



A sustentabilidade e a eficiência energética na indústria dos elevadores: Avaliação do ciclo de vida de um elevador

CÁTIA ALEXANDRA FAFIÃES SILVA

julho de 2022

A sustentabilidade e a eficiência energética na indústria dos elevadores

Avaliação do ciclo de vida de um elevador como contributo para
os edifícios nZEB

(Near Zero Energy Building)

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Química, ramo opcional de Energia e Biorrefinaria

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Química - DEQ

CÁTIA ALEXANDRA FAFIÃES SILVA

Junho 2022

ORIENTAÇÃO:

Pedro Santos: Schmitt – Elevadores, Lda

Eng.^a Florinda Martins: ISEP

Agradecimentos

À Schmitt – Elevadores, Lda, ao Dr. Miguel Franco e ao Eng.º Alexander Iken pela oportunidade e privilégio de realizar um estágio e de proporcionar um tema tão interessante para a dissertação de mestrado.

Ao meu orientador da Schmitt, Pedro Santos, pelos conselhos partilhados durante a realização do estágio que tornaram esta experiência muito enriquecedora.

Aos colegas do Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança pela receção, compreensão, motivação e esclarecimento de dúvidas.

A todos os colegas dos restantes departamentos, pela colaboração e tempo dispensado em toda a ajuda prestada que foi imprescindível para a compreensão e realização deste projeto.

À minha orientadora do ISEP, Eng.^a Florinda Martins, pelo apoio, disponibilidade e partilha de conhecimentos e experiências durante este período de estágio.

A todas as pessoas, que direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste estágio.

Aos meus amigos e família pelo incentivo, motivação e presença nos bons e maus momentos.

Resumo

Elevadores são produtos ativos, ou seja, consomem recursos à medida que cumprem a sua função. Por esta razão, o seu impacto ambiental não ocorre apenas durante a sua produção, mas perdura durante e após a sua vida de serviço. Desse modo, para a determinação do seu impacto ambiental é bastante pertinente a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Com o estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pretende-se obter informação e identificar oportunidades de melhoria do desempenho ambiental nas várias fases do ciclo de vida para tornar o produto e os processos adjacentes mais sustentáveis e eficientes energeticamente.

A Avaliação do Ciclo de Vida centra-se em 4 fases: Definição do objetivo e Âmbito; Inventário; Avaliação do Impacte e Interpretação de resultados de acordo com as normas NP EN ISO 14040:2008 e NP EN ISO 14044:2010. A abordagem considerada é do “berço à cova”, englobando todas as etapas do ciclo de vida de um elevador padrão modelo A, fabricado em Portugal.

As principais fontes de dados centraram-se em documentação interna da empresa, medições nas unidades fabris e em obra, documentação dos fornecedores e a base de dados ecoinvent. O *software* utilizado para modelar o ciclo de vida do elevador declarado foi o openLCA e o método de avaliação de impacte foi o CML-IA *baseline*.

O desempenho ambiental do ciclo de vida do elevador é marcado pela etapa de extração e produção de matéria-prima. Apresenta valores acima de 37% para todas as categorias de impacte sendo que o potencial de depleção dos recursos abióticos (elementos) atinge 77,74%. Estes valores elevados correspondem maioritariamente à obtenção de metais ferrosos e componentes eletrónicos que apresentam processos de extração e produção bastante intensivos energeticamente e prejudiciais para o meio ambiente.

O uso operacional de energia é a segunda fase com maior impacto ambiental dado que apresenta a maior duração (25 anos) salientando-se os valores de 42,91% para o potencial de depleção de combustíveis fósseis, 44,49% para o potencial de aquecimento global e 48,62% para o potencial de acidificação.

Após a consideração de vários cenários verificou-se que a opção que permite melhorias significativas no desempenho ambiental do elevador é o aumento da classe de eficiência energética de B para A que pode ser atingida com recurso à funcionalidade modo *sleep* e ao mecanismo de regeneração de energia. A escolha de fornecedores de equipamentos eletrónicos é de elevada relevância e deve ser considerado não apenas o custo, mas também o consumo energético dos mesmos. A redução da quantidade de chapa de aço é um processo mais difícil e moroso devido a questões de qualidade e segurança do produto.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida, Elevadores, Desempenho ambiental, Sustentabilidade, Eficiência energética, openLCA, ecoinvent, ISO 14040, ISO 14044

Abstract

Elevators are active products, that is, they consume resources as they fulfill their function. For this reason, its environmental impact does not only occur during its production but lasts throughout its service life and after. So, to determine its environmental impact, it is quite pertinent to carry out a Life Cycle Assessment (LCA).

The life cycle assessment study is intended to obtain information and identify opportunities for improving environmental performance in the various stages of the life cycle, so as to make the product and the adjacent processes more sustainable and energy efficient.

The Life Cycle Assessment focuses on 4 phases: Goal definition and Scope; Inventory; Impact Assessment and Interpretation of results according to the NP EN ISO 14040:2008 and NP EN ISO 14044:2010 standards. The approach considered is cradle to grave, encompassing all stages of production of a standard elevator model A, produced in Portugal.

The main data sources are internal documentation of the company, measurements on manufacturing and installation sites, documentation of suppliers and the database ecoinvent. The software used to model the life cycle of the elevator was openLCA and the impact assessment method was CML-IA baseline.

The elevator's life cycle environmental performance is driven by the raw material extraction and production. It presents values above 37% for all impact categories and the depletion potential of abiotic resources (elements) reaches 77,74%. These high values correspond mainly to the acquisition of ferrous metal and electronic components that have very energy intensive extraction and production processes that are harmful for the environment.

The operational use of energy is the second phase with the highest environmental impact given its long duration (25 years) highlighting the values of 42,91% for depletion of abiotic resources (fossil fuels) potential, 44,49% for global warming potential and 48,62% for acidification potential.

After considering several scenarios it was found that the option that allows significant improvements in the environmental performance is the increase of the energy efficiency class from B to A that can be achieved by the implementation of the feature sleep mode and the mechanism of energy regeneration. The choice of the suppliers is also of great relevance, and it should be predominant not only the cost but also the energy consumption of the electronic equipment. The reduction of steel sheet quantity is a more difficult and time-consuming process because of questions related to the quality and safety of the product.

Keywords: Life cycle assessment, Elevators, Environmental performance, Sustainability, Energy efficiency, openLCA, ecoinvent, ISO 14040, ISO 14044

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento do trabalho	1
1.2	Apresentação da empresa	2
1.3	Organização da dissertação	3
2	Elevadores e o ambiente.....	5
2.1	História e evolução dos elevadores	5
2.2	Elevador elétrico e os seus grupos funcionais.....	5
2.3	Contributo dos elevadores para edifícios nZEB (<i>Near Zero Energy Buildings</i>).....	8
2.4	Impactos do setor no ambiente e estratégias de mitigação.....	9
2.4.1	Impactos ambientais dos elevadores	10
2.4.2	Economia circular	11
2.4.3	Estratégias verdes para elevadores	14
2.5	Avaliação do ciclo de vida (ACV)	17
2.5.1	Metodologia de acordo com as normas ISO 14040 e ISO 14044	17
2.5.2	Métodos para avaliação do impacte ambiental.....	19
2.6	Declarações ambientais de produto.....	21
3	Processo produtivo de um elevador	25
3.1	Logística externa e interna	25
3.2	Transformação mecânica.....	26
3.3	Soldadura.....	27
3.4	Pintura	28
3.5	Assemblagem	29
3.6	Embalagem e expedição.....	30
3.7	Utilidades	30
3.8	Gestão de resíduos.....	31
4	Avaliação do ciclo de vida do elevador	33
4.1	Definição do objetivo e do âmbito	33
4.2	Inventário do ciclo de vida (ICV)	38
4.2.1	Matérias-primas.....	38
4.2.2	Fase de produção.....	40
4.2.3	Fase de uso	45
4.2.4	Fase de fim de vida.....	47
4.3	Avaliação do impacte do ciclo de vida (AICV)	48
4.4	Interpretação do ciclo de vida	50

4.4.1	Indicadores ambientais.....	50
4.4.2	Oportunidades de melhoria	54
5	Conclusões	57
	Bibliografia.....	59
	Anexos.....	63
Anexo A.	Cálculo do desempenho do transporte.....	63
Anexo B.	Cálculo do consumo energético de um elevador e a respetiva classe de eficiência energética	65
Anexo C.	Equivalência de fluxos com a base de dados <i>ecoinvent</i>	69
Anexo D.	Declaração ambiental do produto	73

Índice de figuras

Figura 2.1 - Motor elétrico - máquina sem redutor de um elevador.....	5
Figura 2.2 - Limitador de velocidade de um elevador	6
Figura 2.3- Paraquedas de um elevador	6
Figura 2.4 - Sistema de suspensão e contrapeso de um elevador	7
Figura 2.5 - Componentes da porta de cabina de um elevador	8
Figura 2.6 - Avaliação do impacto de elevadores nas diferentes fases de produção.....	11
Figura 2.7 - Economia circular.....	11
Figura 2.8 - Estratégias verdes para elevadores.	14
Figura 2.9 - Informação sobre as fases do ciclo de vida apresentadas numa declaração ambiental do produto.	23
Figura 3.1 - Organograma do departamento de produção.....	25
Figura 4.1 - Modelo A e os seus grupos funcionais	34
Figura 4.2 - Abordagem “berço à cova” da avaliação do ciclo de vida do elevador.....	36
Figura 4.3 - Fronteiras do sistema - Produção de um elevador	37
Figura 4.4 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de corte.....	42
Figura 4.5 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de quinagem.....	42
Figura 4.6 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de soldadura	43
Figura 4.7 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de pintura	43
Figura 4.8 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de montagem	44
Figura 4.9 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de embalagem	44
Figura 4.10 - Contribuição dos indicadores de categoria de impacto para cada etapa do ciclo de vida do elevador	49
Figura 4.11 - Consumo de energia e utilização de água para as diferentes etapas do ciclo de vida do elevador	50
Figura 4.12 - Contribuição dos indicadores de categoria de impacto para as etapas de produção do ciclo de vida do elevador.....	52
Figura 4.13 - Mix energético português a abril de 2022	53

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Classificação de eficiência energética	9
Tabela 2.2 - Potencial económico das ações ReSOLVE para diferentes atividades	13
Tabela 2.3 - Vantagens e desvantagens da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	17
Tabela 2.4 - Categorias de impacto do método CML-IA baseline	20
Tabela 3.1 - Códigos LER da Lista Europeia de Resíduos e a respetiva operação de valorização	31
Tabela 4.1 - Especificações do elevador do modelo A	33
Tabela 4.2 - Matérias-primas utilizadas na produção do elevador	38
Tabela 4.3 - Matérias-primas utilizadas para a embalagem do elevador	39
Tabela 4.4 - Transporte das matérias-primas até ao armazém da empresa	39
Tabela 4.5 - Transporte dos materiais entre os armazéns da empresa.....	41
Tabela 4.6 - Transporte dos materiais entre do armazém até ao cliente.....	45
Tabela 4.7 - Tratamento de fim de vida dos grupos funcionais do elevador.....	48
Tabela 4.8 - Indicadores de categoria de impacto para o ciclo de vida do elevador por unidade funcional (1 tkm).....	49
Tabela 4.9 - Comparação dos indicadores de categoria de impacto por unidade funcional (1 tkm) para os diferentes cenários	54
Tabela A.1 - Número de viagens por dia por categoria de uso	63
Tabela A.2 - Percentagem da distância média percorrida	63
Tabela A.3 - Carga média do elevador.....	64
Tabela B.1 - Parâmetros do elevador	65
Tabela B.2 - Dados determinados por medição	65
Tabela B.3 - Dados obtidos através das tabelas da norma NP EN ISO 25745-2:2015	65
Tabela C.1 - Equivalências dos fluxos estudados com os da base de dados ecoinvent.....	69

Acrónimos

ACV: Avaliação do ciclo de vida

CML: *Center of Environmental Science*

COV: Compostos Orgânicos Voláteis

DAP: Declaração Ambiental de Produto

DCS: *Destination Control Software*

GPL: Gás de petróleo liquefeito

LER: Lista europeia de resíduos

nZEB: *Near Zero Energy Buildings*

PEP: Planeamento e Programação

PTS: Partículas Totais em Suspensão

RCP: Regras de Categoria de Produto

RER: *Region of Europe*

UC: *Use Category*

VLE: Valores Limite de Exposição

Nomenclatura

a: Aceleração (m/s^2)

d_{op} : Número de dias de operação por ano

E_d : Energia total consumida por dia (Wh)

E_{lc} : Energia total consumida por ciclo de vida (kWh)

E_{nr} : Energia consumida em modo inativo por dia (Wh)

E_{rav} : Energia média consumida em operação com cabina vazia (Wh)

E_{rc} : Energia do ciclo de referência (Wh)

E_{rd} : Energia consumida em operação por dia (Wh)

E_{rm} : Energia média consumida em operação por metro (Wh/m)

E_{sc} : Energia do ciclo curto (Wh)

E_{ssc} : Energia consumida *start/stop* (Wh)

j: Variação de velocidade – *Jerk* (m/s^3)

k_L : Fator de carga

n_d : Número de viagens diárias

P_{id} : Energia em modo inativo (Wh)

P_{st30} : Energia em modo inativo após 30 min (Wh)

P_{st5} : Energia em modo inativo após 5 min (Wh)

Q: Carga nominal (t)

Q_m : Carga média (t)

R_{id} : Razão de tempo inativo (%)

RSL: tempo de vida de serviço (anos)

R_{st30} : Razão de tempo inativo após 30 min (%)

R_{st5} : Razão de tempo inativo após 5 min (%)

s_{av} : Distância percorrida (km)

s_{rc} : Distância do ciclo de referência (m)

s_{RSL} : Distância percorrida pelo elevador durante a vida de serviço (km)

s_{sc} : Distância do ciclo curto (m)

t_{av} : Tempo de viagem médio (s)

t_d : Tempo de porta (s)

t_{nr} : Tempo inativo por dia (h)

t_{rd} : Tempo de operação por dia (h)

v : Velocidade nominal (m/s)

1 Introdução

1.1 Enquadramento do trabalho

De acordo com as Nações Unidas, o desenvolvimento sustentável é definido como o desenvolvimento capaz de satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras suprirem as suas próprias necessidades [1]. Para atingir um desenvolvimento sustentável, Portugal estabeleceu o compromisso de transição energética reduzindo as emissões de gases com efeitos de estufa com o intuito de alcançar neutralidade carbónica em 2050 [2].

Tendo esse objetivo em vista como também as metas da União Europeia, Portugal estabeleceu um Plano Nacional de Energia e Clima para 2030. Destaca-se os objetivos de decréscimo de emissões de gases de efeito de estufa em 45% - 55%; eficiência energética de 35%; utilização de energias renováveis de 47% com uma quota de 20% nos transportes e interligações elétricas de 15% [2].

Segundo o relatório “O ambiente na Europa: estado e perspetivas 2020” publicado pela Agência Europeia do Ambiente, verifica-se que a Europa, nos últimos 20 anos, obteve progressos significativos na mitigação das alterações climáticas, ao reduzir emissões de gases com efeito de estufa, como também no combate à poluição do ar e água e em políticas baseadas em economia circular [3].

No entanto, com a atual taxa de progresso, não é possível cumprir os objetivos climáticos e energéticos até 2030 e 2050, sendo que as alterações climáticas, poluição e saúde humana são parâmetros pelos quais a preocupação é maior, sendo imprescindível investimento em projetos e atividades sustentáveis [3].

Para a Schmitt – Elevadores, Lda, a sustentabilidade ambiental é uma das suas preocupações tendo apostado em desenvolvimento sustentável, avaliação do ciclo de vida dos produtos, critérios ambientais na aquisição de equipamentos e matérias-primas, redução do impacto da atividade no ambiente e certificações ambientais.

Outro tópico onde há investimento é no desenvolvimento de elevadores energeticamente eficientes para melhorar o seu desempenho e diminuir os consumos associados de energia e recursos.

Tendo em conta essas preocupações, a presente dissertação centra-se na avaliação do ciclo de vida do elevador de modelo A, em Portugal, tendo por base as normas NP EN ISO 14040:2008 e NP EN ISO 14044:2010.

Com o estudo de avaliação do ciclo de vida pretende-se:

- Obter informação e identificar oportunidades de melhoria do desempenho ambiental nas várias fases do ciclo de vida;
- Realizar um planeamento estratégico para os estágios mais relevantes do ciclo de vida do elevador, de modo a tornar o produto e os processos adjacentes mais sustentáveis e eficientes energeticamente.

- Desenvolver uma declaração ambiental do produto para divulgar resultados externamente e demonstrar transparência e credibilidade corporativa para as partes interessadas através de publicação *online*.

O intuito é apostar na eficiência energética e sustentabilidade na indústria dos elevadores de modo a contribuir para edifícios nZEB (*Near Zero Energy Building*) – edifícios com necessidades energéticas quase nulas.

1.2 Apresentação da empresa

A Schmitt+Sohn – Aufzüge foi fundada em 1861, em Nuremberga, por Martin Schmitt e fabricou o 1º elevador, em 1885. A empresa é gerida pela 6ª geração e a sua filosofia empresarial centra-se na “Aprendizagem diária – Qualidade – Seriedade empresarial” [4].

Atualmente, tem presença em 4 países da Europa: Alemanha, Portugal, Áustria e República Checa com cerca de 1 900 funcionários e 32 delegações [5].

Por ano, são produzidos mais de 2 100 elevadores nas unidades de produção na Alemanha e em Portugal, para diversos setores de atividade, como por exemplo, habitação, saúde, comércio, indústria, cultura, administração e transportes [4] [5].

A Schmitt+Sohn também atua na manutenção de elevadores da própria marca ou de outras, sendo que anualmente é realizada manutenção em mais de 50 000 elevadores internacionalmente, tendo um serviço disponível durante 24 horas por dia e 365 dias por ano [5].

Um elevador fabricado pela Schmitt+Sohn é constituído por cerca de 10 000 peças que são maioritariamente fabricadas pela empresa e com um fornecimento garantido durante 20 anos [4] [5].

É ainda de notar o valor anual de negócios do grupo de 180 milhões de euros e o passivo bancário nulo que garante independência e parcerias fortes [5].

A unidade de produção em Portugal foi fundada em 1963 e situa-se em Leça do Balio, Matosinhos dividindo-se em dois polos, distanciados cerca de 1 km [4].

A unidade 1 é constituída pelos escritórios, gabinetes técnicos, serviços administrativos, secção da montagem elétrica e armazém Schmitt 1. Por outro lado, a unidade 2 concentra as secções de transformação mecânica, soldadura, pintura, montagem mecânica, manutenção industrial, armazém Schmitt 2, armazém de matéria-prima e expedição.

É a única empresa em Portugal a produzir de raiz, instalar e fazer a manutenção multimarca de elevadores e tem delegações no Porto (sede), Lisboa, Coimbra, Braga, Castelo Branco e Faro [4].

Existem vários modelos de elevadores a serem produzidos nas unidades fabris sendo o “Modelo A” considerado o elevador padrão. No entanto, os elevadores podem

sofrer alterações para corresponder às necessidades do cliente, tendo uma oferta de diversos acessórios [6].

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação de mestrado encontra-se organizada em 5 capítulos, que pretendem explicitar o projeto desenvolvido.

No **Capítulo 1** procede-se à introdução e enquadramento do trabalho, definindo objetivos e apresentando a empresa onde se realizou o estágio assim como a descrição da estrutura da dissertação.

No **Capítulo 2** apresenta-se o estado de arte em que o tema central é o elevador e a sua relação com o ambiente, onde se refere os seus grupos funcionais e o contexto mundial. Procede-se à descrição dos impactos do setor no ambiente e medidas de mitigação, como também à aplicação da metodologia – Avaliação do ciclo de vida – que tem o objetivo de avaliar o impacte ambiental do serviço/produto em estudo.

No **Capítulo 3** aborda-se os processos de produção do elevador Modelo A da Schmitt – Elevadores, Lda, envolvendo todas as etapas do fabrico.

No **Capítulo 4** apresenta-se o sistema em estudo (Elevador Modelo A) e a modelação do seu ciclo de vida referindo as 4 fases de acordo com as normas NP EN ISO 14040:2008 e NP EN ISO 14044:2010: definição do objetivo e do âmbito; inventário, avaliação de impacte e interpretação.

Neste capítulo, procede-se à apresentação dos indicadores ambientais obtidos e à identificação de propostas de melhoria no projeto ou reformulação de produtos/processos.

No **Capítulo 5** termina-se com as conclusões e propostas de trabalho futuro.

2 Elevadores e o ambiente

2.1 História e evolução dos elevadores

Os elevadores têm uma história bastante antiga dado que desde sempre foi procurada uma maneira de transportar mais eficientemente materiais e passageiros de um nível para outro. O elevador mais antigo é atribuído a Arquimedes, que era um inventor e matemático grego, em 235 AC [7].

O projeto de elevador utilizado atualmente foi apresentado pela primeira vez em 1852 por Elisha Graves Otis. Este elevador apresentava um mecanismo de segurança que impedia a cabina de cair se o cabo principal quebrasse. Em 1880, Werner von Siemens construiu o primeiro elevador elétrico e, alguns anos depois, J.W. Meaker patenteou o método seguro de abrir e fechar as portas do elevador [7].

Com os vários desenvolvimentos na tecnologia, especialmente em termos de mecanismos de segurança elétrica, os elevadores são considerados uma das formas mais seguras de transporte [8].

2.2 Elevador elétrico e os seus grupos funcionais

Atualmente, os elevadores de tração elétricos são utilizados em quase todas as aplicações e são compostos por vários grupos funcionais que são uma associação de componentes cujas funções estão correlacionadas. Os principais grupos funcionais são: sistema de tração; caixa; comando; cabina e portas [9].

O sistema de tração elétrico é composto por um motor elétrico (Figura 2.1) que transforma a energia elétrica em mecânica para movimentar a cabina. Quando o motor está diretamente acoplado à roda de tração estamos na presença de uma máquina sem redutor (*gearless*). Numa máquina com redutor, o motor está acoplado à roda de tração através de uma caixa desmultiplicadora [9].



Figura 2.1 - Motor elétrico - máquina sem redutor de um elevador

A caixa é o local de interação de todos os grupos funcionais. Associados à caixa estão os elementos: limitador de velocidade, paraquedas, suspensão e contrapeso [9].

O limitador de velocidade é um dispositivo de segurança que tem o objetivo de detetar um excesso de velocidade e fazer parar a cabina com a ajuda do paraquedas. É constituído por 2 roldanas interligadas por um cabo (Figura 2.2) [9].

A roldana superior apresenta um dispositivo que funciona pela força centrífuga do movimento da roldana e monitoriza a velocidade. Quando a velocidade excede em 30% a velocidade nominal, o limitador aciona o circuito de segurança que por sua vez desliga o motor e faz atuar o paraquedas. A roldana inferior é a roda tensora e fornece a tensão necessária ao cabo do limitador de velocidade [9].

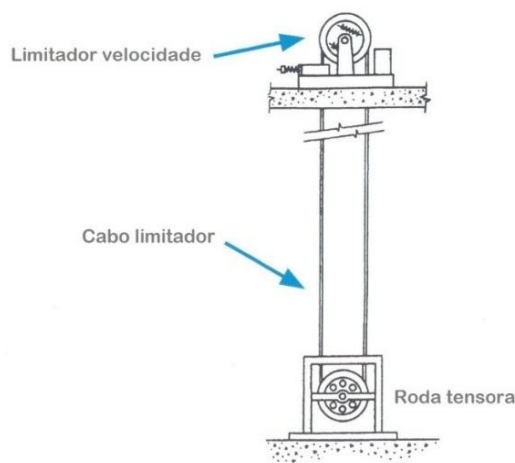


Figura 2.2 - Limitador de velocidade de um elevador [24]

O sistema de paraquedas (Figura 2.3) também é um dispositivo de segurança que permite parar o elevador se a velocidade for excessiva ou se os cabos rebentarem sendo ativado pelo limitador de velocidade [9].

Os elementos que bloqueiam a cabina são as cunhas e no momento de ação do cabo do limitador de velocidade são pressionadas contra as guias, o que leva à paragem imediata da cabina [9].

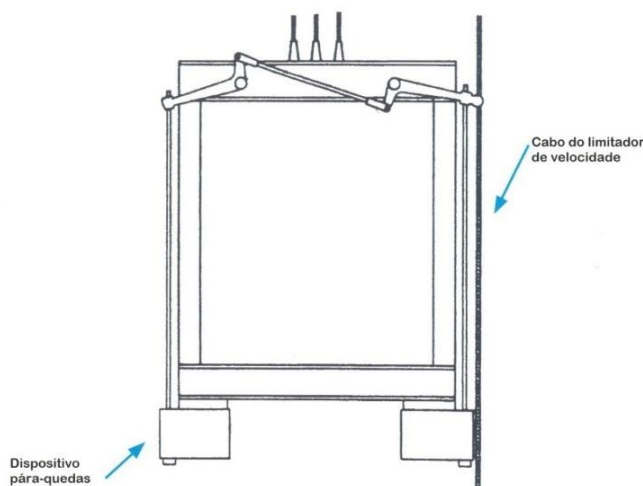


Figura 2.3- Paraquedas de um elevador [24]

A suspensão de um elevador é composta por uma roda de tração, uma cabina e um contrapeso interligados pelos cabos de suspensão [9].

O contrapeso tem a função de contrabalançar o peso da cabina e a sua carga. O peso do contrapeso corresponde à cabina vazia mais 40 a 50% da sua capacidade de transporte de carga. A roda de tração acoplada ao motor elétrico, move os cabos de tração por atrito [9].

O sistema de suspensão e contrapeso encontra-se descrito na Figura 2.4.

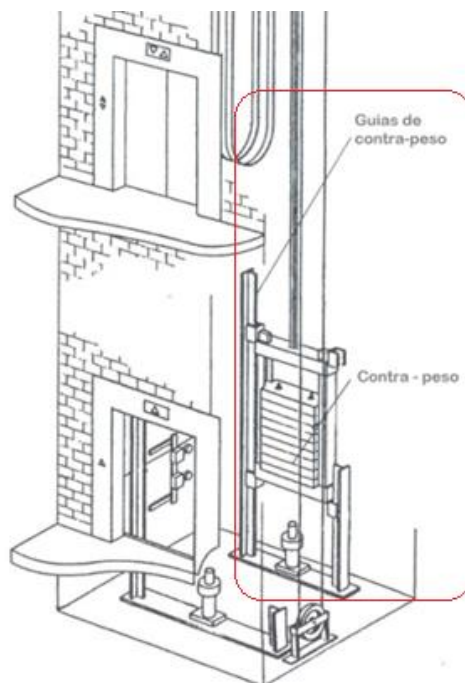


Figura 2.4 - Sistema de suspensão e contrapeso de um elevador [24]

O comando apresenta várias funções destacando-se a receção de sinais de chamadas de patamar e cabina e de sinais emitidos pelos sensores colocados ao longo da caixa; monitorização do estado dos circuitos de segurança e atuação do travão do motor elétrico [9].

Atualmente podem ser acrescentadas mais funções acessórias como por exemplo teste de circuitos, diagnóstico de avarias, entre outras [9].

A cabina é o local de transporte dos passageiros que ao longo do tempo tem apresentado um *design* mais moderno com iluminação, ventilação no fundo e no teto e espelhos para permitir o maior conforto possível [9].

Atendendo às normas atuais, a cabina tem de ser equipada com portas automáticas, movimentando-se apenas com estas fechadas. São compostas pelo operador de porta; painéis e patim (Figura 2.5) [9].

O operador de porta é um mecanismo eletromecânico bastante importante que transforma o movimento rotacional de um motor elétrico no movimento horizontal das portas [9].

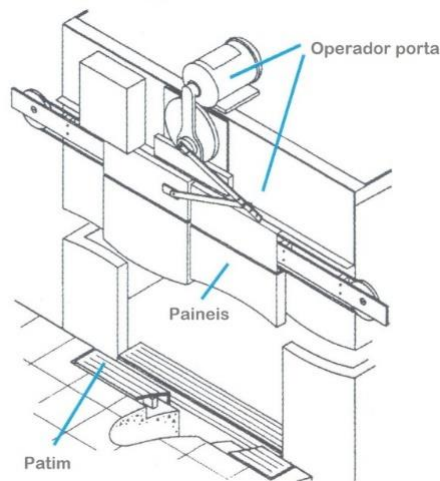


Figura 2.5 - Componentes da porta de cabina de um elevador [24]

Para que não ocorram acidentes em que haja risco de queda de pessoas, é obrigatória a existência de uma porta de patamar com encravamento em todos os pisos, para se controlar os movimentos de entrada e saída dos elevadores [9].

O movimento da cabina está dependente do estado das portas de patamar, sendo que a sua abertura só ocorre se a cabina se encontrar no respetivo piso [9].

2.3 Contributo dos elevadores para edifícios nZEB (*Near Zero Energy Buildings*)

Na Europa estima-se que 40% da energia primária e 36% das emissões de gases de efeito de estufa se deve ao setor de edifícios. Em alguns estados-membros esta percentagem pode exceder os 45% [10].

Segundo a Diretiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios, os edifícios nZEB (*Near Zero Energy Buildings*) são definidos como edifícios de performance elevada e que consomem pouca energia. A pouca quantidade de energia requerida deve ser assegurada por fontes renováveis obtidas no local ou nas proximidades.

De acordo com o Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de agosto, um sistema técnico de um edifício é definido como:

“O conjunto dos equipamentos associados ao processo de climatização, incluindo o aquecimento, arrefecimento e ventilação natural, mecânica ou híbrida, a preparação de águas quentes sanitárias e a produção de energia renovável, bem como, nos edifícios de comércio e serviços, os sistemas de iluminação e de gestão de energia, os elevadores e as escadas rolantes.”

Para tal a necessidade de reduzir os consumos de energia associados ao transporte vertical é imprescindível, dado que os elevadores representam cerca de 3–5% do consumo energético de um edifício [10].

A aplicação de mecanismos para tornar os elevadores mais eficientes e menores consumidores de energia, contribui para que os edifícios nos quais sejam instalados se tornem menos consumidores de energia [10].

Decorrente da Portaria 17-A/2016 de 4 de fevereiro, a partir de 31 de dezembro de 2015, o cálculo do desempenho energético do elevador é obrigatório, sendo que os elevadores a instalar em edifícios de comércio e prestação de serviços têm de apresentar como requisito mínimo uma classe energética “B”.

As classes de eficiência energética são determinadas tendo por base a norma NP EN ISO 25745-2:2015 como se pode observar na Tabela 2.1.

Tendo por base, a carga nominal (Q), o número de viagens por dia (n_d), a distância percorrida na subida (s_{av}) e o tempo diário em que o elevador se encontra em *standby* (t_{nr}) é possível determinar os valores limite de energia consumida por dia de modo a atribuir uma classe de eficiência energética.

Tabela 2.1 - Classificação de eficiência energética (Adaptado de: NP EN ISO 25745:2015)

Classe de eficiência energética	Energia consumida por dia (Wh)
A	$E_d \leq 0,72 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 50 * t_{nr}$
B	$E_d \leq 1,08 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 100 * t_{nr}$
C	$E_d \leq 1,62 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 200 * t_{nr}$
D	$E_d \leq 2,43 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 400 * t_{nr}$
E	$E_d \leq 3,65 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 800 * t_{nr}$
F	$E_d \leq 5,47 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 1600 * t_{nr}$
G	$E_d > 5,47 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 1600 * t_{nr}$

Os mecanismos como a reinjeção da energia gerada pelos elevadores na rede ou a alimentação dos elevadores por painéis fotovoltaicos levam a que se tenha elevadores mais eficientes energeticamente contribuindo diretamente para uma redução de consumo no respetivo edifício.

2.4 Impactos do setor no ambiente e estratégias de mitigação

Elevadores são produtos ativos, ou seja, consomem recursos à medida que cumprem a sua função. Por esta razão, o seu impacto ambiental não ocorre apenas durante a sua produção, mas perdura durante a sua vida de serviço [11].

Os processos a montante estão associados à produção das matérias-primas (extração e refinação); produção de materiais auxiliares e transporte [11].

Os processos principais correspondem a todos os processos unitários que ocorrem dentro da empresa como por exemplo: corte, quinagem, soldadura, pintura, montagem e embalagem [11].

Os processos a jusante são os processos após o produto sair da unidade fabril. Englobam a expedição, instalação do elevador, manutenção, uso (normalmente designado por consumo operacional de energia), desmantelamento e tratamento de fim de vida [11].

2.4.1 Impactos ambientais dos elevadores

A principal matéria-prima presente no elevador é o aço que é obtido após refinação do ferro extraído das minas.

A mineração do ferro é bastante intensiva a nível energético e causa poluição do ar na forma de óxido nítrico, dióxido de carbono, monóxido de carbono e dióxido de enxofre devido aos geradores, camiões e outros equipamentos utilizados. Pode-se verificar ainda poluição da água com metais pesados devido à exploração mineira [12].

Cerca de 95% do ferro minerado tem como destino a indústria do aço. A produção de aço também é consumidora intensiva de energia emitindo dióxido de carbono durante a atividade industrial. O aço requer 20 GJ de energia e são emitidas 1,83 toneladas de dióxido de carbono por cada tonelada produzida [12].

No entanto, todos os resíduos metálicos podem ser coletados e separados em ferrosos (como o aço) ou não ferrosos. Os resíduos do aço são compactados e triturados para posteriormente serem derretidos na siderurgia. O processo siderúrgico consome muita energia, mas menos que a produção do aço. Após purificação o aço pode ser solidificado e utilizado como matéria-prima novamente [13].

Esta reciclagem permite uma preservação de recursos naturais e diminui a necessidade de mineração de ferro que é muito prejudicial para o meio ambiente devido à energia consumida e aos gases emitidos [13].

Durante os processos produtivos do elevador, considera-se que os maiores consumos estão associados à energia que é fornecida aos equipamentos para transformar a matéria-prima no produto final (elevador). Contudo, declarações ambientais do produto de empresas do setor afirmam que a produção do elevador não é a fase mais impactante a nível ambiental.

Mesmo assim atualmente existem cada vez mais alternativas para diminuir este impacto através de produção da energia elétrica com recurso a painéis fotovoltaicos e uma melhor escolha relativamente às substâncias químicas que produzam resíduos menos tóxicos.

De salientar ainda o sistema de gestão ambiental, aplicado através da norma NP EN ISO 14001:2015 que permite melhorar o desempenho ambiental dos processos internos e externos da empresa tendo por base a melhoria do desempenho ambiental e o conceito de economia circular.

Para este tipo de produto tradicionalmente assume-se que a fase de utilização é a mais relevante e tem um maior impacto no ambiente. Tal pode ser confirmado por um estudo realizado pela empresa Schindler, em 2011, em que o impacto de dois elevadores foi avaliado como se pode observar na Figura 2.6 [14].

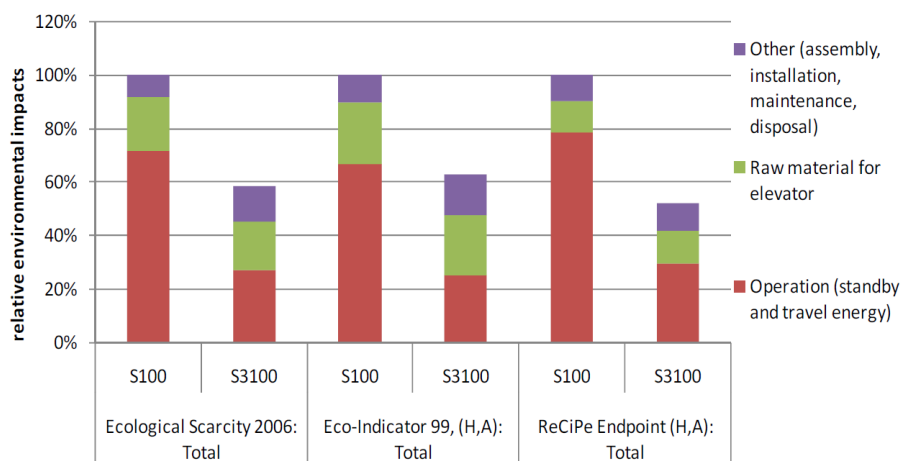


Figura 2.6 - Avaliação do impacto de elevadores nas diferentes fases de produção [16].

Para determinar o consumo e o desempenho energético durante a utilização do elevador e para conhecimento do cliente normalmente utiliza-se a norma NP EN ISO 25745-2:2015.

Relativamente às restantes fases do ciclo de vida de um elevador os consumos e resíduos obtidos normalmente são mais difíceis de contabilizar uma vez que o cliente é que tem esse conhecimento e por vezes as empresas que realizam a manutenção, modernização e até o desmantelamento podem não ser as mesmas que venderam o elevador.

2.4.2 Economia circular

No contexto de produção e consumo sustentável, o modelo de economia circular é uma abordagem emergente destinada ao uso sustentável de recursos naturais (Figura 2.7). A economia circular foca-se em maximizar a circularidade dos recursos e energia nos sistemas de produção, baseado no facto de que os recursos naturais são finitos e que os resíduos no fim de vida podem ainda reter valor [15].

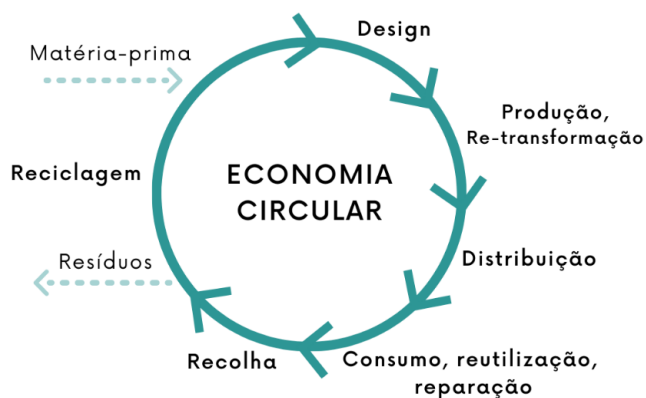


Figura 2.7 - Economia circular [15]

A economia circular é baseada em dois ciclos principais: biológico e técnico. O ciclo biológico regenera ecossistemas reduzindo extração excessiva de recursos naturais, utilizando materiais e energias renováveis. O ciclo técnico enfatiza a extensão da vida útil do produto através estratégias hierárquicas de circularidade, que incluem reutilização, reparação, modernização e reciclagem. Ciclos técnicos pretendem tornar o que é considerado como resíduo em recursos para outros sistemas produtivos [15].

Deste modo, pode-se afirmar que os ciclos de economia circular baseiam-se em três princípios: a conservação de capital natural; aumento da vida útil dos recursos e a redução dos efeitos negativos dos sistemas de produção [15].

A *Ellen MacArthur Foundation* propôs a metodologia ReSOLVE para guiar as organizações a implementar os princípios da economia circular. Esta metodologia ReSOLVE é composta por 6 ações de negócio [16].

Regenerar: O foco é gerar uma mudança para energias e materiais renováveis, regenerar a saúde dos ecossistemas e retornar os recursos biológicos à biosfera [16].

Partilhar: O objetivo é maximizar a utilização de produtos através de partilha *peer to peer* de propriedade privada ou pública. Como consequência, os produtos devem ser projetados para durarem mais, e a manutenção deve ser acessível para permitir reutilização e extensão da vida útil do produto [16].

Otimizar: Ter presente uma estratégia centrada na tecnologia. Este modelo requiere que as organizações utilizem tecnologias digitais, como sensores, automação, *big data* e controle remoto para reduzir resíduos em sistemas produtivos em todas as cadeias de abastecimento. Organizações podem beneficiar com um desempenho elevado, por exemplo, manutenção pode ser planeada tendo em conta relatórios de dados em tempo real das condições das máquinas [16].

Ciclo: Manter componentes e materiais em ciclos fechados. Para materiais finitos significa reparação, reutilização e reciclagem para voltar a produzir o produto. Para materiais renováveis, envolve digestão anaeróbia para produção de energia ou extração de bioquímicos através de resíduos orgânicos [16].

Virtualizar: A estratégia focada no serviço substitui o físico com o virtual desmaterializando os produtos [16].

Trocar: Envolve a substituição de bens e serviços antigos e não renováveis por bens e serviços renováveis e novas tecnologias [16].

Em modos diferentes, todas estas seis ações permitem aumentar a utilização de bens físicos, prolongar vida útil e mudar a utilização de recursos finitos para renováveis. Para além disso, cada ação reforça e acelera o desempenho de outras [16].

Na Tabela 2.2, pode-se observar alguns exemplos do potencial económico que cada ação pode trazer para diferentes atividades.

Tabela 2.2 - Potencial económico das ações ReSOLVE para diferentes atividades [18]

Atividades económicas	Regenerar	Partilhar	Otimizar	Ciclo	Virtualizar	Trocar
Investigação e desenvolvimento científico	+	++	++	+	+++	+
Construção	+	+++	++	+++	++	++
Produção de equipamento de transporte	+	+++	++	+++	+++	++
Produção de equipamento elétrico ou eletrónico	+	++	++	+++	++	++
Produção de máquinas e equipamentos	+	++	++	+++	++	++
Transporte	+	++	++	+++	+	+++

+: Potencial de lucro baixo; ++: Potencial de lucro médio; +++: Potencial de lucro elevado

Associado ao conceito de economia circular tem-se também a bastante conhecida política dos 3R's: Reduzir, Reutilizar e Reciclar.

As ações de redução ocorrem normalmente no projeto do produto sendo que este deve ser concebido de modo a utilizar o menor número de peças reduzindo também os resíduos associados às mesmas [17].

A reutilização tem por base ações de manutenção e modernização dos componentes do produto de modo a estender a vida do mesmo. Deste modo, não há necessidade de produzir um novo produto consumindo-se menos recursos ao simplesmente repará-lo.

A reciclagem passa pela recuperação dos materiais que constituem os produtos que chegaram ao fim de vida. Pode-se afirmar que a reciclagem é um dos pilares da economia circular [18].

A deposição de resíduos em aterro gera um problema bastante grave na nossa sociedade e ambiente dado que muitos dos resíduos demoram centenas de anos a degradar prejudicando o meio ambiente ao nosso redor como também a nossa qualidade de vida. A reciclagem, por outro lado, permite que os componentes dos produtos no fim de vida sejam novamente valorizados, reduzindo o desperdício e extração de novas matérias-primas [18].

Para que a reciclagem seja uma ação viável, a separação é imprescindível devendo ocorrer a desmontagem e classificação de cada material para que ele seja encaminhado para o tratamento correto.

2.4.3 Estratégias verdes para elevadores

Tendo por base o modelo da economia circular, verifica-se que um dos focos para tornar os elevadores ecológicos centra-se em encontrar formas de os tornar mais eficientes durante o seu período de utilização, como se pode observar na Figura 2.8 [19].



Figura 2.8 - Estratégias verdes para elevadores. Adaptado de: [19]

2.4.3.1 Tecnologia regenerativa

A tecnologia regenerativa tem sido a inovação mais significativa para tornar o elevador mais eficiente energeticamente dado que possibilita a reciclagem da energia em vez desta ser desperdiçada como calor [19].

Quando um elevador sobe com uma carga leve e desce com uma carga mais pesada, o sistema de ascensão gera mais energia que consome, o que resulta numa perda de energia considerável dado que a energia é perdida na forma de calor no sistema de tração sem tecnologia regenerativa. [19].

Num acionamento regenerativo ocorre a transformação da energia mecânica em energia elétrica que é reintroduzida de volta para a rede elétrica e pode ser utilizada noutro elevador [19].

Deste modo, o inversor regenerativo pode poupar até 70% da energia e reduzir o custo em sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) [19].

2.4.3.2 Elevadores sem casa de máquinas

O aparecimento de tecnologias como motores síncronos de ímanes permanentes combinados com conversores de tensão e frequência variável levou a que fosse possível reduzir o tamanho, o peso, o calor libertado e o consumo em metade relativamente aos sistemas de tração tradicionais [20]

Deste modo não é necessária a construção de uma casa de máquinas que normalmente se encontra na parte superior da caixa dos elevadores de tração “tradicionais”. A máquina de tração passa a ser montada diretamente na caixa do elevador [20].

A eliminação da casa de máquinas leva a uma maior valorização do espaço interior e uma maior segurança na instalação do elevador sendo adequados para edifícios médios ou pequenos. Verifica-se ainda uma poupança de 70% a 80% de energia comparando com um elevador hidráulico convencional [21]

2.4.3.3 *Software* de controlo do destino dos passageiros

Dado que os edifícios estão a tornar-se cada vez mais altos, existe uma necessidade de otimizar as operações de ascensão para reduzir o número de viagens [19].

Ao contrário do sistema convencional de controlo do elevador que apenas regista a direção de viagem desejada, o *software* de controlo do destino dos passageiros incorpora os pisos de destino desejados e o número de passageiros em espera para melhorar a conveniência do elevador [19].

Dado que arranha-céus têm múltiplos elevadores com bastantes pisos, este *software* organiza grupos de passageiros que vão para o mesmo piso numa única viagem em vez de parar em vários pisos para diferentes indivíduos [19].

A recolha de informação sobre qual o piso que o passageiro pretende permite que o sistema do elevador selecione qual o elevador o passageiro deve entrar de modo minimizar o trânsito e o tempo de espera [19].

As inovações no sistema de controlo residem no *software* e no algoritmo utilizado para otimizar a gestão de tráfego do elevador [19].

2.4.3.4 Modernizações

Uma das formas mais simples de reduzir o consumo de energia é a substituição de todas as lâmpadas incandescentes em unidades antigas por lâmpadas LED. As lâmpadas LED utilizam apenas 4% do consumo energético das lâmpadas tradicionais e dissipam menos calor [19].

Para além da iluminação da cabina, os botões e a iluminação do piso podem ser substituídos por lâmpadas LED o que reduz a carga a arrefecer e poupa energia [19].

A substituição de controladores DC (corrente direta) por controladores mais eficientes energeticamente AC (corrente alternada) pode ajudar na minimização da produção de calor [19].

Por outro lado, os elevadores hidráulicos utilizam lubrificantes perigosos que podem acidentalmente vazarem para o abastecimento de água subterrânea. Estes lubrificantes podem ser substituídos por soluções ecológicas, com origem mineral ou vegetal [19].

2.4.3.5 Soluções de acabamento sustentáveis

A substituição de acabamentos interiores da cabina, como por exemplo, as tintas utilizadas na pintura por produtos que libertam compostos orgânicos menos voláteis, melhora a qualidade do ar interior significativamente [19].

Alguns materiais que são tipicamente usados nos elevadores podem começar a libertar químicos para a atmosfera através da evaporação após alguns meses da instalação que pode resultar numa atmosfera perigosa e resultar em reações alérgicas, dores de cabeça e enxaquecas. Para isso deve-se utilizar acabamentos com compostos orgânicos menos voláteis e diminuir a utilização de selantes e adesivos para assegurar a qualidade do ar [19].

Revestimento em bambu e linóleo em vez de revestimentos vinílicos é uma das possibilidades de utilização de materiais mais sustentáveis derivados de recursos rapidamente renováveis [19].

2.4.3.6 Alternativas a cabos de suspensão de aço

Os cabos de suspensão de um elevador são componentes essenciais dado que conectam a máquina do elevador com as roldanas e o contrapeso. Convencionalmente, estes cabos são feitos de aço que é suficientemente forte para segurar a cabina. No entanto, a massa dos cabos de aço aumenta exponencialmente com a altura e em edifícios com bastantes pisos eles podem alongar demasiado resultando no seu desgaste e até quebra [22].

Desse modo, investigação na área de desenvolvimento de novos materiais mais fortes e mais leves é imprescindível. A Schindler inventou um cabo de fibra de aramida que é mais forte e leve que o cabo de aço convencional. A Otis projetou elevadores em que se substituí os cabos de aço por cabos ultra finos encapsulados em poliuretano que apresenta mais resistência e durabilidade que os cabos de aço. A Kone inovou os cabos de suspensão, substituindo o uso de aço por um núcleo de fibras de carbono e uma camada de elevada fricção que torna os cabos bastante leves permitindo a cabina viajar até 1000 m [22].

A elevada diminuição da massa dos cabos de suspensão reduz a energia necessária nas fases de aceleração e desaceleração, resultando num acréscimo na poupança de energia em 15% [22].

2.5 Avaliação do ciclo de vida (ACV)

O aumento da consciência pública relativamente aos problemas ambientais tem forçado a indústria e as empresas a desenvolver produtos mais ecológicos e a informar as partes interessadas sobre as atividades da empresa que produzem emissões e consomem recursos naturais. Vários métodos de avaliação ambiental têm sido desenvolvidos para medir estes impactos e a metodologia Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é a mais elaborada e conhecida, sendo também normalizada [23].

2.5.1 Metodologia de acordo com as normas ISO 14040 e ISO 14044

Segundo a norma NP EN ISO 14040:2008 – Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Princípios e enquadramento – a avaliação do ciclo de vida (ACV) define-se como uma compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é a abordagem mais definida e desenvolvida. É um método extensivo para contabilizar todos os impactos ambientais relevantes de produtos e serviços. Inclui todo o ciclo de vida do produto: obtenção de matérias-primas, produção, utilização, tratamento no fim de vida, reciclagem e deposição final – “berço à cova” [23].

Esta metodologia tem evoluído e ganhou importância ao longo dos anos com o aumento da consciência ambiental da sociedade. Na Tabela 2.3, encontram-se algumas vantagens e desvantagens da aplicação de um estudo de avaliação de ciclo de vida [24].

Tabela 2.3 - Vantagens e desvantagens da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) [26]

Vantagens	Desvantagens
Considera um conjunto variado de problemas ambientais.	Podem ser necessárias simplificações e generalizações devido à imensa quantidade de dados que é necessário recolher.
Metodologia quantitativa.	Não pode ser utilizado em contextos onde existam limites legislativos dado que não contabiliza a exposição a substâncias contaminantes.
Pode ser uma base de apoio nas empresas que tenham políticas ambientais.	Foca-se apenas no desempenho ambiental e não nos impactos socioeconómicos do produto.
Melhor compreensão dos consumos nas diferentes etapas do processo.	Atendendo às normas ISO, torna-se um processo moroso e dispendioso.

Melhor compreensão das cadeias de abastecimento, utilização e fim de vida.	O ACV só é comparável para produtos idênticos em que o objetivo e o método utilizado seja o mesmo.
--	--

De acordo com as normas NP EN ISO 14040:2008 e NP EN ISO 14044:2010 é possível compreender os princípios, os requisitos e as diretrizes da avaliação do ciclo de vida. O estudo de ACV é composto por quatro fases que se relacionam entre si [25]:

1. Definição do objetivo e do âmbito;
2. Inventário do ciclo de vida (ICV);
3. Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV);
4. Interpretação do ciclo de vida.

O primeiro componente a ser apresentado num estudo de avaliação de ciclo de vida é a definição do objetivo e âmbito. Neste momento, são especificados os conceitos fundamentais do estudo de acordo com a estrutura das normas ISO [25].

A definição do objetivo é uma declaração realizada pela organização a realizar a ACV fornecendo uma explicação para aplicação pretendida, o interesse na realização, o público alvo e se os resultados serão utilizados para divulgação pública [25].

A definição do âmbito descreve os sistemas do produto que serão estudados. Tendo em conta a função do produto é estabelecida a unidade funcional que é utilizada como uma unidade de referência que quantifica o desempenho do sistema de produto [25].

Outro aspeto a averiguar é a fronteira do sistema, em que são determinadas as etapas do ciclo de vida e processos unitários a incluir e com que detalhe serão abordados. A escolha das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos pode ser definida neste momento para a etapa posterior de avaliação de impacto [25].

Os requisitos da qualidade dos dados devem ser especificados abordando a cobertura temporal, geográfica, tecnológica, fidelidade, representatividade, fonte dos dados e incerteza da informação (pressupostos e limitações). Se houver necessidade de uma revisão crítica do estudo, definir como a realizar, qual o tipo de revisão, quem irá realizá-la e qual o seu nível de conhecimento. Por fim, deve-se apresentar qual o tipo de relatório requerido para o estudo de ACV [25].

A fase do inventário corresponde à recolha de dados e cálculo de modo a quantificar entradas e saídas de um sistema de produto [25].

Como entradas, normalmente, considera-se a quantidade de matérias-primas gastas (materiais, substâncias químicas, entre outros) e a energia consumida. Como saídas, tem-se os produtos, resíduos, emissões para o ar e descargas para a água e/ou solo [25].

De modo a facilitar a etapa de inventário, deve-se realizar fluxogramas dos processos unitários, descrever em detalhe o processo, indicar as unidades de medida, técnicas de recolha e cálculos necessários. Na descrição das técnicas de recolha menciona-se os detalhes do processo de recolha, a data de recolha e informações sobre os indicadores de qualidade dos dados [25].

A fase de avaliação de impacto destina-se a compreender e avaliar a magnitude e significância do potencial de impacto ambiental do sistema do produto durante o seu ciclo de vida [25].

É obrigatório incluir a seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização; imputação dos resultados do inventário às categorias de impacto selecionadas (classificação) e por fim o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização), em que os dados obtidos no inventário são multiplicados por fatores de caracterização que indicam quanto uma substância contribui para uma categoria de impacto em comparação com uma substância de referência [25].

Como elementos opcionais, pode-se efetuar a normalização; agregação e ponderação.

A normalização é o cálculo da magnitude dos resultados do indicador de categoria face a um valor de referência. A agregação pode ser utilizada como agrupamento de categorias de impacto tendo em conta, por exemplo, o tipo de dano causado na saúde humana, ecossistema, entre outros. A ponderação converte os resultados de um indicador através de fatores de ponderação, atribuindo um determinado peso às categorias de impacto tendo em conta a sua importância [25].

Na interpretação do ciclo de vida, identifica-se os aspetos mais significativos baseando-se nos resultados das fases anteriores. Após a identificação desses aspetos, é necessário proceder-se à sua análise de uma forma íntegra, coerente e com sensibilidade de modo a se atingirem conclusões relevantes que dão origem a recomendações e propostas de melhoria. Também neste ponto, indicam-se as limitações do estudo [25].

2.5.2 Métodos para avaliação do impacto ambiental

Dependendo do objetivo principal do estudo de avaliação do ciclo de vida, há a necessidade de escolher os métodos mais adequados para atingir os resultados pretendidos.

Tendo por base as regras de categoria de produto e a referência entre empresas do setor dos elevadores para a perspetiva “berço à cova” foi utilizado o método CML–IA *baseline*. Outro método importante é a utilização de energia durante o ciclo de vida que se obtém com recurso ao método *Cumulative Energy Demand*.

2.5.2.1 CML–IA *baseline*

A metodologia CML–IA *baseline* foi desenvolvida, em 2001, pelo *Center of Environmental Science (CML)* pertencente à Universidade Leiden na Holanda. Avalia o problema no ponto intermédio e contém os fatores de normalização (elemento opcional). Na Tabela 2.4, encontram-se sintetizadas as categorias de impacto associadas ao método CML tendo por base as regras de categoria de produto para o setor dos elevadores [26].

Tabela 2.4 - Categorias de impacto do método CML-IA baseline [28]

Grupos de categorias de impacto	Definição	Unidades
Potencial de acidificação	Potencial de deposição de contaminantes ácidos no solo, lençóis de água, água superficial, organismos biológicos, ecossistemas e substâncias.	kg SO ₂ eq
Potencial de aquecimento global	Potencial de um gás de efeito de estufa reter o calor na atmosfera.	kg CO ₂ eq
Potencial de depleção dos recursos abióticos (elementos e fóssil)	Potencial para a diminuição da disponibilidade de recursos não biológicos como resultado do uso insustentável.	kg antimónio eq MJ de combustíveis fósseis
Potencial de eutrofização	Potencial para acumulação de nutrientes em sistemas aquáticos resultando em crescimento excessivo de plantas e algas causado pelo uso exagerado de fertilizantes em práticas agrícolas.	kg PO ₄ ³⁻ eq
Potencial de depleção da camada do ozono	Potencial para diminuição da camada de ozono estratosférica devido a emissões antropogénicas de substâncias depletivas do ozono.	kg CFC-11 eq
Potencial de criação de oxidantes fotoquímicos	Potencial para a formação de ozono a nível do solo em que é considerado um poluente.	kg etileno eq

2.5.2.2 Cumulative Energy Demand

O método para calcular a procura cumulativa de energia (*Cumulative Energy Demand*) é baseado num método publicado por *Ecoinvent version 1.01* e expandido por *PRé sustainability* para recursos energéticos [26].

Os fatores de caracterização são dados para recursos energéticos e encontram-se divididos em 5 categorias de impacto [26]:

1. Não renovável, fóssil
2. Não renovável, nuclear

3. Renovável, biomassa
4. Renovável, vento, solar, geotérmica
5. Renovável, água

Através deste método é possível compreender a quantidade de energia renovável e não renovável utilizada nos processos diretos e indiretos do ciclo de vida de um elevador.

2.6 Declarações ambientais de produto

O desenvolvimento de uma Declaração Ambiental de Produto tem-se tornado a aplicação principal de um estudo de avaliação de ciclo de vida. Esta declaração apresenta informações ambientais relevantes e verificadas sobre produtos ou serviços a partir da avaliação do ciclo de vida. Deste modo pode-se comparar de forma justa o desempenho ambiental, demonstrar a melhoria ambiental contínua e apresentar informações ambientais relevantes [27].

A informação de uma declaração ambiental do produto é objetiva e pode ser utilizada para gestão ambiental interna, comunicação *business-to-business*, *business-to-consumer*, para profissionais de compras, entre outros [27].

Existem, atualmente, três tipos de declarações ambientais: Tipo I, II e III. O Tipo I refere-se à atribuição de rótulos ambientais, o Tipo II é uma autodeclaração emitida pelo fabricante e o Tipo III é a declaração ambiental de produto, para a qual a norma NP EN ISO 14025:2009 fornece diretrizes com o objetivo do desenvolvimento de uma declaração confiável e verdadeira [27] [28].

Em geral, são apresentados resultados para as seguintes categorias de impacto [29]:

- Recursos não renováveis;
- Recursos renováveis;
- Alterações climáticas – aquecimento global;
- Acidificação;
- Depleção da camada de ozono;
- Oxidação fotoquímica;
- Eutrofização;
- Depleção de recursos abióticos.

Para além dessa norma é essencial ter presente as Regras de Categoria de Produto (RCP) que descrevem como a informação deve ser recolhida e os cálculos realizados. Estes documentos encontram-se disponíveis no portal EPD da *environdec*. Para elevadores, foca-se no documento c-PCR-008 *Lifts (elevators)* que fornece as regras de categoria de produto complementares ao documento PCR 2019:14 *Construction Products* [28].

Nas regras de categoria de produto para o elevador define-se que a declaração ambiental do produto tem de apresentar as fases do ciclo de vida que se encontram organizadas em módulos (Figura 2.9):

- Fase de produto: módulos A1-A3;
- Fase do processo: módulos A4-A5;
- Fase de utilização: módulos B2 / B6;
- Fase de fim de vida: módulos C1-C4.

	Fase do produto			Fase do processo		Fase de utilização							Fase de fim de vida			
	Fornecimento de matéria-prima	Transporte	Produção	Transporte	Instalação	Uso	Manutenção	Reparação	Substituição	Modernização	Uso operacional de energia	Uso operacional de água	Desmantelamento	Transporte	Processamento de resíduos	Deposição em aterro
Módulo	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
Módulos declarados	X	X	X	X	X	ND	X	ND	ND	ND	X	ND	X	X	X	X

ND – Não declarado

Figura 2.9 - Informação sobre as fases do ciclo de vida apresentadas numa declaração ambiental do produto. Adaptado de: NP EN ISO 14025:2009

3 Processo produtivo de um elevador

O processo produtivo de um elevador na Schmitt – Elevadores, Lda, divide-se em duas unidades. Na Schmitt 1 desenvolve-se a produção dos componentes elétricos para o elevador enquanto na Schmitt 2 desenvolve-se a produção dos componentes mecânicos para o elevador. Para que a produção do elevador ocorra nas melhores condições é necessária a interação entre as diversas áreas pertencentes ao departamento de produção como se pode observar na Figura 3.1 [30].

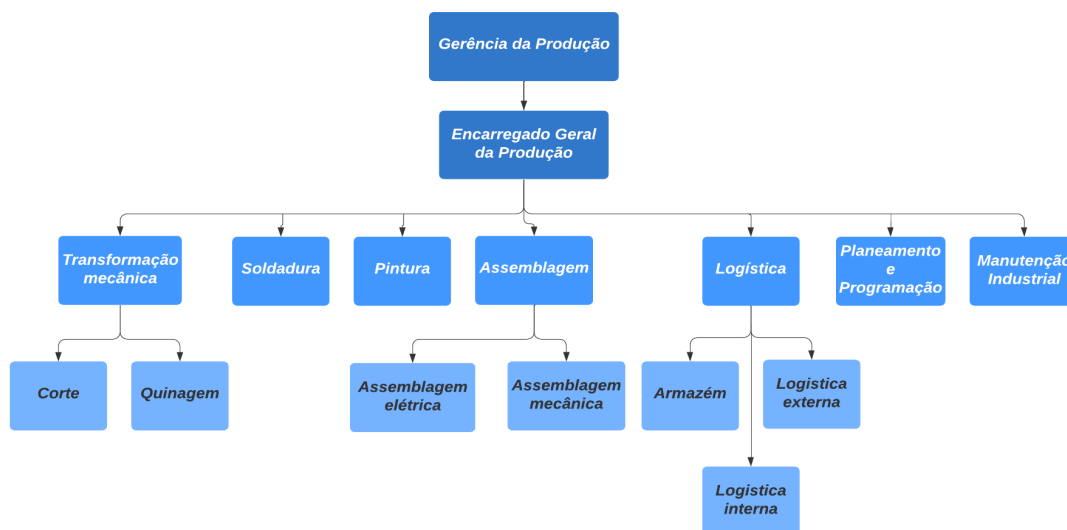


Figura 3.1 - Organograma do departamento de produção [30]

3.1 Logística externa e interna

O fornecimento das matérias-primas e dos materiais necessários para a produção de um elevador é garantido 45% por fornecedores nacionais, 42% pela Alemanha e os restantes 13% por outros países maioritariamente europeus. Os fornecedores nacionais procedem à entrega dos artigos na sede da empresa (Porto) enquanto os restantes fornecedores entregam os artigos a um parque logístico (AW) que se situa na Alemanha sendo que um camião semanalmente entrega o material à sede da empresa (Porto).

A receção dos artigos ocorre nos armazéns da empresa e para que eles sejam movimentados para as áreas corretas de modo a serem transformados é necessária uma organização interna.

Entre a unidade fabril 1 e a unidade fabril 2, diariamente, são realizadas viagens com recurso a 2 carrinhas, de modo a transportar a matéria-prima entre os diferentes armazéns pertencentes à Schmitt – Elevadores, Lda. Uma das carrinhas realiza também deslocações a 3 fornecedores, regularmente. As carrinhas utilizadas para tal utilizam gasóleo como combustível.

Após o material ser entregue nas unidades fabris correspondentes, são utilizados carros logísticos, *stakers* e empilhadoras para movimentar os materiais até ao respetivo posto. Como muitos materiais têm massas elevadas encontram-se instalados pórticos móveis para ganchos para conseguir colocar os materiais no posto correto e facilitar o trabalho do operador. Transportadores de rolos são utilizados para colocar os componentes finais nas embalagens à medida que estão prontos até chegarem à área de embalagem final.

As caixas onde os materiais são armazenados têm de ser lavadas frequentemente sendo que a máquina de lavagem tem um consumo elétrico.

As empilhadoras existentes tanto podem ser elétricas ou utilizar gasóleo como combustível. Os *stakers*, ganchos e transportadores de rolos são todos elétricos.

3.2 Transformação mecânica

Na secção de transformação mecânica ocorrem as operações de corte e quinagem das matérias-primas que se encontram nos armazéns sendo que esta secção funciona durante 24 horas, tendo 3 turnos associados.

O processo de transformação mecânica inicia-se com o corte. Na área de Planeamento e Programação (PEP), ocorre a atribuição das peças aos diferentes tipos de chapa e são organizadas consoante a necessidade de produção e de modo a aproveitar ao máximo a matéria-prima.

As peças têm de se encontrar distanciadas em 10 mm, no entanto, quando se incluem na mesma chapa peças iguais, não é necessário a existência de uma distância entre elas. Por defeito, o início do corte inicia-se também a 10 mm do início da chapa.

No processo de corte com laser, o raio laser é a fonte de calor que vai queimar o material através de um jato de gás de corte depois de alcançar a temperatura de ignição ou depois de fundido. O meio ativo é composto por uma mistura de dióxido de carbono, hélio e oxigénio.

O dióxido de carbono é a espécie emissora de radiação, o oxigénio ajuda a excitar as moléculas de dióxido de carbono e o hélio é responsável pelo arrefecimento. O oxigénio apesar de ser o gás mais utilizado pode ser substituído por azoto como gás auxiliar para corte de aço inoxidável ou alumínio.

O corte também pode ser realizado utilizando uma puncionadora que é mais rápida para cortar formas repetitivas e podem ser incorporadas ferramentas para realizar, por exemplo, escareação.

Para cortar peças de trabalho planas de materiais metálicos, obtendo o menor resíduo possível, na área de corte são utilizadas:

- 2 Máquinas de corte a laser;
- 1 Puncionadora.

Estas 3 máquinas são alimentadas a energia elétrica e ar comprimido e as máquinas a laser consomem ainda azoto, oxigénio, hélio e dióxido de carbono.

Apesar de se projetar o corte das peças para o menor desperdício verificam-se ainda resíduos da chapa e pó proveniente das máquinas de corte a laser.

A quinagem é um processo de dobragem de peças de chapa onde se aplica pressão sobre as mesmas. Para tal, a área de quinagem usufrui de 4 quinadeiras.

As quinadeiras apenas consomem energia elétrica e é necessário um operador por máquina para realizar a configuração e preparar as ferramentas para a quinagem. Nesta secção não se obtêm resíduos.

A secção IPK, designada por *In Process Kanban*, é o local onde os materiais aguardam até poderem passar para o processo seguinte, funciona como armazenagem temporária no fluxo dos materiais.

3.3 Soldadura

A soldadura é um processo utilizado para unir materiais, particularmente metais e ligas e é realizado através de fusão quase instantânea seguida da solidificação dos materiais.

O processo de soldadura realizado é TIG (*Tungsten Inert Gas*) ou MAG (*Metal Active Gas*). Consiste na criação de um arco elétrico entre um arame, um sólido e a peça a ser soldada. O arame é alimentado continuamente, sendo parte do depósito de material e é fundido pela tensão do arco elétrico estabelecido.

A energia do arco gera um reservatório de metal no estado líquido entre o arame e o metal de base que tem de ser protegido da contaminação provocada pelos gases atmosféricos (oxigénio e azoto) por uma fonte externa de gás inerte ou ativo.

A secção de soldadura é dividida em soldadura manual, soldadura por pontos e soldadura automática. Após o processo de soldadura, é necessário que os produtos passem pela cabina de lixagem de modo a eliminar imperfeições, sendo que os resíduos provêm desta etapa.

Os equipamentos utilizados na área de soldadura são os seguintes:

- 1 Máquina de solda por pontos;
- 6 Máquinas de solda manual;
- 1 Robot de soldadura;
- 6 Rebarbadoras.

Nesta secção verifica-se consumo elétrico e nas máquinas de solda é necessário gás de proteção (mistura de argon e dióxido de carbono) e fio de solda.

Ocorrem emissões derivadas do contacto do gás de proteção (dióxido de carbono; argon e hélio) com o material metálico. São monitorizadas de 5 em 5 anos, por lei, por

uma entidade externa, as emissões de PTS (partículas totais em suspensão), ferro, metais II (As, Ni, Se, Te) e metais III (Pt, V, Pb, Cr, Cu, Sb, Sn, Mn, Pd, Zn).

Adicionalmente nesta secção são necessárias máquinas para realizar corte de barramentos, furação, retificação de furos e roscagem. Todas estas máquinas auxiliares apenas apresentam consumo elétrico.

3.4 Pintura

A secção de pintura utiliza um mecanismo de pintura eletrostática a pó em que a tinta é projetada através de uma pistola e adere às peças através de eletricidade estática, permitindo um acabamento mais duradouro e resistente, levando à emissão de menor quantidade de COVs (compostos orgânicos voláteis). Esta unidade trabalha a uma velocidade de 1 m/s durante 8 horas e 45 minutos diariamente.

Os principais equipamentos utilizados são:

- 1 Transportador aéreo;
- 3 Queimadores;
- 1 Centro de alimentação de tinta em pó;
- 2 Reciprocadores;
- 2 Sistemas de pistolas spray em que cada um é constituído por 4 pistolas spray;
- 1 Unidade de filtragem;
- 1 Cabina de pintura.

Inicialmente as peças são submetidas a um pré-tratamento de superfícies. Para tal utiliza-se um aditivo corretor do pH e alcalinidade, um desengordurante neutro para banhos de projeção e imersão e por fim é adicionado um químico que cria uma capa de conversão inorgânica nanométrica que permite melhorar a aderência à pintura e resistência à corrosão. É necessária uma lavagem com água fria para remover excessos de substâncias químicas seguida de uma secagem a 100 °C.

Na cabina de pintura a pó automática recorre-se a 2 tipos de tintas em pó que são projetadas através de pistolas com um caudal de 240 kg/h. Posteriormente, as peças são polimerizadas e curadas a 245 °C.

Pode-se afirmar deste modo que existe consumo de água para lavagem das peças pintadas, tintas, aditivos, desengordurante, ácido, GPL (gás de petróleo liquefeito), ar comprimido e eletricidade.

Os resíduos correspondem ao pó de tinta, efluentes líquidos e lamas do processo de desengorduramento.

Relativamente, às emissões gasosas, por lei, são monitorizadas de 5 em 5 anos por uma entidade externa. Para a secção de pintura, são controladas as emissões de COVs (compostos orgânicos voláteis), óxidos de azoto, PTS (partículas totais em suspensão), fluoretos, monóxido de carbono e dióxido de carbono.

3.5 Assemblagem

A secção de assemblagem mecânica divide-se em montagem de portas, montagem da cabina e montagem do equipamento de caixa. Nesta secção ocorre a montagem dos artigos para posteriormente serem embalados e enviados para a expedição.

Os equipamentos utilizados são:

- 34 rebitadoras pneumáticas;
- 2 máquinas para cravar pernos;
- 38 berbequins tipo pistola;
- 23 aparafusadoras;
- 8 máquinas de cachimbo;
- 1 máquina de retificação de furos;
- 1 máquina de rolos;
- 1 máquina de corte de cabos de fio;
- 1 máquina de corte de placas EPS ;
- 1 rebarbadora.

Verifica-se apenas o consumo de eletricidade e ar comprimido.

A secção de assemblagem elétrica divide-se em 12 postos em que se procede à montagem dos quadros elétricos, corte de cabos, serigrafia, gravação, eletrificação e programação. Realizam-se pré testes às botoneiras de patamar e cabina e um teste final com o comando equipado com todos os módulos.

Os equipamentos utilizados são:

- 2 máquinas de furar;
- 2 máquinas para cravar pernos;
- 2 rebitadoras pneumáticas;
- 13 aparafusadoras;
- 2 máquinas de etiquetas;
- 2 máquinas de secagem;
- 1 máquina de gravação;
- 1 caixa eletrónica para a máquina de gravação;
- 1 estufa;
- 1 máquina de serigrafia;
- 3 máquinas para cravar terminais;
- 1 máquina para descarnar cabos;
- 1 máquina para cortar cabos;
- 5 *test boxes* (pré teste);
- 6 máquinas para ensaio final do comando.

Verifica-se novamente o consumo de eletricidade e ar comprimido e adicionalmente de químicos na serigrafia.

3.6 Embalagem e expedição

São necessárias nove embalagens para transportar um elevador completo até ao cliente. Estas embalagens estão padronizadas para que a carga no camião seja otimizada.

Sete das embalagens são realizadas na fábrica em que os componentes do elevador são colocados em caixas de cartão e depois são colocados numa embalagem construída com madeira. Por fim é utilizado um plástico termo retrátil para cobrir a embalagem final. A embalagem da máquina é uma caixa de madeira que vem do fornecedor e a embalagem para os pesos do contrapeso consiste em 2 paletes de madeira e plástico.

São utilizadas máquinas de agramar que consomem ar comprimido e uma máquina de alimentação de gás propano para queimar o ar presente entre o plástico e as paletes de madeira.

Após o material estar embalado é entregue num armazém (AJP) que se situa próximo da sede da empresa.

Para o mercado nacional, a expedição do elevador é garantida por uma empresa de logística externa. Se o cliente se situar na região Norte, o elevador é expedido para a Trofa e posteriormente para o cliente. Se o cliente se situar na região Sul, o elevador é expedido para a Trofa, depois para Loures e por fim é entregue ao cliente.

Para o mercado internacional, o elevador é expedido do armazém (AJP) até ao parque logístico (AW) e depois a entrega ao cliente é da responsabilidade da Schmitt+Sohn – Aufzüge.

3.7 Utilidades

O ar comprimido é alimentado à unidade fabril 2 por 2 compressores de parafuso de um estágio, injetados a óleo e acionados por um motor de íman permanente interior.

Os compressores têm um controlador associado e a velocidade do motor é regulada automaticamente consoante a necessidade de ar comprimido. Apenas um se encontra em funcionamento e o outro funciona como reserva permanecendo em espera.

O ar comprimido é alimentado à unidade fabril 1 por apenas 1 compressor de parafuso igual aos presentes na unidade fabril 2.

Na unidade fabril 1, a energia fornecida é proveniente da rede energética portuguesa, no entanto existem contratos em vigor que garantem que a energia é derivada de fontes renováveis – energia hídrica. Na unidade fabril 2, a área do telhado de 1 193 m² encontra-se coberta em painéis fotovoltaicos. Desse modo, 31% do consumo energético da fábrica é derivado de energia solar e os restantes 69% correspondem a energia da rede.

Os gases (oxigénio; hélio; dióxido de carbono e mistura de árgon/dióxido de carbono) encontram-se em garrafas de 50 litros no exterior a 200 bar e o azoto encontra-se num reservatório exterior com capacidade de 5504 litros a 32 bar.

A água encontra-se num reservatório exterior sendo apenas fornecida à secção de pintura. Similarmente, o GPL (gás de petróleo liquefeito) também tem um reservatório exterior com capacidade de 4480 litros.

O gás propano utilizado na etapa de embalagem encontra-se em garrafas de 11 kg.

3.8 Gestão de resíduos

Todos os resíduos obtidos durante a transformação de matéria-prima têm o seu devido tratamento OGR (operações de gestão de resíduos).

Ao longo da fábrica encontram-se recipientes para realizar a separação para reciclagem de cartão; plástico; vidro; metal; equipamentos eletrónicos e resíduos orgânicos.

Para além disso, os equipamentos que libertam resíduos na forma de pó contém recipientes acoplados ao equipamento, como o pó libertado durante o corte a laser, pó da tinta não utilizado e pó resultante da lixagem. Posteriormente são transferidos para *big bags* e recolhidos pela empresa recomendada, que realiza o tratamento destes resíduos para posterior deposição em aterro.

Os reagentes utilizados na pintura geram resíduos na forma de lamas e efluentes líquidos sendo estes transferidos para cubas e também recolhidos por uma empresa que procede ao seu tratamento para posterior deposição em aterro.

Os resíduos de chapa são direccionados para sucata em que são reciclados para dar origem a novos materiais de metal.

As embalagens e absorventes contaminados são tratados por uma empresa de tratamento de resíduos que procede à sua valorização energética.

Os resíduos obtidos em obra depois da montagem ou do desmantelamento de um elevador também são recolhidos por uma empresa de tratamento de resíduos adequada que procede à sua reciclagem, valorização energética ou tratamento para deposição em aterro.

Na Tabela 3.1, pode-se observar os resíduos gerados ao longo do processo e o respetivo código LER da Lista Europeia de Resíduos e a respetiva operação de valorização.

Tabela 3.1 - Códigos LER da Lista Europeia de Resíduos e a respetiva operação de valorização

Resíduo	Código LER	Operação
Absorventes contaminados	150202*	R12
Acumuladores de chumbo	160601*	R12
Cabos elétricos	160216	R12
Cartão	150101	R12
Chapa de aço	120101	R12
Embalagens contaminadas	150110*	R12

Embalagens spray	150111*	R12/R13
Equipamento elétrico	160214	R12
Lamas de fosfatação	110108	D9/D11
Líquidos de lavagem	110111*	D1/D13
Lixas de rebarbagem	120121*	R12/D15
Materiais de isolamento	170604	R12
Óleo de motores	130208*	R13
Óleo hidráulico	130110*	R12
Óleo solúvel	120109*	R12
Paletes de madeira	150103	R12
Plástico	150102	R12
Plástico rígido	200139	R12
Pó de laser	120102	R12/D15
Pó de tinta	080117*	R12/D15
Restos de revestimento	200139	R12
Restos de tintas	080111*	D15
Tubos de PVC	200139	R12
Vidros de portas	200102	R12

* Resíduo perigoso

O uso interno de químicos encontra-se dentro dos parâmetros indicados pelo REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals*) e não há necessidade para registo ou notificação à ECHA (*European Chemical Agency*). De salientar ainda que o elevador não contém substâncias de elevada preocupação (SVHC).

Todos os poluentes emitidos durante as operações de pintura e soldadura na unidade fabril estão abaixo dos valores limite de exposição (VLE) não contribuindo para a poluição do ar e salvaguardando a saúde dos colaboradores.

4 Avaliação do ciclo de vida do elevador

4.1 Definição do objetivo e do âmbito

O estudo de ACV visa a avaliação do impacto ambiental de um elevador padrão modelo A (630 kg) considerando as várias etapas do ciclo de vida cujo tempo de vida de serviço é de 25 anos instalado num edifício de 5 pisos, com uma velocidade nominal de 1,0 m/s e uma distância percorrida de 12 m. O elevador avaliado não tem qualquer sistema de recuperação de energia ou outros sistemas de redução do consumo energético durante a operação, como o modo *sleep*.

Com a avaliação do ciclo de vida pretende-se obter informação sobre o impacto ambiental do ciclo de vida de um elevador o que poderá ser benéfico para um planeamento estratégico em cada estágio do ciclo de vida do mesmo, desde a aquisição das matérias-primas até ao seu fim de vida. Este planeamento estratégico pretende tornar o produto e os seus processos mais eficientes e sustentáveis.

O público-alvo do estudo da avaliação do ciclo de vida de um elevador é a própria empresa, Schmitt – Elevadores, LDA e partes interessadas.

Na Tabela 4.1 encontram-se as suas especificações técnicas e na Figura 4.1 apresenta-se o modelo do elevador com os respetivos grupos funcionais.

Tabela 4.1 - Especificações do elevador do modelo A

Nome comercial	Modelo A
Segmento	Residencial
Propósito principal	Transporte de pessoas
Tipo de elevador	Elétrico sem casa de máquinas
Tipo de sistema de direção	Sistema de tração <i>gearless</i>
Carga nominal (kg)	630
Velocidade nominal (m/s)	1,0
Nº de pisos	5
Distância percorrida (m)	12
Categoria de uso aplicada	UC 2
Número de dias de operação por ano	360
Tempo de vida de serviço (anos)	25
Região geográfica da instalação	Europa
Aplicação recomendada	Edifícios residenciais ou comerciais de pequena escala

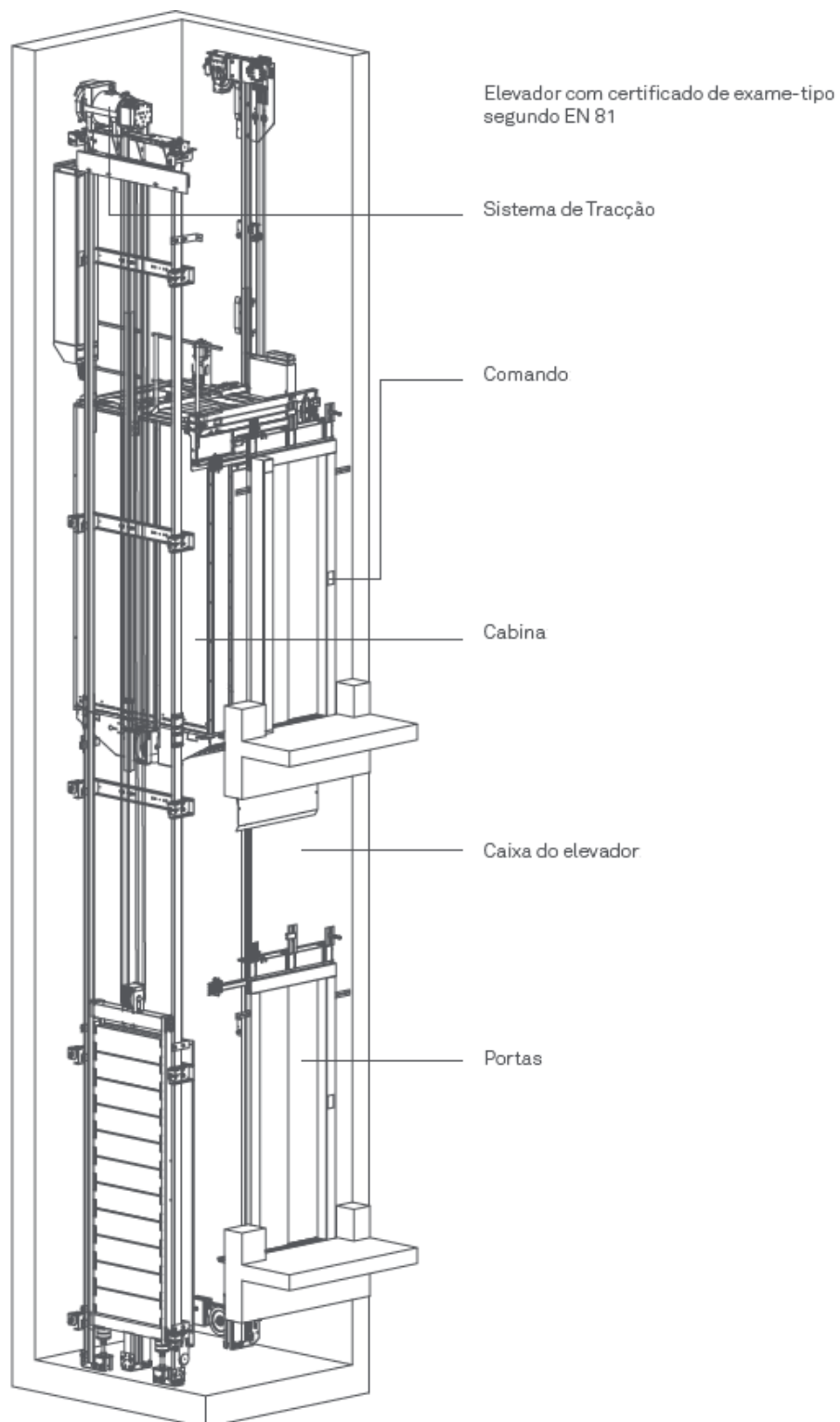


Figura 4.1 - Modelo A e os seus grupos funcionais [7]

A função de um elevador é transportar pessoas ou cargas ao longo de edifícios com vários pisos. Assim, tendo em consideração as regras de categoria de produto complementares, a unidade funcional para um elevador é definida como o transporte de uma carga ao longo de uma distância, ou seja, transporte de 1 tonelada ao longo de 1 km (tkm) para um trajeto vertical ou inclinado.

Portanto, pode-se afirmar que os resultados da avaliação do ciclo de vida devem ser apresentados por unidade funcional neste caso por 1 tkm.

Por outro lado, é essencial determinar o desempenho do transporte que é a quantidade total de tkm. As entradas e saídas devem ser divididas pelo valor do desempenho do transporte de modo a se obter os resultados da ACV por unidade funcional.

O desempenho do transporte é determinado pela equação 4.1.

$$\text{Desempenho do transporte} = Q_m * S_{RSL} \quad \text{Equação 4.1}$$

Em que,

Q_m – carga média (t)

S_{RSL} - distância percorrida pelo elevador durante a vida de serviço (km)

A carga média é obtida através da equação 4.2 em que Q é a carga nominal em toneladas.

$$Q_m = Q * (\% \text{ Tabela 3 ISO 25745-2}) \quad \text{Equação 4.2}$$

A distância percorrida pelo elevador durante a sua vida de serviço é obtida através da equação 4.3.

$$S_{RSL} = s_{av} * n_d * d_{op} * RSL \quad \text{Equação 4.3}$$

Em que,

s_{av} – distância percorrida numa subida (km)

n_d – número de viagens por dia de acordo com a categoria de uso aplicada

d_{op} – número de dias de operação por ano

RSL – tempo de vida de serviço (anos)

Tendo em conta as equações anteriores, determinou-se que para o elevador do modelo A o desempenho do transporte é de 312,56 tkm e o seu cálculo pode ser consultado no Anexo A.

Todos os dados utilizados para a realização da ACV foram medidos, calculados ou estimados. As principais fontes dos dados provêm de documentação interna (2021), medições na unidade fabril ou em obra (2021/2022), fornecedores e da base de dados ecoinvent v.3.8. O *software* utilizado para modelar o ciclo de vida do modelo A é openLCA 1.10 que é um *software open source*.

Um dos pontos mais importantes para a realização de uma ACV é definir as fronteiras do sistema. Pretende-se realizar uma análise “berço à cova” sendo abordadas 4 fases como representado na Figura 4.2.



Figura 4.2 - Abordagem “berço à cova” da avaliação do ciclo de vida do elevador

Será necessário realizar um levantamento de informação para as várias etapas do processo produtivo e logístico.

- **Obtenção de matérias-primas:** quantificação da extração da matéria-prima, o seu processamento e o transporte das mesmas até aos armazéns da empresa;
- **Produção:** identificação das entradas e saídas referentes ao processamento mecânico e elétrico dos elevadores, incluindo a logística interna (entre os vários armazéns e unidades fabris) e a embalagem dos componentes como também a expedição e a montagem em obra;
- **Uso:** identificação das entradas e saídas para o uso operacional de energia e manutenção periódica;
- **Fim de vida:** identificação do destino das várias partes do elevador quando este já não se encontra operacional (reciclagem, incineração ou aterro).

Na Figura 4.3, é possível observar os diferentes processos associados a cada etapa presente na abordagem “berço à cova” que traduzem o processo produtivo para o fabrico de um elevador padrão modelo A.

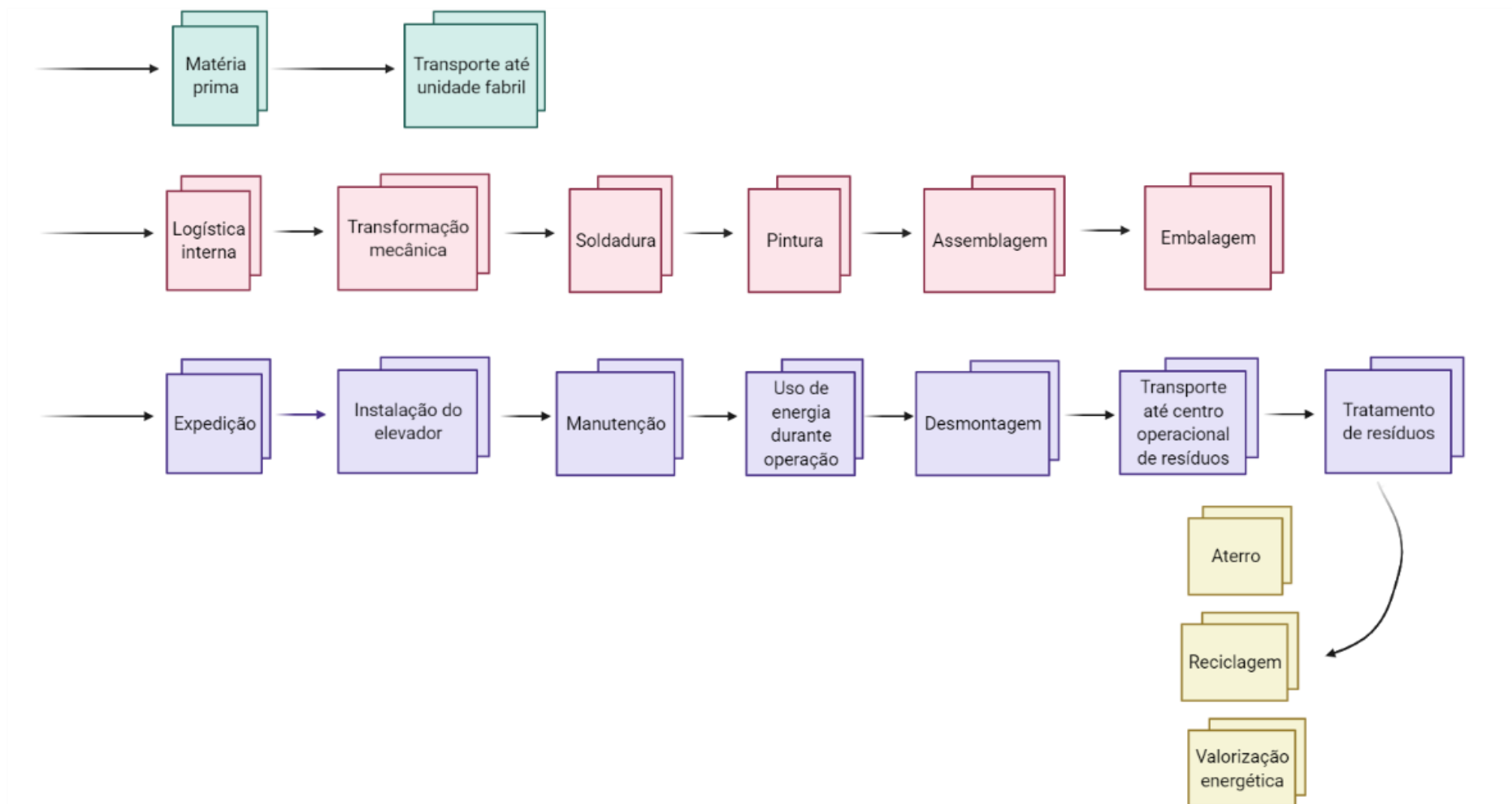


Figura 4.3 - Fronteiras do sistema - Produção de um elevador

A metodologia da avaliação de impacto escolhida para este estudo é CML–IA *baseline*, dado que esta metodologia é bastante empregue no setor dos elevadores e indicada pelas regras de categoria de produto (elevadores). Para complementar o estudo, recorrer-se-á também à metodologia *Cumulative Energy Demand*, para averiguar a utilização de energia.

4.2 Inventário do ciclo de vida (ICV)

O inventário foi realizado recolhendo dados referentes a um elevador sendo necessário na próxima etapa – avaliação do impacto ambiental – dividir os valores pelo desempenho de transporte 312,56 tkm para os resultados se encontrarem por unidade funcional – 1 tkm.

Após a recolha de todos os dados necessários das correntes de entrada e saída é criado um sistema de produto recorrendo ao openLCA. Os processos são categorizados em 4 principais etapas, nomeadamente, a extração de matéria-prima, a produção, o uso e o fim de vida.

Não foram considerados os potenciais de reutilização, recuperação e/ou reciclagem uma vez que não é prática comum na realização deste estudo no setor de elevadores. Adicionalmente, o estudo de ACV foi realizado para a situação mais desfavorável e estes potenciais beneficiam o impacto ambiental do ciclo de vida do produto não sendo, por isso, incluídos.

4.2.1 Matérias-primas

Os dados referentes à extração da matéria-prima e o seu processamento foram estimados recorrendo à base de dados ecoinvent.

Nas Tabelas 4.2 e 4.3, apresentam-se as massas das matérias-primas utilizadas na produção do elevador e na sua embalagem, respetivamente.

Tabela 4.2 - Matérias-primas utilizadas na produção do elevador

Matérias-primas	Massa (kg)	Massa (%)
Aço	1 947,71	53,61
Aço zincado	34,70	0,96
Aço revestido a PVC	111,39	3,07
Aço Inoxidável	299,01	8,23
Alumínio	28,29	0,78
Zinco	31,21	0,86
Plásticos/Borrachas	48,77	1,34
Eletrónicos	123,34	3,40
Misturas	0,51	0,01
Lubrificantes/Colas/Tintas	22,84	0,63

Vidro	13,93	0,38
Betão	971,00	26,73
Materiais orgânicos	0,11	0,00
Total	3 632,80	100,00

Tabela 4.3 - Matérias-primas utilizadas para a embalagem do elevador

Matérias-primas	Massa (kg)	Massa (%)
Madeira	511,36	83,08
Cartão	83,04	13,49
Plástico (Polietileno de baixa densidade)	21,08	3,42
Total	615,48	100,00

Cerca de 66% da matéria-prima pertence à categoria de metais ferrosos seguida pelos materiais inorgânicos com mais de 27%, equipamento elétrico e eletrônico com 3,40%, metais não ferrosos como o alumínio e o zinco (1,64%) e plásticos/borrachas (1,34%). Os restantes componentes representam menos de 1%.

A categoria de metais ferrosos é a maioritária dado que corresponde a elementos principais como a cabina, as guias e as portas. Os pesos para o contrapeso são de betão e bastante pesados o que leva a que a categoria de materiais inorgânicos seja a segunda maior.

Quando pronto, o material do elevador é colocado em caixas de cartão que por sua vez são colocadas em paletes de madeira. Por fim, um plástico é adicionado para extra proteção dos materiais. Por isso é que se observa que os materiais principais utilizados para a embalagem são a madeira e o cartão representando 96%. O material plástico é o componente minoritário.

O transporte das matérias-primas até ao armazém da empresa é realizado 1 vez por semana. Se o fornecedor for nacional eles realizam a entrega na sede da empresa através de uma carrinha. Caso contrário, os fornecedores expedem o material para o parque logístico AW e posteriormente um camião fornece o material ao armazém da empresa.

Na Tabela 4.4, pode-se observar os dados referentes ao transporte anual da matéria-prima até à empresa para o total de elevadores produzidos em 2021 e o valor correspondente para apenas um elevador modelo A de 630 kg. Considerou-se que cada meio de transporte utiliza a carga máxima.

Tabela 4.4 - Transporte das matérias-primas até ao armazém da empresa

Percurso		Meio de transporte	Transporte (tkm)
Fornecedor	AW	Carrinha, 2 t, EURO 5	4 214 217,60
Fornecedor	S1	Carrinha, 2 t, EURO 5	2 088 173,80
AW	S1	Camião, 25 t, EURO 6	5 488 800,00
Total anual	-	-	11 791 190,40
Total elevador	-	-	10 253,21

4.2.2 Fase de produção

A produção do elevador ocorre nas unidades fabris 1 e 2 localizadas em Leça do Balio, no Porto e consiste em 8 etapas: logística interna, corte, quinagem, soldadura, pintura, montagem, embalagem e expedição.

Atividades indiretas como administração, compras, vendas, técnica e desenvolvimento podem ser excluídas de acordo com as regras de categoria de produto.

Os dados obtidos centraram-se em documentação interna, medições nas unidades fabris e em obra, documentação de fornecedores e a base de dados ecoinvent.

Os materiais necessários à produção de um elevador encontram-se listados nos documentos “Lista de Materiais T1 e T2”, onde é possível obter a informação relativa à designação do material, grupo funcional, código, quantidade exigida, local de armazém e a matéria-prima.

O departamento de Planeamento e Programação (PEP) realiza o documento “*Job Listings*” que contém o valor da massa inicial e final das peças que foram sujeitas ao processo de corte.

A massa das peças de compra foi obtida com recurso a uma balança com a incerteza $\pm 0,001$ kg. As peças que apresentavam massa inferior a 0,001 kg foram desprezadas devido à impossibilidade de as pesar com rigor representando também uma contribuição pequena na produção de um elevador.

A energia elétrica consumida durante o processo de fabrico do produto, foi obtida através da potência da máquina inscrita na chapa de características da mesma e o tempo de utilização. Não foi considerado o período *stand-by* das máquinas, que consome energia elétrica residual.

Os tempos de utilização para o processo de corte foram obtidos através do documento “*Job Listings*”. No processo de quinagem o tempo de utilização foi obtido tendo como referência a necessidade de 1 minuto por cada dobra realizada. Os tempos de soldadura de cada peça encontram-se no documento “Tabela de tempos”. Os tempos de pintura foram obtidos mensalmente tendo por base o horário de trabalho de 8h45min. Para a montagem, embalagem e logística interna, como os equipamentos são utilizados constantemente, considerou-se as 8h de trabalho.

Os consumos de ar comprimido foram determinados tendo em consideração o caudal volumétrico e o tempo de alimentação que se encontram no documento “Consumos – ar comprimido”.

Relativamente ao consumo de tintas, água, GPL e eletricidade na pintura recorreu-se ao documento “OEE Pintura” que continha os consumos mensais destes produtos na respetiva secção.

O consumo de aditivos na pintura, das garrafas de gases, do azoto e do gasóleo para a empilhadora foram obtidos com informação cedida pelo departamento de Contabilidade.

O consumo de propano foi obtido recorrendo ao ficheiro “Registo de consumos de gasóleo e gás”.

Os resíduos nas unidades fabris 1 e 2 foram determinados com o auxílio do documento “Resíduos 2021” que contém a informação de resíduos gerados mensalmente em todas as etapas do processo produtivo.

As emissões associadas à secção de soldadura e pintura encontram-se em relatórios provenientes de uma entidade externa que realiza monitorizações de 5 em 5 anos, não havendo um contador de emissões instalado nas 6 chaminés por onde os gases são libertados.

Tendo em conta que a produção de elevadores do modelo A de 630 kg corresponde a 51,83% da produção total de elevadores da empresa e o número de elevadores de modelo A de 630 kg produzidos em 2021 foi de 596 é possível estimar o consumo para a produção de apenas um elevador de modelo A.

Entre as unidades fabris realiza-se a logística interna ocorrendo, com recurso a 2 carrinhas, o transporte de material da secção mecânica e da secção elétrica entre si ou até ao armazém AJP. Ocorre ainda a viagem até 3 fornecedores próximos, 1 a 3 vezes por semana.

Na Tabela 4.5 é possível observar-se o transporte anual em tkm para cada percurso associado às operações de logística interna para o total de elevadores produzidos em 2021 e o valor correspondente para apenas um elevador modelo A de 630 kg, para a carga máxima.

Tabela 4.5 - Transporte dos materiais entre os armazéns da empresa

Percurso		Meio de transporte	Transporte (tkm)
S1+S2	AJP	Carrinha, 2 t, EURO 5	16 639,10
S2	Fornecedor	Carrinha, 2,55 t, EURO 5	11 386,08
S2	S1	Carrinha, 2,55 t, EURO 5	10 771,20
Total anual	-	-	39 246,38
Total elevador	-	-	34,13

Associada à logística interna nas unidades fabris tem-se ainda o consumo de 115,57 kWh de eletricidade e 2,49 L de gasóleo por elevador derivado maioritariamente da utilização de empilhadoras e *stakers*.

Relativamente ao processo produtivo, pode-se observar nas Figuras 4.4 a 4.9 diagramas de blocos com as entradas e saídas dos processos, para um elevador, de corte, quinagem, soldadura, pintura, montagem e embalagem explicitados anteriormente no capítulo 3.

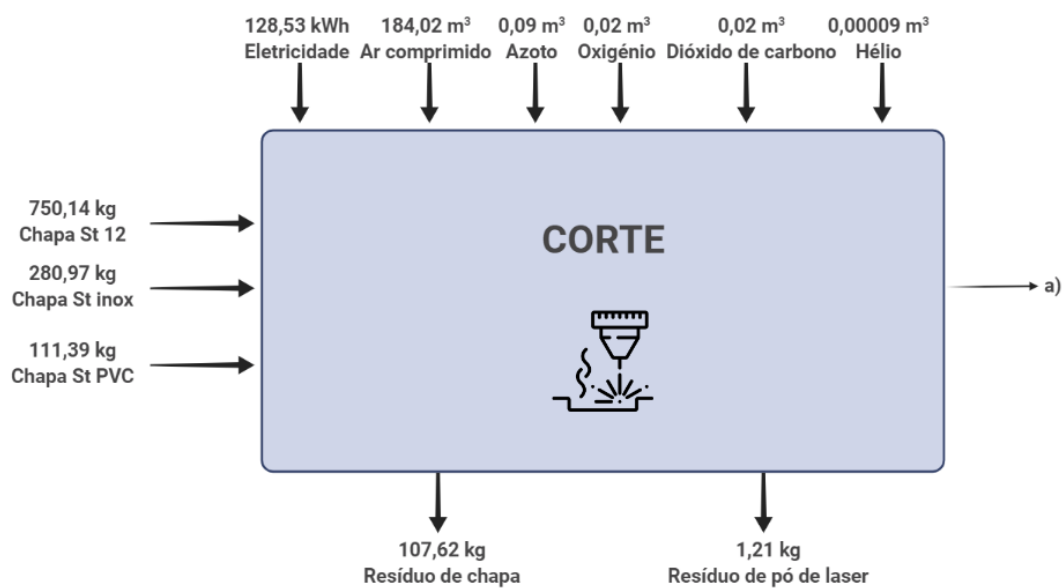


Figura 4.4 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de corte

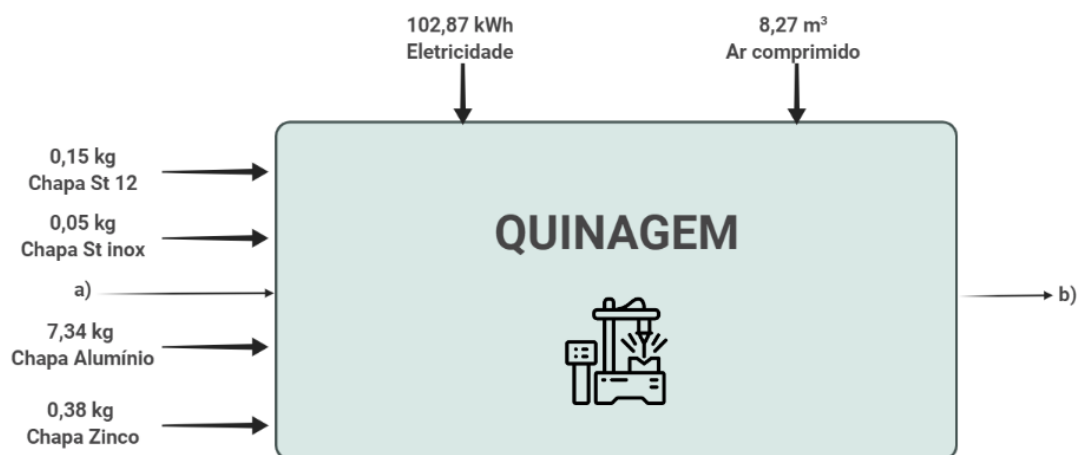


Figura 4.5 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de quinagem

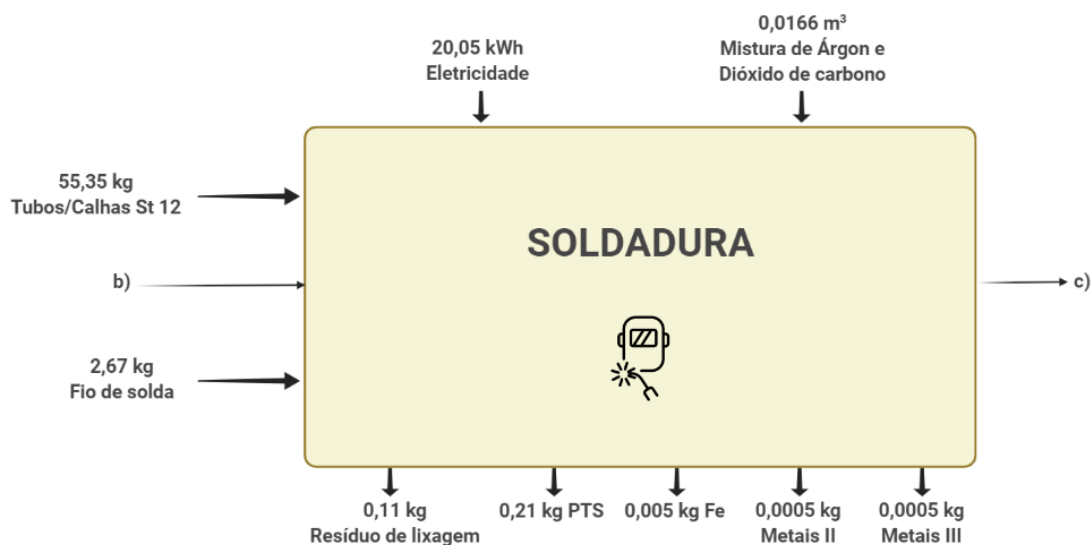


Figura 4.6 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de soldadura

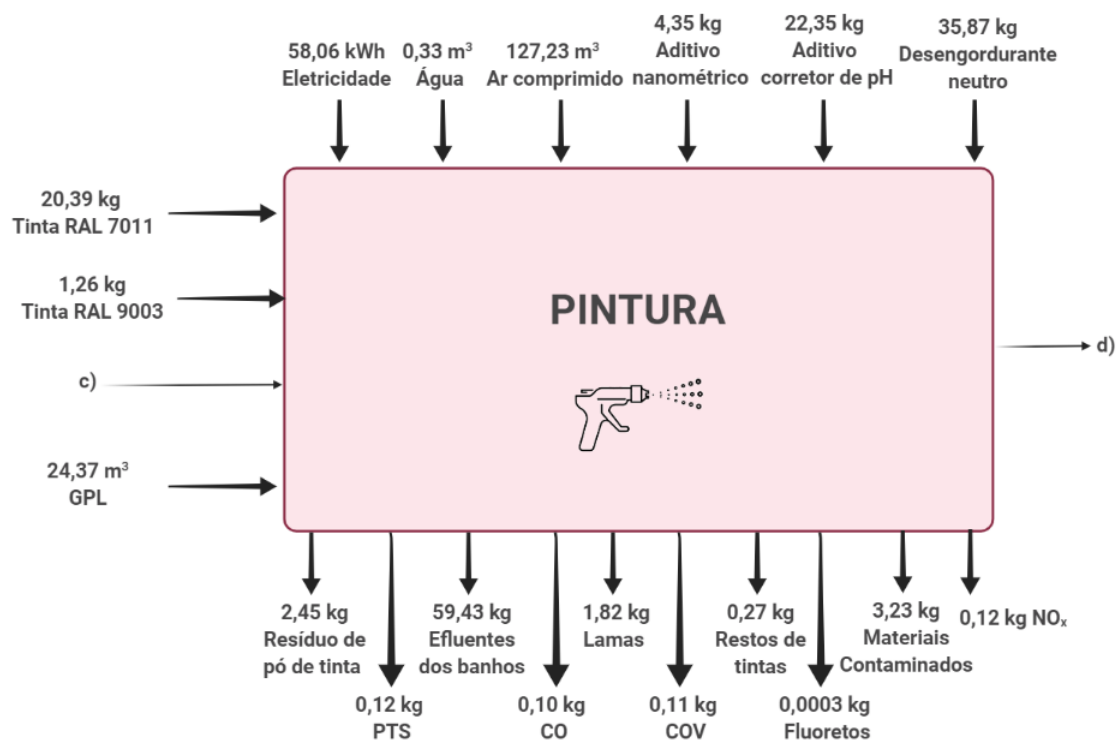
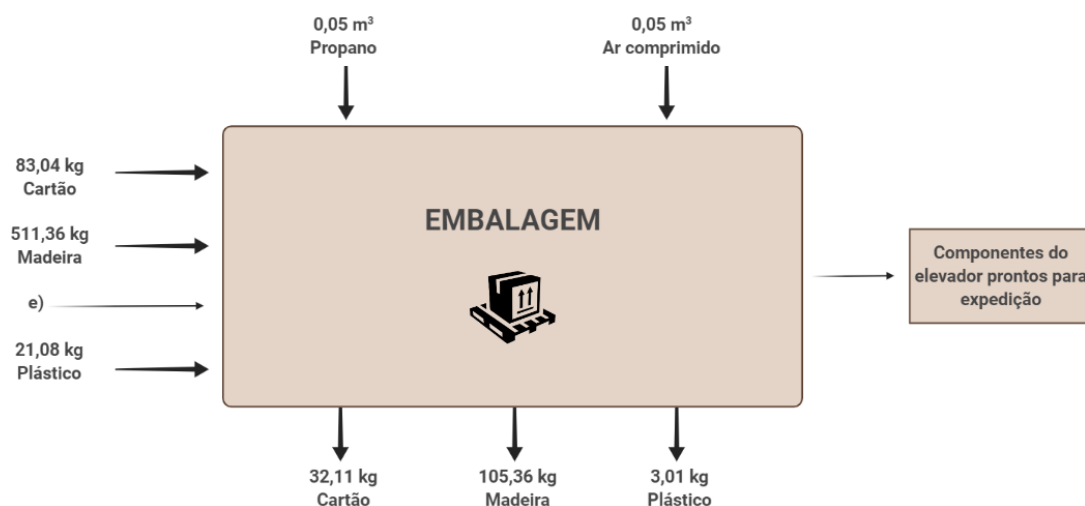
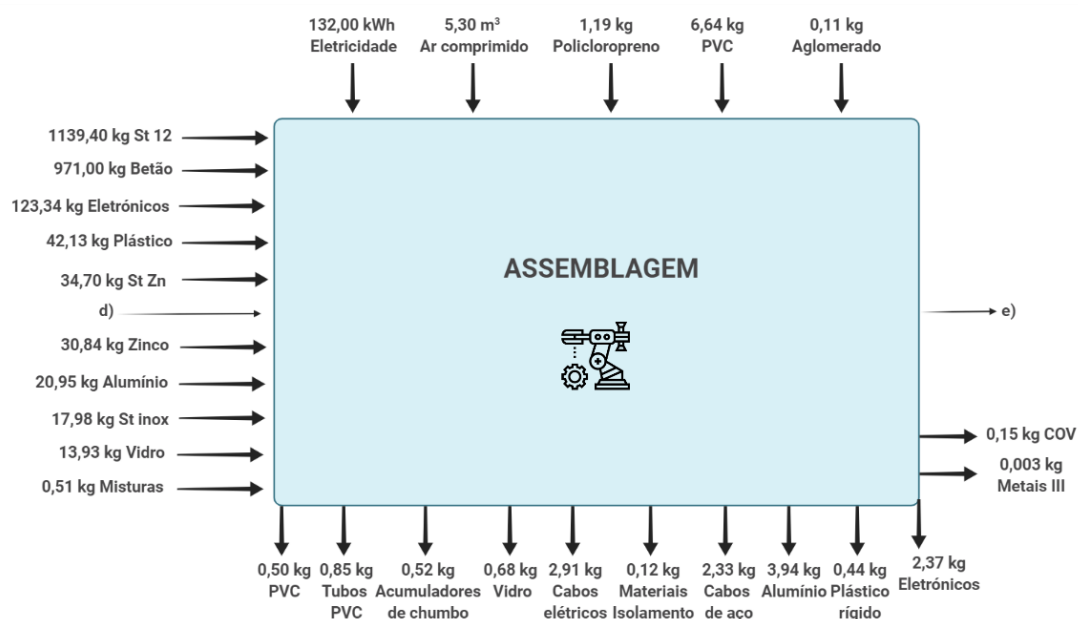


Figura 4.7 - Diagrama de blocos com as entradas e saídas do processo de pintura



De salientar que nas 2 unidades fabris ocorre o consumo de energia elétrica do compressor que se traduz em 229,54 kWh por elevador e consumo de óleos para lubrificação dos equipamentos de 1,51 kg por elevador.

A expedição parte do armazém AJP onde se encontram armazenados os componentes do elevador completo embalados que correspondem a uma massa de 3 995,91 kg.

Se o cliente for da região Norte, o produto é direcionado para a Trofa e posteriormente para o cliente. Se o cliente for da região Sul, o produto é direcionado para a Trofa, depois para Loures e por fim para o cliente. Quando se trata de uma obra que é

expedida para mercado internacional o elevador é direcionado para o armazém AW que depois fica ao encargo da Schmitt+Sohn, Aufzüge.

Neste estudo, apenas serão abordados os consumos da etapa de expedição nacional e os dados de transporte anual para o total de elevadores expedidos em 2021 e o valor correspondente para apenas um elevador modelo A de 630 kg podem ser consultados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Transporte dos materiais entre do armazém até ao cliente

Percurso		Meio de transporte	Transporte (tkm)
AJP	Trofa	Camião, 25 t, EURO 6	115 924,46
Trofa	Loures	Camião, 25 t, EURO 6	76 597,54
Trofa	Cliente	Camião, 25 t, EURO 6	33 741,04
Loures	Cliente	Camião, 25 t, EURO 6	55 664,18
Total anual	-	-	281 927,22
Total elevador	-	-	245,15

Aquando da chegada dos materiais à obra inicia-se a etapa de montagem e para o elevador em estudo corresponde a um período de 10 dias em que ocorre consumo de 174,64 kWh de eletricidade (utilização de máquinas), 0,5 kg de desengordurante e 0,118 kg de químico de injeção para imobilizar as últimas fixações do elevador.

Constata-se que os resíduos obtidos estão associados às embalagens expedidas das diversas peças (50,93 kg de cartão; 406,00 kg de madeira e 18,07 kg de plástico).

Os materiais que sobram de parafusaria são guardados pelos técnicos de montagem na carrinha própria para uma eventualidade em que sejam necessários, evitando viagens dispensáveis à fábrica devido a falta de materiais pequenos.

4.2.3 Fase de uso

A fase de utilização é a fase mais longa no ciclo de vida de um elevador – 25 anos – o que a torna um dos estágios mais impactantes no ambiente. Desse modo é importante que a empresa continue a melhorar a eficiência energética dos elevadores tornando os mecanismos mais acessíveis economicamente para ajudar os clientes a reduzir a quantidade de eletricidade utilizada.

De modo a determinar a classificação energética de elevadores foram executados em obra ensaios em que se realizaram medições de energia com recurso a pinças amperimétricas e medidor de energia.

Os ensaios foram realizados sem nenhuma modificação dos parâmetros do elevador e os parâmetros da unidade foram registados. A entrada da cabina foi bloqueada para evitar a entrada de passageiros. O elevador realizou ciclos de manobra até se atingirem as condições normais de funcionamento, e não foram desligadas funcionalidades do elevador. O elevador não continha nenhuma carga na cabina.

Os dados obtidos foram registados no documento “Classificação energética de elevadores: *checklist* – medição de energia” e em conjunto com a norma NP EN ISO 25745-2:2015 determinou-se a energia consumida por dia e por ciclo de vida para o elevador em estudo. A classe de eficiência energética considerada foi a 2 que corresponde a 125 viagens por dia.

O consumo energético diário do elevador declarado corresponde a 2,69 kWh o que se traduz num consumo energético por ciclo de vida de 24 178,23 kWh. Conclui-se, portanto, que a classe de eficiência energética é a B de acordo com a norma NP EN ISO 25745-2:2015. O consumo energético do elevador é representado em 68% pelo consumo em standby e apenas 32% pelo consumo em operação. Os cálculos para determinação destes resultados encontram-se no Anexo B.

Para assegurar um tempo de vida longo do elevador são assinados entre a empresa e o cliente contratos de manutenção periódica mensal. Existe um documento denominado “*Checklist* da manutenção e de avaria” que cada técnico de manutenção tem de seguir para garantir uma manutenção correta.

Verificando a necessidade de substituição de materiais que se encontram desgastados ou avariados o técnico de manutenção prepara-se para a realização das reparações menores ou um técnico de reparação é encaminhado para substituição de materiais mais complexos.

Em curso encontra-se um projeto para melhorar o plano de manutenção e aconselhar o cliente previamente de quando tem de realizar substituição de materiais. Deste modo pretende-se determinar qual o tempo de vida expectável de cada material que constitui o elevador ou contribui para o seu funcionamento. Este projeto baseia-se em dados dos anos 2012 a 2022.

Tendo em conta os últimos 10 anos, para o tipo de elevador declarado, houve a necessidade de substituição das seguintes peças sendo esta situação incluída na etapa de manutenção do ciclo de vida:

- Filtro EMC;
- Interruptor magnético monoestável;
- Cortina fotoelétrica;
- Cabos elétricos;
- Cabo do limitador de velocidade;
- Correia dentada;
- Contactores;
- Placa com porta microport;
- Contactos de segurança;
- Atuador/Ponte;
- Mola para fecho da porta;
- Resistência do travão;
- Disjuntores;
- Fonte de alimentação;
- Sistema de emergência;
- Interruptor fim de curso;

- Roda dentada para motor de porta;
- Adaptador;
- Transformador toroidal;
- Temporizador pneumático;
- Módulo para display da posição MC12;
- Sequenciador de fases;
- Cabo de aço com revestimento plástico.

Apenas é necessário um consumo energético mínimo referente ao uso da aparafusadora de 0,29 kWh. Estes materiais são entregues em sacas plásticas resultando em 0,91 kg de resíduo plástico. Outros resíduos são provenientes dos materiais removidos que equivalem a 51,56 kg.

De salientar que os materiais fulcrais do elevador têm tempos de vida útil entre 20 e 30 anos após os quais se aconselha modernização. No entanto, se os elevadores não mantiverem uma manutenção adequada terão uma vida útil significativamente reduzida e podem precisar de modernização nos primeiros 10 a 15 anos.

4.2.4 Fase de fim de vida

Quando o elevador se torna obsoleto e não compensa a realização de uma modernização, o produto é desmantelado sendo que todo o material é separado para receber o tratamento de fim de vida adequado.

Estimou-se que todos os elevadores considerados na expedição em 2021, ao fim de 25 anos, serão desmantelados. O processo de desmantelamento tem uma duração de 5 dias e são removidos todos os materiais que constituem o elevador. Como tal verifica-se um consumo elétrico de 87,32 kWh.

O transporte dos resíduos da obra do cliente até à empresa prestadora de serviços é realizado através de um camião, 25 t, EURO 6. Se a obra se encontrar na região Norte, os resíduos são entregues ao centro operacional em Sanguedo. Se a obra se encontrar na região Centro, os resíduos são entregues ao centro operacional em Loures. E por fim, se a obra se encontrar na região Sul, os resíduos são entregues ao centro operacional em Silves.

Os resíduos obtidos correspondem a um transporte de 47 964,96 tkm por ano o que se traduz num transporte de 41,71 tkm por elevador.

Após a entrega ao centro operacional de resíduos foram consideradas as tecnologias padrão europeias para os processos de deposição e tratamento de fim de vida de acordo com a base de dados *ecoinvent*.

O tratamento de fim de vida é realizado por uma empresa externa que apresenta mensalmente o documento “Resumo Serviços e Faturação Schmitt – Obras”.

A partir desse documento e da base de dados *ecoinvent* pode-se afirmar que os materiais de papel, plástico, madeira, componentes metálicos (ferro, aço, aço inoxidável,

alumínio, entre outros), componentes elétricos e eletrônicos têm como destino a reciclagem de acordo com a região da Europa. Após triagem e separação dos materiais, os componentes elétricos e eletrônicos são coletados para deposição final. Os restantes componentes são encaminhados para incineração municipal.

Os resíduos não perigosos equiparados a urbanos e os materiais contaminados são redirecionados para valorização energética.

Por fim, o vidro é encaminhado para aterro sanitário e o betão para aterro de material inerte.

Na Tabela 4.7 pode-se observar a distribuição do destino dos materiais do elevador.

Tabela 4.7 - Tratamento de fim de vida dos grupos funcionais do elevador

Tipo de tratamento	Massa (kg)	Massa (%)
Reciclagem	2 516,09	69,10
Valorização energética	140,00	3,85
Tratamento para aterro	948,93	27,05
Total	3 641,02	100,00

4.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)

Após a realização do inventário, em que foi realizado o levantamento de todas as entradas e saídas dos processos adjacentes ao fabrico de um elevador segue-se a avaliação do impacto do ciclo de vida em que se irá determinar o desempenho ambiental da empresa no ciclo de vida do elevador modelo A e identificar as oportunidades de melhoria.

A modelação do ciclo de vida do elevador foi realizada com o auxílio do *software* openLCA e a base de dados *ecoinvent*. No Anexo C encontra-se a correspondência entre os fluxos estudados e os fluxos utilizados no openLCA presentes na base de dados *ecoinvent* de modo a determinar os indicadores de categoria de impacto para as distintas etapas do ciclo de vida.

No openLCA para cada etapa foram introduzidas as correntes de entrada e saída e a respetiva quantidade obtida durante o inventário. Após isso, realiza-se a avaliação do impacto em que a quantidade é multiplicada pelo fator de caracterização fornecido pelo método de avaliação de impacto para cada fluxo. O *software* realiza esse cálculo, agrupa os dados e fornece um resumo com os indicadores principais para posterior análise.

Todos os indicadores ambientais apresentados nesta secção foram calculados para os 25 anos de tempo de vida de serviço para o elevador em estudo por unidade funcional (1 tkm). De acordo com as regras de categoria de produto (elevadores) o método de avaliação de impacto utilizado foi o CML-IA *baseline* (versão novembro 2021) que avalia o problema num ponto intermédio.

Na Tabela 4.8, pode-se consultar os resultados dos indicadores de categoria de impacto para o ciclo de vida do elevador declarado por unidade funcional (1 tkm).

Tabela 4.8 - Indicadores de categoria de impacto para o ciclo de vida do elevador por unidade funcional (1 tkm)

Indicadores	Valores	Unidade de medida
Aquecimento Global	$7,17 \cdot 10^1$	kg CO ₂ eq
Acidificação	$4,48 \cdot 10^{-1}$	kg SO ₂ eq
Depleção Abiótica Elementos	$6,03 \cdot 10^{-3}$	kg Sb eq
Oxidação Fotoquímica	$2,32 \cdot 10^{-2}$	kg C ₂ H ₄ eq
Depleção Abiótica Fóssil	$8,93 \cdot 10^2$	MJ
Depleção Camada de Ozono	$6,17 \cdot 10^{-6}$	kg CFC-11 eq
Eutrofização	$1,68 \cdot 10^{-1}$	kg PO ₄ ³⁻ eq

Tendo em conta os valores apresentados na tabela anterior e multiplicando os indicadores pelo desempenho de transporte (312,56 tkm) tem-se os indicadores de categoria de impacto por elevador.

Revela-se dessa forma uma emissão de 22,4 toneladas de CO₂ eq, 141 kg de SO₂ eq, 1,88 kg de Sb eq, 7,25 kg de C₂H₄ eq, $1,93 \cdot 10^{-3}$ kg de CFC-11 eq e 52,4 kg de PO₄³⁻ eq, um consumo de $2,79 \cdot 10^5$ MJ de combustíveis fósseis por elevador.

As várias etapas do ciclo de vida do elevador modelo A apresentam contribuições distintas para os diversos indicadores de categoria de impacto e torna-se imprescindível averiguar quais é que têm maior impacto. Na Figura 4.10, pode-se observar a contribuição dos indicadores de categoria de impacto para cada etapa do ciclo de vida do elevador.

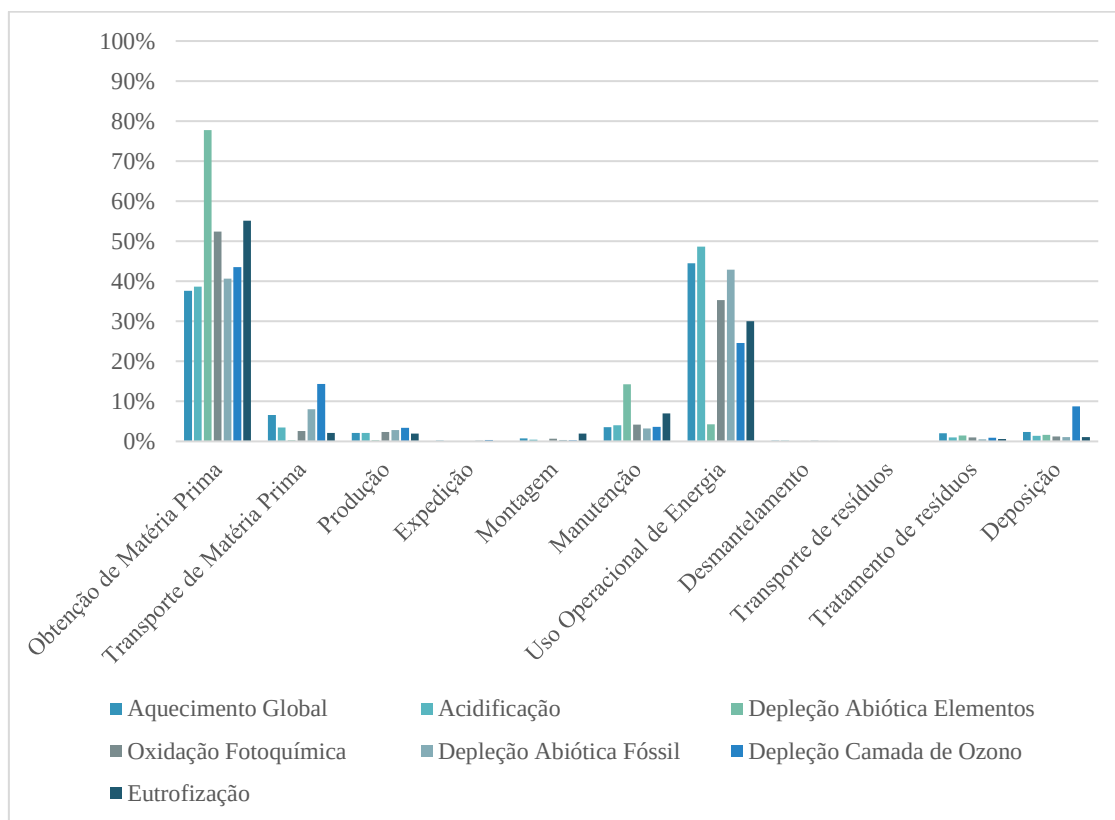


Figura 4.10 - Contribuição dos indicadores de categoria de impacto para cada etapa do ciclo de vida do elevador

Com o método *Cumulative Energy Demand*, foi possível apurar que etapas do ciclo de vida consomem maiores quantidades de energia renovável e energia não renovável. Adicionalmente, ainda se estudou a utilização de água em processos diretos como na etapa de pintura e processos indiretos como na extração de matéria-prima, processos de limpeza e purificação, produção de energia, arrefecimento em processos térmicos, entre outros.

Para cada elevador, consome-se $3,41 \cdot 10^5$ MJ de energia renovável e $3,33 \cdot 10^5$ MJ de energia não renovável. Verifica-se ainda a utilização de 273 m^3 de água. A contribuição de cada etapa para estes parâmetros pode ser consultada na Figura 4.11.

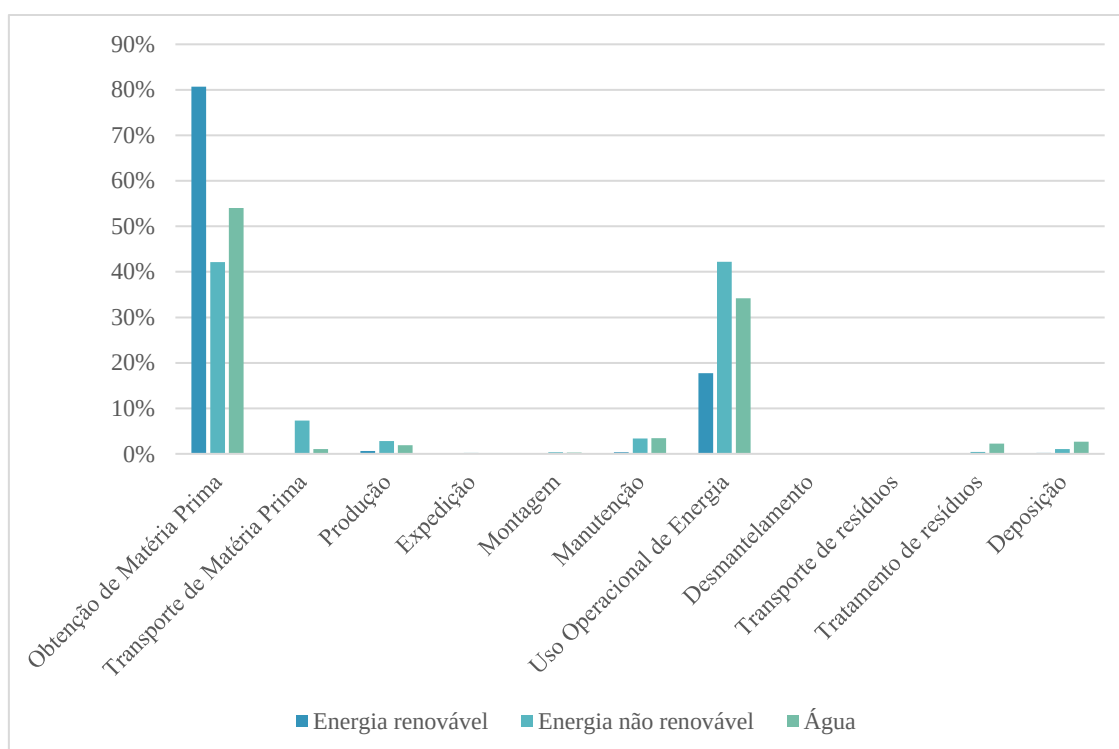


Figura 4.11 - Consumo de energia e utilização de água para as diferentes etapas do ciclo de vida do elevador

4.4 Interpretação do ciclo de vida

Com os resultados obtidos no subcapítulo anterior, resta apresentar a sua interpretação de modo a compreender os indicadores ambientais e identificar propostas de melhoria que aperfeiçoem a sustentabilidade ambiental da empresa.

4.4.1 Indicadores ambientais

O desempenho ambiental do elevador de modelo A é afetado principalmente pela etapa de obtenção de matéria-prima, apresentando valores acima de 37% para todas as

categorias de impacto. Esta etapa é a maior contribuidora para 4 dos indicadores: depleção de recursos abióticos – elementos (77,74%), oxidação fotoquímica (52,43%), depleção da camada de ozono (43,57%) e eutrofização (55,14%).

Estes valores consideráveis correspondem maioritariamente à obtenção de metais ferrosos e eletrônicos.

As matérias-primas do elevador são maioritariamente metais ferrosos (66%) e o seu processo de extração e produção é consumidor intensivo de energia libertando também emissões prejudiciais ao meio ambiente como CO, CO₂, SO₂ e NO_x. Adicionalmente, a exploração mineira pode levar à depleção dos minerais devido ao consumo excessivo pela indústria e também à contaminação de lençóis de água com metais pesados.

No entanto, em termos relativos, componentes elétricos e eletrônicos têm um maior impacto nos resultados apesar de comporem menos de 3,40% do elevador. Um componente eletrônico é constituído por vários materiais entre os quais aço, plástico, cabos elétricos, entre outros. Todos estes materiais dependem de operações de mineração e perfuração de habitats naturais que danificam os ecossistemas devido aos resíduos gerados e emissões libertadas. A consequente refinação e purificação está dependente de processos que recorrem ao consumo intensivo de água e eletricidade como também de solventes tóxicos para purificar metais como o cobre ou ouro. Desse modo, tornam-se também de grande relevância no ciclo de vida do produto nomeadamente no potencial de depleção de recursos abióticos.

Os processos produtivos no fabrico do elevador não apresentam quase impacto nenhum ou relevância em termos de carga ambiental dado que os valores das categorias de impacto situam-se todos abaixo de 3,41%. Salienta-se o processo de pintura que apresenta maiores riscos para o ambiente devido ao pré tratamento de superfícies que é aplicado onde se utilizam substâncias químicas que originam efluentes líquidos e lamas como se pode observar na Figura 4.12.

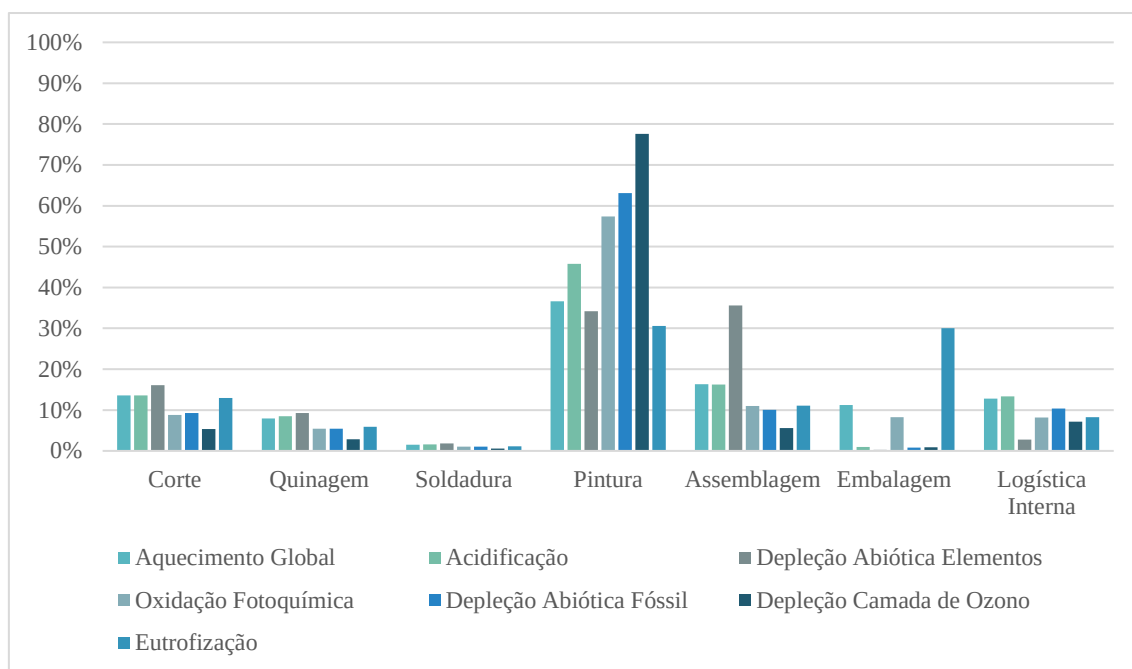


Figura 4.12 - Contribuição dos indicadores de categoria de impacte para as etapas de produção do ciclo de vida do elevador

Nas etapas de produção, a eletricidade provém 100% de energias renováveis. Na unidade fabril 1, 100% advém de energia hídrica e na unidade fabril 2, 31% resulta de energia fotovoltaica e 69% resulta de energia hídrica. Todos os resíduos e efluentes gerados nas unidades fabris são direcionados para tratamento, no entanto, os efluentes líquidos e lamas da secção de pintura após esse procedimento são depositados em aterro não sendo possível valorização. Em contrapartida, as emissões libertadas encontram-se abaixo dos valores limite de emissões e não estão presentes no elevador substâncias químicas perigosas de acordo com o REACH.

As atividades em obra de montagem apresentam valores para os indicadores de categoria de impacte baixos (inferiores a 1,99%) sendo consumida eletricidade residual. Na etapa de manutenção, apenas 3% dos materiais constituintes do elevador são substituídos o que não influencia significativamente o desempenho ambiental do produto. Os indicadores de categoria de impacte encontram-se abaixo dos 7,03% com exceção do potencial de depleção de recursos abióticos (elementos) que apresenta um valor de 14,24% devido à produção das novas peças que exigem extração de recursos da natureza.

O uso operacional de energia é a segunda fase com maior impacto dado que apresenta a maior duração (25 anos) em que o elevador consome elevadas quantidades de energia disponibilizada pela rede de eletricidade portuguesa. Acrescentando o facto de que a classe de eficiência energética do elevador em estudo é apenas B pode-se afirmar que esta etapa é de elevada pertinência para o desempenho ambiental.

O uso operacional de energia é a fase com maior contribuição no impacte ambiental do ciclo de vida do elevador para 3 dos indicadores de categoria de impacte. Salienta-se os valores de 42,91% para o potencial de depleção de combustíveis fósseis, 44,49% para o potencial de aquecimento global e 48,62% para o potencial de acidificação.

Estes resultados refletem o uso de energia fóssil no mix energético português que a abril de 2022 era cerca de 35%, como se pode observar na Figura 4.13.

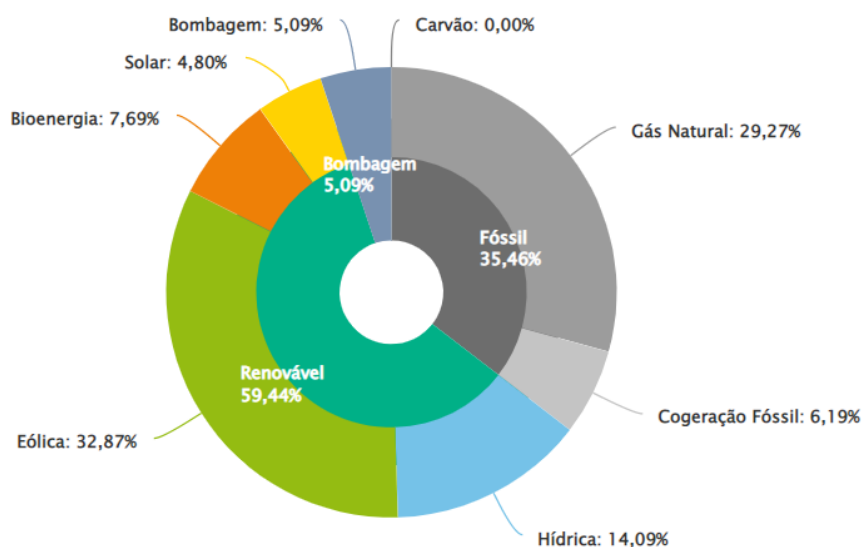


Figura 4.13 - Mix energético português a abril de 2022 [31]

O desmantelamento do elevador é de preocupação limitada dado que os indicadores de categoria de impacto apresentam valores inferiores 0,18%.

Ao longo do ciclo de vida ocorrem ainda atividades de transporte em que o maior contribuidor é o transporte dos vários fabricantes até à sede da empresa com valores de indicadores entre 0,25% e 14,35% e as restantes etapas de transporte (expedição e transporte de resíduos) apresentam valores inferiores a 0,38% para todos os indicadores de categoria de impacto.

Os processos de deposição e tratamento de fim de vida utilizados são as tecnologias padrão europeias.

O consumo de energia é maioritário para as etapas de obtenção de matéria-prima e uso operacional de energia o que leva a que estas atividades apresentem os maiores impactos ambientais como mencionado anteriormente. Pode-se observar ainda que o uso de energia não renovável corresponde a 49,37% do uso de energia total. A utilização de água apresenta valores bastante baixos e negligenciáveis para o estudo de avaliação de ciclo de vida.

Anualmente, estes indicadores de categoria de impacto podem ser atualizados para a empresa monitorizar a evolução do seu desempenho ambiental e a influência de novas modificações no produto e nos seus processos adjacentes. Deste modo, o desempenho ambiental é atribuído não apenas à pegada de carbono (aquecimento global), mas também a outras categorias de impacto permitindo que a empresa tenha uma visão mais abrangente e fidedigna do impacto do ciclo de vida do seu produto alargando a perceção das ações que pode tomar para o desenvolvimento sustentável.

Através dos dados dos indicadores de categoria de impacto foi desenvolvida uma declaração ambiental do produto em que é sintetizado o desempenho ambiental do ciclo de vida do elevador modelo A (Anexo D).

4.4.2 Oportunidades de melhoria

Através deste estudo pode-se afirmar que as oportunidades de melhoria do desempenho ambiental devem-se focar nas etapas de obtenção de matéria-prima e o uso operacional de energia do elevador.

Para tal, simulou-se qual o impacto ambiental do ciclo de vida do elevador para outros 3 possíveis cenários:

- Cenário 1: Redução de aço em 10%
- Cenário 2: Redução de aço em 20%
- Cenário 3: Classe de eficiência energética A

A redução de aço, que é a matéria-prima principal, em 10% e 20% tem impacto principalmente na etapa de obtenção de matéria-prima uma vez que a necessidade de recursos abióticos torna-se menor e como os processos de extração e produção são bastante intensivos a nível energético esta diminuição contribuirá diretamente para a melhoria do desempenho ambiental do ciclo de vida. Por outro lado, a modificação da classe de eficiência energética do elevador de B para A leva a que o uso operacional de energia durante os 25 anos de serviço seja menor uma vez que a energia está a ser aproveitada de uma forma mais eficiente.

Na Tabela 4.9, pode-se observar o impacto ambiental destes 3 cenários comparando com os dados obtidos na Tabela 4.8 do subcapítulo 4.3 (referência).

Tabela 4.9 - Comparação dos indicadores de categoria de impacto por unidade funcional (1 tkm) para os diferentes cenários

Indicadores	Referência	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Aquecimento Global (kg CO ₂ eq)	7,17*10 ¹	6,99*10 ¹	6,82*10 ¹	5,76*10 ¹
Acidificação (kg SO ₂ eq)	4,48*10 ⁻¹	4,38*10 ⁻¹	4,27*10 ⁻¹	3,51*10 ⁻¹
Depleção Abiótica Elementos (kg Sb eq)	6,03*10 ⁻³	5,76*10 ⁻³	5,49*10 ⁻³	5,91*10 ⁻³
Oxidação Fotoquímica (kg C ₂ H ₄ eq)	2,32*10 ⁻²	2,25*10 ⁻²	2,17*10 ⁻²	1,96*10 ⁻²
Depleção Abiótica Fóssil (MJ)	8,93*10 ²	8,68*10 ²	8,44*10 ²	7,23*10 ²
Depleção Camada de Ozono (kg CFC-11 eq)	6,17*10 ⁻⁶	5,98*10 ⁻⁶	5,79*10 ⁻⁶	5,50*10 ⁻⁶
Eutrofização (kg PO ₄ eq)	1,68*10 ⁻¹	1,62*10 ⁻¹	1,57*10 ⁻¹	1,45*10 ⁻¹

A melhoria da classe de eficiência energética de B para A (cenário 3) apresenta os melhores resultados de desempenho ambiental dado que todos os indicadores de impacto apresentam menores valores comparando com as outras opções. A única exceção é o potencial de depleção de recursos abióticos (elementos) que está associado com a extração de minérios. Para este indicador o melhor cenário é o 2 dado que implica a redução em 20% de aço levando a uma redução da necessidade de exploração mineira para obtenção da principal matéria-prima para a produção do elevador.

A redução de consumo energético centra-se então como a melhor opção para um melhor desempenho ambiental e por isso os esforços da empresa devem concentrar-se em aumentar a eficiência energética do elevador.

Para tal é importante estabelecer equipas e mecanismos em que a eficiência energética seja o foco e procurar a implementação de um sistema de gestão de energia através da norma ISO 50001:2018.

Tendo em conta que para um elevador de categoria de uso 2 (125 viagens diárias), o consumo de energia em *standby* corresponde a 70% do consumo energético total, a nível operacional sugere-se a implementação da funcionalidade de modo *sleep* que permite que os componentes eletrónicos desliguem ao fim de um tempo pré estabelecido ou em horas de menor uso que podem ser obtidas através de uma análise padrão de tráfego do elevador.

Já se encontra implementado o modo *standby* nos elevadores atuais, mas este modo apenas permite desligar a iluminação. No entanto, o modo *sleep* iria permitir desligar os componentes do elevador que consomem mais energia em *standby* como por exemplo o comando, variador de frequência, cortina fotoelétrica, motor da porta de cabina e sistema de excesso de carga.

Por outro lado, para reduzir o consumo durante o período de operação do elevador, sugere-se a inserção de um regenerador de energia como mecanismo padrão. Esta solução iria permitir capturar o calor gerado pelos travões do elevador durante a sua operação e converter em energia reutilizável para o edifício em vez de dissipar este calor.

Na possibilidade de a energia necessária ao funcionamento do elevador ser fornecida por energias renováveis através de painéis fotovoltaicos esta medida deve ser implementada uma vez que reduz a dependência da energia elétrica da rede portuguesa.

Claro que associadas a estas opções o custo para fabricar o elevador padrão pode aumentar sendo também imprescindível otimizar a sua produção de modo a mitigar esta ameaça e para que o uso destas funcionalidades seja generalizado.

De notar ainda que, em paralelo, encontra-se um projeto onde se está a realizar o levantamento do consumo elétrico de todos os equipamentos eletrónicos presentes no elevador para averiguar quais é que têm um maior contributo para este parâmetro. Os resultados podem levar à reformulação dos equipamentos e/ou escolha de fornecedores que garantam um menor consumo de energia contribuindo diretamente para a melhoria da eficiência energética do produto e consequentemente o seu desempenho ambiental global.

A redução de matéria-prima de aço torna-se um processo mais difícil e moroso de implementar dado que leva à reformulação de diversos materiais do elevador, verificação do cumprimento das normas de qualidade, ambiente e segurança estabelecidas, atualização de documentação e também à necessidade de realização de testes para averiguar por exemplo a resistência ao impacto, à chama, entre outros. Para esta etapa é necessária a colaboração entre vários departamentos de modo a se obter os melhores resultados.

A nível interno, pode-se dar atenção aos resíduos obtidos nas etapas de produção que apesar de não impactarem drasticamente o ciclo de vida do elevador têm potencial para melhoria.

Salienta-se os resíduos de madeira obtidos na etapa de embalagem que correspondem a 1/5 da madeira utilizada e devem ser reduzidos ou aproveitados para transformação num subproduto de interesse.

Por outro lado, é de elevado interesse minimizar a perigosidade de efluentes líquidos e lamas provenientes da pintura através de tratamento prévio realizado nas instalações da empresa, como por exemplo, a implementação de uma estação de tratamento de águas residuais industriais em que a água utilizada possa ser recuperada e reintroduzida na etapa de pintura.

Verifica-se ainda que o consumo de GPL nos queimadores é substancial e sugere-se a modificação para resistências elétricas que consigam cumprir a função de secagem e polimerização nas câmaras de pintura atingindo as temperaturas requeridas.

5 Conclusões

Elevadores são produtos ativos, ou seja, consomem recursos à medida que cumprem a sua função. Por esta razão, o seu impacto ambiental não ocorre apenas durante a sua produção, mas perdura durante a sua vida de serviço.

De modo a determinar o desempenho ambiental do elevador modelo A foi realizada uma avaliação do ciclo de vida “berço à cova” utilizando o método de avaliação de impacto CML-IA *baseline*.

O desempenho ambiental do ciclo de vida do elevador é dominado pela etapa de extração e produção de matéria-prima que corresponde ao processo a montante. Apresenta valores acima de 37% para todas as categorias de impacto sendo que o potencial de depleção dos recursos abióticos (elementos) atinge 77,74%. Estes valores elevados correspondem maioritariamente à obtenção de metais ferrosos e componentes eletrónicos que apresentam processos de extração e produção bastante intensivos nomeadamente em termos de energia.

Os processos produtivos no fabrico do elevador não apresentam quase impacto nenhum ou relevância em termos de carga ambiental dado que os valores das categorias de impacto situam-se todos abaixo de 3,41%.

As atividades em obra de montagem do elevador apresentam valores para os indicadores de categoria de impacto baixos sendo consumida eletricidade residual. Na etapa de manutenção, apenas 3% dos materiais constituintes do elevador são substituídos o que não influencia significativamente o desempenho ambiental do produto.

A fase de uso operacional de energia é a segunda fase com maior impacto dado que que apresenta a maior duração (25 anos) em que o elevador consome elevadas quantidades de energia disponibilizada pela rede de eletricidade portuguesa. Salienta-se os valores de 42,91% para o potencial de depleção de combustíveis fósseis, 44,49% para o potencial de aquecimento global e 48,62% para o potencial de acidificação.

O desmantelamento do elevador apresenta uma contribuição diminuta com valores para os indicadores de categoria de impacto abaixo dos 0,18%.

Quando o elevador se torna obsoleto procede-se ao tratamento de fim de vida sendo possível reciclar 69,10% dos componentes do elevador e apenas 27,05% dos materiais do elevador são direcionados para aterro. Os processos de deposição e tratamento de fim de vida utilizados são as tecnologias padrão europeias.

Ao longo do ciclo de vida ocorrem ainda atividades de transporte em que o maior contribuidor é o transporte dos vários fornecedores até à sede da empresa com valores de indicadores entre 0,25% e 14,35% e as restantes etapas de transporte apresentam valores inferiores a 0,38% para todos os indicadores de categoria de impacto.

Por fim, através do método *Cumulative Energy Demand*, averiguou-se que o uso de energia não renovável corresponde a 49,37% do uso de energia total. A utilização de água apresenta valores bastante baixos e negligenciáveis para o estudo de avaliação de ciclo de vida.

A redução de consumo energético centra-se como a melhor opção para um melhor desempenho ambiental e por isso os esforços da empresa devem concentrar-se em aumentar a eficiência energética do elevador.

Torna-se importante deste modo a implementação de um sistema de gestão de energia (ISO 50001:2018) de modo a otimizar e melhorar o funcionamento da fábrica. Como oportunidades de melhoria e para atuar numa etapa importante a nível de impactos tal como referido anteriormente, pode-se implementar funcionalidades no elevador como modo *sleep* em que os componentes eletrónicos são desligados após um tempo pré-definido ou inserir o regenerador de energia como mecanismo padrão para reaproveitar a energia que é dissipada durante a operação do elevador. A escolha de fornecedores de equipamentos eletrónicos é de elevada relevância e deve predominar não apenas o custo, mas também o consumo energético dos mesmos. Por fim, a possibilidade de fornecer energia ao elevador através de painéis fotovoltaicos que se encontrem no edifício deve ser considerada.

Os indicadores de categoria de impacto podem servir como propósito para monitorização da evolução do desempenho ambiental e a influência de novas modificações no produto e nos processos adjacentes. Deste modo, o desempenho ambiental considera não apenas a pegada de carbono (aquecimento global), mas também outras categorias de impacto permitindo que a empresa tenha uma visão mais abrangente e fidedigna do impacto do ciclo de vida do seu produto alargando a perceção das ações que pode tomar para o desenvolvimento sustentável.

Esta avaliação, no futuro, pode ser expandida a outros produtos do portfólio da empresa para melhorar a gestão ambiental como também a relação com as partes interessadas. A declaração ambiental do produto torna-se o documento mais adequado e fidedigno para divulgar estas informações sobre o impacto ambiental do ciclo de vida dos produtos através de publicação *online*.

Bibliografia

- [1] United Nations, “Sustainability | United Nations,” [Online]. Available: <https://www.un.org/en/academic-impact/sustainability>. [Acedido em 28 dezembro 2021].
- [2] Portugal Energia, “Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030,” [Online]. Available: <https://www.portugalenergia.pt/setor-energetico/bloco-3/>. [Acedido em 28 dezembro 2021].
- [3] EEA - European Economic Area, “O estado do ambiente na Europa em 2020,” [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/pt/highlights/o-estado-do-ambiente-na>. [Acedido em 28 dezembro 2021].
- [4] Schmitt+Sohn, Elevadores, “Brochura da empresa,” [Online]. Available: https://www.schmitt-elevadores.com/fileadmin/user_upload/PDF/unternehmen/SS_UB_ansicht_pt_screen.pdf. [Acedido em 28 dezembro 2021].
- [5] Schmitt+Sohn, Elevadores, “Indicadores,” [Online]. Available: <https://www.schmitt-elevadores.com/a-empresa/informar/indicadores/>. [Acedido em 28 dezembro 2021].
- [6] Schmitt+Sohn, elevadores, “ISI 2040 - O elevador,” [Online]. Available: https://www.schmitt-elevadores.com/fileadmin/user_upload/PDF-PT/Produtos/BRO-ISI-2040_P_low.pdf. [Acedido em 28 dezembro 2021].
- [7] “The History of Elevators,” [Online]. Available: <http://www.elevatorhistory.net/elevator-history/history-of-elevator/>. [Acedido em 25 novembro 2021].
- [8] Fortune Business Insights, “Elevator and Escalator Market Size,” setembro 2021. [Online]. Available: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/elevator-and-escalator-market-100301>. [Acedido em 25 novembro 2021].
- [9] Schmitt+Sohn, Elevadores, *Grupos funcionais de um elevador*.
- [10] D. D'Agostino e L. Mazarella, “What is a Nearly Zero Energy Building? Overview, implementation and comparison of definitions,” *Journal of Building Engineering*, vol. 21, pp. 200-212, 2019.
- [11] A.-M. L. Lafuente e J. L. N. Buis, “Environmental Impact of Lifts,” *4th Symposium on Lift & Escalator Technologies*, 2014.
- [12] “Environmental Impact of Steel,” [Online]. Available: <https://www.theworldcounts.com/challenges/planet-earth/mining/environmental-impact-of-steel-production/story>. [Acedido em 2021 dezembro 30].
- [13] “Metal Recycling - How to recycle metal and its importance,” [Online]. Available: <https://www.conserve-energy-future.com/recyclingmetal.php>. [Acedido em 29 dezembro 2021].
- [14] F. Dinkel e C. Stettler, “LCA for Lift Systems,” *The 6th International Conference on Life Cycle management in Gothenburg*, 2013.

- [15] A. B. Jabbour, C. Jabbour, M. Filho e D. Roubaud, “Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations,” *Springer Nature*, 2018.
- [16] McKinsey Center for Business and Environment, “The circular economy,” outubro 2016. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/The%20circular%20economy%20Moving%20from%20theory%20to%20practice/The%20circular%20economy%20Moving%20from%20theory%20to%20practice.ashx>. [Acedido em 14 janeiro 2022].
- [17] R. Karlsson e C. Luttrupp, “EcoDesign: what's happening?,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, nº 15-16, pp. 1291-1298, 2006.
- [18] G. Grimaud, N. Perry e B. Laratt, “Sustainability Performance Evaluation for Selecting the Best Recycling Pathway During It's Design Phase,” *Designing Sustainability Technologies, Products and Policies - Springer*, pp. 11-19, 2018.
- [19] TechSci Research, “Rise of Elevators in the World of Sustainability,” fevereiro 2021. [Online]. Available: <https://www.techsciresearch.com/blog/rise-of-elevators-in-the-world-of-sustainability/154.html>. [Acedido em 31 dezembro 2021].
- [20] A. Branco, “Elevadores energeticamente mais eficientes: monitorização e identificação de estratégias para aplicação de tecnologias eficientes em standby,” Universidade de Coimbra, 2008.
- [21] E. Scherzer, “The Essential Guide to MRL Elevators,” 9 março 2020. [Online]. Available: <https://dura-vator.com/mrl-elevators/>. [Acedido em 01 janeiro 2022].
- [22] K. Al-Kodmany, “Tall Buildings and Elevators: A review of recent technologies advances,” *Buildings*, vol. 5, pp. 1070-1104, 2015.
- [23] J. Nygren e R. Antikainen, “Use of life cycle assessment (LCA) in global companies,” em *Reports of the Finnish Environment Institute*, 2010.
- [24] M. Hauschild, R. Rosenbaum e S. Olsen, *Life Cycle Assessment - Theory and Practice*, Springer, 2018.
- [25] W. Klöpffer e B. Grahl, *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice*, Germany: Wiley-VCH, 2014.
- [26] PRé Sustainability, “Manual: SimaPro | Methods Manual,” dezembro 2021. [Online]. Available: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2021/12/DatabaseManualMethods930.pdf>. [Acedido em 06 dezembro 2021].
- [27] International, EPD, “Comunicação com declarações ambientais de produto (EPD),” 2022. [Online]. Available: <https://www.environdec.com/resources/documentation#brochuresepdcommunication>. [Acedido em 20 abril 2022].
- [28] EPD International, “PCR Library,” 2022. [Online]. Available: <https://www.environdec.com/pcr-library>. [Acedido em 20 abril 2022].

- [29] PRé Sustainability, “Manual: Introduction to LCA,” janeiro 2016. [Online]. Available: <https://pre-sustainability.com/files/2014/05/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>. [Acedido em 08 dezembro 2021].
- [30] Schmitt+Sohn, Elevadores, *Procedimento P07.02 / v1.0 Produção*, 2014.
- [31] APREN, “APREN - Associação de Energias Renováveis,” 2022. [Online]. Available: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>. [Acedido em 19 maio 2022].

Legislação

Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de agosto

Despacho n.º 17313/2008, de 26 de junho

Portaria 17-A/2016 de 4 de fevereiro

Normas

NP EN ISO 14040:2008 – Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e enquadramento

NP EN ISO 14044:2010 – Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e linhas de orientação

NP EN ISO 14025:2009 – Rótulos e declarações ambientais – Declarações ambientais Tipo III – Princípios e procedimentos

EN 15804+A2:2012 – *Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products*

NP EN ISO 25745-1:2015 – *Energy performance of lifts, escalators and moving walks – Part 1: Energy measurement and verification*

NP EN ISO 25745-2:2015 – *Energy performance of lifts, escalators and moving walks – Part 2: Energy calculation and classification for lifts (elevators)*

Anexos

Anexo A. Cálculo do desempenho do transporte

Para determinar o desempenho do transporte do elevador do modelo A tomou-se como base a norma NP EN ISO 25745-2:2015.

Como a aplicação do elevador em estudo é para edifícios residenciais ou comerciais de pequena escala, a categoria de uso considerada é 2 que representa 125 viagens por dia de acordo com a Tabela 1 da norma NP EN ISO 25745-2:2015.

Tabela A.1 - Número de viagens por dia por categoria de uso

Categoria de uso	Frequência	Número de viagens por dia (n_d)
1	Muito baixa	50 (< 75)
2	Baixa	125 ($75 \text{ a } < 200$)
3	Média	300 ($200 \text{ a } < 500$)
4	Elevada	750 ($500 \text{ a } < 1\,000$)
5	Muito Elevada	1\,500 ($1\,000 \text{ a } < 2\,000$)
6	Extremamente Elevada	2\,500 ($\geq 2\,000$)

Um elevador com 5 pisos e uma categoria de uso 2 apresenta uma % de distância média percorrida de 49% e tendo em conta que a distância percorrida na subida é de 12 m, tem-se uma distância percorrida de subida média de 5,88 m.

Tabela A.2 - Percentagem da distância média percorrida

Categoria de uso	1-3	4	5	6
Nº de pisos	% de distância média percorrida			
2	100%			
3	67%			
>3	49%	44%	39%	32%

Deste modo, para se obter a distância percorrida durante a vida de serviço, multiplica-se a distância percorrida de subida média pelo número de viagens por dia, pelo número de dias de operação por ano e pelos anos de serviço do elevador em estudo.

$$S_{RSL} = s_{av}/1000 * n_d * d_{op} * RSL$$

$$S_{RSL} = 5,88/1000 * 125 * 360 * 25$$

$$S_{RSL} = 6\,615 \text{ km}$$

Sabendo que o elevador apresenta uma carga nominal de 630 kg e uma categoria de uso 2, verifica-se a partir da Tabela 3 da norma NP EN ISO 25745-2:2015, que a % a aplicar à carga nominal é de 7,5%.

Tabela A.3 - Carga média do elevador

Categoria de uso	1-3	4	5	6
Carga nominal (kg)	% de carga nominal			
≤ 800	7,5%	9,0%	13%	19%
801 a ≤ 1 275	4,5%	6,0%	8,2%	13,5%
1276 a ≤ 2 000	3,0%	3,5%	5,0%	9,0%
> 2 000	2,0%	2,2%	3,0%	6,0%

Deste modo, tem-se uma carga média de 0,04725 toneladas.

$$Q_m = Q/1000 * (\% \text{ Tabela 3 ISO 25745-2})$$

$$Q_m = 630/1000 * 0,075 = 0,04725 \text{ t}$$

Por fim, para se obter o desempenho do transporte basta multiplicar Q_m por s_{RSL} .

$$\text{Desempenho do transporte} = Q_m * s_{RSL}$$

$$\text{Desempenho do transporte} = 0,04725 * 6\ 615$$

$$\text{Desempenho do transporte} = 312,56 \text{ tkm}$$

Anexo B. Cálculo do consumo energético de um elevador e a respetiva classe de eficiência energética

Na norma NP EN ISO 25745-2:2015 encontram-se presentes os cálculos necessários para obter o consumo energético anual de um elevador e a sua respetiva classe de eficiência energética.

Os parâmetros para esses cálculos são adquiridos através de ensaios realizados em obra em que ocorrem medições de energia que se encontram registados no documento “Classificação energética de elevadores: *checklist* – medição de energia”.

Parâmetros do elevador:

Tabela B.1 - Parâmetros do elevador

Parâmetro	Valor	Unidade de medida
Carga nominal: Q	630	kg
Velocidade nominal: v	1,0	m/s
Distância percorrida	12	m
Contrapeso	45	%
Aceleração: a	0,6	m/s ²
Variação da velocidade – Jerk: j	0,6	m/s ³
Tempo de porta: t _d	14	s

Dados determinados por medição:

Tabela B.2 - Dados determinados por medição

Parâmetro	Valor	Unidade de medida
Energia em modo inativo: P _{id}	101	Wh
Energia em modo inativo após 5 min: P _{st5}	72	Wh
Energia em modo inativo após 30 min: P _{st30}	72	Wh
Energia do ciclo de referência: E _{rc}	27,6	Wh
Energia do ciclo curto: E _{sc}	17,4	Wh
Distância do ciclo de referência: s _{rc}	12,0	m
Distância do ciclo curto: s _{sc}	6,70	m

Dados obtidos através das tabelas presentes na norma NP EN ISO 25745-2:2015:

Tabela B.3 - Dados obtidos através das tabelas da norma NP EN ISO 25745-2:2015

Parâmetro	Valor	Unidade de medida
Nº de viagens diárias: n _d	125	-
Dias de operação por ano: d _{op}	360	dias
Tempo de vida de serviço: RSL	25	anos
% Distância média percorrida	49	%
% Carga média	7,5	%
Fator de carga: k _L	0,87	-

Razão de tempo inativo: R_{id}	23	%
Razão de tempo inativo após 5 min: R_{st5}	45	%
Razão de tempo inativo após 30 min: R_{st30}	32	%

Cálculos:

$$s_{av} = \% \text{distância média percorrida} / 100 * \text{distância percorrida} = 49 / 100 * 12 = 5,88 \text{ m}$$

$$\text{Para contrapeso 50\%: } k_L = 1 - (\% \text{carga média} * 0,0164) = 1 - (7,5 * 0,0164) = 0,88$$

$$\text{Para contrapeso 40\%: } k_L = 1 - (\% \text{carga média} * 0,0192) = 1 - (7,5 * 0,0192) = 0,86$$

$$\text{Para contrapeso 45\%: } k_L = 0,87$$

Energia média consumida em operação por metro (E_{rm}):

$$E_{rm} = (E_{rc} - E_{rs}) / (s_{rc} - s_{rs}) / 2 = (27,6 - 17,4) / (12,0 - 6,7) / 2 = 0,97 \text{ Wh/m}$$

Energia consumida start/stop (E_{ssc}):

$$E_{ssc} = (E_{rc} - 2 * E_{rm} * s_{rc}) / 2 = (27,6 - 2 * 0,97 * 12) / 2 = 2,23 \text{ Wh}$$

Energia média consumida em operação com cabina vazia (E_{rav}):

$$E_{rav} = 2 * E_{rm} * s_{av} + 2 * E_{ssc} = 2 * 0,97 * 5,88 + 2 * 2,33 = 15,82 \text{ Wh}$$

Energia consumida em operação por dia (E_{rd}):

$$E_{rd} = k_L * n_d * E_{rav} / 2 = 0,87 * 125 * 15,82 / 2 = 860 \text{ Wh}$$

Tempo de operação por dia (t_{rd}):

$$t_{av} = s_{av} / v + v / a + a / j + t_d = 5,88 / 1 + 1 / 0,6 + 0,6 / 0,6 + 14 = 22,55 \text{ s}$$

$$t_{rd} = n_d * t_{av} / 3600 = 125 * 22,55 / 3600 = 0,78 \text{ h}$$

Tempo inativo por dia (t_{nr}):

$$t_{nr} = 24 - t_{rd} = 24 - 0,78 = 23,22 \text{ h}$$

Energia consumida em modo inativo por dia (E_{nr}):

$$E_{nr} = t_{nr} * (P_{id} * R_{id} + P_{st5} * R_{st5} + P_{st30} * R_{st30}) / 100 = 23,22 * (101 * 23 + 72 * 45 + 72 * 32) / 100 = 1\,827 \text{ Wh}$$

Energia total consumida por dia (E_d):

$$E_d = E_{rd} + E_{nr} = 860 + 1\,827 = 2\,687 \text{ Wh}$$

Valores limite para classificação de eficiência energética:

$$\text{Classe A: } E_d \leq 0,72 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 50 * t_{nr} \leftrightarrow E_d \leq 0,72 * 630 * 125 * 5,88 / 1000 + 50 * 23,22 \\ \leftrightarrow E_d \leq 1\,494 \text{ Wh}$$

$$\text{Classe B: } E_d \leq 1,08 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 100 * t_{nr} \leftrightarrow E_d \leq 1,08 * 630 * 125 * 5,88 / 1000 + 100 * 23,22 \\ \leftrightarrow E_d \leq 2\,822 \text{ Wh}$$

Classe C: $E_d \leq 1,62 \cdot Q \cdot n_d \cdot s_{av} / 1000 + 200 \cdot t_{nr} \leftrightarrow E_d \leq 1,62 \cdot 630 \cdot 125 \cdot 5,88 / 1000 + 200 \cdot 23,22$
 $\leftrightarrow E_d \leq 5\,394 \text{ Wh}$

...

Pode-se concluir, deste modo, que o elevador presente neste exemplo apresenta uma classe de eficiência energética B.

Energia total consumida por ciclo de vida (E_{lc}):

$$E_{lc} = E_d \cdot d_{op} \cdot RSL = 2\,687 / 1000 \cdot 360 \cdot 25 = 24\,178 \text{ kWh}$$

Anexo C. Equivalência de fluxos com a base de dados ecoinvent

Na Tabela C.1, encontram-se os materiais, químicos, processos e resíduos considerados nas diferentes etapas do ciclo de vida do elevador e a respetiva correspondência com os dados presentes na base de dados ecoinvent.

Tabela C.1 - Equivalências dos fluxos estudados com os da base de dados ecoinvent

Fluxo	Fluxo equivalente ecoinvent
Aço inoxidável	Sheet rolling, chromium steel sheet rolling, chromium steel APOS, S – RER
Aço laminado a frio	Sheet rolling, steel sheet rolling steel APOS, S – RER
Aço laminado a quente	Hot rolling, steel hot rolling, steel APOS, S – Europe without Austria
Aço zincado	Zinc coating, coils zinc coat, coils APOS, S – RER
Aglomerado de madeira	Wood wool production wood wool APOS, S – RER
Água desionizada	Market for water, deionised water, deionised APOS, S – Europe without Switzerland
Alumínio	Sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium APOS, S – RER
Ancoragem química	Market for polyester resin, unsaturated polyester resin, unsaturated APOS, S – RER
Ar comprimido	Compressed air production, 600 kPa gauge, >30kW, average generation compression air, 600 kPa gauge APOS, S – RER
Árgon	Market for argon, liquid argon, liquid APOS, S – RER
Azoto	Market for nitrogen, liquid nitrogen, liquid APOS, S – RER
Blocos de betão	Concrete block production concrete block APOS, S - RoW
Borracha	Synthetic rubber production synthetic rubber APOS, S - RER
Caixas de cartão	Corrugated board box production corrugated board box APOS, S – RER
Cola de adesão a metais	Market for adhesive, for metal adhesive, for metal APOS, S – RER
Desengordurante	Market for kerosene querosene APOS, S – Europe without Switzerland
Dióxido de carbono	Market for carbon dioxide, liquid carbon dioxide, liquid APOS, S – RER
Eletricidade Fotovoltaico	Electricity production, photovoltaic, 3kWp facade installation, multi-Si, panel, mounted electricity, low voltage APOS, S – RoW

Eletricidade Rede portuguesa	Market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage APOS, S – PT
Eletrónicos	Electronics production, for control units electronics, for control units APOS, S – RER
Fio de solda	Welding, arc, steel welding, arc, steel APOS, S – RER
Gasóleo	Market for diesel, low-sulfur diesel, low-sulfur APOS, S – Europe without Switzerland
GPL	Market for liquefied petroleum gas liquefied petroleum gas APOS, S – Europe without Switzerland
Hélio	Market for helium helium APOS, S – GLO
Hidrogénio	Market for hydrogen, gaseous hydrogen, gaseous APOS, S – GLO
Nylon	Nylon 6-6 production nylon 6-6 APOS, S – RER
Óleo lubrificante	Market for lubricating oil lubricating oil APOS, S – RER
Oxigénio	Market for oxygen, liquid oxygen, liquid APOS, S – RER
Paletes de madeira	EUR-flat pallet production EUR-flat pallet APOS, S – RER
Parafusaria	Metal working, average for metal product manufacturing metal working, average for metal product manufacturing APOS, S – RER
Plástico (polietileno de baixa densidade)	Packaging film production, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene APOS, S – RER
Poliuretano	Polyurethane production, rigid foam polyurethane, rigid foam APOS, S – RER
Propano	Market for propane propane APOS, S – GLO
PVC	Polyvinylchloride production, suspension polymerisation polyvinylchloride, suspension polymerised APOS, S – RER
Resíduo de aço	Market for scrap steel scrap steel APOS, S – Europe without Switzerland
Resíduo de alumínio	Market for scrap aluminium scrap aluminium APOS, S – Europe without Switzerland
Resíduo de betão	Market for waste concrete waste concrete APOS, S – Europe without Switzerland
Resíduo de borracha	Market for waste rubber, unspecified waste rubber, unspecified APOS, S – Europe without Switzerland
Resíduo de cartão	Market for waste paperboard waste paperboard APOS, S – PT

Resíduo de madeira	Market for waste wood, untreated waste wood, untreated APOS, S – PT
Resíduo de polietileno	Market for waste polyethylene waste polyethylene APOS, S – PT
Resíduo de poliuretano	Market for waste polyurethane waste polyurethane APOS, S – PT
Resíduo de PVC	Market for waste polyvinylchloride waste polyvinylchloride APOS, S – PT
Resíduo de tinta	Market for waste paint waste paint APOS, S – Europe without Switzerland
Resíduo de vidro	Market for waste glass waste glass APOS, S – PT
Resíduo elétrico	Market for waste electric wiring waste electric wiring APOS, S - RoW
Tinta eletrostática	Market for electrostatic paint electrostatic paint APOS, S – GLO
Transporte Camião 25 t EURO6	Market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 APOS, S – RER
Transporte Carrinha	Market for transport, freight, lorry, unspecified transport, freight, lorry, unspecified APOS, S – RER
Tratamento de resíduo de aço	Treatment of scrap steel, municipal incineration scrap steel APOS, S – Europe without Switzerland
Tratamento de resíduo de alumínio	Treatment of scrap aluminium, municipal incineration scrap aluminium APOS, S – Europe without Switzerland
Tratamento de resíduo de betão	Treatment of waste concrete, inert material landfill waste concrete APOS, S – Europe without Switzerland
Tratamento de resíduo de borracha	Treatment of waste rubber, unspecified, municipal incineration waste rubber, unspecified APOS, S – Europe without Switzerland
Tratamento de resíduo de madeira	Treatment of waste wood, untreated, municipal incineration waste wood, untreated APOS, S - RoW
Tratamento de resíduo de PVC	Treatment of waste polyvinylchloride, municipal incineration waste polyvinylchloride APOS, S – RoW
Tratamento de resíduo de vidro	Treatment of waste glass sanitary landfill waste glass APOS, S - GLO
Tratamento de resíduo elétrico	Treatment of waste electric wiring, collection for final disposal waste electric wiring APOS, S - RoW
Tratamento de resíduos urbanos	Treatment of municipal solid waste, incineration municipal solid waste APOS, S – PT
Vidro	Flat glass production, coated flat glass, coated APOS, S – RER

Anexo D. Declaração ambiental do produto

Environmental Product Declaration



In accordance with ISO 14025 and EN 15804:2012+A2:2019 for:

Model A

from

Schmitt – Elevadores, Lda

S+	SCHMITT+SOHN ELEVADORES
-----------	------------------------------------

Programme:

Programme operator:

EPD registration
number:

Publication date:

Valid until:

The International EPD[®] System, www.environdec.com

EPD International AB

S-P-0XXXX

202X-XX-YY

202X-XX-YY

An EPD should provide current information and may be updated if conditions change. The stated validity is therefore subject to the continued registration and publication at www.environdec.com

S+

General information

Programme information

Programme:	The International EPD® System
Address:	EPD International AB Box 210 60 SE-100 31 Stockholm Sweden
Website:	www.environdec.com
E-mail:	info@environdec.com

Accountabilities for PCR, LCA and independent, third-party verification
Product Category Rules (PCR)
CEN standard EN 15804 serves as the Core Product Category Rules (PCR)
Product Category Rules (PCR): PCR 2019:14 Construction Products, version 1.11; C-PCR-008 (to PCR 2019-14) for Lifts (elevators), version 2020-10-30 UN CPC 4354 – Lifts, skip hoists, escalators and moving walkways
PCR review was conducted by: The Technical Committee of the International EPD® System www.environdec.com/contact-us
Life Cycle Assessment (LCA)
LCA accountability: XX
Third-party verification
Independent third-party verification of the declaration and data, according to ISO 14025:2006, via: ☐ EPD verification by individual verifier Third-party verifier: <name, organisation, and signature of the third-party verifier> Approved by: The International EPD® System
OR

Independent third-party verification of the declaration and data, according to ISO 14025:2006, via: ☐ EPD verification by accredited certification body Third-party verification: <i><name, organisation></i> is an approved certification body accountable for the third-party verification The certification body is accredited by: <i><name of accreditation body & accreditation number, where applicable></i>
OR
Independent third-party verification of the declaration and data, according to ISO 14025:2006 via: ☐ EPD verification by EPD Process Certification* Internal auditor: <i><name, organisation></i> Third-party verification: <i><name, organisation></i> is an approved certification body accountable for third-party verification Third-party verifier is accredited by: <i><name of accreditation body & accreditation number, where applicable></i> *For EPD Process Certification, an accredited certification body certifies and reviews the management process and verifies EPDs published on a regular basis. For details about third-party verification procedure of the EPDs, see GPI v4, Section 7.5.
Procedure for follow-up of data during EPD validity involves third party verifier: ☐ Yes ☐ No

The EPD owner has the sole ownership, liability, and responsibility for the EPD.

EPDs within the same product category but from different programs may not be comparable. EPDs of construction products may not be comparable if they do not comply with EN 15804+A2. For further information about comparability, see EN 15804 and ISO 14025.

About Us

Owner of the EPD:

Schmitt – Elevadores, Lda

4466-953 São Mamede de Infesta, Portugal

Contact:

Miguel Franco

m.franco@schmitt-elevadores.com

Description of the organisation:

Schmitt+Sohn was founded in 1861, in Nuremberg, by Martin Schmitt and built the first elevator in 1885. The company is managed by the 6th generation and its philosophy centers in "Daily Learning - Quality - Business Seriousness". At the moment, has presence in 4 countries in Europe: Germany, Portugal, Austria and Czech Republic with over 1 900 colaboradores and 32 delegations. During a year, it is produced more than 2 100 elevators in the production units in Germany and Portugal for various applications such as housing, health, commerce, industry, culture and transports. We count with an after-sale service available 24/365 that can assure supply for 20 years. It is also worth noting the annual business value of the group of 180 million euros and the zero bank liabilities that guarantee independence and strong partnerships.

The production unit in Portugal was founded in 1963 in Leça do Balio, Porto and it is divided in two units separated by 1 km. It is the only company in Portugal to produce from scratch, install and do multi-brand maintenance of elevators. It has delegations in Porto (headquarters), Lisboa, Coimbra, Braga, Castelo Branco and Faro.

The company has a variety of different elevators models being the standard model the elevator Model A. Nonetheless, all the elevators can suffer alterations to match the client's needs, offering various accessories.

For more information, visit:

<https://www.schmitt-elevators.com/>

Product-related or management system-related certifications:

It is with immense pleasure we can affirm that our company is certified in quality, environment, and safety according to the standards ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018. These standards allow us to integrate continuous improvement initiatives by increasing the efficiency of our organization, reduce occupational risks for the employees and contribute to environmental protection.

On one of the production sites in Portugal the entire roof area of 1 193 square meters is covered in photovoltaic panels. That way, 31% of the energy consumption in that factory is derived from solar energy. The rest 69% correspond to grid power but there are contracts in place to assure that this energy is derived from renewable sources.

Our product follows the standards of EN 81 series that address the safety rules for construction and installation of lifts and the directive n° 2006/42/CE that establishes the rules concerning the placement on the market and putting into service the machines and their accessories.

The goal is to be agents of change while at the same time offering quality products and services that benefit society and the planet.

Name and location of production site(s):

Elevator components are manufactured at the production sites of Schmitt – Elevadores, Lda in Leça do Balio, Portugal or purchased from a Tier 1 supplier. To note that no pure material production occurs in the production sites.

The assembly of the elevator is done at Schmitt production sites and then it is dispatched nationwide and to Germany. After arrival at the logistics park in Germany they are dispatched to german clients and other countries such as Austria and Czech Republic.

The elevator

An internationally distinguished product for customers who require the highest quality requirements. One product that excites from planning to service and sets standards with its convincing technique and its excellent design. A product with experience, which everybody will appreciate.

For over 100 years, we, a family business, have been designing, manufacturing, assembling and maintaining elevators. Our conviction are first class and sustainable products. Like the Model A. A machine room less (MRL) electric traction elevator.

Index	Values	Representative values chosen in case of ranges
Type of installation	New generic lift without modernization	
Commercial name	Model A	
Main purpose	Transport of passengers	
Type of lift	Machine room less (MRL), electric	
Type of drive system	Gearless traction	
Rated load (fixed or range)	320 ... 1 000 kg	630 kg
Rated speed (fixed or range)	1 ... 2,5 m/s	1 m/s

Number of stops (fixed or range)		5
Travelled height (fixed or range)		12 m
Number of operating days per year	360	
Applied usage category (UC) according to ISO 25745-2	UC1 ... UC6	UC2
Designed Reference Service Life (RSL)	25 years	
Geographic region of intended installation	Europe	
Recommend application (main market) • Building rise (typical) • Building type	Residential and small-scale commercial buildings	

The life cycle assessment was conducted for a standard elevator installed in a 5-floors building over the entire lifetime of 25 years, without considering modernization, in Portugal. The elevator has a speed of 1,0 m/s, a travelling distance of 12 m and has a capacity for 8 people. Because the application is for residential and small-scale commercial buildings, the usage category considered is 2 which represents 125 trips per day.

Energy Efficiency:

The energy consumption by the elevator during a trip depends mostly on the type of drive system.

The use of the gearless machine with a frequency inverter allows for more energy efficiency, saves space exempting the need for a machine room and there is no need for lubricants.

We can perceive 20% energy savings compared to an electric geared elevator and frequency inverter, 50% energy savings compared to an electric elevator without frequency inverter and 80% energy savings compared to an equivalent hydraulic elevator.

Different active consumption sources influence the energy consumption of an elevator in standby mode. The greatest potential is in deactivating unnecessary consumption sources.

We observed 33% reduction in energy consumption by using more efficient lamps (LED lamps instead of halogen lamps) and deactivating the illumination of the car when the elevator is in standby.

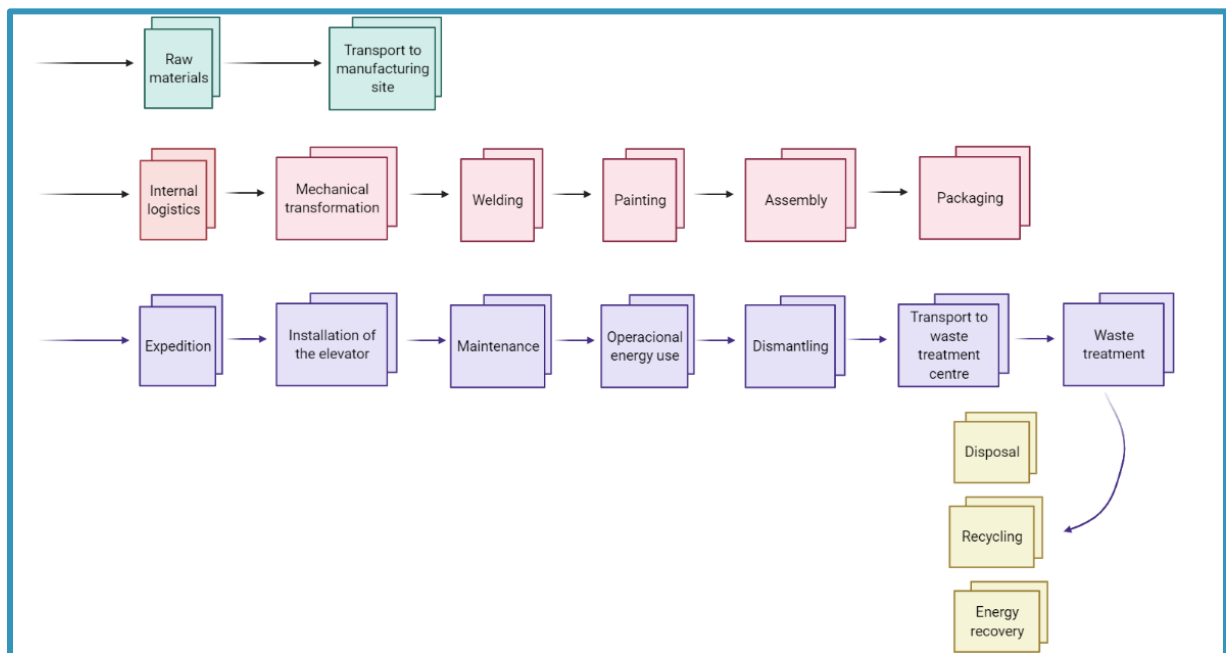
With these applications the elevator has a B energy efficiency class, but there are ways to improve even more if the client wants to reduce his energy consumption impact.

By deactivating the drive system of the car door and photoelectric curtain there is a reduction in 5% of energy consumption and the deactivation of position and direction display buttons on the car results in 1% reduction. We can also save up to 10% of energy consumption if we deactivate the frequency inverter. These 3 last solutions are applied when the elevator is in sleep mode.

There is the option to include a regenerative drive that can capture the heat generated by elevators during use and convert it into reusable energy for the building rather than dissipating heat. If the building where the elevator is going to be installed has photovoltaic panels, they can supply the energy to the elevator reducing grid dependence.

System boundaries:

This study was done with an approach cradle to grave as recommended in the underlying c-PCR.



The product stage is composed by modules A1-A3.

The A1 module refers to the raw material supply where it is included the extraction and production of raw material for parts and components needed to produce the lift.

The A2 module comprises of the transportation to the manufacturing site from direct suppliers.

The A3 module covers the manufacturing and assembly of components for the lift including mechanical transformation, welding, painting, assembly, packaging and internal logistics, in the Portugal site. In this module indirect activities like administration, sales, research and development can be excluded.

The construction stage is composed by modules A4 and A5.

The A4 module incorporates the transportation of the product from the manufacturing site to the building site where the elevator is going to be installed.

The A5 module corresponds to the installation of the elevator.

The use stage is composed by modules B1-B7 but only the modules B2 and B6 are relevant to the study.

The B2 module is known as preventive maintenance and the expected maintenance activities must be reported such as spare parts production, energy and auxiliary materials used.

The B6 module encompasses the calculation of the energy consumption of the lift according to ISO 25745-2.

The other modules are not applicable to the lift and modernization is not a part of this study.

The end-of-life stage is composed by modules C1-C4.

It starts with the C1 module that is deconstruction where is reported the dismantling of the elevator.

The C2 module refers to the transportation of the deconstructed product from building site to the waste treatment centre.

The C3 module – waste processing – is the collection of waste fractions from the deconstruction and waste processing of material flows intended for landfill, recycling and energy recovery.

The C4 module includes the physical pre-treatment and management of the disposal site.

The end-of-life treatments used are the European average technologies.

	Product stage			Construction process stage		Use stage							End of life stage			
	Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction installation	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal
Module	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
Modules declared	X	X	X	X	X	ND	X	ND	ND	ND	X	ND	X	X	X	X
Geography	EU	EU	PT	PT	PT	PT	PT	ND	ND	ND	PT	ND	PT	PT	PT	PT
Specific data used	Internal Information, ecoinvent v3.8.					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

EU – European Union, PT – Portugal, DE – Germany, ND – Not Declared

Functional unit (FU) and transportation performance (TP):

The function of an elevator centers in the transportation of people, freights or both. So, taking in account the underlying c-PCR the functional unit (FU) is defined as the transportation of a load over a distance, expressed as one tonne [t] transported over one kilometre [km], i.e., tonne-kilometre (tkm) over a vertical (or inclined) trajectory.

That way, we can affirm that the LCA results shall be presented per FU, i.e., per 1 tkm.

On the other hand, it is essential to determine the transportation performance (TP) that is the total amount of tkm. The inputs and outputs should be divided by TP to obtain the LCA results per FU.

To do so, we need the product information (rated load and travelled height) and predetermined parameters that are present in ISO 25745-2.

Therefore, the transportation performance of the elevator Model A for obtaining the results per FU is 312,56 tkm.

Data collection:

All the data used in this EPD was measured, calculated or estimated. The main data sources are from internal documentation (2021), measurements on site (2021/2022), Tier 1 suppliers and the database ecoinvent v3.8. The software used to model the life cycle of the elevator Model A was openLCA v1.11 which is an open-source software.

Comparability of results:

Comparability between EPDs based on this c-PCR-008 (to PCR 2019:14) and EPDs based on PCR 2015:05 is not conceivable and shall be avoided. Any comparability of this kind shall be considered as false and misleading the EPD user.

Comparability between EPDs based on the c-PCR-008 (to PCR 2019:14) is only achievable, if the following performance characteristics are equivalent: Functional Unit, Reference Service Lifetime, Usage Category, travel height, number of stops, rated load, rated speed and geographic region.

Content information

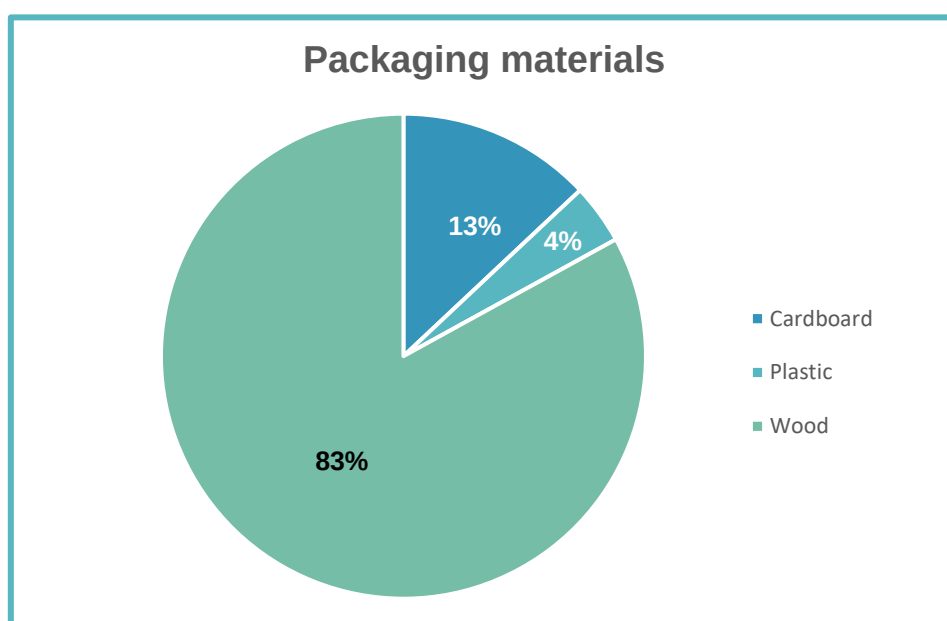
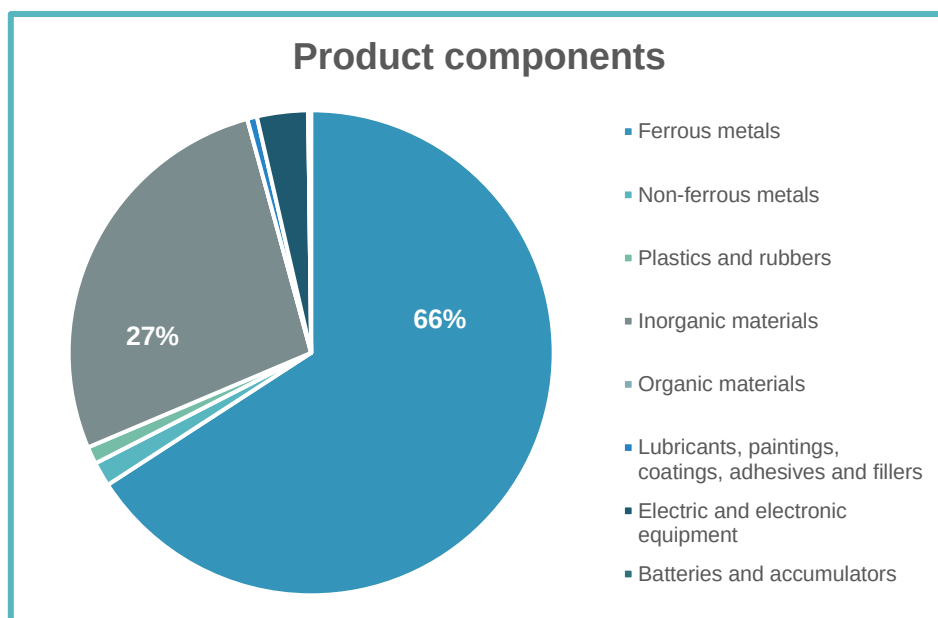
In the following table it can be observed the material balance of the declared elevator excluding spare parts. The product groups are presented as suggested in the c-PCR-008.

Product components	Weight (kg)	Weight (%)
Ferrous metals (zinc coated steel, PVC coated steel, stainless steel, steel)	2 392,80	65,87
Non-ferrous metals (aluminium, zinc)	59,50	1,64
Plastics and rubbers	48,77	1,34
Inorganic materials (concrete, glass)	984,93	27,11
Organic materials (wood)	0,11	0,00
Lubricants (oils and greases), paintings, coatings, adhesives and fillers (glues)	22,84	0,63
Electric and electronic equipment	123,34	3,40
Batteries and accumulators	0,00	0,00
Other materials	0,51	0,01
Total mass	3 632,80	100,00
Mass per tkm	11,62	
Packaging materials	Weight (kg)	Weight (%)
Plastic	21,08	3,42
Wood	511,36	83,03
Cardboard	83,04	13,49
Total mass	615,48	100,00
Mass per tkm	1,97	

Almost 66% of the material presented in the elevator is from the category ferrous metals followed by inorganic materials with more than 27%, electric and electronic equipment with 3,40%, non-ferrous metals such as aluminum and zinc (1,64%) and plastics and rubbers (1,34%). The rest of the product components account for less than 1%.

The ferrous metals category is the major one since it corresponds to principal elements such as the car, guiderails, and doors. The weights for the counterweight are made of concrete and since they are quite heavy the category of inorganic materials is the second highest.

When ready, the material is put inside card boxes that are packaged in wooden pallets. After this packaging, a plastic is added for extra protection of the materials. That is why the main materials used for this action are wood and carboard representing 96%. The plastic material is residual.



Environmental Performance

All the sustainability indicators presented in this section were calculated for the full 25 years of service lifetime of the declared elevator per functional unit (tkm). The assumptions that were made can be consulted in the underlying LCA report.

According to the PCR for Lifts, the impact assessment method used in the Life Cycle Assessment was CML–IA baseline (november 2021) where the characterization factors are used at midpoint level.

Potential environmental impact

Indicator	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	B2	B6	C1	C2	C3	C4
GWP	kg CO ₂ eq.	2,70E+01	4,76E+00	1,52E+00	1,27E-01	5,56E-01	2,57E+00	3,19E+01	1,15E-01	2,16E-02	1,48E+00	1,71E+00
AP	kg SO ₂ -eq.	1,73E-01	1,56E-02	9,60E-03	2,98E-04	1,81E-03	1,82E-02	2,18E-01	7,87E-04	5,07E-05	4,47E-03	6,33E-03
ADP-element	kg Sb eq.	4,68E-03	1,51E-05	1,61E-05	4,16E-07	1,98E-06	8,58E-04	2,59E-04	9,28E-07	7,02E-08	9,01E-05	9,97E-05
POCP	kg ethylene eq.	1,22E-02	6,05E-04	5,50E-04	1,49E-05	1,55E-04	9,79E-04	8,18E-03	2,95E-05	2,53E-06	2,35E-04	2,82E-04
ADP-fossil	MJ	3,63E+02	7,15E+01	2,56E+01	1,89E+00	3,41E+00	2,88E+01	3,83E+02	1,38E+00	3,22E-01	4,27E+00	9,79E+00
ODP	kg CFC 11 eq.	2,72E-06	8,96E-07	2,13E-07	2,35E-08	1,80E-08	2,28E-07	1,54E-06	5,50E-09	4,00E-09	5,53E-08	5,44E-07
EP	kg PO ₄ ³⁻ eq.	9,19E-02	3,48E-03	3,26E-03	6,25E-05	3,31E-03	1,17E-02	5,00E-02	1,81E-04	1,06E-05	9,24E-04	1,80E-03

GWP = Global Warming Potential; ODP = Depletion potential of the stratospheric ozone layer; AP = Acidification potential; EP = Eutrophication potential; POCP = Formation potential of tropospheric ozone; ADP-element = Abiotic depletion potential for non-fossil resources; ADP-fossil = Abiotic depletion for fossil resources potential

The environmental impact of the elevator Model A is mainly driven by the A1 stage (Raw Material Supply) presenting values above 37% for all the impact categories and for the ADP elements indicator it reaches 77,74%. These high values correspond mainly to obtaining ferrous metals and electronic equipment.

The principal raw materials of the elevator are ferrous metals (66%), and its extraction and production processes are energy intensive consumers and also release harmful emissions to the environment such as CO, CO₂, SO₂ e NO_x. Additionally, the mining exploration can lead to mineral depletion because of the excessive consume of industry and also contamination of groundwater with heavy metals.

On the other side, in relative terms, electric and electronic equipment have a bigger impact in these results despite making up less than 3% of the elevator. Thus, they also are of great relevance in the product life cycle.

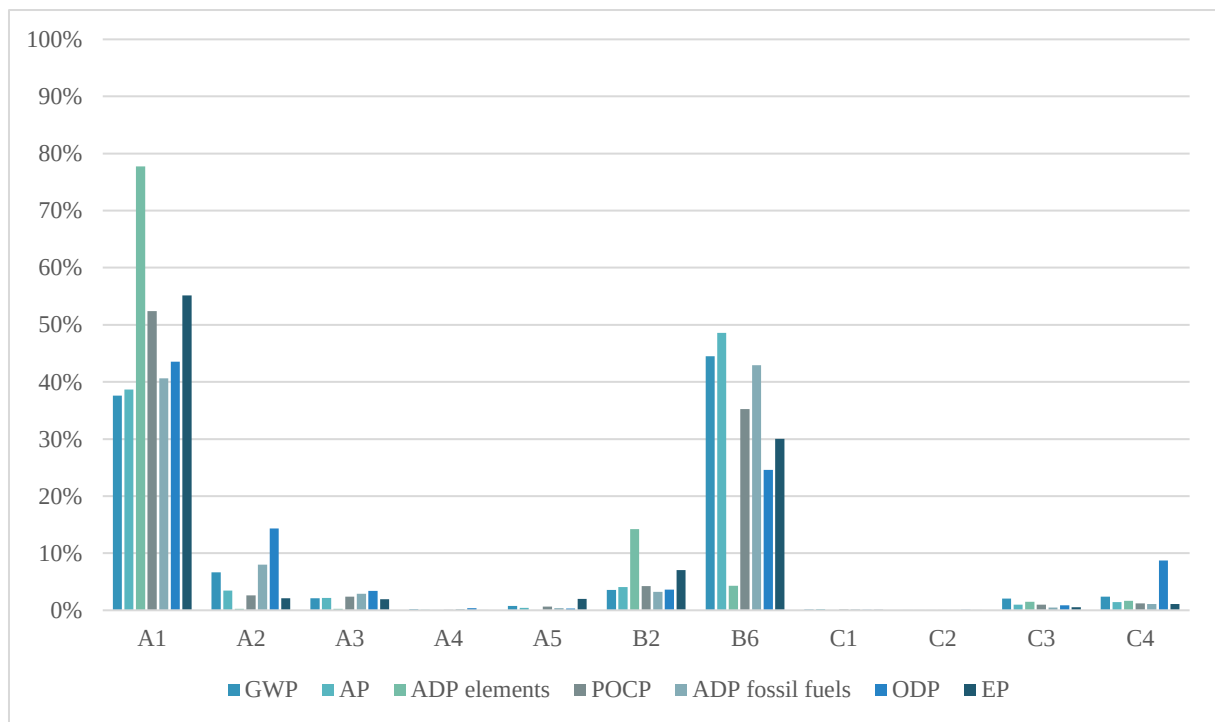
The operational energy use is the second most relevant phase since it lasts the most (25 years) in which the elevator consumes high quantities of energy available by the Portuguese grid. Adding the fact that the energy efficiency class of the declared elevator is only B we can affirm that this stage is of high pertinancy for the environmental performance.

For this stage of operational energy use the values of 42,91% of fossil fuel depletion potential, 44,49% of global warming potential and 48,62% of acidification potential are noteworthy and reflect the fossil energy use in the Portuguese energetic mix that was about 35% in april of 2022.

The production processes have almost no impact or relevance in terms of enviromental load since the impact category indicators are all below 3,41%. These can relate to the fact that the electricity depends on 100% of renewable sources and all the waste and effluents have the adequate treatment assured by an externally service.

Activities at the construction sites such as installation, maintenance and dismantling also present low values for the impact category indicators where residual electricity is consumed. In the maintenance stage, only 3% of the materials that compose the elevator are replaced which doesn't significantly influence the environmental impact of the product.

Regarding the transport activities the major contributor is the transport from suppliers to the headquarters since the remaining phases of transport contribute less than 0,38% for all the sustainability indicators.



Use of resources

Indicator	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	B2	B6	C1	C2	C3	C4
PERT	MJ	8,81E+02	1,07E+00	7,23E+00	2,84E-02	1,41E+00	3,86E+00	1,94E+02	6,99E-01	4,83E-03	3,41E-01	2,22E+00
PENRT	MJ	4,48E+02	7,76E+01	2,96E+01	2,05E+00	3,95E+00	3,57E+01	4,49E+02	1,62E+00	3,50E-01	4,83E+00	1,12E+01
FW	m ³	4,71E-01	8,94E-03	1,64E-02	2,31E-04	2,49E-03	3,01E-02	2,99E-01	1,08E-03	3,94E-05	1,99E-02	2,36E-02

PERT = Total use of renewable primary energy resources; PENRT = Total use of non-renewable primary energy re-sources; FW = Use of net fresh water

The energy consumption is major for the stages of raw material supply and operational energy use which leads to these activities being the biggest contributors for environmental impact. It can also be observed that 49,37% of global energy use is non-renewable, and the water consumption presents really low and negligible values for this assessment.

Waste production and output flows

Indicator	Unit	A1	A2	A3	A4	A5	B2	B6	C1	C2	C3	C4
Hazardous waste disposed	kg	N/A	N/A	1,99E-01	0,00E+00	0,00E+00	3,52E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,94E-01	3,94E-01
Non-hazardous waste disposed	kg	N/A	N/A	8,35E-01	0,00E+00	1,52E+00	8,89E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,09E+00	8,09E+00
Radioactive waste disposed	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Components for re-use	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Material for recycling	kg	N/A	N/A	8,22E-01	0,00E+00	1,52E+00	3,52E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,03E+00	8,03E+00
Materials for energy recovery	kg	N/A	N/A	1,03E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,48E-01	4,48E-01
Exported energy	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

N/A – Not Available

At the end of life, all the materials are directed to a waste operational centre where waste treatment occurs that is provided by an external service.

All the metals, electric and electronic equipment, plastic, paper and wood have a potential for recycling which represents 69,10%. The non-hazardous waste equivalent to urban and contaminated material is energetically valued corresponding to 3,85%. Inert materials such as concrete and glass suffer a treatment before they are sent to landfill – 27,05%.

The technologies considered for the waste treatment plants are according to European average.

Additional information

Substances and emissions

The internal use of chemicals is within the parameters presented in REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals) and there isn't the need for a registration or notification on ECHA (European Chemical Agency). Also, the elevator doesn't contain any substances of very high concern (SVHC).

All the pollutants emitted during the painting and welding processes in the manufacturing site are below the exposure limit values and don't contribute for air pollution or endangering our collaborators health.

Noise and lightning measurements

The company privileges the comfort of the people when travelling in an elevator. For that we assure that the trip is silent and comfortable. The soundproofing in the elevator assures its operation sound level is below the standards requirements. The lightning intensity is above the minimum requirement (100 lux). We choose 200 lux, so people find the elevator trip more appealing since it's the suggested value for entrance areas and lobbies.

Sound level (dB)					
In front of the landing door		In the car		In the hoistway	
Directive VDI	Model A	Directive VDI	Model A	Directive VDI	Model A
65	40	n.d.	50	75	51
Luminosity (lux)					
EN 81			Model A		
100			200		

n.d. – no data

Glossary

Environmental Product Declaration (EPD): Voluntary document for a company or organisation to present transparent information about the life cycle environmental impact for their product or service. It is a Type III environmental declaration, and the results are based on the Life Cycle Assessment.

Functional Unit (FU): Quantified performance of a product system for use as a reference unit. For an elevator the functional unit is the transportation of 1 tonne of load over a distance of 1 kilometre (tkm).

Life Cycle Assessment (LCA): Compilation and evaluation of the inputs, outputs and the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle. This methodology is based on ISO 14040 and ISO 14044 standards and comprises 4 stages: goal and scope definition, inventory, impact assessment and interpretation.

Product Category Rules: Set of specific rules, requirements and guidelines for developing Type III environmental declarations for one or more product categories.

CML–IA baseline: Environmental method developed in 2001 by the Center of Environmental Science in The Netherlands. It evaluates the problem at midpoint level and contains normalization factors. It is composed of 8 impact categories: Acidification Potential, Global Warming Potential, Abiotic Depletion Potential, Eutrophication, Ozone Depletion Potential, Photochemical Ozone Formation, Ecotoxicity and Human Toxicity. These last two are not mandatory in the elaboration of an EPD, according to the PCR.

Environmental Impact Categories:

Global Warming Potential (GWP): The potential of a greenhouse gas to trap heat in the atmosphere. It is expressed in kg of CO₂ equivalents.

Ozone Depletion Potential (ODP): The potential of decreasing the stratospheric ozone layer because of anthropogenic emissions and ozone depleting substances such as CFCs (chlorofluorocarbons) and NO_x (nitrogen oxides). It is expressed in kg of CFC-11 equivalents.

Acidification Potential (AP): The potential for acid deposition of acidifying contaminants on soil, groundwater, surface waters, biological organisms, ecosystems, and substances. It is expressed in kg of SO₂ equivalents.

Eutrophication Potential (EP): Accumulation of nutrients in aquatic systems that lead to excessive plant and algae growth caused by the overuse of fertilizers in agricultural practices. It is expressed in kg PO₄³⁻ equivalents.

Photochemical Ozone Creation Potential (POCP): The potential for the formation of ozone on ground-level. Ozone is only beneficial at high levels of the atmosphere where it protects against ultraviolet light. At ground-level is considered a pollutant. It is expressed in kg of ethylene equivalents.

Abiotic Depletion Potential (ADP): The potential to decrease the availability of abiotic resources such as minerals, metals and fossil fuels as a result of unsustainable use. It is expressed in kg of Sb equivalents for elements and in MJ for fossil fuels.

References

General Programme Instructions of the International EPD® System. Version 3.01.

Product Category Rules – PCR 2019:14 – Construction Products

Complementary Product Category Rules – C-PCR-008 – Lifts (elevators) to PCR 2019:14

Ecoinvent database v3.8

ISO 14040:2008 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework

ISO 14044:2010 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines

ISO 14025:2009 – Sustainability of construction works – Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures

ISO 15804:2012+A2:2019 – Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products

ISO 25745-1:2012 – Energy performance of lifts, escalators and moving walks – Part 1: Energy measurement and verification

ISO 25745-2:2015 – Energy performance of lifts, escalators and moving walks – Part 2: Energy calculation and classification for lifts (elevators)

ISO 9001:2015 – Quality management systems – Requirements

ISO 14001:2004 – Environmental management systems – Requirements

ISO 45001:2018 – Occupational health and safety management systems – Requirements

