único núcleo, isto é, uma estrutura magnética em comum, como ilustrado na Figura 7-B (SEN, 1997).

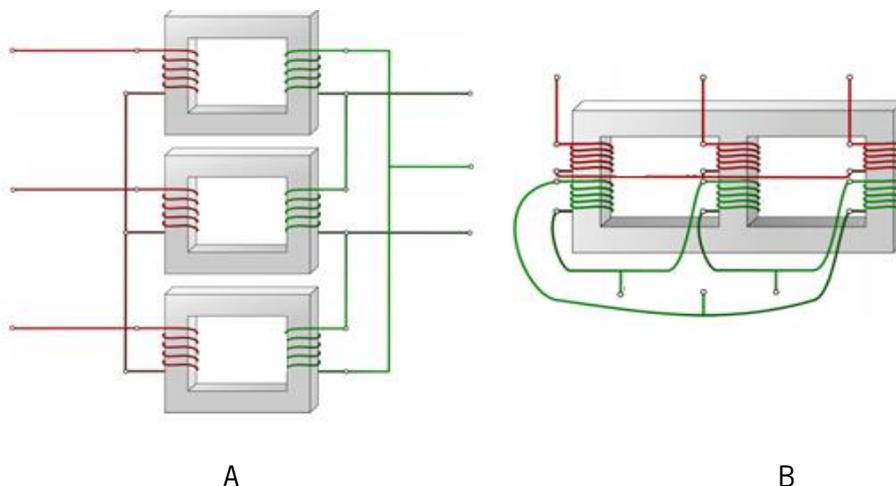


Figura 7. Configuração de um transformador trifásico: três transformadores monofásicos (A) e um único núcleo trifásico (B) (adaptado de Alves, n.d.).

Os transformadores de potência têm como principal função a conversão de potência a um determinado nível de tensão, para uma potência da mesma frequência, mas que apresente uma tensão mais alta ou mais baixa que a original (Araújo, 2013).

Os transformadores de distribuição, por sua vez, representam o último elo de um sistema de distribuição de energia, fornecendo a potência necessária para utilização em edifícios, hospitais, pequenas e médias empresas, entre outros, com um elevado nível de desempenho, fiabilidade, eficiência e com o menor ruído possível (Araújo, 2013).

Atualmente, a Efacec produz três tipos distintos de transformadores de distribuição (Efacec, n.d.- c):

- Transformadores trifásicos de distribuição secos, capsulados em resina, de 250 a 2500 kVA, até 36 kV, comercialmente designados por *Powercast*,
- Transformadores "*Pole Monted*", trifásicos, de distribuição, de 50 a 100 kVA, até 36 kV, herméticos, imersos em óleo mineral e para instalação interior e exterior.
- Transformadores trifásicos de distribuição de 50 a 6300 kVA, até 36 kV, herméticos, imersos em óleo mineral e para instalação interior ou exterior.

No sistema energético, cerca de 2 a 3 % da energia elétrica total gerada é perdida nos transformadores de distribuição (Carlen et al., 2011), sendo importante que se promova uma boa eficiência energética destes equipamentos.

O óleo mineral tem sido utilizado como líquido dielétrico em transformadores de distribuição, nas últimas décadas, sendo considerado um dielétrico de excelência graças às suas propriedades físico-químicas (Carlen et al., 2011). No entanto, é sabido que a sua utilização neste tipo de transformador apresenta inúmeros problemas, quer a nível de segurança, quer a nível ambiental. Desta forma, surgem os transformadores encapsulados em resina, visto estes possuírem menor risco de incêndio, podendo ser utilizados no interior de edifícios.

O transformador considerado para a ACV realizada foi um transformador de distribuição imerso em óleo mineral (Figura 8), trifásico, com um único núcleo ferromagnético (Figura 9).



Figura 8. Transformador de distribuição imerso em óleo mineral produzido pela Efacec (Efacec, n.d.-c).



Figura 9. Fotografia do núcleo trifásico do transformador em estudo.

5. FERRAMENTAS E METODOLOGIAS UTILIZADAS NOS ESTUDOS DE ACV DOS PRODUTOS EFACEC

O assunto atualmente em debate à volta dos estudos de ACV consiste no envolvimento das partes interessadas (*stakeholders*) e na utilização de aspetos de garantia de qualidade, incluindo análises de incerteza (Goedkoop et al., 2013). A nível internacional, o processo de padronização gerou a série das normas ISO 14040. Ao mesmo tempo, a nível nacional, são desenvolvidos vários métodos, procedimentos e *softwares* que auxiliam no desenvolvimento e execução de ACV de diferentes produtos e serviços (Goedkoop et al., 2013). Estes podem ser desenvolvidos por centros de pesquisa, universidades e empresas em todo o mundo (Sfeir, 2013).

A principal vantagem para a utilização destes *softwares* consiste na disponibilização de bases de dados que permitem reduzir em muito o tempo dispensado para a fase de recolha de dados, o que poderia tornar-se um processo demasiado longo, permitindo obter resultados de uma forma mais rápida e, ainda assim, eficaz (Sfeir, 2013).

Não existe um método *standard* a aplicar neste tipo de estudos. O *software* utilizado bem como a metodologia usada na fase de AICV estão dependentes do objetivo e âmbito do estudo (Goedkoop et al., 2013).

A escolha de qual ferramenta utilizar depende de aspetos financeiros, do suporte técnico disponível para a ferramenta bem como a frequência com que esta é atualizada, do tamanho do banco de dados, da possibilidade de edição de dados originais e a inclusão de novos dados, entre outros (Sfeir, 2013).

O *software* mais reconhecido e considerado líder a nível mundial é o SimaPro, desenvolvido pela PRé Consultants, na Holanda. Outros também utilizados mais usualmente são, por exemplo, o GaBi (desenvolvido pela PE International GmbH, na Alemanha), o Umberto (desenvolvido pelo Institute for Environmental Informatics, na Alemanha) e o ECO-it (também este desenvolvido pela PRé Consultants). Apesar de não ser tão conhecido quanto os outros, também o Ecolizer 2.0 (desenvolvido pela OVAM, na Holanda) consiste num *software* utilizado para a realização de ACV.

O openLCA (desenvolvido pela GreenDelta, na Alemanha) é um *software* de ACV, sendo o único que é gratuito. A existência de *freewares*, é benéfico para uma fase inicial deste tipo de estudos, uma vez que, apesar de muitas vezes não possuírem todas as funcionalidades das

ferramentas pagas, conduzem igualmente a resultados aproximados da realidade, o que por si só já permite uma avaliação geral sobre o ciclo de vida do produto em estudo e a tomada de decisões quanto às possíveis oportunidades de melhoria.

No que diz respeito às metodologias de AICV, parte delas converte as emissões de substâncias perigosas e a extração de recursos naturais a indicadores de categoria de impacte no nível intermédio ou *midpoint*, enquanto outras as convertem em indicadores de nível final ou *endpoint* (Goedkoop et al., 2013). Existem também métodos combinados, que procedem a essas duas conversões, como é o caso do método ReCipe, apresentado no ponto 5.3.

Numa fase inicial dos estudos realizados aos produtos da Efacec, apenas se pretendia a utilização de uma adaptação do Ecolizer 2.0, visto a empresa já ter realizado estudos anteriores que comprovaram a sua eficácia. Com o decorrer dos estudos, ponderou-se recorrer a outro tipo de ferramenta, de modo a se poder confirmar os resultados obtidos, visto haver a possibilidade de se estar a induzir erros nos procedimentos de cálculo, dado se estar a utilizar uma adaptação. Assim, avaliou-se a hipótese de utilizar o openLCA tendo-se, no entanto, chegado à conclusão de que essa ferramenta não se adequava aos produtos em estudo. Assim, esta ferramenta não foi utilizada para a ACV dos produtos em estudo nesta dissertação.

De seguida, é realizada uma breve apresentação de ambas as ferramentas, bem como da metodologia ReCipe.

5.1 Ecolizer 2.0

O *software* Ecolizer é uma ferramenta de ACV desenvolvida em 2005, pela OVAM, na Holanda. Destina-se ao uso a nível interno das organizações, para a avaliação do impacte ambiental de produtos, como auxílio na tomada de decisão no desenvolvimento de produtos, não podendo ser utilizado para questões de *marketing* ambiental, ou para provar publicamente que determinado produto é melhor que outro (OVAM, n.d.). Permite a análise dos processos, materiais, componentes e/ou fases do ciclo de vida de um determinado produto que apresentam maior impacte ambiental, além de permitir a comparação entre produtos e entre materiais acerca da sua carga ambiental.

Este método utiliza indicadores ecológicos de materiais e processos, que consistem em critérios de medição do dano ambiental de um determinado material ou processo, sendo que

quanto mais elevado este valor, maior o estrago ambiental. Um ponto de indicador corresponde a um milésimo do impacto ambiental anual total, de uma média europeia. A unidade normalmente utilizada no Ecolizer é o miliponto (mPt), que corresponde a um milionésimo desta carga. Os indicadores padrão encontram-se descritos no site da OVAM, abrangendo um número elevado de materiais e processos produtivos, o que permite que sejam aplicados a vários tipos de indústrias e organizações.

Esses indicadores encontram-se agrupados nas seguintes categorias:

- **Matérias-primas:**

Os indicadores relativos a matérias-primas foram calculados tendo em conta os processos de extração das mesmas, tendo geralmente por base 1 kg de material. Os processos de transporte envolvidos na extração/produção das matérias-primas (até ao último processo da cadeia de produção) foram também incluídos nesse valor.

- **Processos produtivos:**

Foi também calculada a pontuação relativa ao processamento dessas matérias-primas.

- **Processos de fim de vida:**

O descarte dos materiais no fim de vida do produto foi calculado tendo em conta os processos de reciclagem/eliminação utilizados na Europa. O Ecolizer segue a definição que restringe a reciclagem às ações que mantêm os materiais o máximo de tempo possível num ciclo fechado. Nos casos em que a reciclagem não é possível, foram aplicados os indicadores para o processamento de resíduos na Europa. Nos cenários de desperdício, assumiu-se que, na Europa, 80 % dos resíduos são depositados e 20 % incinerados.

- **Energia:**

A pontuação relativa à energia considera os diferentes combustíveis usados na Europa para gerar eletricidade. Foram calculados indicadores para alta tensão (destinados a processos industriais) e para baixa tensão (destinado ao consumo doméstico e industrial de eletricidade). As diferenças relativamente grandes entre os países são originadas pelas diferentes técnicas de produção e combustíveis, bem como o *mix* energético característico de cada um.

- **Transporte:**

Para os processos de transporte, o cálculo baseia-se na carga de emissões causada pela extração e produção de combustível e pela geração de energia combustível durante a condução.

No caso dos transportes por via terrestre, por exemplo, os indicadores vêm pela unidade de tonelada quilómetro (tkm), isto é, massa do produto transportado pela distância efetuada.

Os dados existentes no Ecolizer 2.0 baseiam-se no banco de dados internacional doecoinvent, a base de dados mais extensa a nível de ACV. O cálculo dos indicadores padrão foi conseguido através do programa SimaPro e foi realizado pelo VITO, uma organização europeia, localizada na Bélgica, reconhecida por ser líder em termos de pesquisa e tecnologia independente nas áreas de desenvolvimento sustentável (OVAM, n.d.).

Para proceder ao cálculo dos aspetos ambientais significativos e os impactes ambientais inerentes ao produto/serviço ao longo do seu ciclo de vida, é necessário identificar quais os fluxos de entrada e saída e as respetivas quantidades. Tendo esses dados, basta multiplicar essas quantidades pelos indicadores correspondentes, para obter a carga ambiental, em milipontos.

Tratando-se de um critério meramente indicativo, o valor absoluto de um ponto de indicador não tem significado prático, não sendo possível retirar conclusões acerca da carga ambiental ou qual a categoria de impacte com maior significância no ciclo de vida do produto. É sim a comparação relativa de materiais e processos que permite obter conclusões sobre quais etapas do processo produtivo possuem maior dano ambiental (OVAM, n.d.).

Uma das principais vantagens do Ecolizer 2.0 é a sua simplicidade e o modo intuitivo como são introduzidos os dados, permitindo a obtenção de resultados de uma forma relativamente fácil. Também o facto de possuir uma base de dados consiste num ponto positivo, uma vez permitir reduzir o tempo necessário para a fase de recolha de dados de inventário.

Por outro lado, esta ferramenta não é considerada um método infalível, existindo algumas limitações associadas à heterogeneidade dos mecanismos ambientais, por existirem mecanismos que dependem de condições e parâmetros regionais e esta ferramenta apenas utilizar dados de origem europeia (OVAM, n.d.).

Além disso, no próprio processo de desenvolvimento do *software*, na ausência de dados para todos os processos produtivos e materiais utilizados, esses valores foram obtidos e adicionados à base de dados da ferramenta por recurso a estimativas, fazendo uma aproximação

do indicador em falta ao indicador que mais se assemelhava a este nos dados existentes. Por exemplo, no caso do polietileno plástico, o indicador específico da operação de extrusão por sopro (filme) está disponível. Já no caso do polipropileno plástico, o mesmo não acontece. No entanto, ambos os plásticos são comparáveis, pelo que o indicador para processamento de "extrusão soprando moldagem (filme)" também foi adicionado aos dados do polipropileno.

Pode também acontecer, um material ou operação não ser de todo mencionado, o que significa que nenhum indicador genérico ou uma possível substituição estarão disponíveis. Nessas situações, o utilizador deve analisar se o indicador em falta é significativo no impacte total, ou se há possibilidade de este ser omisso sem que os resultados sejam afetados de modo significativo. No caso de se esperar que este tenha alguma relevância, o melhor será fazer uma estimativa ou, em alternativa, substituir o indicador em falta por um conhecido que se assemelhe a este, visto que os valores dos indicadores dentro do mesmo grupo são, geralmente, da mesma ordem de grandeza. No caso de não ser possível esta aproximação e, caso não se possa omitir o indicador por este possuir significância na totalidade do estudo, coloca-se esse valor no indicador existente com a maior pontuação, assumindo-se o pior cenário.

5.1.1 Adaptação do Ecolizer 2.0 no Microsoft Excel

A Efacec não possui o *software* Ecolizer 2.0, mas sim um ficheiro no Microsoft Excel com a sua adaptação. Essa adaptação foi efetuada na empresa em anos anteriores, aquando da realização de outros estudos de ACV, com recurso aos dados fornecidos pelo manual do Ecolizer 2.0, no qual se encontram referidos todos os indicadores existentes ao longo do ciclo de vida de um produto. Assim, no Excel introduziu-se a lista de indicadores adequado a cada fase do ciclo de vida, procedendo-se aos cálculos necessários para a obtenção da pontuação final por fase do ciclo de vida e por aspeto ambiental considerado em cada fase.

Numa primeira fase dos estudos de ACV tratados nesta dissertação, fez-se uma atualização dos indicadores utilizados, além de se terem introduzido novos passos no processo de cálculo que se consideraram relevantes. Atualmente, a pontuação para cada indicador encontra-se descrita no site da OVAM, de onde se retiraram as informações necessárias para se proceder à atualização da adaptação.

Um dos requisitos da norma NP EN ISO 14044:2010, para a realização de uma ACV, constitui na seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria, bem como modelos de caracterização na fase de AICV. No *software*, estes já se encontram definidos pela utilização do método ReCipe (apresentado no ponto 5.3). No entanto, não foi possível transpor este tipo de cálculo para a adaptação em Excel, pelo que esta fase da ACV não pôde ser cumprida. No entanto, para o cumprimento do objetivo dos estudos, é suficiente a realização de um inventário e da respetiva interpretação, ou seja, a realização de um estudo de ICV, pelo que o Excel utilizado é o suficiente para cumprir os requisitos dos estudos.

5.2 openLCA

O openLCA existe desde 2006 (Di Noi, Ciroth, & Srocka, 2017), encontrando-se atualmente na sua versão 1.7, e foi desenvolvido pela empresa GreenDelta, uma consultora independente de sustentabilidade que desenvolve *softwares* e que foi fundada em 2004, estando localizada em Berlim, Alemanha.

Este programa é o único que é gratuito, não possui custos de licenças e é *open source*, o que significa que pode ser modificado, inspecionado e compartilhado publicamente, pois o seu *design* é acessível ao público.

O openLCA permite aos usuários a realização de vários cálculos de impactos ambientais, nomeadamente a execução da ACV, incluindo a aplicação de alocações, expansões dos sistemas e incertezas de cálculo (Sfeir, 2013). Permite também a realização do cálculo de pegadas ambientais, como a pegada de carbono, bem como declarações ambientais de produto, entre outros.

Aquando da instalação, este *software* não possui qualquer base de dados associada. No entanto, no repositório openLCA Nexus é possível fazer o *download* de várias bases de dados relativos a ACV (umas gratuitas, outras pagas), sendo que podem ser combinadas várias bases de dados, completando as falhas que algumas delas poderão ter. Este repositório combina dados derivados dos melhores fornecedores de dados a nível de ACV como é caso doecoinvent centre (database ecoinvent), PE International (database Gabi) e o Joint Research Centre from the European Commission (database ELCD) (Di Noi et al., 2017).

Para a realização da AICV através desta ferramenta, é possível selecionar diversos métodos de avaliação de impacto, como por exemplo o método CML, o Ecopoint e o ReCipe (o mesmo utilizado no Ecolizer).

O openLCA fornece uma vasta gama de ferramentas para a interpretação dos resultados, permitindo desde elementos básicos de análise até análises mais complexas, pelo que o utilizador consegue extrair as informações que necessita de acordo com o objetivo e âmbito do seu estudo.

Finalmente, a ferramenta permite que sejam criados relatórios de uma forma simples, direta e rápida, demonstrando apenas o que for de interesse para a tomada de decisão.

A principal vantagem desta ferramenta constitui no facto de esta ser gratuita, permitindo às empresas experimentarem a realização de estudos relativos aos impactes ambientais causados pela sua atividade, sem despendem de um grande financiamento.

Outra vantagem é o facto de permitir que a modelagem de um sistema de produto seja realizada tanto na forma de processos unitários, cujos fluxos de entrada e saída são conectados automaticamente a um fluxo intermediário de produto, como na forma de fluxograma, com processos ligados manualmente. Desta forma, o usuário pode optar pelo modo mais adequado para realizar o seu estudo.

Por outro lado, como qualquer outro programa que permita realizar ACV, o openLCA está totalmente dependente de bases de dados existentes, pelo que os seus resultados são fundamentados em valores estatísticos de determinadas empresas e localidades que nem sempre são semelhantes à realidade do projeto em análise.

Uma outra limitação encontrada foi o facto de, por se tratar de um *freeware*, não existir um suporte de ajuda perante as dificuldades encontradas aquando da sua utilização. O site da ferramenta dá acesso, entre outros, a casos de estudo, manuais de utilizador e vídeos com instruções para a utilização da ferramenta. Existe também um fórum comunitário que permite o esclarecimento de dúvidas através da comunicação com outros utilizadores da ferramenta, não havendo, no entanto, certezas da veracidade das informações partilhadas.

Apesar de se ter verificado a facilidade de utilização do programa openLCA e apesar deste possuir algumas vantagens em relação à adaptação do Ecolizer 2.0, concluiu-se que este não é adequado para os produtos Efacec. Isto porque nenhuma das bases de dados gratuitas possui dados acerca de materiais com bastante relevo nos produtos em questão, como é caso, por

exemplo, das PCB e outros componentes eletrônicos. Desta forma, acabou por não se realizar nenhum estudo de ACV com o programa openLCA.

5.3 Metodologia de AICV: ReCipe

As metodologias de AICV podem distinguir-se pelo nível de avaliação do impacto, isto é, são atribuídos níveis de avaliação do impacto a cada método, existindo métodos *midpoint*, *endpoint* e combinados, que utilizam ambas as metodologias (Mendes et al., 2013). Diz-se que os métodos *midpoint* apresentam menor subjetividade, conduzindo a resultados mais fiéis. No entanto, os *endpoint* são mais facilmente compreensíveis por serem direcionados diretamente ao dano causado pelos impactos avaliados (Sfeir, 2013).

Para se perceber a diferença entre os métodos apresentados, é necessário que se compreenda o conceito de mecanismo ambiental. Este consiste no sistema de processos físicos, químicos e biológicos para uma dada categoria de impacto, fazendo corresponder os resultados da AICV aos indicadores de categoria e aos pontos finais de categoria (Mendes et al., 2013). O ponto final de categoria, por sua vez, é o atributo ou o aspecto do ambiente, saúde humana ou recursos que identifica uma questão ambiental merecedora de atenção.

Um requisito claro da norma ISO 14044 é precisamente que os fatores de caracterização sejam baseados em mecanismos ambientais que liguem intervenções humanas a uma série de áreas a proteger (NP EN ISO 14044:2010). Assim sendo, existe um alargado número de mecanismos ambientais que podem ser ligados a intervenções nas áreas que se decidiu proteger. A seleção dos mecanismos mais relevantes é essencial e depende do âmbito do estudo, bem como da região onde a intervenção ocorre (Goedkoop et al., 2013).

Tendo isto, nos métodos *midpoint* a caracterização usa indicadores localizados ao longo do mecanismo ambiental, antes de chegar ao ponto final da categoria, enquanto que nos métodos *endpoint* a caracterização considera todo o mecanismo ambiental, referindo-se a um dano específico relacionado com a área mais ampla de proteção. Os métodos combinados, por outro lado, consideram as vantagens de ambas as abordagens referidas.

Uma das metodologias de AICV utilizada nos estudos de ACV e que está na base do programa Ecolizer 2.0 e está disponível no openLCA, é o método ReCipe 2008.

O método ReCipe é um método combinado (Mendes et al., 2013) que inclui 18 categorias de impacto ambiental, os indicadores *midpoint*, focados em problemas ambientais específicos:

- Alterações climáticas;
- Depleção de ozono estratosférico;
- Acidificação terrestre;
- Eutrofização dos rios;
- Eutrofização marinha;
- Toxicidade humana;
- Formação de ozono troposférico;
- Formação de matéria particulada;
- Ecotoxicidade terrestre;
- Ecotoxicidade dos rios;
- Ecotoxicidade marinha;
- Radiação;
- Ocupação de terra agrícola;
- Ocupação de terra urbana;
- Transformação de terra natural;
- Depleção de água;
- Depleção dos recursos minerais;
- Depleção de combustíveis fósseis.

Os indicadores *midpoint* são posteriormente convertidos a indicadores *endpoint*, representantes da categoria de impacto ambiental (Goedkoop et al., 2013), através de fatores de ponderação que representam a importância relativa de cada categoria de dano:

- Impacto na saúde humana (peso de 400 mPt ou 40 %);
- Impacto nos ecossistemas (peso de 400 mPt ou 40 %);
- Esgotamento de matérias-primas (peso de 200 mPt ou 20 %).

Esta conversão facilita a interpretação dos resultados de ACV, apesar da agregação aumentar a incerteza dos resultados.

A Figura 10 apresenta um exemplo do funcionamento deste método.

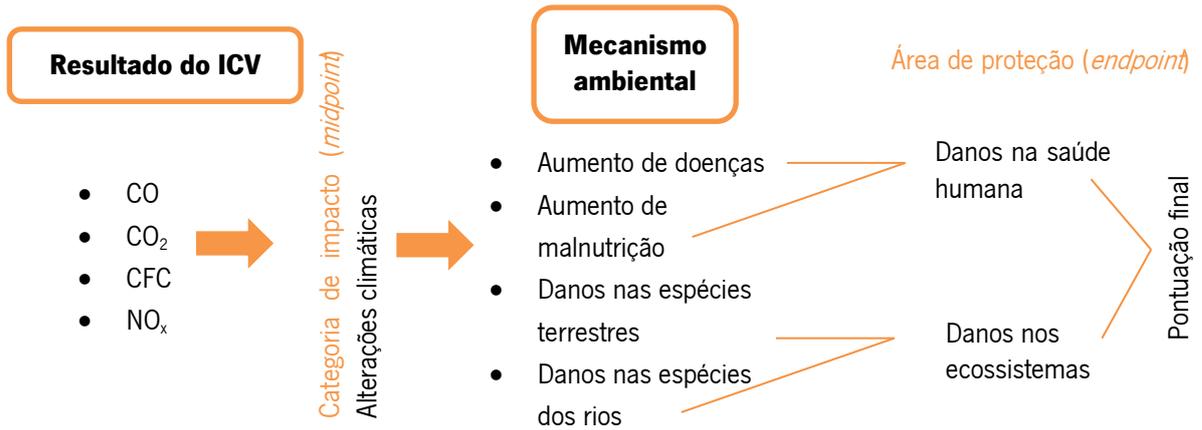


Figura 10. Relação entre os parâmetros do Inventário de Ciclo de Vida (ICV), os indicadores *midpoint* e os indicadores *endpoint*, segundo o método ReCipe.

6. AVALIAÇÕES DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS EFACEC

Antes de apresentar os estudos de ACV propriamente ditos, é importante tomar conhecimento de algumas questões relevantes relativamente aos mesmos, descritas neste capítulo.

6.1 Notas acerca das normas utilizadas

A realização das ACV dos produtos Efacec foi levada a cabo tendo em conta os requisitos definidos nas normas ISO 14040:2006 e NP EN ISO 14044:2010.

Um dos requisitos das referidas normas para a realização de ACV consiste na fase de Avaliação de Impactes de Ciclo de Vida (AICV), através da seleção de categorias de impacte, indicadores de categoria e modelos de caracterização. No entanto, uma vez que se utilizou uma adaptação do Ecolizer 2.0 e não o *software* propriamente dito, não foi possível realizar essa fase. Por este motivo, este ponto da norma não é referido em nenhum dos estudos apresentados. Desta forma, na realidade, os estudos realizados correspondem a estudos de ICV, isto é, a estudos de ACV com a exclusão da fase de AICV. Para os casos de estudo tratados e respetivos objetivos, a realização de um estudo de ICV é o suficiente, pelo que o Excel usado permitiu o cumprimento dos requisitos das normas.

6.2 Considerações para a realização da ACV

Uma vez que a ferramenta utilizada (e respetivas limitações) foi a mesma e os métodos utilizados para a recolha de dados de ambos os estudos foram bastante semelhantes, existem algumas considerações que se mantêm de um estudo para o outro. Essas semelhanças encontram-se de seguida explicitadas, de modo a evitar redundâncias nos capítulos referentes aos estudos.

6.2.1 Tipo de ACV

A ACV realizada (para ambos os equipamentos) foi uma ACV simplificada, pelo que se pretendia a obtenção de uma imagem superficial do ciclo de vida, utilizando dados genéricos relativos a transporte, produção de energia, entre outros.

6.2.2 Fronteira do sistema

Uma vez que foram utilizados os mesmos métodos de recolha de dados para a ACV de ambos os equipamentos a estudar e as limitações encontradas aquando dessa recolha foram comuns aos dois, é natural que as fases do ciclo de vida excluídas dos estudos sejam as mesmas. Desta forma, a fronteira do sistema de produto (Figura 11), é a mesma para os dois estudos.

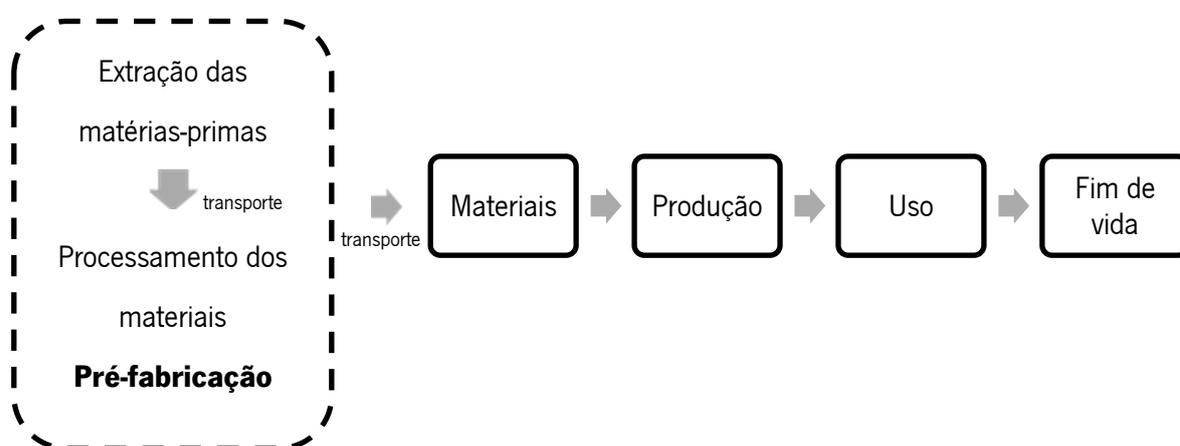


Figura 11. Fronteira do sistema de produto em estudo na ACV de ambos os produtos em estudo (as linhas a tracejado indicam a exclusão da fase do ciclo de vida).

Em ambos os estudos tratados nesta dissertação, não foi possível a recolha de dados relativos a matérias-primas (processos de extração, processamento dos materiais e transporte), uma vez que a obtenção dessa informação implicaria a colaboração de todos os intervenientes na cadeia de valor, o que iria tornar necessário um período de recolha de dados mais prolongado do que o existente para a realização dos estudos. Assim, esta fase do ciclo de vida foi excluída do estudo.

No entanto, o Ecolizer 2.0 utiliza a base de dados ecoinvent, pelo que a pontuação dos indicadores relativos a matérias-primas considera os seguintes aspetos: extração de recursos, uso da terra, emissões associadas e a sua própria utilização, permitindo que se introduzam os dados relativos ao uso de materiais na produção da TPU e do DTIO.

Assim, apenas foram consideradas as fases de produção (na qual se inclui a utilização de materiais), utilização e fim de vida da TPU e do DTIO.

6.2.3 Critérios de inclusão e exclusão de fluxos de entrada e saída

Nos dois casos de estudo em concreto, houve necessidade de alguns fluxos de entrada serem excluídos, visto a sua massa ser pouco relevante na totalidade do peso do equipamento, ou então pelo facto de esses materiais se encontrarem em falta no armazém, impossibilitando a pesagem. No entanto, teve-se em conta a significância dos respetivos indicadores, excluindo apenas fluxos referentes a materiais/processos com um valor de indicador relativamente baixo.

Relativamente aos fluxos de saída, também alguns resíduos gerados na fase de produção foram ocultados por não existir um indicador onde estes se enquadrem na ferramenta utilizada. No entanto, verificou-se que a inserção de dados nesses indicadores não resulta em alterações relevantes no estudo, pelo que essa limitação não é grave.

6.2.4 Limitações dos estudos e recomendações

Após a fase de interpretação de resultados de cada estudo, além de serem retiradas as devidas conclusões, devem ser descritas as limitações encontradas e fazer as devidas recomendações para estudos posteriores.

Uma vez que a ferramenta utilizada nos estudos e os métodos de recolha de dados foram os mesmos, algumas das limitações repetem-se em ambos os casos em análise e, conseqüentemente, também as recomendações são as mesmas. Desta forma, optou-se por se responder a este ponto da norma num capítulo à parte (capítulo 9), após ambos os capítulos relativos à ACV de cada produto.

6.3 Definição de conceitos

Para uma melhor distinção entre os diferentes conceitos abordados ao longo dos estudos de ACV, encontra-se a sua definição abaixo listada:

- **Materiais** – denomina-se por “materiais” os componentes constituintes do produto, necessários para a sua produção (por exemplo, cabos USB, PCB, parafusos, entre outros);
- **Materiais auxiliares** – denomina-se por “materiais auxiliares” aqueles materiais que não são necessários para a construção do equipamento, mas cuja utilização é por vezes necessária (por exemplo, colas e água);
- **Matérias-primas** – denomina-se por “matérias-primas” aqueles constituintes que dão origem aos materiais, isto é, o cobre, o aço, o cartão, entre outros.

6.4 Confidencialidade

Outra nota importante relativa aos estudos de ACV é o facto de, por motivos de confidencialidade, algumas informações serem ocultadas, nomeadamente: fornecedores ou clientes (sendo estes sempre identificados por letras) e listas de materiais.

6.5 Declarações de fim de vida

No âmbito da EC, torna-se importante uma organização tomar medidas no que diz respeito ao fim de vida dos seus produtos, procurando garantir que estes são encaminhados para um destino final adequado assim que terminar a sua vida útil. No entanto, cabe ao cliente proceder à gestão de resíduos dos produtos que adquire, não competindo à organização em questão qualquer tipo de envolvimento aquando do fim de vida dos produtos que produz.

Desta forma, uma atitude que a empresa pode tomar para apelar a uma boa gestão dos resíduos é informar e sensibilizar o cliente para os aspetos ambientais inerentes ao produto adquirido, bem como aconselhar atitudes a ter aquando do seu fim de vida. Uma forma de conseguir transmitir esses conhecimentos de uma forma simples é a emissão de declarações de fim de vida, nas quais conste, entre outros, informação acerca das matérias-primas utilizadas para a conceção de determinado produto e qual o destino que melhor se adequa a cada uma delas, de acordo com a hierarquia de gestão de resíduos.

Assim, terminadas as ACV dos produtos Efacec, procedeu-se à atualização do *template* utilizado para a emissão das declarações de fim de vida.

7. ESTUDO DE ACV DA TPU S430 – ECOLIZER 2.0

No presente capítulo é apresentada a Avaliação do Ciclo de Vida do equipamento TPU S430, produzido pela Efacec.

A pedido da UN responsável pelo produto (Automação), para este equipamento foram realizados estudos de ACV tendo em consideração clientes de todos os continentes, de modo a abranger todas as possibilidades, a nível mundial. Assim, foram realizados estudos para Portugal, Roménia, Brasil, Chile, Barém, EUA e Argélia.

No entanto, no caso dos países não europeus, não foram fornecidas informações acerca da localização exata do cliente, tendo-se considerado o centro da capital de cada país e a utilização dos portos e aeroportos mais conhecidos. Além disso, uma vez que o Ecolizer 2.0 apenas possui dados para a Europa, não foi possível retirar as conclusões desejadas para todos os países.

Por esse motivo, nesta dissertação apenas se apresentam as ACV para o caso de Portugal e da Roménia, para as quais foi possível obter dados mais precisos e reais.

7.1 Definição do objetivo

O presente estudo visa a utilização dos princípios da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida para a obtenção de informação acerca da performance ambiental do produto TPU S430.

Pretende-se verificar qual a fase do ciclo de vida geradora de mais impactes ambientais, além de quantificar e avaliar os aspetos ambientais associados a cada fase de modo a se perceber quais os mais significativos. Procura-se, através dessa quantificação, a identificação de oportunidades de melhoria do desempenho ambiental do produto.

O público-alvo a que se destina o estudo é a própria Efacec, tendo em vista a elaboração de estratégias que visem a redução do dano ambiental causado ao longo do ciclo de vida deste produto.

7.2 Definição do âmbito

De seguida são apresentados os aspetos relevantes para o âmbito do estudo de ACV da TPU S430.

7.2.1 Sistema de produto

O sistema de produto a estudar inclui as fases de produção, utilização e fim de vida de uma TPU S430.

7.2.2 Funções do sistema de produto

A TPU S430 é um relé de proteção cuja principal função é a proteção de linhas aéreas ou cabos subterrâneos do sistema energético, em redes de alta ou média tensão, com neutro ligado à terra, de baixa impedância, isolado ou compensado. Pode também ser utilizada em aplicações do transformador (como reserva da proteção diferencial do transformador principal), podendo ser igualmente utilizada como proteção em aplicações mais complexas.

7.2.3 Unidade funcional

A unidade funcional a considerar é uma TPU S430, de 32 bit e 372 MHz, dual core, com processamento de sinal digital integrado, em funcionamento 24 h/dia, por um período de vida útil de aproximadamente 20 anos.

7.2.4 Tipos de dados e requisitos de qualidade dos dados

Atentando à fronteira do sistema (apresentada no capítulo 6), para cada processo unitário, existem dois grandes grupos de dados a serem classificados: as entradas e as saídas. Assim, como ponto de partida da avaliação, é essencial que se estude o sistema de produto e as respetivas etapas unitárias, de modo a verificar esses fluxos.

Tendo isto, na Tabela I encontram-se descritos os dados considerados e excluídos de cada fase do ciclo de vida incluído na fronteira da ACV da TPU.

Além dos fluxos de entrada e saída, são ainda necessárias algumas informações para o cálculo de dados na fase de inventário, tais como: o número total de equipamentos produzidos na unidade de produção, no ano de referência; o tempo de vida útil a considerar para o equipamento em estudo, bem como o número de horas de funcionamento por dia e a potência do mesmo.

Todos os dados recolhidos dizem respeito ao ano de 2017 e foram obtidos através de diversas fontes, nomeadamente: colaboradores da unidade produtiva, gestores de armazém e outros atores da UN, além de documentos e manuais do produto.

Tabela I. Entradas e saídas consideradas e excluídas em cada fase do ciclo de vida na fronteira da TPU S430

Fase do ciclo de vida		Entradas	Saídas
Produção	Incluído	Utilização de materiais; Consumo de energia.	Transporte e tratamento de resíduos.
	Excluído	-	-
Utilização	Incluído	Transporte do produto; Energia consumida pelo equipamento; Transporte relacionado com a manutenção preventiva e corretiva.	Transporte e tratamento de resíduos do embalamento.
	Excluído	Consumo de materiais na instalação e manutenção.	Resíduos e emissões na instalação e manutenção.
Fim de vida	Incluído	Transporte e tratamento de resíduos.	-
	Excluído	-	-

7.3 Inventário do Ciclo de Vida

A fronteira do sistema inclui a produção, utilização e o fim de vida da TPU S430, pelo que devem ser recolhidos e/ou calculados os dados necessários relativamente a cada uma destas fases, a fim de tornar possível a realização da ACV.

Os processos existentes ao longo do ciclo de vida da TPU encontram-se representados no esquema da Figura 12 e a sua descrição está presente nos pontos 7.3.1 a 7.3.5.

Uma vez que a maioria dos dados recolhidos diz respeito à totalidade de equipamentos produzidos e o estudo refere-se apenas a uma unidade funcional, é importante que se saiba qual o número total de equipamentos produzidos na unidade produtiva, no ano de referência (2017). Esse valor foi fornecido pela UN e consiste num total de 2731 equipamentos, sendo que apenas 658 são referentes à série 430.

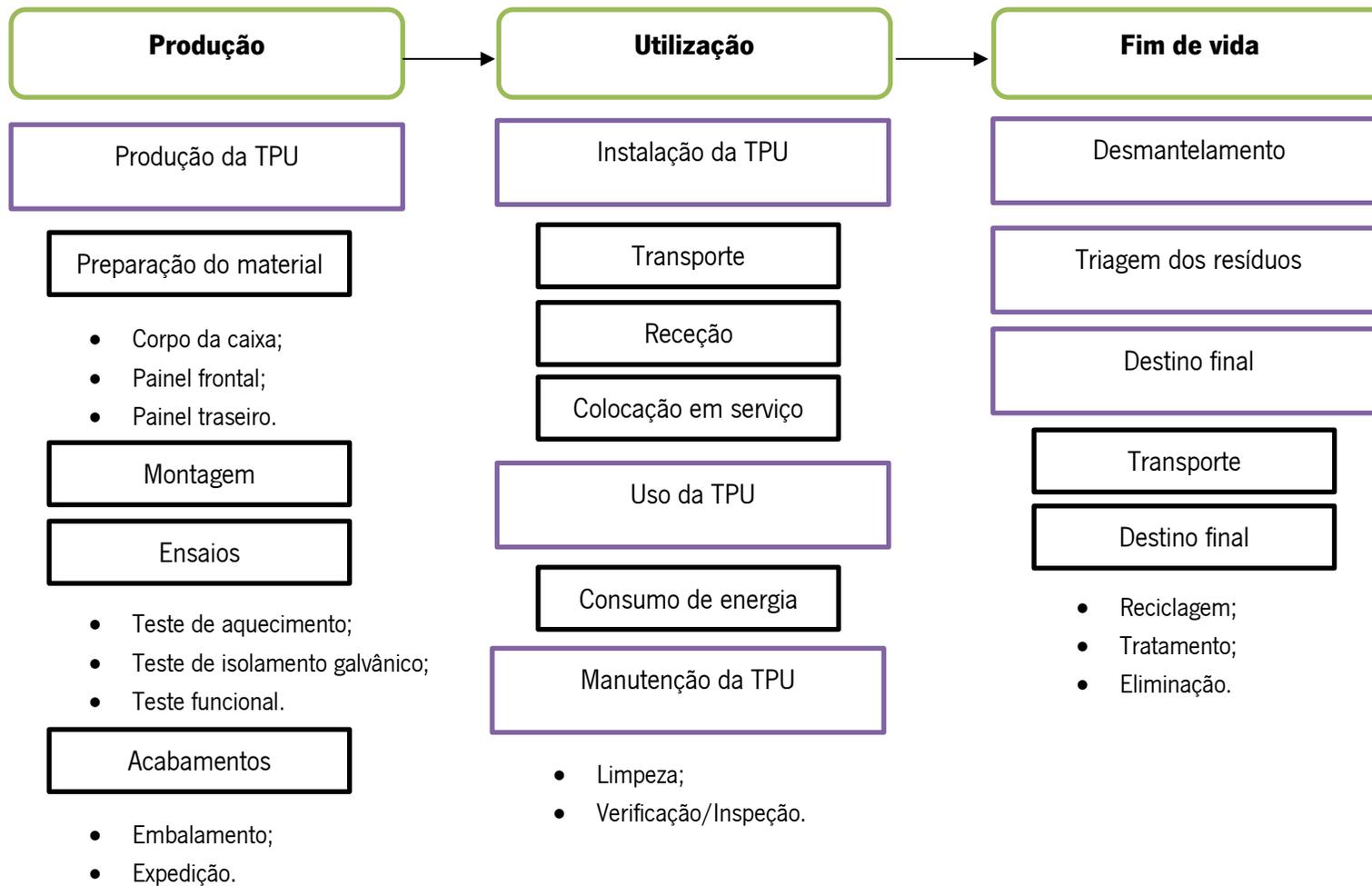


Figura 12. Árvore de processos de uma TPU S430, produzida pela Efacec.

7.3.1 Processo produtivo

Numa fase inicial do estudo, foram realizadas visitas ao local de produção do equipamento, doravante designado por PR, de modo a se poder observar quais as etapas do processo de produção.

Através de um manual cedido pelos colaboradores responsáveis pela produção, cujo conteúdo consiste na composição e montagem de uma TPU da série 430, foi possível obter informações mais detalhadas acerca do que acontece em cada etapa unitária, que materiais constituintes e materiais auxiliares são utilizados em cada etapa, bem como as diferentes possibilidades de constituição e montagem que estão disponíveis para este equipamento. Apesar dessas informações terem sido essenciais para a realização do estudo, por motivo de confidencialidade, estas não serão divulgadas.

Com as informações obtidas aquando das visitas e com o auxílio desse manual, foi possível a elaboração de um fluxograma do processo produtivo, representado na Figura 13.

Foi possível observar que todo o processo de preparação e montagem da TPU S430 é mecânico, não havendo utilização de colas ou outros materiais auxiliares para a fixação dos diferentes componentes, recorrendo-se a materiais como anilhas, porcas, parafusos, entre outros, para esse efeito. Desta forma, na fase de produção do relé não se verifica a utilização de materiais auxiliares (além dos materiais constituintes).

Ao longo do processo de preparação e montagem, o equipamento vai passando por diversos ensaios ou testes de modo a que se possa verificar, até então, se este se encontra funcional, de acordo com os requisitos, retornando depois ao processo de montagem caso se verifique a conformidade.

Antes da colocação da tampa traseira são realizados testes para confirmar se o equipamento está a funcionar adequadamente e se os constituintes estão colocados no local correto. Para a realização deste teste, apenas se utiliza o computador, a mala de teste e fontes de adaptação, havendo consumo de energia elétrica;

Depois da colocação da tampa traseira, são realizados três testes: teste de aquecimento, no qual o equipamento é levado a uma estufa à temperatura de 50 °C; teste de isolamento galvânico; e teste funcional, que consiste em voltar a fazer o teste de aquecimento, antes de enviar o produto para o embalamento.

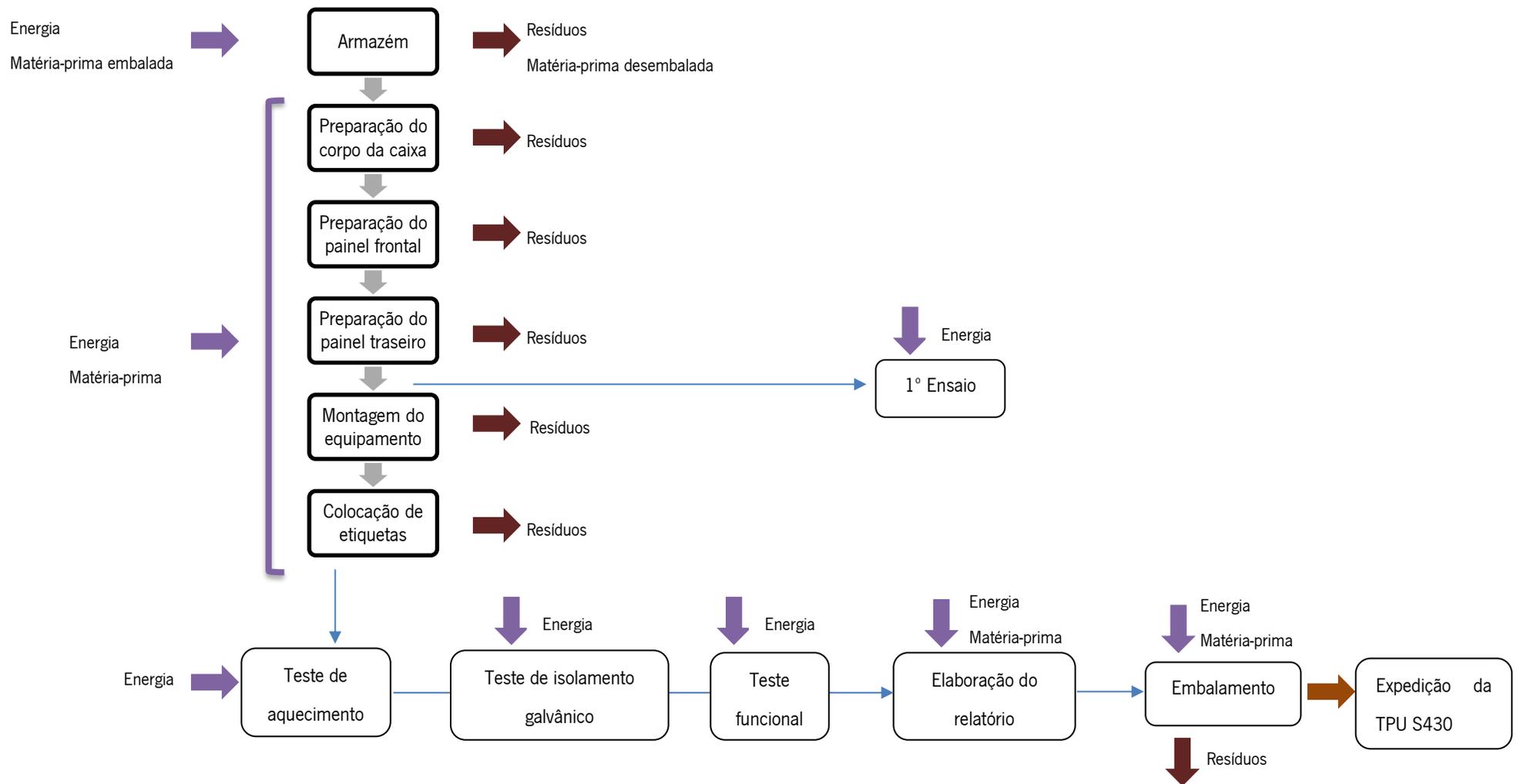


Figura 13. Fluxograma do processo de produção de uma TPU S430, produzida pela Efacec.

Também as Placas de Circuito Impresso, ou, em inglês, as *Printed Circuit Board* (PCB) são verificadas visualmente e, caso necessário, são realizadas pequenas soldaduras para proceder a eventuais correções necessárias.

7.3.2 Recolha de dados: Produção

Na fase de produção, a recolha e cálculo de dados deve ter em conta os materiais utilizados, os resíduos gerados e o consumo de energia elétrica na produção de uma unidade funcional.

➤ **Materiais**

Obtido o fluxograma do processo produtivo, recorreu-se a uma *Bill of Materials* (BoM), cedida pelo gestor de armazém do PR, de modo a fazer a recolha de dados no que concerne aos materiais constituintes utilizados.

É importante salientar que a configuração de uma TPU S430 varia consoante os requisitos do consumidor, pelo que o tipo e quantidade de materiais utilizados na sua produção também varia. Essas diferenças podem consistir, por exemplo, no tipo e número de PCB utilizadas e a sua posição no equipamento.

Para a realização da ACV da TPU S430, optou-se por se considerar como unidade funcional um exemplar com a configuração máxima, considerando o pior cenário a nível ambiental, tendo sido escolhida uma BoM com essa configuração como ponto de partida da avaliação.

Visto a quantidade de materiais se encontrar referida por unidade, foi necessário proceder à pesagem de cada um deles, de modo a possibilitar a introdução dos dados na ferramenta utilizada, cujos indicadores relativos a matérias-primas e auxiliares são calculados por unidade de massa. Além disso, visto os materiais estarem listados pela designação que a Efacec lhes concede, foi necessária a ajuda de alguns colaboradores para obter informação acerca da origem dos materiais, isto é, por que matérias-primas estes são constituídos.

No entanto, nem todos os materiais presentes na BoM foram considerados no estudo, ora porque a sua massa se verificou ser muito reduzida na totalidade da massa do produto, ora porque a falta desses materiais em armazém impossibilitou a pesagem.

Na Tabela II encontram-se descritas as matérias-primas utilizadas na produção de uma TPU S430 e respetiva massa, bem como os milipontos que cada matéria-prima obteve na

adaptação do Ecolizer em Excel (de modo a se conhecer a contribuição de cada matéria-prima para o impacte total do produto).

Tabela II. Matérias-primas utilizadas na construção de uma TPU S430, respetivas massas (*m*) e milipontos obtidos

Matéria-prima	<i>m</i> / kg	Milipontos
Aço inoxidável	3,3718	3810,1
Cobre (44 % secundário)	0,0576	198,69
Latão	0,0063	16,682
Estanho	0,0009	57,301
Poliamida 6 (PA)	0,0006	0,4428
Poliuretano (PUR)	0,0921	44,116
Polycarbonato (PC)	0,3991	261,01
Polietileno (PE)	0,0071	1,9596
Policloreto de vinila (PVC)	0,6126	132,94
Fibras de vidro	0,0025	0,6825
Papel	0,0040	1,2680
Cartão	0,7963	118,65
Bateria de Lítio	0,0008	1,5128
<i>Printed Circuit Board</i> (PCB)	2,5500	133130
Total	7,9017	137776

No entanto, é necessário ter em conta que a Efacec apenas procede à montagem da TPU, não sendo responsável pela produção de nenhum dos materiais utilizados, que são obtidos através de fornecedores.

Devido a esse facto, houve algumas limitações no que diz respeito a informações acerca da constituição físico-química de cada material (matérias-primas constituintes). Além disso, no caso dos materiais constituídos por mais que uma matéria-prima, não há valores acerca da percentagem de cada uma delas.

A solução encontrada passou por colocar a massa medida para esse material no indicador referente a ambas as matérias-primas, assumindo assim o pior cenário. Por exemplo, os cabos de cobre utilizados consistem em fios de cobre revestidos a PVC. Não sendo possível saber que percentagem da massa total dos cabos corresponde a PVC e qual corresponde a cobre, foi

colocada a massa total obtida na pesagem dos cabos tanto no indicador do cobre como no indicador do PVC.

Sabendo-se que desta forma se estava a assumir algo que se sabe não ser verídico, optou-se por requerer aos fornecedores dos materiais utilizados na TPU S430 o preenchimento de um "raw material passport", de modo a se poder fazer um levantamento de dados mais eficaz no que concerne aos processos de produção de cada material, às matérias-primas utilizadas e a sua percentagem, bem como informação relativa à quantidade de materiais reciclados no fabrico dos materiais e qual a reciclabilidade dos materiais aquando do seu fim de vida. No entanto, também este procedimento veio a ser uma limitação visto que, de um total de 26 fornecedores, apenas 4 responderam ao e-mail enviado, mesmo após várias tentativas. Além disso, apenas 1 dos fornecedores que respondeu ao email preencheu de facto o documento solicitado, sendo que os restantes afirmaram tal não lhes ser possível, visto também eles não terem essa informação por se tratarem de distribuidores e não produtores. Uma vez que cada material e cada lote dos distribuidores poder ser oriundo de diversos fornecedores, seria extremamente difícil conhecer a origem de cada material, pois estão envolvidas diversas cadeias de valor neste processo.

➤ **Resíduos gerados**

Além dos materiais utilizados na produção do equipamento, foram também inventariados os tipos e quantidades de resíduos gerados nesta etapa do ciclo de vida. A engenheira responsável pelo ambiente da Efacec disponibilizou um ficheiro em Excel com o registo de todos os resíduos gerados no polo da Maia em 2017 e estimou qual a percentagem de cada tipo de resíduo que seria advinda do PR. Além disso, dado que essa estimativa diz respeito à totalidade de resíduos gerados na unidade produtiva, houve necessidade de dividir a massa de cada tipo de resíduo por 2731, de modo a obter os resultados por unidade funcional. Posto isto, obtiveram-se os resultados descritos na Tabela III.

Os resíduos de substâncias perigosas e os absorventes e materiais filtrantes foram excluídos do estudo, uma vez que houve dificuldade em encontrar um indicador na ferramenta onde estes pudessem ser inseridos. No entanto, verificou-se que a alteração da massa de resíduos gerados não provoca alterações relevantes nos resultados da avaliação.

Tabela III. Tipo e massa (*m*) de resíduos gerados na unidade produtiva da TPU S430, aquando da produção de uma unidade funcional

Tipo de resíduos	<i>m</i> / kg
Metais ferrosos	5,231
Plásticos	0,088
Cartão	3,628
Madeira	3,129
Componentes elétricos e eletrónicos	2,200
Solventes	0,019
Resíduos de remoção de tintas e vernizes	0,036
Resíduos Urbanos	0,535
Total	14,86

O transporte desses resíduos é efetuado por camião e estimou-se que a distância percorrida desde o polo da Maia da Efacec até ao centro de tratamento de resíduos que lhe presta serviços é de 16 km.

➤ **Energia**

Quanto ao consumo de energia verificado na unidade produtiva em 2017, recorreu-se a um ficheiro em Excel no qual constam os valores retirados de todos os contadores existentes no polo da Maia. No entanto, esse ficheiro apenas continha a informação do consumo de energia para 6 meses, pelo que se optou por considerar o dobro desse valor, de modo a obter o valor de consumo anual, o que resultou num total de 158926 kWh. Novamente, dividindo a energia consumida pelo número total de equipamentos produzidos (2731), obteve-se a energia utilizada para a produção de uma unidade funcional: 58,19 kWh.

7.3.3 Recolha de dados: utilização

A recolha e cálculo de dados na fase de utilização deve ter em conta o transporte do produto desde a Efacec até ao cliente, o seu desembalamento, instalação e manutenções realizadas, bem como o consumo de energia do produto ao longo do seu tempo de vida útil.

➤ **Transporte e desembalamento do produto**

A TPU S430 é vendida nacional e internacionalmente pelo que, na fase de utilização do produto, se considerou ambos os casos, tendo-se solicitado à UN Automação informações acerca de um cliente tipo para cada situação. Assim, considerou-se um cliente nacional, a empresa A, em Faro e um internacional, a empresa B, na Roménia, dos quais há conhecimento acerca da sua localização exata.

Em ambos os casos, o transporte é efetuado por camião e a distância percorrida para a entrega do produto é de 550 km (cliente A) e 3775 km (cliente B).

O desembalamento do produto, por sua vez, inclui o transporte e tratamento do cartão utilizado no embalamento. Este tem uma massa de aproximadamente 0,80 kg e é transportado por camião. Considerou-se que a distância percorrida desde o cliente A até ao centro de tratamento de resíduos é de 13 km para o caso do cliente nacional, e de 9,1 km para o caso do cliente internacional. No entanto, estes valores são estimados, uma vez que não foi questionado aos clientes quais os centros de tratamento de resíduos que lhes prestam serviços, tendo-se optado por considerar aquele que se encontra mais próximo do cliente.

➤ **Energia**

A energia consumida pela TPU ao longo da sua vida útil está relacionada com a sua potência, sendo que esta pode variar consoante a configuração pedida pelo cliente. No entanto, para o presente estudo considerou-se a potência correspondente à pior configuração possível em termos ambientais, o que corresponde a 0,02 kW.

Quanto à vida útil do equipamento, foi indicado pela UN um valor de 20 anos.

Tendo esses dados e sabendo que o equipamento funciona 24 horas/dia, foi também possível calcular o consumo de energia pelo equipamento em toda a sua vida útil, que se verificou ser de 3504 kWh.

➤ **Manutenção**

No que diz respeito à manutenção deste equipamento, podem ser realizados dois tipos de manutenção, a preventiva e a corretiva.

Quanto às manutenções preventivas, estas são, de uma forma geral, realizadas anualmente (salvo exceções em que os clientes exijam uma diferente periodicidade), tendo a duração de aproximadamente 3 dias. Tratando-se de um cliente nacional, uma equipa local realiza a

manutenção, utilizando o carro como meio de transporte. O mesmo acontece num cliente externo com a diferença de que, por vezes, o cliente solicita a deslocação dos responsáveis pelo equipamento, o que pode exigir deslocação por avião.

Neste tipo de manutenção, procede-se à limpeza dos armários onde os equipamentos se encontram inseridos, recorrendo-se a panos de limpeza, aspiradores e detergentes. Dado que os materiais consumidos, bem como os fluxos de saída deste tipo de manutenção são muito reduzidos, optou-se por se descartar esses fluxos.

Assim, considerou-se apenas o transporte da equipa técnica, admitindo que é efetuado o transporte de 5 pessoas, num veículo a diesel, três vezes por ano, ao longo da vida útil do produto.

Relativamente às manutenções corretivas, estas são geralmente efetuadas à distância, através de suporte por chamada telefónica ou videochamada. No entanto, por vezes há necessidade de o cliente enviar (por camião ou avião) o componente danificado ou então o equipamento completo para ser corrigido no PR e ser posteriormente enviado, já com a manutenção realizada. Nestes casos, é enviado um substituto do componente/equipamento para que se assegure o funcionamento pretendido para o cliente enquanto se procede à manutenção. Em alguns casos, compensa em termos económicos enviar um novo equipamento em vez de proceder à manutenção do equipamento danificado, sendo o equipamento danificado enviado para destino final.

A manutenção corretiva pode ser necessária por muitos e diferentes motivos, uma vez que qualquer um dos muitos componentes da TPU pode falhar. Além disso, dado que a TPU S430 é um produto relativamente recente, ainda não há um histórico relativamente a este assunto.

No entanto, existe um estudo de *Reliability, Availability, Maintainability and Safety* (RAMS) realizado pela Efacec para este equipamento, que pode auxiliar neste tipo de informações. Um estudo RAMS consiste na análise de todos os componentes constituintes de um produto, procurando-se saber, entre outros: qual a probabilidade de falha de cada um deles, qual a falha, qual o tempo médio que decorre entre falhas, quanto tempo demora a correção e qual o tipo de correção necessária.

Analisando esse estudo, foi possível verificar que, dentro do período de vida útil considerado para o equipamento, há apenas um componente com probabilidade de falha, uma das PCB. Admitiu-se, então, que o processo de manutenção consiste na reparação desse componente e

envio de substituto. Tendo isto, os aspetos considerados foram o uso de materiais (correspondente à PCB) e os transportes realizados (duas viagens) desde a Efacec até ao cliente, considerando novamente a distância de 550 km, efetuada por camião.

7.3.4 Recolha de dados: fim de vida

Na fase de fim de vida, por sua vez, foram considerados como resíduos todos os materiais que entraram na fase de produção, visto que todos eles terão um fim aquando do fim de vida do equipamento.

Foi considerado o transporte desses resíduos por camião desde o cliente até ao respetivo centro de tratamento de resíduos (admitindo novamente o centro mais próximo do cliente: 13 km para o cliente nacional e 9,1 km para o internacional).

7.3.5 Identificação de aspetos ambientais

Conhecido o processo de produção da TPU S430 e concluída a fase de recolha de dados, foi então possível identificar os aspetos ambientais presentes em cada fase do ciclo de vida:

➤ **Produção**

- Consumo de materiais: em todas as etapas do processo produtivo, são utilizados os materiais constituintes do produto;
- Consumo de energia: é consumida energia elétrica aquando de todo o processo de produção do equipamento, quer a nível da iluminação do espaço do trabalho, ou aparelhos de ar condicionado, como na utilização dos equipamentos necessários para os ensaios elétricos (por exemplo, a estufa);
- Produção de resíduos: são gerados resíduos em todas as etapas da produção de uma TPU, derivado das embalagens envolventes dos materiais, resíduos de materiais danificados, entre outros.

➤ **Utilização**

- Consumo de energia: o equipamento consome energia elétrica para o seu funcionamento ao longo da sua vida útil;
- Produção de resíduos: são gerados resíduos advindos do desembalamento do produto e das manutenções efetuadas.

➤ **Fim de vida**

- Produção de resíduos: aquando do fim de vida, o equipamento é desmantelado e os componentes enviados para destino final.

7.4 Interpretação de resultados

Sabendo quais os aspetos ambientais a considerar e através dos resultados da fase do ICV, procedeu-se à introdução dos dados no Excel com a adaptação do Ecolizer 2.0, tendo em conta os respetivos indicadores e obtendo-se, desta forma, a pontuação (em milipontos) de cada fluxo de entrada e saída, isto é, a sua contribuição para o impacte total gerado pelo equipamento.

A lista de indicadores que foi necessário utilizar para este caso de estudo encontra-se no Anexo I.

7.4.1 Identificação de aspetos ambientais significativos

Introduzidos os dados no Excel, obtiveram-se os resultados de seguida interpretados.

Visto que a ACV foi realizada para dois casos distintos, cliente nacional (A) e cliente internacional (B), existem dois conjuntos de resultados a serem analisados.

No caso do cliente A, verificou-se que a pontuação final do equipamento consiste num total de aproximadamente 5,00E+05 mPt, enquanto que no caso do cliente B a pontuação foi de aproximadamente 4,44E+05 mPt, ou seja, relativamente mais baixa. Para compreender a razão deste acontecimento, é necessário proceder à análise dos resultados obtidos.

Consistia num dos objetivos para esta ACV o conhecimento acerca de qual a fase do ciclo de vida da qual decorrem mais impactes ambientais. Nos gráficos das figuras 14 e 15, encontra-

se distribuída a pontuação total (e consequentemente o dano ambiental causado) do equipamento por cada fase do ciclo de vida, para o caso dos clientes A e B, respetivamente.

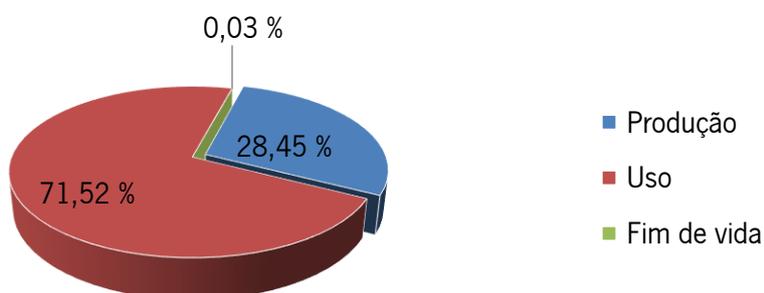


Figura 14. Distribuição da pontuação (e consequente dano ambiental) da TPU S430 por fase do ciclo de vida, para o caso do cliente nacional (empresa A, em Faro, Portugal).

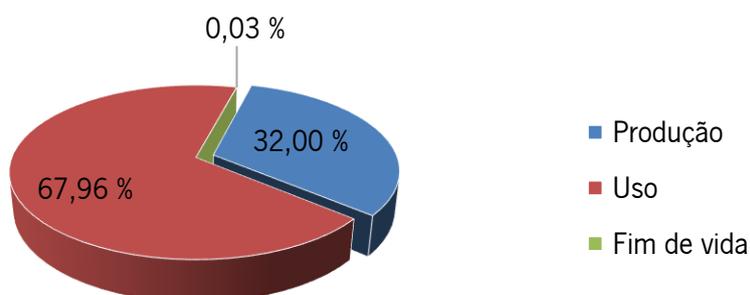


Figura 15. Distribuição da pontuação (e consequente dano ambiental) da TPU S430 por fase do ciclo de vida, para o caso do cliente internacional (empresa B, na Roménia).

Pela observação dos gráficos das figuras 14 e 15, é possível concluir que, para o tempo de vida útil considerado (20 anos), a fase com maior pontuação, logo com maior impacte ambiental, no ciclo de vida da TPU S430 é a fase de uso no caso de ambos os clientes. Constatou-se, igualmente, que os impactes gerados no fim de vida do produto ocupam, em ambos os casos, uma percentagem muito reduzida na totalidade do impacte ambiental do equipamento. O estudo de Liimatainen (2012), referente a um produto equiparável à TPU S430, produzido por outra empresa, corrobora estes resultados. Nesse estudo foram consideradas determinadas categorias de impacte ambiental e, em todas elas, a fase de uso obteve a maior pontuação.

Verifica-se, por outro lado, que a percentagem de impactes gerados na fase de utilização diminui no caso do cliente B, aumentando consequentemente a percentagem da fase de produção,

sendo esta a principal diferença entre os dois casos de estudo. Daqui se conclui que ocorrem diferenças nos resultados, derivadas da localização do cliente.

Apesar de a distância percorrida até ao cliente B ser maior que a percorrida até ao cliente A, o dano ambiental causado pelo equipamento quando produzido para o cliente B é menor. Isto é justificado pelo facto de cada país possuir um *mix* energético característico, além de que os processos que utilizam para a produção de energia elétrica podem ser mais ou menos poluentes. Desta forma, a pontuação do indicador utilizado para o caso da utilização na Roménia é menor do que a pontuação do indicador para o caso de Portugal (como se pode verificar pela análise do Anexo I), conduzindo a diferenças a nível dos resultados obtidos para o mesmo equipamento.

No entanto, neste caso em específico, é necessário ter em consideração que na base de dados do Ecolizer não existe indicador para consumo de eletricidade na Roménia, pelo que se optou por considerar o valor existente para a média na Europa. O valor real para a Roménia pode ser maior ou menor que esse valor. Por conseguinte, os resultados obtidos, podem não corresponder à realidade. Outro método possível seria, conhecendo o desempenho de cada país a nível energético e, conseqüentemente, sabendo qual possui um “melhor” *mix energético*, escolher o indicador imediatamente acima ou abaixo do indicador conhecido para Portugal. Desta forma, haveria uma comparação entre os países mais aproximada da realidade, diminuindo a incerteza dos resultados. Contudo, a interpretação dos resultados será realizada assumindo o valor para a Europa.

Concluído o estudo, foram feitas algumas variações nos dados introduzidos, de modo a que se percebesse quais os fatores que mais influenciam os resultados e aqueles cuja alteração não conduz a diferenças relevantes nas conclusões do estudo. Através dessa experiência, foi possível constatar que, além da localização do cliente, também o tempo de vida útil do produto é um fator com alguma importância, sendo que a alteração do número de anos de funcionamento do equipamento pode reduzir/aumentar significativamente a pontuação final da fase de utilização.

Sabendo qual a fase do ciclo de vida responsável pela geração de mais impactes ambientais, foi então necessário analisar quais os aspetos ambientais com maior contribuição para que tal aconteça.

O gráfico da Figura 16 representa, para o cliente nacional, a distribuição da pontuação total do equipamento pelos aspetos ambientais identificados e considerados em todo o ciclo de vida da TPU S430.

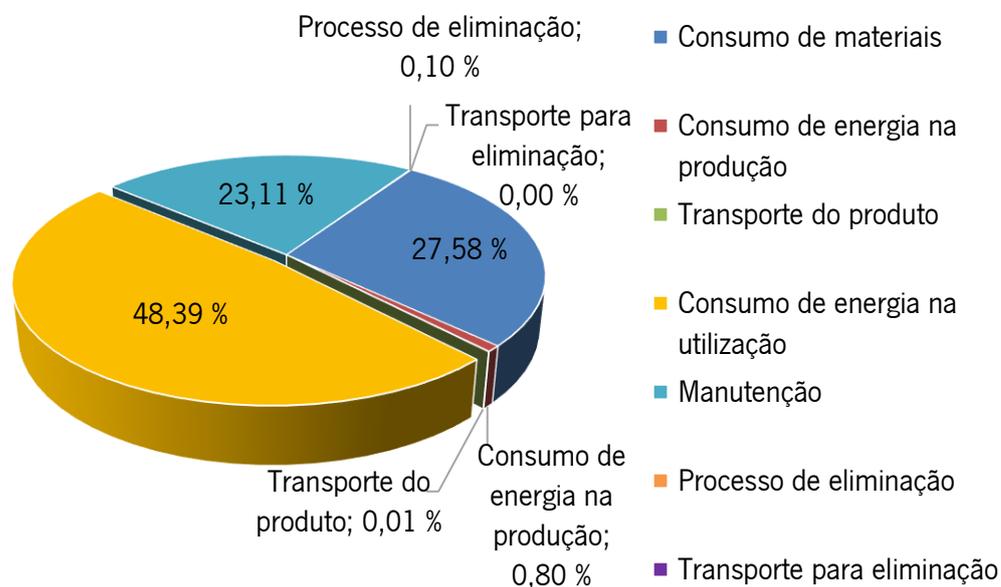


Figura 16. Distribuição da pontuação total da TPU S430 (e conseqüente dano ambiental) pelos aspetos ambientais considerados no ciclo de vida de uma TPU S430, para o caso do cliente nacional (empresa A, em Faro, Portugal).

Por observação do gráfico da Figura 16, é possível aferir que o processo do ciclo de vida do qual decorrem mais impactes ambientais, no caso do cliente A e considerando 20 anos de vida útil, é o consumo de energia aquando da utilização do produto (48,39 %), seguido do consumo de materiais, na fase de produção (27,58 %).

O gráfico da Figura 17, por sua vez, representa a distribuição da pontuação pelos aspetos ambientais ao longo do ciclo de vida, desta vez para o caso do cliente internacional.

Por observação do gráfico da Figura 17, conclui-se que, para o mesmo tempo de vida útil, mas no caso do cliente B, o aspeto ambiental ao qual estão associados mais impactes ambientais mantém-se o consumo de energia aquando da utilização (41,82 %), seguido do consumo de materiais (31,03 %). No entanto, neste caso, os milipontos reduzem no que diz respeito ao consumo de energia (devido à questão do indicador relativo ao consumo de eletricidade aquando da utilização), pelo que a percentagem reduz na fase de utilização, aumentando na fase de produção.

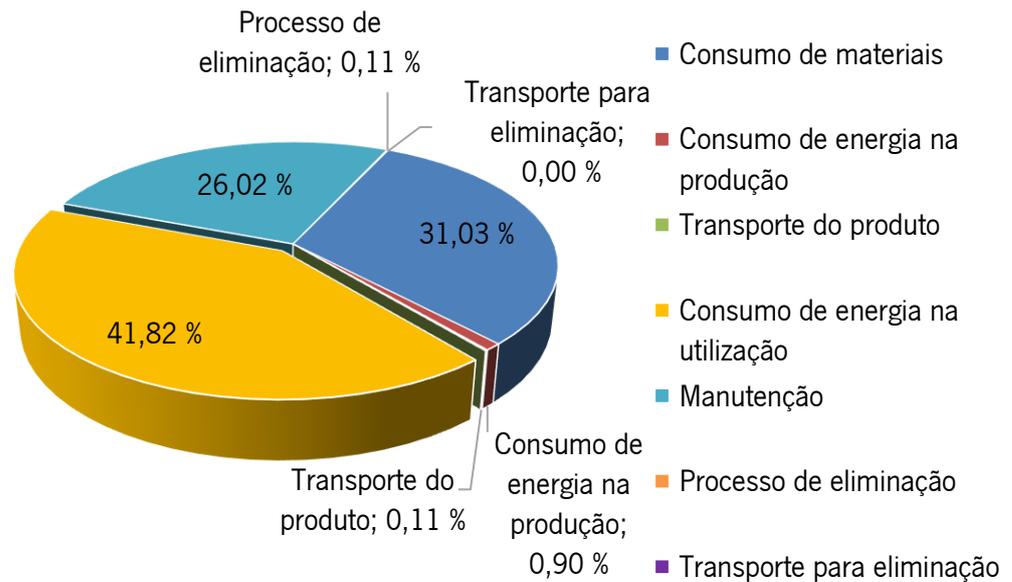


Figura 17. Distribuição da pontuação total da TPU S430 (e conseqüente dano ambiental) pelos aspetos ambientais considerados no ciclo de vida, para o caso do cliente nacional (empresa B, na Roménia).

Numa fase inicial da realização da ACV, a fase de manutenção não se encontrava incluída na ACV. Após reunião com a UN responsável pelo produto (Automação), considerou-se que esta deveria ser incluída pois poderia ter mais peso na totalidade dos indicadores do que se pensava, o que veio a ser comprovado pelos resultados obtidos, sendo a percentagem obtida para esta fase (23,11 % para o caso do cliente A e 26,02 % para o B) bastante próxima da percentagem relativa ao uso de materiais.

Nos aspetos “processo de eliminação” e “transporte para eliminação” inserem-se todos os processos de tratamento e transporte de resíduos ao longo de todo o ciclo de vida, isto é, dos resíduos gerados na produção, dos resíduos do desembalamento (fase de uso) e dos resíduos no fim de vida da TPU. Ainda assim, em ambos os casos, esta percentagem é muito reduzida na totalidade dos impactes gerados (0,10 % e 0,11 % para o processo de eliminação, para os clientes A e B, respetivamente, e aproximadamente 0 % para o transporte nos dois casos).

No que diz respeito ao transporte do produto, como seria de esperar, este tem um maior peso no impacto total gerado pelo produto no caso do cliente B, uma vez que a distância efetuada é maior do que no caso do cliente A.

Analisados os resultados, concluiu-se que o aspeto ambiental mais significativo no ciclo de vida de uma TPU S430 é a utilização de energia ao longo da vida útil do produto, sendo o consumo de materiais e os aspetos relacionados com a manutenção também significativos.

7.4.2 Avaliação dos aspetos ambientais

Obtidos os resultados do estudo, é importante que se analise com maior pormenor cada aspeto ambiental, principalmente aqueles que mostraram ser mais significativos.

No que diz respeito ao consumo de energia aquando da utilização do produto, o aspeto mais significativo de todo o ciclo de vida, este é necessário ao funcionamento do produto, sendo que a única forma de reduzir o dano inerente a esse aspeto seria diminuir a utilização de componentes eletrónicos na construção da TPU ou diminuir a potência do equipamento. No entanto, isso significa alterar as características do produto, que são necessárias para o seu funcionamento habitual e poderão ser exigidas pelo cliente. Assim, relativamente ao consumo de energia, o ideal é trabalhar no sentido de criar uma maior eficiência energética do equipamento.

No que diz respeito ao consumo de materiais, é importante ter novamente em consideração a Tabela II, apresentada no ponto 7.3.2. Como se pode verificar pela análise dos dados presentes nessa tabela, o material gerador de maior impacte ambiental na produção da TPU S430 são as PCB, seguidas do aço inoxidável. As PCB são responsáveis por 96,63 % do dano ambiental gerado pelos materiais consumidos na fase de produção, enquanto o aço inoxidável é responsável por 2,77 % desses impactes. Isto significa que, a nível ambiental, é preferível que sejam mais requisitadas versões da TPU S430 com configurações menos completas, pois a composição máxima deste equipamento (a estudada nesta ACV), implica um número mais elevado de PCB. Novamente, o estudo de Liimatainen (2012) comprova estes resultados, uma vez que nele se concluiu que as diferenças obtidas quanto aos resultados da fase de produção estavam diretamente relacionados com a quantidade de PCB usadas (em que uma maior quantidade, implica maior impacte).

É possível também concluir (ainda através da análise da Tabela II) que um componente pode ter menor massa na totalidade do produto e, ainda assim, possuir maior pontuação para o impacte final do produto (como acontece relativamente às PCB e ao aço inoxidável). Isto acontece porque o indicador utilizado para cada material é diferente e depende de vários fatores como a

extração das matérias-primas na sua constituição, os processos de produção utilizados no processamento dessas matérias-primas, a sua escassez, a sua toxicidade, entre outros. Assim, uma menor quantidade de um dado material pode ser mais poluente que uma maior quantidade de outro material. Isto implica uma maior atenção aquando da exclusão de materiais da análise, não levando apenas em consideração a sua massa reduzida, mas sim, a pontuação do seu indicador relativamente aos outros utilizados. É também útil e importante ter este aspeto em conta aquando da escolha dos materiais na fase de *design* do produto.

7.4.3 Conclusões da ACV

Terminado o estudo de ACV da TPU S430, foi possível concluir que, para 20 anos de vida útil, a pontuação final do equipamento, isto é, a contribuição para a geração de danos ambientais é de $5,00E+05$ mPt no caso do cliente A (Portugal) e $4,44E+05$ mPt no caso do cliente B (Roménia). Isto significa que, segundo a ferramenta utilizada, produzir uma TPU S430 para a Roménia implica uma menor pegada ambiental do que produzir o mesmo equipamento para Portugal. No entanto, é importante saber que estes resultados podem não corresponder à realidade. Isto porque a principal diferença entre ambos reside na pontuação obtida para a utilização de energia elétrica aquando do funcionamento do equipamento e, no caso da Roménia, não existe indicador, tendo-se utilizado o indicador geral para a Europa.

A fase do ciclo de vida com maior impacte ambiental é, em ambos os casos, a fase de uso, seguida da fase da produção.

No caso do cliente A, a percentagem de impactes gerados na fase de uso é de 71,52 %, enquanto que no caso do cliente B, ocupa a percentagem de 67,96 %. Na fase de produção, por sua vez, a percentagem verificada no caso do cliente A e B foi de 28,45 % e 32,00 %, respetivamente. A fase de fim de vida ocupa, em ambas as situações estudadas, uma percentagem reduzida do dano ambiental causado (0,03 % nos dois casos).

O aspeto ambiental mais significativo no ciclo de vida do equipamento é o consumo de energia elétrica aquando da utilização do produto, apesar de que o dano ambiental causado por este aspeto é maior no caso do cliente nacional (48,39 %) do que no cliente internacional (41,82 %), devido às diferenças no *mix* energético de cada país.

O consumo de materiais é o segundo aspecto ambiental com maior significância, ocupando 27,58 % da pontuação total no caso do cliente A e 31,03 % no caso do cliente B. As PCB são as principais causadoras da carga ambiental inerente ao consumo de materiais, sendo responsáveis por 96,63 % dos danos causados.

Os aspectos ambientais relacionados com a manutenção do equipamento ocupam uma percentagem próxima da percentagem relativa ao consumo de materiais. O valor verificado para esse aspecto no caso de cada cliente tipo, nacional e internacional, foi de 23,11 % e 26,02 %, respetivamente. No entanto, dado o equipamento ser relativamente recente e, por isso, não existir um histórico de manutenções, os dados utilizados para o estudo foram estimados, pelo que os resultados obtidos podem não corresponder à realidade.

8. ESTUDO DE ACV DO DTIO

No presente capítulo é apresentada a Avaliação do Ciclo de Vida de um DTIO, produzido pela Efacec.

O DTIO é um produto vendido praticamente apenas a nível nacional, pelo que se optou por considerar como cliente, novamente a empresa A, em Faro.

8.1 Definição do objetivo

O presente estudo visa a utilização dos princípios da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida para a obtenção de informação acerca da performance ambiental do produto DTIO.

Pretende-se verificar qual a fase do ciclo de vida geradora de mais impactes ambientais, além de quantificar e avaliar os aspetos ambientais associados a cada fase e identificar quais os mais significativos. Procura-se, através dessa quantificação, a identificação de oportunidades de melhoria do desempenho do produto.

O público-alvo a que se destina o estudo é a própria Efacec, tendo em vista a elaboração de estratégias que visem a redução do dano ambiental causado ao longo do ciclo de vida deste produto.

8.2 Definição do âmbito

De seguida são apresentados os aspetos relevantes para o âmbito do estudo de ACV do DTIO.

8.2.1 Sistema de produto

O sistema de produto em estudo inclui a produção, utilização e fim de vida de um DTIO.

8.2.2 Funções do sistema de produto

A função do sistema de produto é fornecer a potência elétrica necessária em edifícios, representando o último elo de um sistema de distribuição de energia.

8.2.3 Unidade funcional

A unidade funcional em estudo é um DTIO trifásico com a potência nominal de 630 kVA e 15 kV, com conexão Dyn5, para instalação interior e exterior. O equipamento está em funcionamento durante 24 h/dia, por um período de vida útil de aproximadamente 30 anos.

8.2.4 Tipos de dados e requisitos de qualidade dos dados

Tendo em consideração a fronteira do sistema de produto (apresentada no capítulo 6), para cada processo unitário, existem dois grandes grupos de dados a serem classificados: as entradas e as saídas. Assim, como ponto de partida para o estudo, foi essencial proceder ao estudo do sistema de produto e respetivas etapas unitárias, de modo a verificar esses fluxos.

Tendo isto, na Tabela IV encontram-se descritos os dados considerados e excluídos de cada fase do ciclo de vida do DTIO.

Tabela IV. Entradas e saídas consideradas e excluídas em cada fase do ciclo de vida na fronteira do DTIO

Fase do ciclo de vida		Entradas	Saídas
Produção	Incluído	Utilização de materiais; Consumo de materiais auxiliares; Consumo de energia.	Transporte e tratamento de resíduos; Tratamento de efluentes líquidos e emissões gasosas.
	Excluído	-	-
Utilização	Incluído	Transporte do produto; Energia consumida pelo equipamento;	Transporte e tratamento de resíduos do desembalamento.
	Excluído	Consumos na instalação e manutenção.	Resíduos e emissões na manutenção.
Fim de vida	Incluído	Transporte e tratamento de resíduos.	-
	Excluído	-	-

Além dos dados inseridos na Tabela IV, foram também necessárias algumas informações para o cálculo de dados na fase de inventário, tais como: o número total de equipamentos produzidos na unidade de produção, no ano de referência; o tempo de vida útil a considerar para o equipamento em estudo, bem como o número de horas de funcionamento por dia e a potência do mesmo.

Todos os dados recolhidos dizem respeito ao ano de 2017 e foram obtidos através de diversas fontes, nomeadamente: colaboradores da unidade produtiva, gestores de armazém e documentos e manuais do produto.

8.3 Inventário de Ciclo de Vida

A fronteira do sistema em estudo inclui a produção, utilização e o fim de vida do DTIO, pelo que devem ser recolhidos e/ou calculados os dados necessários relativamente a cada uma destas fases, a fim de tornar possível a realização da ACV.

Os processos existentes ao longo do ciclo de vida da TPU encontram-se representados no esquema da Figura 18 e a sua descrição está presente nos pontos 8.3.1 a 8.3.4.

Uma vez que a maioria dos dados recolhidos diz respeito à totalidade de equipamentos produzidos e o estudo refere-se apenas a uma unidade funcional, é importante que se saiba qual o número total de equipamentos produzidos na unidade produtiva, no ano de referência (2017).

Esse valor foi solicitado à UN Transformadores, que indicou o valor aproximado de 5000 transformadores.

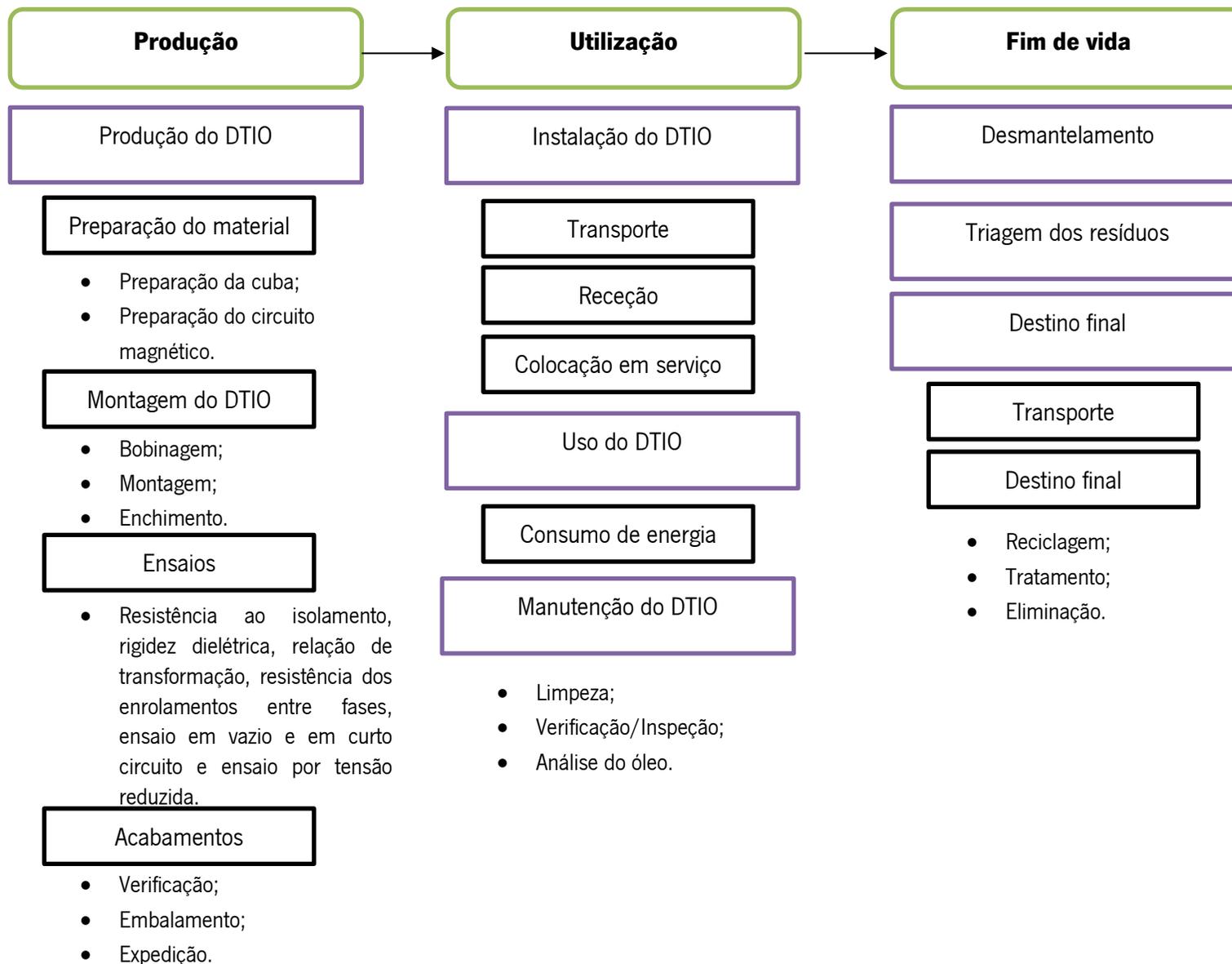


Figura 18. Árvore de processos do transformador de distribuição imerso em óleo mineral, produzido pela Efacec.

8.3.1 Processo produtivo

Numa fase inicial do estudo, foi realizada uma visita à unidade produtiva do DTIO, doravante designada por DT, de modo a observar-se o processo de produção, visualizar os componentes utilizados e respetivas matérias-primas, além de obter algumas informações através do engenheiro responsável pela produção do transformador.

Através das informações retiradas dessa visita e com o auxílio da análise de um trabalho anteriormente realizado na empresa sobre o mesmo tipo de transformador, foi possível a elaboração de um fluxograma do processo de produção, representado na Figura 19.

De seguida, é feita uma breve descrição de algumas das etapas unitárias do processo de produção do DTIO, essencial à sua compreensão, bem como a identificação dos fluxos de materiais e energia daí decorrentes:

- **Preparação e montagem da parte ativa:**

A parte ativa de um transformador é responsável pelo seu funcionamento eletromagnético e corresponde ao conjunto da baixa tensão (BT), da alta tensão (AT) e do circuito magnético (CM), consistindo este último no núcleo do transformador.

- **Bobinagem:**

O processo de bobinagem inicia-se com a preparação de isolantes, que consiste no corte de papel e cartão nas formas necessárias e cuja função consiste em prevenir do risco elétrico.

O sistema de isolamento de transformadores resulta de uma combinação de materiais celulósicos impregnados com óleo mineral. Os principais isolantes utilizados são o papel diamante (para isolamento entre camadas na fase de secagem e enchimento do transformador), o cartão PSP (protege as barras de ligação e execução dos canais de circulação) e o papel kraft (fabrico dos canais de circulação).

As perdas do transformador em carga dependem da resistência dos isolamentos, pelo que devem ser utilizados materiais de elevada condutividade. Posto isto, geralmente é utilizado o cobre no fabrico dos enrolamentos, o qual permite a minimização das perdas.

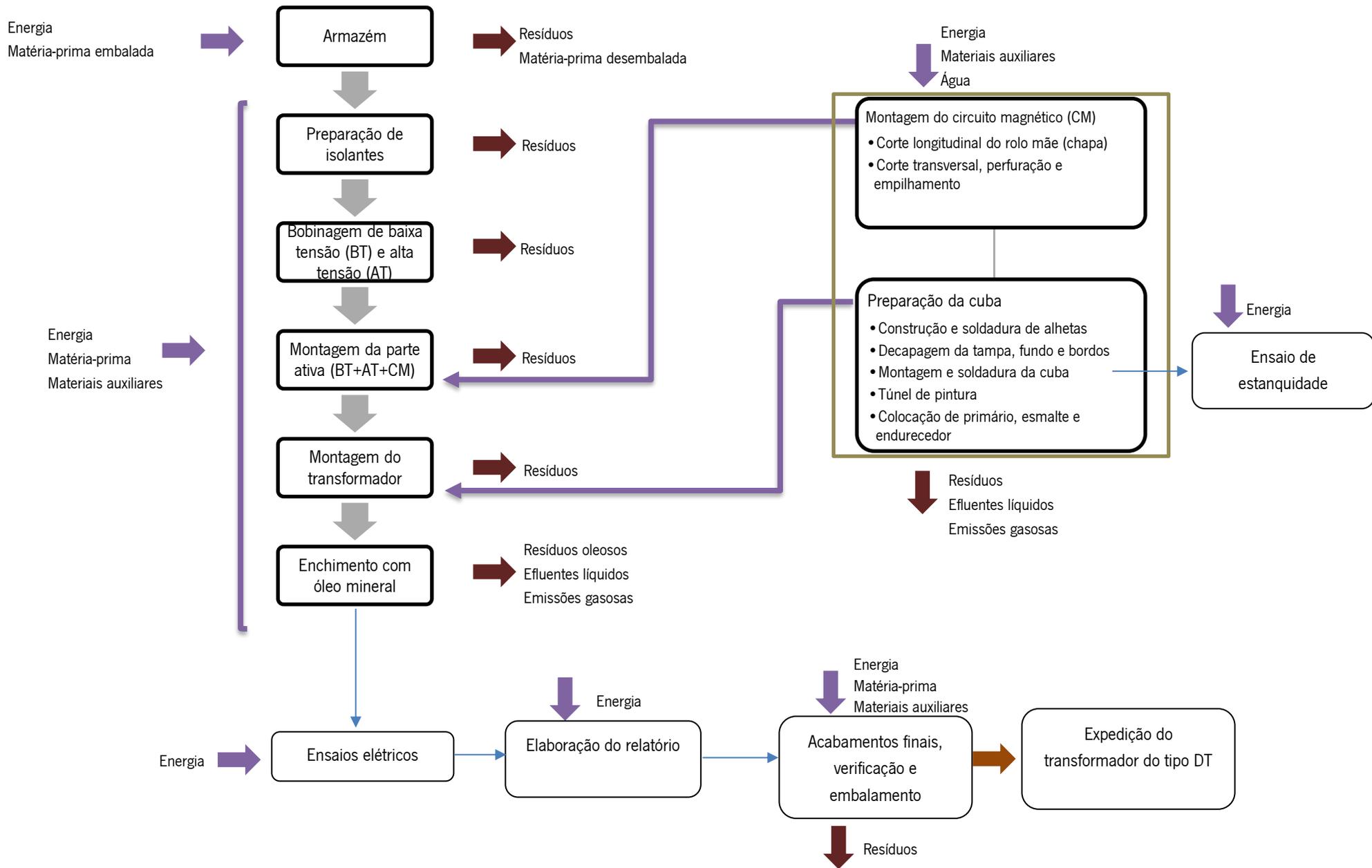


Figura 19. Fluxograma do processo de produção de um transformador de distribuição imerso em óleo mineral, produzido pela Efacec.

A BT pode ser constituída por uma banda de cobre ou alumínio e a AT por fios ou barras de cobre ou alumínio, sendo os materiais escolhidos consoante a especificação técnica definida.

Na bobinagem BT em banda, é efetuada soldadura por "TIG"10, na qual se utiliza gás Hélio, de forma a estabelecer as ligações à banda de cobre. Na bobinagem AT em fio, por sua vez, é utilizada a soldadura oxiacetilénica (para ajudar nas ligações) e elétrica (para soldar o fio de cobre quando as carretas terminam). No transformador em estudo, o tipo de bobinagem BT é em banda de cobre e a AT em fio de cobre.

No DTIO em estudo, cada bobina é constituída por um enrolamento de BT e por um enrolamento de AT, bobinado sobre o primeiro, encontrando-se ambos separados pelos tubos isolantes, e por canais de circulação do óleo para arrefecimento (redes de réguas).

- **Montagem do circuito magnético:**

Para a construção do circuito magnético devem ser utilizados materiais que garantam a limitação do valor das perdas no ferro e na corrente de excitação, garantindo a conservação integral das qualidades magnéticas ao longo do tempo. Um dos materiais mais comumente utilizados para o efeito é a chapa de aço laminada a frio.

No caso do DTIO em estudo, o CM é construído com chapas de cristais orientados laminadas a frio, utilizando a montagem em "*Step-Lap*". Numa primeira fase, o rolo mãe da chapa é cortado longitudinalmente, nas mais diversas larguras utilizadas na construção do CM. Depois, dá-se o corte transversal, dando origem aos núcleos e às culassas.

- **Preparação e montagem da cuba:**

A cuba (chapa de aço) oferece o suporte e a proteção mecânica da parte ativa do transformador, possuindo duas funções essenciais: proteger do risco elétrico através do isolamento e ajudar no arrefecimento do equipamento. É também a cuba que assegura a ligação à terra do CM e das várias partes metálicas.

A preparação da cuba desenvolve-se em diferentes etapas. A primeira consiste na construção de alhetas, o que é conseguido através de um processo automático de dobragem e prensagem de chapa, seguido do embutimento e soldadura das mesmas. Essas dobras criadas permitem um melhor contacto com o ar e conseqüentemente um arrefecimento mais fácil do equipamento.

As soldaduras realizadas são do tipo “Plasma” (para soldar os topos nas alhetas) e “MIG-MAG” (para soldar o varão nas extremidades das alhetas). Os gases de alimentação das soldaduras são o Árgon, o Dióxido de Carbono e o Hidrogénio.

Paralelamente a este procedimento, a tampa, o fundo e os bordos da cuba sofrem um processo de decapagem, isto é, remoção de oxidações e impurezas inorgânicas, através da utilização de granalha de aço, ficando assim preparados para o processo de pintura que se segue.

Numa segunda fase, os vários componentes que formam a cuba são montados e soldados pelo processo “MIG-MAG”, utilizando o gás ATAL.

Algumas características a assegurar no fabrico da cuba são a estanquicidade, a resistência à corrosão, a resistência estrutural e a resistência ao vácuo.

Desta forma, como próximo passo do processo, é imprescindível que se proceda a um ensaio de estanquidade (colocando a cuba em sobrepressão e testando os cordões de soldadura), uma vez que a falta de estanquicidade e conseqüente fuga de óleo representa um problema técnico e ambiental.

Posteriormente, a tampa e os acessórios passam por um tratamento da superfície metálica por imersão denominado plaforização (tecnologia de fosfatização orgânica), que melhora a aderência da superfície, além de proteger e prevenir a corrosão do metal. De seguida, estes são pintados por um método de pintura por projeção (através da utilização de ar comprimido para impulsionar a tinta pulverizada), sendo levados à estufa para secarem, após este processo.

A cuba, por outro lado, é colocada no designado “túnel de pintura”, no qual sofre vários tratamentos (Antunes, 2010):

- **Banho de desengorduramento e fosfatação:** neste banho, a solução de fosfatação é aquecida a 40 °C e é projetada sobre a cuba. Este tratamento tem como objetivo melhorar a aderência da tinta, através da criação de uma camada ligada ionicamente ao substrato metálico, criando também uma estrutura amorfa que favorece a ligação para o revestimento por pintura. Além disso, melhora a proteção anticorrosiva e melhora a resistência ao empolamento que por vezes decorre dos sistemas de pintura.

- **Lavagem intermédia:** este procedimento, realizado à temperatura ambiente, tem por objetivo retirar o produto em excesso.
- **Banho de passivação:** este banho consiste numa solução aquosa à temperatura de 20 °C e forma uma camada inorgânica sobre o metal, conferindo uma elevada resistência à corrosão, além de proporcionar boa aderência para a fase de pintura.

Após passar pelos três banhos, a cuba entra no túnel de secagem, permanecendo aí durante 16 minutos a uma temperatura de 100 °C.

Finalizado esse processo, inicia-se o processo de pintura com a aplicação do primário num sistema de pintura por rega. Nesse processo, o produto remanescente que cai ao chão é capturado e reintroduzido no processo.

Após esse passo, a cuba volta para um processo de secagem, desta vez à temperatura de 135 °C, ao longo de 30 minutos.

Por último, segue-se a pintura do material com esmalte, também pelo mesmo sistema utilizado aquando da colocação do primário, terminando com a secagem a uma temperatura de 145 °C durante 30 minutos.

É importante referir que, dependendo das exigências técnicas do cliente, a cuba pode ou não sofrer um processo de zincagem, o que altera ligeiramente o processo de produção. No entanto, o transformador utilizado no caso de estudo em causa não sofre esse processo.

- **Montagem do transformador**

Nesta fase, dá-se a montagem dos acessórios na tampa da cuba, células da parte ativa e preparação do comutador. Posteriormente, são montados todos os elementos da parte ativa do transformador: montagem do circuito magnético, montagem de fases, ligações de BT e AT e isolamentos.

Após esse processo, a parte ativa segue para uma estufa de secagem com a finalidade de remover a humidade.

A montagem final consiste na colocação da parte ativa na cuba e na montagem de equipamento acessório do transformador.

- **Enchimento com óleo mineral**

Como já referido, o óleo mineral é utilizado com a finalidade de ajudar nas trocas de calor necessárias ao arrefecimento do equipamento, isto é, assegurar a dissipação de calor por convecção natural.

Antes de colocar o óleo no transformador, assegura-se a remoção de toda a humidade existente no equipamento. De seguida, procede-se ao enchimento da cuba sob vácuo, sendo todo este processo realizado em equipamento automático e hermeticamente fechado.

- **Ensaio elétrico**

Concluído o processo de produção propriamente dito, o equipamento sofre uma série de testes de funcionamento, de modo a verificar a sua conformidade. Este processo é de extrema importância na utilização e funcionamento de um transformador, pois é através destes testes que se consegue aferir a qualidade e segurança do produto. Adicionalmente, são fornecidas informações sobre quais os consumos de utilização e condições nominais a utilizar para que se garanta o tempo de vida útil definido para o equipamento.

As etapas envolvidas neste processo são:

- Ensaio de resistência de isolamento do transformador;
- Ensaio à rigidez dielétrica por tensão aplicada;
- Ensaio de relação de transformação;
- Ensaio de resistência dos enrolamentos entre fases;
- Ensaio de vazio;
- Ensaio por tensão induzida;
- Ensaio em curto-circuito.

- **Acabamentos finais:**

Confirmada a conformidade do transformador, são levados a cabo quaisquer correções/retoques que sejam necessários na pintura, por exemplo, entre outros acabamentos.

Após verificação da conformidade dos transformadores e criação da respetiva ficha de registo pelo Setor da Qualidade, é colocado o selo verde.

Finalmente, o produto é embalado e armazenado, procedendo-se, posteriormente, à sua expedição.

8.3.2 Recolha de dados: produção

A recolha e cálculo de dados na fase de produção deve ter em conta os materiais utilizados, os resíduos gerados e o consumo de energia elétrica na produção de uma unidade funcional.

➤ **Matérias-primas e materiais auxiliares**

Estudadas as etapas do processo de produção do DTIO, procedeu-se à recolha de dados relativa aos materiais e materiais auxiliares utilizados.

Para esse efeito, optou-se por considerar uma BoM de referência, cujo modelo do transformador correspondesse à configuração mais vendida no ano de 2017.

Apesar de na referida BoM, a quantidade de alguns dos materiais estar indicada através da sua massa, a grande maioria vem por unidade, peça ou volume. Uma vez que a maioria dos indicadores utilizados no Ecolizer 2.0 necessitam dos dados por unidade de massa, houve necessidade de proceder à pesagem dos materiais em falta.

Todo o processo de recolha de dados relativo aos materiais foi bastante complicado, uma vez que a unidade de produção não possui balança, nem há nenhuma balança disponível nas instalações vizinhas, o que seria o mais indicado dada a dimensão dos materiais em causa. Por este motivo, um dos engenheiros responsáveis pela produção do DTIO cedeu um conjunto de amostras de alguns dos materiais em questão, de modo a facilitar o seu transporte e consequentemente a sua pesagem, auxiliando também na identificação das matérias-primas constituintes de cada um deles.

No entanto, não foi possível obter amostras de todos os materiais utilizados. Assim sendo, quanto aos restantes materiais em falta, apesar de por um lado se saber à partida que alguns poderiam ser excluídos, por outro sabia-se que uma grande parte deles não poderia de todo ser eliminada do estudo, uma vez que são de grandes dimensões, além de serem constituídos por matérias-primas cujo indicador é relativamente alto.

Tendo isto, houve necessidade de encontrar uma solução para este problema. Sabendo o peso total do transformador (fornecido pela UN), optou-se por subtrair a esse valor a massa dos componentes já conhecidos, obtendo a massa total de todos os componentes em falta. Apesar de não se ter conseguido obter a massa individual de cada um desses componentes, havia informação acerca de quais as matérias-primas que os constituem. Então, a solução passou por

colocar a massa total dos componentes em falta no indicador mais elevado (de entre os indicadores das matérias-primas constituintes desses materiais).

Apesar de este procedimento não ser adequado na realização de uma ACV, neste caso de estudo é indiferente no que concerne aos resultados obtidos, como explicado no ponto 8.4 da presente dissertação, referente à interpretação dos resultados desta ACV.

Admitindo então essa solução, foi possível identificar a quantidade, em quilogramas, de cada matéria-prima utilizada na produção de um DTIO, representadas na Tabela V.

Tabela V. Matérias-primas utilizadas na produção de um DTIO, respetivas massas (*m*) e milipontos obtidos

Matéria-prima	<i>m</i> / kg	Milipontos
Aço inoxidável primário	0,5133	580,03
Aço secundário	217,60	72026
Alumínio primário	249,53	273482
Liga de alumínio primário	0,0032	1,6576
Cobre primário	6,3657	22439
Cobre 44 % secundário	1125,7	3883789
Chumbo	0,0064	0,4928
Zinco primário	1,3587	884,51
Poliamida (PA)	0,0027	1,9926
Policloreto de Vinila (PVC)	0,3657	79,353
Fibras de poliéster	0,0400	27,160
Madeira	20,000	5620,0
Papel	19,800	6276,6
Cartão	17,414	4701,8
Fibras de celulose	0,0256	1,3568
Óleo mineral	396,00	98604
Total	2054,8	4371876

Além das matérias-primas apresentadas na Tabela V, são também utilizados outros materiais auxiliares na construção de um DTIO, tais como: a água utilizada nos banhos, os produtos químicos e os gases de alimentação dos processos de soldadura (Árgon, Dióxido de Carbono, Hidrogénio e ATAL).

As informações relativas aos gases de alimentação foram excluídas do estudo, uma vez que não foi possível obter dados relativamente às quantidades utilizadas.

Quanto ao consumo de água, a engenheira responsável pelo ambiente da Efacec estimou que o DT consome cerca de 20 % do total de água consumida no polo da Arroteia, o que resulta num gasto total de 1061,84 kg por unidade funcional.

Relativamente aos químicos utilizados, o volume utilizado para aplicação no DTIO encontra-se indicado na BoM. No entanto, o indicador disponível para este tipo de material está calculado por unidade de massa, pelo que houve necessidade de recorrer às fichas técnicas dos respetivos produtos químicos, de modo a verificar-se a sua densidade e, sabendo o volume, calcular a respetiva massa.

Apesar de os produtos químicos utilizados se dividirem em diferentes categorias (resina, endurecedor, primário e esmalte), foram todos colocados no mesmo indicador (relativo a tinta), visto ser o que melhor se adequava a todos eles. A massa total de produtos químicos obtida foi de aproximadamente 35,24 kg.

Uma vez que o DT não produz os materiais que utiliza, obtendo-as através de fornecedores, seria através destes que se conseguiria obter uma informação mais precisa acerca da constituição de cada material. No entanto, no estudo anteriormente realizado (para o equipamento TPU S430), a maioria dos fornecedores não enviou *feedback*, mesmo após várias tentativas de contacto, pelo que não se iniciou o contacto com os fornecedores para o caso do DTIO, uma vez que o estudo se prolongaria por mais tempo do que o disponível.

Assim, para todos aqueles materiais constituídos por mais que uma matéria-prima (dos quais não há conhecimento acerca da percentagem de cada um) optou-se por se considerar a massa total do material no indicador referente a cada matéria-prima em questão.

➤ **Resíduos, Emissões Atmosféricas e Efluentes Líquidos**

Além dos materiais utilizados na produção do equipamento, foram também inventariados os tipos e quantidades de resíduos gerados nesta etapa do ciclo de vida, bem como o tipo de emissões atmosféricas geradas e as questões relacionadas com os efluentes líquidos.

Através de um ficheiro em Excel com o registo de todos os resíduos gerados no polo da Arroteia em 2017, a engenheira do ambiente estimou qual a percentagem de cada tipo de resíduo que seria advinda do DT. Além disso, dado que essa estimativa diz respeito à totalidade de resíduos

gerados no DT, houve necessidade de dividir a massa de cada tipo de resíduo por 5000, de modo a obter os resultados por unidade funcional. Posto isto, obtiveram-se os resultados descritos na Tabela VI.

Tabela VI. Tipo e massa (*m*) de resíduos gerados pela unidade produtiva de um DTIO, na produção de uma unidade funcional

Tipo de resíduos	<i>m</i> / kg
Metais ferrosos	52,74
Metais não ferrosos	4,452
Plásticos	1,697
Papel	0,632
Cartão	23,60
Madeira	22,50
Resíduos de remoção de tintas e vernizes	1,362
Líquidos de lavagem aquosos	4,184
Resíduos orgânicos	1,495
Resíduos inorgânicos	1,313
Resíduos urbanos	6,758
Óleo	4,392
Total	125,1

Os resíduos referentes a substâncias perigosas e absorventes e materiais filtrantes foram excluídos do estudo uma vez que houve dificuldade em encontrar um indicador onde estes pudessem ser inseridos. No entanto, verificou-se que a alteração da massa de resíduos gerados não provoca alterações relevantes nos resultados da avaliação, pelo que esta exclusão é válida.

O transporte desses resíduos foi também analisado, considerando-se que este é efetuado por camião e ocorre por uma distância de 28,1 km (desde o polo da Arroteia até ao centro de tratamento de resíduos).

O Ecolizer 2.0 não possui indicadores para a utilização ou tratamento de gases. No entanto, optou-se por considerar o indicador geral para o descarte de substâncias orgânicas e inorgânicas, de modo a incluir as emissões atmosféricas no estudo. Desta forma, foram consultados os relatórios e os registos acerca das chaminés do polo da Arroteia. Na Tabela VII estão registados os gases emitidos pelo DT em 2017, bem como a sua quantidade, por unidade funcional.

Quanto à emissão de efluentes líquidos, por sua vez, foram analisados os resultados dos respectivos relatórios, verificando-se que são tratados 43,26 kg de sólidos totais em suspensão e 19,02 kg de óleos e gorduras.

Tabela VII. Emissões atmosféricas geradas pela unidade produtiva do DTIO e respectivas massas (*m*), na produção de cada unidade funcional

Emissões atmosféricas	<i>m</i> / kg
Partículas	0,297
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	0,613
Compostos azotados (NO _x)	0,120
Monóxido de Carbono (CO)	0,163
Dióxido de enxofre (SO ₂)	0,024
Fenol	0,007
Cobalto	0,106
Acrilatos	0,137
Metacrilatos	0,042
Trietilamina	0,004
Crômio	0,001
Total	1,514

Tal como no caso das emissões atmosféricas, também não estão disponíveis indicadores nem métodos no Ecolizer 2.0 que permitam a introdução de dados relativamente ao tratamento de efluentes. No entanto, considerou-se novamente o indicador geral para descarte de substâncias orgânicas e inorgânicas de modo a poder-se incluir estes fluxos na avaliação.

➤ **Energia**

Para a produção de um DTIO, há consumo de gás natural e energia elétrica.

Quanto ao gás natural, estimou-se que a quantidade consumida em 2017, por unidade funcional, foi de 204,26 kWh. O indicador relativo ao uso de gás natural vem calculado por megajoule, pelo que foi necessário converter esse valor à mesma unidade (735,34 MJ).

Relativamente à energia elétrica, estimou-se que o consumo esteve na ordem dos 636,87 kWh.

8.3.3 Recolha de dados: utilização

A utilização de um DTIO inclui a instalação, o funcionamento do equipamento e a manutenção do mesmo. Assim, o levantamento de dados na fase de uso para a realização do inventário de ciclo de vida deve abranger todos estes aspetos.

➤ **Instalação**

Na instalação estão envolvidos aspetos como o transporte do produto desde a Efacec até ao cliente; o desembalamento, limpezas, ligações envolvidas no transformador, verificações, e o tratamento dos respetivos resíduos gerados.

Este tipo de transformador é praticamente vendido apenas a nível nacional, tendo sido aconselhado pela UN Transformadores que se considerasse como cliente a empresa A, em Faro. Posto isto, sabe-se que o meio de transporte utilizado é o camião e que a distância percorrida é de 543 km.

Outra informação necessária para efetuar a análise é o peso total do equipamento transportado, visto os dados de materiais que se encontram na BoM não incluírem a totalidade das peças do transformador que são transportadas, nem a madeira utilizada para o embalamento. Esse peso corresponde a 2110 kg.

Quanto aos resíduos gerados na receção do equipamento, essencialmente correspondem à embalagem de madeira utilizada, que corresponde a 4 barotes de madeira de eucalipto com a massa de 20 kg. O transporte e tratamento desses resíduos foi também considerado, sendo o transporte efetuado por camião, e a distância estimada desde o cliente até ao centro de tratamento de resíduos corresponde a 13 km. Note-se que não foi requerido ao cliente a informação acerca de qual o centro de tratamento de resíduos que lhe presta serviço, pelo que a distância foi estimada considerando o centro mais próximo.

➤ **Funcionamento do equipamento**

O aspeto ambiental relacionado com o funcionamento do DTIO é o consumo de energia elétrica.

Para o cálculo da energia elétrica total consumida pelo equipamento, é necessário saber qual o seu tempo de vida útil e quantas horas diárias este está em funcionamento. Essa informação foi também facultada, tendo sido indicados os valores de 30 anos de vida útil e 24 h/dia de funcionamento.

Num transformador, as perdas de energia traduzem o consumo do equipamento e, portanto, o consumo de energia que o seu funcionamento vai acarretar para a rede de distribuição. Quanto menores as perdas do transformador, maior o seu custo uma vez que menores perdas implicam a utilização de metais nobres na sua construção, como é caso do cobre e do ferro.

Num transformador, existem dois tipos de perdas envolvidas: as perdas em vazio (P_0) e as perdas em curto circuito (P_k) (Carlen et al., 2011). As primeiras ocorrem no circuito magnético e existem sempre que o transformador se encontra energizado, sendo permanentes no seu ciclo de vida. As P_k , por sua vez, ocorrem quando o transformador está em carga, sendo causadas por efeito de Joule nos enrolamentos de cobre e variáveis ao longo da vida do transformador (Carlen et al, 2011).

Desta forma, é necessário ter em consideração que as P_0 são constantes durante o período de vida do transformador, enquanto as P_k são variáveis visto o transformador não se encontrar sempre em plena carga, pelo que, para o cálculo das perdas totais (P_{totais}), em kW, é necessário correlacionar um fator de carga (k) com as P_k , segundo a Equação 1, de modo a calcular a energia elétrica real consumida (Polish Copper Promotion Centre & European Copper Institute, 2008).

$$P_{\text{totais}} = P_0 + P_k \times k^2 \quad \text{Equação 1}$$

As perdas em carga e em vazio consideradas para o transformador em estudo foram retiradas, por indicação da UN, do Regulamento (EU) N.º 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 transformadores de pequena, média e grande potência.

O regulamento refere que, para o caso de transformadores de distribuição (caso do equipamento em estudo), o valor das perdas em vazio acresce em 5 % e as perdas em carga em 20 %. Tendo estas informações, no caso do transformador em estudo, as perdas em vazio correspondem a 720 kW e as perdas em carga a 6825 kW. Uma vez que foi indicado pela UN o valor 1 como fator de carga, pela Equação 1 tem-se que as perdas totais do transformador correspondem a 7545 kW.

Desta forma, considerando 30 anos de vida útil e funcionamento 24 h/dia, obtém-se o valor de 1,98E+09 kWh para o consumo de energia de um DTIO na totalidade da sua vida útil.

➤ **Manutenção**

A manutenção é um processo muito importante para assegurar a conservação do transformador e tem uma influência direta no seu tempo de vida útil.

A manutenção preventiva, neste caso de estudo, inclui a limpeza do equipamento, verificações, ajustes no equipamento e análises de óleo. Esta manutenção baseia-se em intervenções para a correção de situações ou componentes cuja deterioração é previamente conhecida e as ações a desenvolver são planeadas.

Este processo foi excluído da ACV devido à dificuldade em obter dados concretos, dado o reduzido período de tempo disponível para a recolha de dados.

➤ **Fim de vida**

Na fase de fim de vida, por último, foram considerados todos os materiais que entraram na fase de produção, uma vez que todos eles terão um fim aquando do fim de vida útil do transformador.

O transporte desses resíduos foi também considerado, tendo sido considerado o transporte por camião e distância de 13 km (desde o cliente até ao centro de tratamento de resíduos).

8.3.4 Identificação de aspetos ambientais

Analisado o processo de produção e recolhidos os dados necessários para o inventário, procedeu-se à identificação dos aspetos ambientais presentes em cada fase do ciclo de vida do DTIO:

➤ **Produção**

- Consumo de materiais: Em todas as etapas do processo produtivo são utilizados os materiais constituintes do DTIO.
- Consumo de químicos: São utilizados, entre outros, tintas e vernizes no processo de produção do DTIO (no processo de preparação da cuba). Tendo em vista a preservação ambiental, a Efacec utiliza produtos de reduzido índice de toxicidade e tintas de base aquosa.

- Consumo de energia: existem dois tipos de energia utilizada no processo de produção de uma unidade funcional:
 - O gás natural é consumido:
 - no túnel de pintura, no processo de preparação da cuba;
 - estufas de secagem, na fase de montagem;
 - A energia elétrica é consumida:
 - nas câmaras de pintura, no túnel de pintura, nas estufas, na câmara de decapagem e na câmara de plaforização, no processo de preparação da cuba;
 - na máquina de corte, na preparação do CM;
 - nos equipamentos da bobinagem e na estufa de secagem de isolantes;
 - nos equipamentos de secagem, vácuo e enchimento;
 - nos ensaios elétricos (sendo que o maior consumo se verifica no ensaio em curto-circuito);
 - Na iluminação do espaço de trabalho.
- Consumo de água: é consumida água aquando da fase dos banhos (preparação cuba). Esta água é proveniente da rede municipal de abastecimento.
- Efluentes líquidos: Os efluentes gerados (derivados dos banhos e das câmaras de pintura na fase de preparação da cuba) são encaminhados para uma estação de tratamento existente na empresa, onde ficam retidos e sofrem uma correção do pH. Posteriormente, sofrem um processo de homogeneização e floculação, sendo de seguida transferidos para o coletor municipal.
- Emissões gasosas: As emissões gasosas provêm:
 - Da preparação da cuba: túnel de pintura, câmara de pintura, estufa de secagem e câmara de plaforização. Aqui, os principais contaminantes são Compostos Orgânicos Voláteis (COV), Monóxido de Carbono (CO) e Óxidos de Azoto (NO_x). As emissões gasosas das soldaduras são contidas por filtros de mangas existentes nos equipamentos, evitando a sua libertação para a atmosfera.
 - Do processo de enchimento, onde são libertados COV. As emissões provenientes das soldaduras na bobinagem são contidas em filtros eletrostáticos existentes nos

equipamentos com extração automática, evitando desta forma a libertação de poluentes para a atmosfera.

- Produção de resíduos: Em todas as etapas produtivas são gerados resíduos. Estes podem ser perigosos (como os resíduos de tintas, vernizes e solventes, óleos ou absorventes contaminados) ou não perigosos (como os metais ferrosos e não ferrosos, papel e plástico).

➤ **Utilização**

- Produção de resíduos: São gerados resíduos de madeira, originados pelo desembalamento;
- Consumo de energia: é consumida energia elétrica pelo transformador, ao longo de toda a sua vida útil.

➤ **Fim de vida**

- Produção de resíduos: no fim de vida do produto, é feito o desmantelamento do mesmo e dá-se o encaminhamento de cada material para o destino adequado.

8.4 Interpretação de resultados

Sabendo quais os aspetos ambientais a considerar e através dos resultados da fase do ICV, procedeu-se à introdução dos dados na adaptação do Ecolizer 2.0 em Excel, tendo em conta os respetivos indicadores e obtendo-se, desta forma, a pontuação (em milipontos) de cada fluxo de entrada e saída, isto é, a sua contribuição para o impacte total gerado pelo equipamento.

A lista de indicadores que foi necessário utilizar para este caso de estudo encontra-se no Anexo II.

8.4.1 Identificação de aspetos ambientais significativos

Introduzidos os dados no Excel, obtiveram-se os resultados de seguida interpretados.

A pontuação final obtida para o DTIO foi cerca de 1,37E+11 mPt.

Verificou-se que, considerando 30 anos de vida útil, o aspecto ambiental “consumo de energia na utilização” é o aspecto ambiental mais significativo de todo o ciclo de vida. A sua influência é tal, que anula o efeito de todos os outros fluxos, sendo responsável por aproximadamente 100 % dos impactes gerados no ciclo de vida do DTIO. Ainda que, hipoteticamente, o transformador apenas tivesse 1 ano de vida útil, este aspecto ambiental seria responsável por 99,90 % do impacte total gerado pelo equipamento.

Por esse mesmo motivo, se pôde concluir que se poderia considerar o peso total de todos os materiais cujo peso era desconhecido no indicador mais elevado, uma vez que ainda assim, estes fluxos não têm qualquer influência nos resultados.

Não é porque a fase de utilização é responsável pela quase totalidade do impacte ambiental que se deve considerar que as outras fases não geram impactes significativos. Assim, para um melhor entendimento da influência que cada fase do ciclo de vida tem no impacte total gerado pelo transformador, são apresentadas de seguida os milipontos obtidos para cada fase:

- Fase de Produção – 4,44E+06 mPt;
- Fase de Utilização – 1,37E+11 mPt;
- Fase de Fim de Vida – 6,85E+04 mPt.

Através dos resultados obtidos, foi possível concluir que a fase de fim de vida é responsável por uma minoria dos impactes ambientais causados pelo produto, sendo a fase de produção relativamente mais elevada.

Relativamente à fase de utilização, a quase totalidade da pontuação obtida é advinda da utilização de energia elétrica aquando da utilização do produto (1,37E+11 mPt), sendo apenas uma pequena percentagem derivada do transporte do produto (1,95E+04 mPt) e do transporte (4,42 mPt) e tratamento (340 mPt) dos resíduos gerados.

Na fase de fim de vida, por sua vez, é o tratamento dos resíduos o causador do impacte gerado, com uma pontuação de 6,80E+04 mPt. O transporte desses resíduos, por sua vez, possui a pontuação de 457,47 mPt.

Os milipontos obtidos em cada processo existente na fase de produção do DTIO e, conseqüentemente, o dano gerado por cada processo, encontram-se descritos na Tabela VIII.

Foi possível verificar que, na produção de um DTIO, o processo de onde são originados mais impactes ambientais é a utilização de matérias-primas, seguida da utilização de energia.

Constatou-se também que o transporte dos resíduos tem a pontuação mais baixa de todos os processos existentes.

Tabela VIII. Milipontos obtidos para cada processo existente na fase de produção do DTIO

Processo da fase de produção	Milipontos
Utilização de matérias-primas	4,37E+06
Utilização de materiais auxiliares	1,10E+04
Utilização de energia	4,91E+04
Tratamento de resíduos, efluentes e emissões gasosas	6,42E+03
Transporte dos resíduos	5,98E+01

8.4.2 Análise dos aspetos ambientais

Obtidos os resultados da ACV do DTIO, é importante que se analise em maior pormenor cada aspeto ambiental presente no ciclo de vida do produto, principalmente daqueles que se verificaram ter maior significância no impacte total do produto.

No que concerne ao consumo de matérias-primas e materiais auxiliares, cuja pontuação obtida foi a mais elevada de todos os processos da fase de produção, o gráfico da Figura 20 apresenta a percentagem com que cada material contribui para a pontuação total obtida para este processo.

Como se pode verificar por observação do gráfico da Figura 20, o cobre é a matéria-prima maioritariamente responsável pela geração de impactes ambientais na fase de produção do DTIO, sendo responsável por 35,92 % da pontuação total das matérias-primas e auxiliares, seguido da utilização de água, com 33,69 %. Os restantes materiais contribuem com uma percentagem relativamente mais baixa, sendo que a utilização de madeira, papel e de outros materiais têm a percentagem reduzida de 0,63 % cada.

Tal como no estudo da TPU S430, também neste estudo foi possível verificar como uma menor quantidade de uma matéria-prima pode causar um impacte ambiental mais significativo que outra matéria-prima que esteja em maior quantidade.

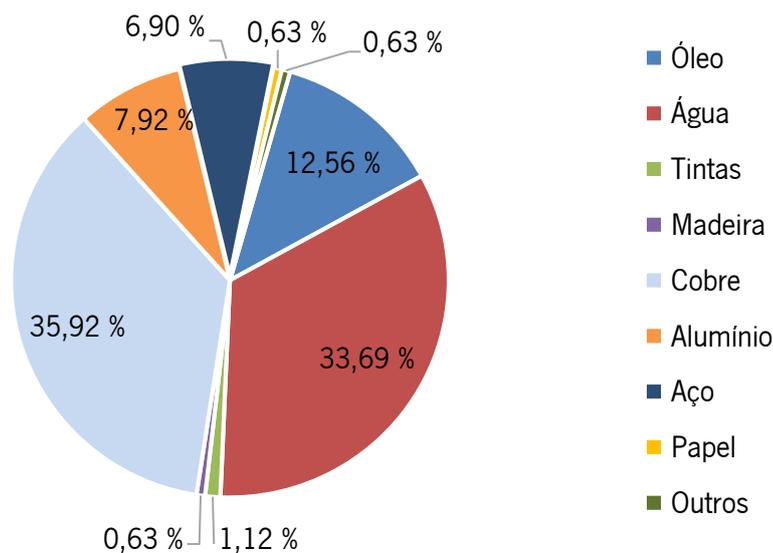


Figura 20. Contribuição de cada matéria-prima e material auxiliar utilizados na produção de um DTIO, relativamente à pontuação total obtida no uso de matérias-primas e auxiliares.

É exemplo disso o caso do cobre e da madeira, como se pode verificar novamente pela análise da Tabela V, apresentada no ponto 8.3.2.

Desta forma, relativamente ao uso de matérias-primas e tendo em vista a melhoria da performance ambiental na fase de produção do DTIO, seria útil pensar em formas de utilizar a água de uma forma mais sustentável, pensar em sinergias internas, além de se avaliar a hipótese de recuperar o cobre no fim de vida do produto de modo a poder reutilizá-lo noutras aplicações.

No gráfico da Figura 21, por sua vez, encontram-se as percentagens com as quais cada tipo de recurso energético (eletricidade e gás natural) contribuem para o impacto ambiental gerado pela utilização de energia aquando da produção de um DTIO.

A análise do gráfico permite concluir que o impacto gerado pela utilização de energia elétrica (89,51 %) é maior que o impacto gerado pelo gás natural (10,49 %).

Para interpretar estes resultados, é necessário ter em conta que da energia utilizada, apenas 24,28 % corresponde a gás natural, sendo os restantes 75,72 % correspondentes a energia elétrica. Isto é, uma vez que é utilizada uma maior quantidade de energia elétrica, é natural que seja esta a implicar maiores impactos ambientais.

Outro aspeto a ter em consideração é o indicador utilizado para cada tipo de energia, de modo a se verificar (segundo os dados da base de dados do Ecolizer 2.0) qual dos dois provoca maior impacto quando consumida uma mesma quantidade de energia.

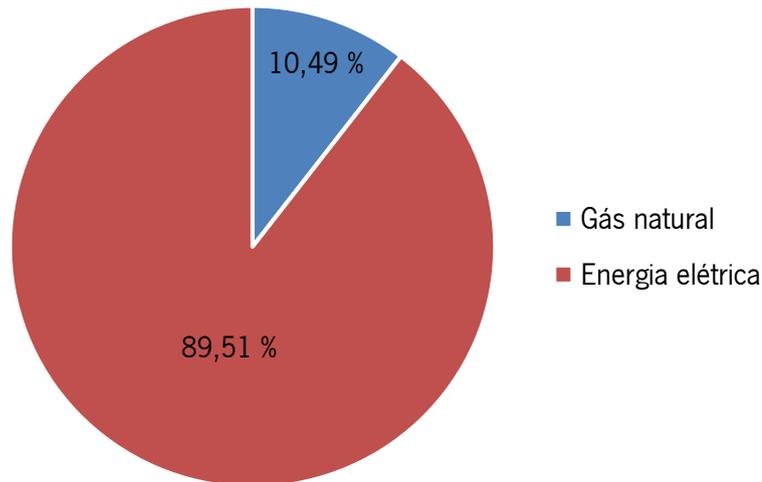


Figura 21. Percentagem de contribuição do uso de gás natural e eletricidade para o impacto total gerado pela utilização de energia aquando da produção do DTIO.

Os indicadores utilizados para o consumo de energia elétrica e para o consumo de gás natural encontram-se no Anexo II. Daí se pode concluir que, enquanto 1 kW de energia elétrica possui uma pontuação de 69 mPt, 1 kW de gás natural tem o impacto avaliado em 25,2 mPt. Assim, pela base de dados utilizada, conclui-se que a energia elétrica é mais poluente que o gás natural. Estes indicadores são calculados tendo em conta os diferentes combustíveis usados na Europa para gerar energia.

Relativamente ao aspeto mais significativo de todo o ciclo de vida do DTIO, o consumo de energia elétrica na fase de utilização do produto, este é necessário ao correto funcionamento do produto. No entanto, deve ser analisada a hipótese de reduzir as perdas do transformador, através da escolha de matérias-primas adequadas para esse efeito.

8.4.3 Conclusões

Terminado o estudo de ACV do DTIO, foi possível concluir que, para 30 anos de vida útil, a pontuação final do equipamento, isto é, a contribuição do produto para a geração de danos ambientais é de $1,37E+11$ mPt.

A fase do ciclo de vida com maior impacto ambiental é a fase de uso, com aproximadamente 100 %, sendo o aspeto ambiental inerente o consumo de energia elétrica aquando da utilização do produto.

Relativamente à fase de produção, cuja pontuação obtida foi de 4,44E+06 mPt, foi possível concluir que a utilização de matérias-primas é o aspeto mais significativo (com 4,37E+06 mPt), seguindo-se a utilização de energia (elétrica e gás natural) aquando da produção do DTIO (com 4,91E+04 mPt). Relativamente à utilização de materiais auxiliares, a pontuação verificada foi de 1,10E+04 mPt, sendo este o terceiro aspeto com maior significância. No que diz respeito às matérias-primas e materiais auxiliares, os consumos com maior impacte ambiental são o consumo de cobre (35,92 %) e de água (33,69 %).

A fase de fim de vida ocupa a percentagem mais reduzida, com 6,85E+04 mPt, sendo que o aspeto com maior peso nesta pontuação é o tratamento de resíduos, com 6,80E+04 mPt.

9. LIMITAÇÕES DAS ACV REALIZADAS E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Além das limitações decorrentes da utilização da ferramenta, identificadas no ponto 5.1 da presente dissertação, ao longo do estudo de ACV dos produtos TPU S430 e DTIO, surgiram outras limitações, abaixo descritas.

Uma das limitações deveu-se ao facto de não haver conhecimento pormenorizado acerca das matérias-primas constituintes de cada um dos componentes dos produtos, nem informações acerca da percentagem de cada uma dessas matérias-primas nos casos dos materiais constituídos por mais que uma (por exemplo, os cabos de cobre são constituídos por fios de cobre revestidos a PVC). Mesmo após várias tentativas de contacto com os fornecedores dos materiais (no caso da TPU), essa informação não foi facultada, ora porque estes não responderam à tentativa de contacto, ora porque também eles não possuíam essa informação.

Informações como o tipo de matérias-primas usadas, procedimentos utilizados no fabrico dos materiais, percentagem de matérias-primas recicladas, reciclabilidade do material, entre outros, são muito importantes para todos os agentes da cadeia de valor (fornecedores, distribuidores, produtores, clientes), de modo a que haja uma consciência do que se está a vender/comprar. Esta importância reflete-se quer a nível de estratégias ambientais, quer a nível do negócio. Uma vez que cada vez mais os clientes têm exigido mais informação ambiental acerca dos produtos que consomem, é importante que se consiga transmitir este tipo de informação, que certamente influenciará a sua decisão de compra.

Assim sendo, dever-se-ia considerar a hipótese de determinadas informações acerca dos materiais serem um requisito aquando da contratação dos fornecedores, tendo em vista uma melhor comunicação e interação entre todos os envolvidos na cadeia de valor do produto.

Outra limitação foi o facto de, ao longo da recolha de dados para a fase de inventário, ter havido necessidade de estimar alguns dos dados, como por exemplo, a distância percorrida entre os clientes e os seus centros de tratamento de resíduos, uma vez que se assumiu o centro mais próximo. Em estudos futuros, recomenda-se que esta informação seja solicitada ao cliente, de modo a diminuir a incerteza dos resultados obtidos.

Também o tipo e quantidade dos resíduos gerados aquando da produção foram estimados, pelo que seria útil neste e noutro tipo de estudos que o inventário e a pesagem dos resíduos passassem a ser realizados na própria unidade de produção, de modo a diminuir o erro associado a estes valores. Outro dado estimado foi a quantidade de energia elétrica, pelo que há necessidade de promover uma forma de controlar melhor esses valores por unidade de produção.

Relativamente à TPU, no que diz respeito às manutenções realizadas, visto este produto ser relativamente recente, ainda não há um histórico associado a esta atividade. Assim, foi considerado o pior cenário, o que deverá ser tomado em consideração em estudos futuros acerca deste produto, de modo a proceder a uma recolha de dados mais precisa.

Relativamente ao DTIO, uma limitação foi a falta de informação acerca da massa e constituição de uma grande quantidade de matérias-primas, por se tratarem de materiais de grande dimensão e não existir uma balança na unidade de produção. Em estudos futuros, recomenda-se que se entre em contacto com os fornecedores, de modo a tentar obter esse tipo de dados.

10. CONCLUSÕES

Na presente dissertação pretendia-se um estudo de ACV de dois produtos da Efacec, a TPU S430 e o DTIO, utilizando uma adaptação em Excel da ferramenta Ecolizer 2.0. No entanto, ao longo dos estudos, concluiu-se que, dado a fase de AICV não poder ser realizada, o estudo que estava a ser realizado era um estudo de ICV, que demonstrou ser o suficiente para o cumprimento dos objetivos dos estudos em causa.

Foi possível concluir que o dano ambiental causado pela TPU S430 varia consoante a localização do cliente, derivado das diferenças dos países relativamente ao *mix* energético e processos de produção de energia existentes. No entanto, as diferenças observadas neste caso de estudo em específico podem não corresponder à realidade, uma vez que não existe indicador para o uso de energia elétrica no caso do país internacional escolhido (Roménia), tendo sido utilizado um indicador geral para a Europa.

Concluiu-se que a fase do ciclo de vida da TPU causadora de maior dano ambiental é a fase de utilização, seguida da fase de produção. Na fase de utilização, o aspeto ambiental mais significativo é o consumo de energia elétrica. Na fase de produção, por sua vez, o dano ambiental causado pelo consumo de matérias-primas (apesar de maior) é semelhante ao dano causado pelas manutenções realizadas. As PCB são a matéria-prima mais poluidora de uma TPU, pelo que as configurações menos complexas da TPU S430 são mais favoráveis a nível ambiental.

No caso do DTIO, por sua vez, o consumo de energia elétrica do transformador é tão elevado que esse aspeto ambiental se traduz em cerca de 100 % do impacte total gerado pelo produto. Na fase de produção, o aspeto ambiental mais significativo é a utilização de matérias-primas e materiais auxiliares, sendo os mais significativos o cobre e a água.

A fase de fim de vida ocupa, em ambos os casos, uma pequena percentagem do dano ambiental causado.

Foi possível aferir que uma boa oportunidade de melhoria a nível deste tipo de estudos reside na melhor comunicação entre fornecedor, produtor e cliente, uma vez que grande parte dos dados em falta poderiam ser obtidos através da comunicação entre os diferentes agentes da cadeia de valor dos produtos.

Concluiu-se que a ferramenta utilizada é suficiente para o cumprimento dos objetivos definidos, apesar de que se adequa melhor ao produto TPU, uma vez que o DTIO envolve outros fluxos, como

emissões gasosas e efluentes líquidos, para os quais não existem indicadores ou métodos definidos no Ecolizer 2.0. Por outro lado, no caso de se pretender estudar o caso de clientes não europeus, a ferramenta utilizada não é adequada, uma vez que apenas possui indicadores para países europeus (sendo que nem para a Europa existem dados para todos os países, como é o caso da Roménia).

No caso de se pretender a realização de ACV formais, esta ferramenta não é adequada, uma vez que não permite a realização da fase de AICV. No entanto, para o caso de estudos de ICV, a ferramenta é adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, C. (n.d.). *Transformadores trifásicos*. Disciplina de eletrotécnica do curso de Eng. Elétrica da Universidade Estadual Paulista. Disponível em <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/trafo3.pdf> (Consultado em agosto de 2018).
- Antunes, B. (2010). *Avaliação do Ciclo de Vida Do Transformador de Distribuição Imerso*. Pós-graduação – Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente. (2018a). *Desenvolvimento sustentável*. Disponível em <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=140> (Consultado em março de 2018).
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente. (2018b). *Eco-inovação*. Disponível em <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=928> (Consultado em março de 2018).
- APCER. (2018). *A nova ISO 45001*. Disponível em <https://www.apcergroup.com/portugal/index.php/pt/artigos/2500/a-nova-iso-45001> (Consultado em setembro de 2018).
- Araújo, T. (2013). *Análise Comparativa do Ciclo de Vida de Dois Transformadores de Distribuição produzidos na Efacec Energia, Máquinas e Equipamentos Elétricos, S.A., através da aplicação da ferramenta Ecolizer 2.0 na Avaliação dos seus Impactes Ambientais*. Relatório de estágio, Mestrado – Faculdade de Ciências da Faculdade do Porto.
- BCSD, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. (2017a). *Financiar a Sustentabilidade. Incentivos e apoios financeiros para uma economia inteligente, sustentável e inclusiva até 2020*. ISBN 978-989-98060-6-1
- BCSD, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. (2017b). *Economia Circular*. Disponível em <https://www.bcsdportugal.org/atividades/economia-circular> (Consultado em abril de 2018)
- Borrego, C. (2018). “A transição para a economia circular vai significar um impacto muito positivo na mitigação das alterações climáticas”. *Ingenium*, 100, 50-54.
- BSI. (2017). *BS 8001 – A New standard for the Circular Economy*.
- Carlen, M., Överstam, U., Ramanan, V. R. V, Tepper, J., Swanström, L., Klys, P., & Stryken, E. (2011). *Life cycle assessment of dry-type and oil-immersed distribution transformers with amorphous metal core*. 21th International Conference on Electricity Distribution, 4. Disponível em http://www.cired.net/publications/cired2011/part1/papers/CIRED2011_1145_final.pdf (Consultado em setembro de 2018).
- Cavadas, A. (2011). *Avaliação do Ciclo de Vida do Produto. Transformador de distribuição Seco (Powercast)*. Relatório de estágio, Licenciatura – Faculdade de Ciências da Faculdade do Porto.

- Centre, P. C. P., & Institute, E. C. (2008). Selecting Energy Efficient Distribution Transformers A Guide for Achieving Least-Cost Solutions, 32. Disponível em <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/about/concerted-actions/> (Consultado em setembro de 2018).
- Comissão Europeia (2016). A Economia Circular, 4. doi:10.2779/85279
- Costa, I. (2018). Planear a transição para uma economia circular. *Ingenium*, 100, 30-32.
- Di Noi, C.; Cirotto, A.; Srocka, M. Introduction to OpenLCA. In openLCA 1.7 Comprehensive User Manual, 1st ed.; GreenDelta.
- Efacec. (n.d.-a). Quem Somos. Disponível em <http://www.efacec.pt/quem-somos/> (Consultado em janeiro de 2018).
- Efacec. (n.d.-b). IED da série TPU S430. Proteção e Controlo para Sistemas de Distribuição e Indústria. Disponível em <http://www.efacec.pt/produtos/ied-da-serie-430/> (Consultado em janeiro de 2018).
- Efacec. (n.d.-c) Transformadores. Disponível em <http://www.efacec.pt/transformadores-potencia-distribuicao-oleo-secos/#trf> (Consultado em abril de 2018).
- Efacec. (2018). Relatório e Contas 2017. Energia para o futuro. Disponível em <http://annualreport2017.efacec.pt/> (Consultado em julho de 2018).
- EMF, Ellen MacArthur Foundation Publishing. (2017). Achieving Growth Within.
- EMF, Ellen MacArthur Foundation Publishing. (n.d.). Economia Circular. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/escolas-de-pensamento> (Consultado em fevereiro de 2018).
- Fernandes, A. C.; Guerra, M. D.; Ribeiro, R.; & Rodrigues, S. (2018). Relatório do Estado do Ambiente 2018.
- Fernandes, P. (2018). A Aplicação da ISO 14001:2015 Para a Implementação de Estratégias Circulares. *Ingenium*, 100, 40-41.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, Jr., C., & Umans, S. D. (2003). *Máquinas Elétricas*. (Bookman) (6^a ed.); 69-118.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. D., Struijs, J., & Zelm, R. (2013). *ReCipe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level* (1st ed.).
- IAPMEI (2018). Sistemas de Incentivos à Economia Circular.

- Liimatainen, V. (2012). Life Cycle Analysis Guideline for Protection and Control Relay 615 series. University of applied sciences.
- Malthus, T. R. (1978). First essay on population.
- Mendes, N. C.; Bueno, C.; & Ometto, A. R. (2013). Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. *Production*, 26(1), 160-175, <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.153213>
- OVAM. (n.d.). Disponível em: <http://www.ecolizer.be/help> (Consultado em fevereiro de 2018).
- Pinto, L. M. (2018). O valor da Economia Circular. *Ingenium*, 100, 27-29.
- Portal Eco.nomia. Estratégias da Economia Circular. Disponível em: <http://eco.nomia.pt/pt/economia-circular/diagrama-de-sistemas> (Consultado em 15 de agosto de 2018).
- Santos, P. M. F.; & Porto, R. B. (2013). A Gestão Ambiental Como Fonte de Vantagem Competitiva Sustentável: Contribuições Da Visão Baseada Em Recursos E Da Teoria Institucional. *Revista de Ciências da Administração*, 15 (35), 152-167. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-8077.2013v15n35p152>
- Santos, S. (2018). Sinergias Circulares: desafios para Portugal. *Ingenium*, 100, 24-26.
- Sebrae. (2017b). Ecoinovação nos pequenos negócios. Guiabá, MT. ISBN: 978-85-7361-098-7
- Sebrae. (2017a). Pensamento do ciclo de vida: negócios conscientes a caminho da sustentabilidade. Guiabá, MT. ISBN: 978-85-7361-106-9. CDU: 502.131.1
- Sen, P.C. (1997). *Principles of Electric Machines and Power Electronics*. (John Wiley & Sons, ed), 69-79.
- Sfeir, T. (2013). AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE PELLETS DE MADEIRA UTILIZANDO O SOFTWARE LIVRE OpenLCA. Universidade Federal do Paraná.
- Weidema, B. P., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., ... Wernet, G. (2013). Data quality guideline for the ecoinvent database version 3 (Vol. 3). Disponível em <http://www.ecoinvent.org/database/methodology-of-ecoinvent-3/methodology-of-ecoinvent-3.html>

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

- ISO 14040:2006 – *Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*
- NP EN ISO 14044:2010 – Gestão Ambiental. Avaliação do ciclo de vida. Requisitos e linhas de orientação
- NP EN ISO 14001:2015 – Sistemas de Gestão Ambiental. Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 190 – A/2017. Diário da República, 1.ª série – N.º 236 – 11 de dezembro de 2017

Regulamento (UE) N.º 548/2014 da comissão de 21 de maio de 2014.

ANEXO I – INDICADORES UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DA ACV DA TPU S430

Tabela IX. Indicadores utilizados na Avaliação do Ciclo de Vida da TPU S430, produzida pela Efacec

Fase do ciclo de vida	Processo do ciclo de vida	Indicadores utilizados	mPt / unidade
Produção	Utilização de materiais	Aço inoxidável 18/8 (primário)	1130
		Cobre 44 % secundário	3450
		Latão	2648
		Solda leve (97 % estanho e 3 % cobre)	63668
		Poliamida 6	738
		Poliuretano, espuma flexível	479
		Policarbonato	654
		Polietileno de baixa densidade	276
		Policloreto de vinila	217
		Fibras de vidro	273
		Papel <i>woodfree</i> , sem revestimento	317
		Cartão fibras mistas, lado único	149
		Bateria recarregável Li-ion	1891
	Placa de circuito impresso, montagem em superfície, sem Pb	52208	
	Processo produtivo	Eletricidade, baixa voltagem, Portugal	69
	Tratamento de resíduos	Reciclagem de ferro	30
		Reciclagem de poliestireno	37
		Reciclagem de cartão	18
		Reciclagem de madeira	18
		Equipamentos elétricos e eletrónicos	6
Resíduos urbanos		46	
Solventes e mistura de solventes		46	

		Resíduos de remoção de tintas e vernizes	46
	Transporte dos resíduos	Camião >16 toneladas	17
Utilização	Transporte do produto	Camião >16 toneladas	17
	Consumo de energia (cliente A)	Eletricidade, baixa voltagem, Portugal	69
	Consumo de energia (cliente B)	Eletricidade, baixa voltagem, Europa	53
	Tratamento de resíduos	Reciclagem de cartão	18
	Transporte dos resíduos	Camião >16 toneladas	17
	Transporte de manutenção preventiva	Carro de passageiros, diesel, Europa	16
	Manutenção corretiva	Placa de circuito impresso, montagem em superfície, sem Pb	52208
		Camião >16 toneladas	17
Fim de vida	Tratamento dos resíduos	Aço inoxidável	30
		Cobre	30
		Latão	30
		Estanho	30
		Poliamida	35
		Policarbonato	30
		Poliestireno	35
		Poliuretano	33
		Policloreto de vinila	32
		Fibra de vidro	35
		Papel	7
		Componentes eletrónicos	6
	Transporte dos resíduos	Camião >16 toneladas	17

ANEXO II – INDICADORES UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DA ACV DO DTIO

Tabela X. Indicadores utilizados na Avaliação do Ciclo de Vida do transformador de distribuição imerso em óleo mineral, produzido pela Efacec

Fase do ciclo de vida	Processo do ciclo de vida	Indicadores utilizados	mPT / unidade
Produção	Utilização de materiais	Aço inoxidável 18/8 (primário)	1130
		Aço secundário (liga média)	331
		Alumínio primário	1096
		Liga de alumínio primário	518
		Esmaltagem (alumínio)	897
		Cobre primário	3525
		Cobre 44 % secundário	3450
		Chumbo secundário	77
		Zinco primário	651
		Poliamida 6	738
		Policloreto de Vinila	217
		Fibras de poliéster	679
		Madeira dura, seca ao ar ou forno, em pranchas, não planadas	281
		Papel, <i>Woodfree</i> , sem revestimento	317
		Cartão, fibras frescas, lado único	270
		Fibras de celulose	53
		Tinta alquídica branca, 60 % em água	311
		Água corrente	0,03
	Produtos químicos orgânicos	249	
	Processo produtivo	Eletricidade, baixa voltagem, Portugal	69
		Gás natural (At boiler atm. low-NOx condensing non-modulating <100kW)	7
Tratamento de resíduos	Ferro	30	

		Cobre	30
		Poliestireno	37
		Polipropileno	33
		Policloreto de Vinila	32
		Papel	7
		Cartão	18
		Madeira não tratada	17
		Resíduos urbanos	46
		Líquidos de lavagem aquosos	46
		Resíduos de remoção de tintas e vernizes	46
		Resíduos orgânicos	46
		Resíduos inorgânicos	46
		Óleo	46
	Transporte dos resíduos	Camião >16 toneladas	17
Utilização	Transporte do produto	Camião >16 toneladas	17
	Consumo de energia	Eletricidade, baixa voltagem, Portugal	69
	Tratamento de resíduos	Madeira não tratada	17
	Transporte dos resíduos	Camião >16 toneladas	17
Fim de vida	Tratamento dos resíduos	Aço inoxidável	30
		Cobre	30
		Aço	30
		Alumínio	30
		Poliamida	35
		Chumbo	30
		Policloreto de Vinila	32
		Compósitos	35
		Papel	7
		Cartão	18
		Zinco	30
		Isolamento	33

		Pinturas e tintas	46
		Orgânicos	46
	Transporte dos resíduos	Camião >16 toneladas	17