



# **Impactes ambientais na produção de vinho na região sul de Portugal usando uma abordagem de avaliação do ciclo de vida**

**Ellen Cristina Paim Silva**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná-campus Londrina*

Orientada por

**Professor Doutor Manuel Joaquim Sabeça Feliciano**

**Professor Doutor Artur de Jesus Gonçalves**

**Professor Doutor Aulus Roberto Romão Bineli**

Bragança, julho de 2020

**Impactes ambientais na produção de vinho na região sul de Portugal usando uma abordagem de avaliação do ciclo de vida.**

Ellen Cristina Paim Silva

Orientada por

Professor Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano (IPB)

Professor Doutor Artur de Jesus Gonçalves (IPB)

Professor Doutor Aulus Roberto Romão Bineli (UTFPR/LONDRINA)

Bragança, julho de 2020

## **Dedicatória**

Um ano antes a este percurso, uma das mais importantes pessoas da minha vida foi convidada a passar seus dias proseando com Deus, deixando no meu coração uma saudade imensurável. É em sua memória que dedico este trabalho. Obrigada por tudo, Dona Julia (minha vó, Julieta) – te encontro em todas as coisas que me inspiram!

## AGRADECIMENTOS

Primeiro de tudo, quero agradecer à vida, por todas as oportunidades e ensinamentos que vivenciei até aqui. Aos meus pais, Cirila Paim e Hamilton Nascimento, que me ensinaram entre muitos atos importantes: que juntos somos mais fortes. E foi através de muito trabalho, apoio, e amor incondicional e independente da geografia, que a realização desta dupla diplomação se tornou possível.

Aos meus irmãos, Jean, Wellington, Érika e Thais que apesar da distância sempre me ajudaram nos pequenos detalhes. A todos os meus avós, Dona Julieta e Seu Gregório Paim, Dona Juvênia e Seu João Nascimento e, Dona Socorro e Seu Domingos Silva, por todo amor, inspiração, incentivo e motivação durante toda a minha vida. À minha tia Cida, por quem tenho um imenso carinho e que também foi essencial para que a minha mudança para Portugal acontecesse!

Queria deixar um sinal de profundo apreço por toda ajuda dada pelo meu Orientador, prof.º Manuel Joaquim Sabença Feliciano, e os meus Coorientadores, prof.º Artur de Jesus Gonçalves e prof.º Aulus Roberto de Romão Bineli, com os ensinamentos, apoio científico, conselhos e orientação durante o desenvolvimento desta dissertação. E ainda, por toda compreensão e carinho despendido que me possibilitaram ultrapassar obstáculos pessoais com que me deparei durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também ao Doutorando Pedro Presumido, que tendo conhecimento sobre o conteúdo desta dissertação sempre esteve disponível para ensinar-me e auxiliar-me nos momentos de dúvidas, seu apoio foi fundamental.

Ao Instituto Politécnico de Bragança e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (campus Londrina), gratidão pela oportunidade de viver essa experiência única. A todo o corpo docente e demais profissionais, pelo ensino, pelos projetos, pesquisas, enfim, por todos os ensinamentos que são e serão importantes para mim e para a minha vida profissional.

Aos amigos que compartilharam esse período na adorável Bragança, agradeço do fundo do meu coração por todos os momentos inesquecíveis, pelo carinho, acolhimento e companheirismo. Em especial cito o Marcos Machado, Christian Amolaro, Leonardo Furst, Wellington Maidana, Romullo Martins, Anmoran Cardoso, Marta Zaworska e Jonathan Simonace. À amada, Ana Royer, agradeço por ter sido a maior sorte que tive em Bragança, uma amiga incrível, especialmente pela sua lealdade e por se mostrar presente em todos os momentos, independente da situação, e que assim seja.

Ao meu namorado e também grande amigo, Matheus Herrero, com quem compartilho além de muito amor, a tensão dos momentos finais de “quase mestres”, agradeço pela oportunidade de estarmos vivendo esse momento juntos e podermos ser apoio, acolhimento e motivação um para o outro de uma forma tão bonita como tem sido.

Estendo o meu agradecimento ao Sr. Miguel (Vara), vigia da escola Agrárias, por todas as boleias após horas de estudos, à 1h nas noites frias de inverno, sua gentileza me livrou de muitas caminhadas cansativas e friagens, e para sempre será lembrado com muito carinho.

Nesta altura em que chego ao final de um dos meus objetivos, gostaria de agradecer a todos aqueles que ao longo do meu percurso académico estiveram ao meu lado e que de alguma forma me ajudaram e motivaram.

A todos, a minha sincera gratidão.

*“A linguagem da experiência tem mais autoridade do que qualquer raciocínio: factos podem destruir o nosso raciocínio - o contrário, não”.*

*Alessandro Volta*

## RESUMO

O vinho é uma bebida apreciada em todo o mundo desde a antiguidade, fazendo com que o setor produza elevadas quantidades para satisfazer as necessidades de consumo. Em Portugal, o setor dos vinhos já representa mais de 80%, em número de empresas, da indústria de bebidas do país. Nas últimas décadas, além dos esforços desenvolvidos para melhorar a qualidade do produto, os vários intervenientes têm demonstrado uma enorme preocupação com a melhoria da sustentabilidade do setor. Atualmente, a análise do ciclo de vida é uma ferramenta que tem ganhado importância neste setor, principalmente no que tange à questão da sustentabilidade da produção de vinho. Essa ferramenta possibilita a quantificação de danos ambientais associados a toda a cadeia produtiva, permitindo melhorar o desempenho ambiental do setor. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi identificar e avaliar os impactos ambientais associados à produção do vinho na região sul de Portugal, e, ainda, através da análise de cenários futuros definidos com base nos resultados para a situação atual, apresentar um conjunto de medidas de mitigação dos principais impactos.

A metodologia aplicada neste estudo apoiou-se na NP ISO 14040:2008, que estabelece as linhas orientadoras da aplicação da Análise do Ciclo de Vida. A análise de inventário e a avaliação de impacto foram efetuadas com o *software* GaBi 9.1. Foram considerados os estágios de produção da vinha, da vinificação, do engarrafamento e, ainda, as etapas a montante e a jusante, como: transporte de produtos, produção de diesel, a produção de energia, a produção de fitossanitários, agente de limpeza entre outros. Os dados relevantes para o estudo foram obtidos a partir da aplicação de questionários junto de empresas do setor e da consulta de literatura específica e de especialistas da área. As categorias de impactos analisados foram: potencial de aquecimento global (AG), potencial de acidificação (PA), potencial de eutrofização (PE) e o potencial de depleção abiótica (DA), de acordo com a metodologia CML 2001. Dois cenários foram aplicados: no primeiro, propôs-se a redução em 10% do uso de fitossanitários e 20% no uso de combustíveis consumidos nas máquinas agrícolas, e no segundo substituíram-se as garrafas de vidro por garrafas em material PET e garrafas de vidro mais leves. Os resultados foram expressos na unidade funcional de 0.75 L de vinho.

Concluiu-se que a vinha foi a principal contribuidora para as categorias PA e DA, devido, maioritariamente ao uso de máquinas agrícolas e à produção de fitossanitários, respetivamente. O estágio do engarrafamento foi o maior contribuidor para as categorias restante, AG e PE, devido, principalmente, a produção de garrafas de vidro. Já a vinificação apresentou grande relevância apenas na categoria de PE, associado em grande parte às águas residuais. A introdução de medidas de melhoria para os problemas ambientais relacionados com a produção de fitossanitários e de máquinas agrícolas resultou na otimização de 9.5 a 35.2% dos impactos na vinha. A adesão à utilização de garrafas PET pode contribuir para uma redução de 15 a 42%, enquanto a substituição por garrafas de vidro mais leves pode reduzir os impactos em 5 a 15%. Neste sentido, foi possível rastrear e compreender os impactos ambientais associados à produção do vinho em estudo, confirmando que medidas de otimização dos impactos podem conduzir a importantes ganhos ambientais, garantindo uma produção mais sustentável a este setor.

**Palavras-chave:** Produção de vinho; ACV; Impactes ambientais; Análise de cenários; Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Wine is a beverage that has been appreciated around the world since antiquity, making the sector produce high quantities to satisfy consumption needs. In Portugal, the wine sector already represents over 80%, in number of companies, of the country's beverage industry. In the last decades, in addition to the efforts made to improve product quality, the various stakeholders have shown an enormous concern with improving the sector's sustainability. Nowadays, life cycle assessment is a tool that has gained importance in this sector, especially regarding the issue of sustainability in wine production. This tool allows the quantification of environmental damage associated with the entire production chain, allowing the improvement of the environmental performance of the sector. In this context, the objective of the present study was to identify and assess the environmental impacts associated with wine production in the southern region of Portugal, and also, to present a set of mitigation measures for the main impacts through the analysis of future scenarios defined based on the results for the current situation.

The methodology applied in this study was based on NP ISO 14040: 2008, which establishes the guidelines for the application of Life Cycle Assessment. The inventory analysis and the impact assessment were carried out using the GaBi 9.1 software. The production stages of the vineyard, winemaking and bottling were considered, as well as the stages upstream and downstream, such as: product transportation, diesel production, energy production, phytosanitary production, cleaning agent among others. The relevant data for the study was obtained from the application of questionnaires to companies in the sector and from the consultation of specific literature and specialists in the field. The categories of impacts analyzed were global warming potential (AG), acidification potential (PA), eutrophication potential (PE) and abiotic depletion potential (AD), according to the CML 2001 methodology. Two scenarios were applied: in the first, it was proposed a reduction of 10% in the use of phytosanitary products and 20% in the use of fuels consumed in agricultural machines, and in the second, the glass bottles were replaced by bottles made of PET material and bottles of lighter glass. The results were expressed in the functional unit of 0.75 L of wine.

It was concluded that viticulture was the main contributor to the PA and DA categories, mainly due to the use of agricultural machinery and the production of phytosanitary products, respectively. The bottling was the main contributor to the remaining categories, AG e PE, mainly due to the production of glass bottles. Winemaking, on the other hand, was more relevant only for the categories of PE, associated in large part with wastewater. The introduction of improvement measures for environmental problems related to the production of phytosanitary products and agricultural machinery resulted in the optimization of 9.5 to 35.2% of the impacts on the vineyard. Adherence to the use of PET bottles can contribute to a reduction of 15 to 42%, while the substitution for lighter glass bottles can reduce the impacts by 5 to 15%. In this sense, it was possible to track and understand the environmental impacts associated with the production of the wine under study, confirming that measures to optimize impacts can lead to important environmental gains, ensuring a more sustainable production for this sector.

**Keywords:** Wine production; LCA; Environmental impacts; Scenario analysis; Sustainability.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	1
1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO .....	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	3
<b>2 SETOR DO VINHO .....</b>	<b>4</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR.....	4
2.2 ESTÁGIOS DO CICLO DE VIDA NA PRODUÇÃO DE VINHO .....	6
2.2.1 Vinha.....	7
2.2.2 Vinificação .....	9
2.2.3 Engarrafamento .....	11
2.3 IMPACTES AMBIENTAIS DO SETOR .....	13
<b>3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....</b>	<b>17</b>
3.1 DEFINIÇÃO E VISÃO GERAL .....	17
3.2 ETAPAS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	20
3.2.1 Definição do objetivo e do âmbito de estudo.....	20
3.2.2 Inventário de ciclo de vida (ICV).....	22
3.2.3 Avaliação de impactes de ciclo de vida (AICV).....	23
3.2.4 Interpretação dos resultados da ACV (IRCV) .....	30
3.3 <i>SOFTWARES</i> PARA APOIO À ACV.....	31
3.4 ACV APLICADA NO SETOR DO VINHO.....	32

3.5	ANÁLISE DE CENÁRIOS .....	35
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	37
4.2	SOFTWARE E MÉTODO DE AVALIAÇÃO.....	38
4.3	FRONTEIRA DO SISTEMA .....	39
4.4	UNIDADE FUNCIONAL.....	39
4.5	ALOCAÇÃO .....	40
4.6	INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV).....	40
4.6.1	Descrição geral dos processos adotados – <i>Software GaBi</i> .....	41
4.6.2	Inventário da vinha.....	43
4.6.3	Inventário da vinificação.....	46
4.6.4	Inventário do engarrafamento e embalagem.....	49
4.7	AVALIAÇÃO DE IMPACTES DE CICLO DE VIDA (AICV).....	50
4.7.1	Potencial de aquecimento global.....	51
4.7.2	Potencial de acidificação.....	52
4.7.3	Potencial de eutrofização .....	53
4.7.4	Potencial de depleção de recursos abióticos .....	54
4.8	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	54
4.9	CENÁRIOS PROPOSTOS.....	55
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
5.1	DESEMPENHO AMBIENTAL DOS SISTEMAS .....	57
5.1.1	Potencial de aquecimento global.....	57
5.1.2	Potencial de acidificação.....	60
5.1.3	Potencial de eutrofização .....	60
5.1.4	Potencial de depleção de recursos abióticos .....	62
5.2	AICV DOS CENÁRIOS PROPOSTOS.....	64
5.2.1	Cenário aplicado à vinha.....	64

5.2.2	Cenário aplicado à mudança para garrafas alternativas.....	65
<b>6</b>	<b>OUTRAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA .....</b>	<b>68</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>71</b>
	<b>LISTA DE ANEXOS .....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção de vinho por cor na campanha 2017/2018. ....	6
Figura 2. Descrição da fronteira do sistema para ACV da cadeia do vinho. ....	7
Figura 3. Fluxograma de uma vinha. ....	9
Figura 4. Processos de produção de vinho branco, rosé e tinto. ....	10
Figura 5. Estágios de um ciclo de vida de um produto – conceito básico. ....	17
Figura 6. Etapas e aplicação de uma ACV. ....	20
Figura 7. Tipos de fronteira do sistema. ....	21
Figura 8. Procedimentos simplificados para análise do inventário. ....	23
Figura 9. Esquematização do processo de classificação e caracterização na AICV. ....	24
Figura 10. Correlação entre as categorias de impacte midpoint e as categorias endpoint – estrutura ReCiPe. ....	26
Figura 11. Etapas da ACV pelo OpenLCA. ....	32
Figura 12. Destaque da localização onde se concentram as vitivinícolas em estudo. ....	38
Figura 13. Definição da fronteira do sistema para ACV da produção do vinho. ....	39
Figura 14. Principais fluxos de entrada e de saída de emissões na vinha. ....	43
Figura 15. Principais fluxos de entrada e de saída da vinificação. ....	47
Figura 16. Emissões de GEE para os sistemas A e B das vitivinícolas, expressos em kg CO <sub>2</sub> - eq. kg <sup>-1</sup> de unidade funcional. ....	57
Figura 17. Potencial de eutrofização expresso em g PO <sub>4</sub> -eq kg <sup>-1</sup> de unidade funcional, para a produção do vinho nos sistemas A e B. ....	61
Figura 18. Principais contribuintes para o potencial de depleção abiótica na produção do vinho dos sistemas A e B, expressos em kg Sbe-q. kg <sup>-1</sup> . ....	62
Figura 19. Resultado das reduções de impactes devido a redução do uso de fitossanitários e de combustíveis nas máquinas agrícolas no estágio da vinha. ....	64
Figura 20. Resultados das reduções de impactes com a utilização de garrafas alternativas. ...	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção mundial e dos maiores produtores de vinho. ....	4
Tabela 2. Principais impactes de resíduos vinícolas (continua). ....	14
Tabela 3. Estado da arte no uso da ACV aplicada em sistemas de tratamento com diferentes contextos (continua). ....	33
Tabela 4. Principais características das vinhas analisadas. ....	44
Tabela 5. Dados do inventário da vinha por UF (continua). ....	45
Tabela 6. Principais características do estágio de vinificação das empresas de vinhos analisadas. ....	47
Tabela 7- Distribuição percentual de energia consumida por cada fase da vinificação. ....	48
Tabela 8. Dados do inventário da vinificação por UF (continua). ....	48
Tabela 9. Principais características do estágio de engarrafamento e embalagem das empresas produtoras de vinhos analisadas. ....	49
Tabela 10. Massas ponderadas dos produtos utilizados no estágio de engarrafamento e embalagem. ....	50
Tabela 11. Dados do inventário do estágio de engarrafamento e embalagem por UF. ....	50
Tabela 12. Potencial de aquecimento global (AG) em kg CO <sub>2</sub> -eq kg <sup>-1</sup> . ....	52
Tabela 13. Valores médios de potencial de acidificação para algumas substâncias relevantes a este estudo. ....	53
Tabela 14. Fatores de potencial de eutrofização em kg PO <sub>4</sub> -eq. kg <sup>-1</sup> . ....	53
Tabela 15. Valores médios de depleção abiótica para algumas substâncias relevantes a este estudo. ....	54
Tabela 16. Potencial de acidificação expresso em g SO <sub>2</sub> -eq kg <sup>-1</sup> para a produção do vinho...	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Análise do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação dos Impactes do Ciclo de Vida
AOX	Haleto Orgânico Absorvível
CBO	Carência Bioquímica de Oxigénio
CH <sub>4</sub>	Metano
<i>CML</i>	<i>Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden</i>
CQO	Carência Química de Oxigénio
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis não Metano
DA	Potencial de Depleção Abiótica
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
GCV	Gestão do Ciclo de Vida
GEE	Gases do Efeito Estufa
HC	Hidrocarbonetos
HCl	Ácido Clorídrico
HNO <sub>3</sub>	Ácido Nítrico
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IRCv	Interpretação dos Resultados do Ciclo de Vida
<i>ISO</i>	<i>International Standards Organization</i>
<i>LCM</i>	<i>Life Cycle Management</i>
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NH <sub>3</sub>	Amónia
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Azoto
<i>IOV</i>	<i>International Organization of Vine and Wine</i>
PA	Potencial de Acidificação
PAG/AG	Potencial de Aquecimento Global
PE	Potencial de Eutrofização
PET	Polietileno Tereftalato
PM <sub>2,5</sub>	Material Particulado de diâmetro aerodinâmico equivalente $\leq 2,5 \mu\text{m}$
PM <sub>10</sub>	Material Particulado de diâmetro aerodinâmico equivalente $\leq 10 \mu\text{m}$

SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
UE	União Europeia
UF	Unidade Funcional

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O vinho é uma bebida apreciada em todo o mundo desde a antiguidade, fazendo com que o setor vitivinícola assuma atualmente uma elevada relevância económica e cultural (Pretorius, 2000). Em 2018, a produção mundial do vinho foi de aproximadamente 292 milhões de hectolitros, enquanto a área de vinha destinada a esta produção atingiu aproximadamente 7,4 milhões de hectares (IOV, 2019).

A Europa é o continente com maior destaque neste setor, integrando os três principais produtores de vinho do mundo, Itália, França e Espanha, que produziram, só em 2018, o equivalente a 18,8%, 16,6% e 15,2% de toda produção mundial, respetivamente. A Europa possui ainda a liderança do consumo, exportação e importação do vinho (IOV, 2019).

No mesmo ano, Portugal foi o quinto maior produtor da Europa e o 11º no ranking mundial, produzindo o equivalente a 6.1 milhões de hectolitros (IOV, 2019). O setor já representa mais de 80% em número de empresas, da indústria de bebidas (Lourenço, 2017). Os vinhos portugueses são apreciados e podem competir com vinhos de todo o mundo, sendo seus aspetos de destaque a sua boa relação de qualidade/preço (Silva, 2001) e a diversidade dos vinhos ofertados. Esses fatores potencializam a sua competitividade em variados nichos de mercado (Cardoso e Quelhas, 2018).

A cadeia de produção de vinho envolve muitos estágios, que vão desde a obtenção da matéria prima, passando pelo processamento de materiais, fabricação, distribuição e, terminando com o destino final dos resíduos. Cada estágio envolve uma grande quantidade de impactes ambientais decorrentes de extrações de recursos naturais e emissões de poluentes para águas superficiais, subterrâneas, solo e atmosfera.

A importância económica e social do setor e as novas políticas de gestão ambiental têm instigado os produtores a serem mais ecoeficientes. Em resposta a estas novas exigências e procurando atingir a satisfação dos consumidores, a indústria tem investido em produtos de maior qualidade e menores impactes do ponto de vista ambiental (Christ e Burritt, 2013).

Neste contexto, informações úteis sobre impactes ambientais podem ser obtidas usando a avaliação do ciclo de vida (ACV). Esta ferramenta permite qualificar e quantificar os recursos e as emissões ao ambiente associados às várias etapas do ciclo de vida do produto. Além disso,

esta ferramenta pode servir de grande valia para identificar alternativas de prevenção e minimização de impactes, proporcionando suporte para mudanças ambientalmente conscientes na produção (EPA, 2006; JRC, 2010; ICCA, 2013; Meneses et al., 2016; Clark, 2018).

Após conhecer os impactes ambientais envolvidos no produto em estudo, pode ser relevante a modelação de cenários futuros, a fim de prever os possíveis ganhos ambientais por meio de alterações de um ou mais processos impactantes (Carpenter et al., 2012). A análise de cenários auxilia na projeção de ambientes futuros, de forma a facilitar a busca das metas futuras na organização (Moritz, 2004).

## 1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO

Com base no exposto anteriormente, com esta dissertação pretende-se alcançar os objetivos que se seguem.

### 1.2.1 Objetivo geral

Este estudo tem por objetivo avaliar o desempenho ambiental da produção de vinho de duas vitivinícolas da região sul de Portugal, usando a abordagem de avaliação do ciclo de vida, com base na NP EN 14040 de 2008 para ACV. Os resultados obtidos neste estudo serão relevantes para fornecer suporte para futuras decisões estratégicas que visem a diminuição do impacto ambiental deste setor.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, pretende-se:

- identificar os processos da produção de vinho mais críticos do ponto de vista de impacto ambiental; e
- avaliar diferentes cenários da produção do vinho com a substituição dos processos mais críticos por processos alternativos de menor impacto ambiental.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

De acordo com os objetivos propostos, a presente dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos, seguidamente resumidos.

Este capítulo introdutório (Capítulo I) apresenta uma visão geral e a relevância do estudo, os objetivos do mesmo e estrutura da presente dissertação.

O capítulo II é dedicado a uma breve caracterização do setor do vinho, visa mostrar a importância e distribuição da produção do vinho a nível mundial e Europeu, e ainda, a participação e influência de destaque dos vinhos Portugueses neste contexto. Compõem também, informações relevantes ao entendimento sobre a produção do vinho, os impactes e a importância da aplicação da ACV neste setor.

Os capítulos III corresponde à fundamentação do estudo, nele apresenta-se os principais conceitos e definições para a realização e desenvolvimento deste trabalho. Encontra-se detalhada a metodologia aplicada a uma ACV com a apresentação das etapas que a compõe, e ainda, breve contextualização sobre análises de cenários.

O capítulo IV concentra-se na descrição metodológica aplicada a esta dissertação, sendo neste capítulo apresentadas as bases de dados utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa, e as categorias de impactes ambientais envolvidas na análise.

O capítulo V apresenta os resultados e discussões da avaliação de impactes do ciclo de vida, incluindo o estudo de cenários que permite avaliar a influencia de diferentes formas de produção, ao utilizar de processos menos impactantes.

No capítulo VI, apresentam-se outras oportunidades de melhorias que podem ser avaliadas e aplicadas aos sistemas em estudo para fins de ganhos ambientais.

No capítulo VII, apresentam-se as principais conclusões obtidas dos resultados do estudo realizado, acrescida de sugestões para trabalhos futuros.

Por último, encontram-se as referências bibliográfica nas quais o estudo foi baseado, bem como anexos que complementam o estudo.

## 2 SETOR DO VINHO

Neste capítulo faz-se uma breve caracterização do setor do vinho a nível mundial, Europeu e nacional, dando-se algum destaque à importância e qualidade dos vinhos Portugueses. Também é feita uma breve descrição dos principais estágios do ciclo vida da produção do vinho, nomeadamente, o cultivo da vinha, a vinificação e o engarrafamento, bem como dos processos mais relevantes que os integram. Além disso, apresenta-se uma breve descrição dos principais impactes envolvidos na produção do vinho.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR

O vinho é desde a antiguidade uma bebida apreciada em todo o mundo, com início em 6000 a.C., fazendo com que o setor vitivinícola assuma atualmente uma elevada relevância económica e cultural (Pretorius, 2000; Malajovich, 2009). Ao longo dos anos, a crescente procura por vinho esteve principalmente associada a celebrações religiosas e pagãs, e mais tarde, à cultura da degustação de vinho, que se estendeu por todo o mundo.

Segundo os dados da Organização internacional da vinha e do vinho (IOV), em 2018, a produção mundial do vinho foi de 292 Mhl (milhões de hectolitros), correspondente a uma produção de 77.8 Mt (milhões de toneladas) de uva e envolvendo uma área para cultura da vinha de 7.4 Mha (milhões de hectares).

Os maiores produtores de vinho são: Itália, França, Espanha, Estados Unidos e Argentina (Tabela 1).

**Tabela 1. Produção mundial e dos maiores produtores de vinho.**

País	Produção (milhões de hectolitros)			
	2015	2016	2017	2018
Total mundial	275	270	249	292
1º Itália	50.0	50.9	42.5	54.8
2º França	47.0	45.3	36.3	48.6
3º Espanha	37.7	39.7	32.5	44.4
4º Estados Unidos	21.7	23.7	23.3	23.9
5º Argentina	13.5	9.4	11.8	14.5
11º Portugal	7.0	6.0	6.7	6.1

Fonte: IOV (2019).

Historicamente, a Europa possui destaque neste setor. Em 2018 liderou com cerca de 62% da produção mundial, o equivalente a 181 Mhl, visto que somente a Itália, França e Espanha, em conjunto, representam mais de 50% de toda a produção mundial de vinho. No

mesmo ano, a produção de uva foi de aproximadamente 25 Mt. Além disso, a Europa também lidera o consumo, exportação e a importação mundial (IOV, 2019).

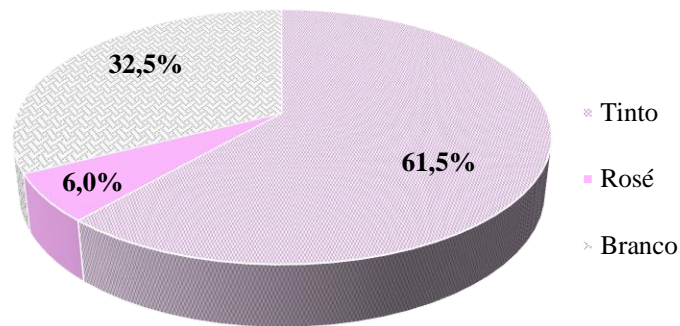
Ainda em 2018, Portugal foi o quinto maior produtor de vinho da Europa, e o décimo primeiro a nível mundial, produzindo o equivalente a 6.1 Mhl (Tabela 1). Na exportação, o país ocupou o nono lugar no ranking mundial, com uma quota de 3.0 Mhl, quase 50% de toda a sua produção, enquanto para a importação e o consumo, ocupou o décimo terceiro e décimo primeiro lugar com 1.9 Mhl e 5.5 Mhl, respetivamente (IOV, 2019). Em termos de destino das exportações internacionais, em 2017, os vinhos portugueses foram destinados a 145 países, com a França sendo a principal cliente (14,5%), seguida pelo Reino Unido (10,2%) e pelos EUA (10,1%) (Cardoso e Quelhas, 2018).

Atualmente, em Portugal, o setor vitivinícola é um dos setores da agricultura que mais contribui para o desenvolvimento económico do país, com vinhas de norte a sul. Embora seja um país pequeno quando comparado aos principais países Europeus produtores, Portugal tem apresentado uma relevância acentuada no setor, principalmente no que respeita às questões internas (Silva, 2001).

O relatório apresentado por Mário Loarenço (2017), sobre a caracterização do setor de vinho em Portugal, indicou que, em 2015, a indústria do vinho já dominava 88% do número de empresas de toda indústria de bebidas no país. Em 2016, o setor do vinho compreendia 1,4% do emprego de Portugal (Cardoso e Quelhas, 2018). Atualmente, de acordo com a FAO (2019), a uva é o quarto produto alimentar mais produzido em Portugal, com 868 toneladas produzidas em 2017. A superfície de vinha plantada ocupa 189.562 hectares, o correspondente a 2,04% de todo o território continental (IVV, 2018).

Os vinhos portugueses destacam-se devido a algumas características e qualidades únicas reconhecidas em todo o mundo. Elas são adquiridas, principalmente, pela grande diversidade de castas legitimamente portuguesas e as condições edafo-climáticas particulares que permitem a produção de vinhos diferenciados. Destacam-se ainda, pela excelente reputação nos mercados internacionais e elevado prestígio em possuir as marcas de vinhos mais vendidas no mundo (Silva, 2001).

A Figura 2 diz respeito à produção de vinhos em Portugal, por tipologia, na campanha de 2017/2018 (IVV, 2018). Verifica-se que 61,5% dos vinhos produzidos são tintos, seguido de 32,5% de vinhos brancos e apenas 6% de vinhos rosés.



**Figura 1. Produção de vinho por cor na campanha 2017/2018.**  
Fonte: IVV (2018).

## 2.2 ESTÁGIOS DO CICLO DE VIDA NA PRODUÇÃO DE VINHO

A produção do vinho resulta de um conjunto de estágios que podem ter uma duração que pode variar de alguns meses a alguns anos, dependendo do tipo de vinho que se pretende produzir, o que explica a complexidade desta bebida e as dificuldades de estudos nesta área de estudo.

A cadeia do vinho envolve muitos estágios no seu ciclo de vida. Estas podem ser divididas basicamente em cinco grandes grupos: vinha (plantação da vinha, cultivo da uva e colheita), vinificação, engarrafamento, comercialização (distribuição e consumo) e fim de vida das embalagens (reciclagem e/ou deposição final) (Figura 2). Nos subcapítulos seguintes, encontram-se descritos os três principais grupos que envolvem a fronteira do sistema deste estudo (veja o SUBCAPÍTULO 4.3).

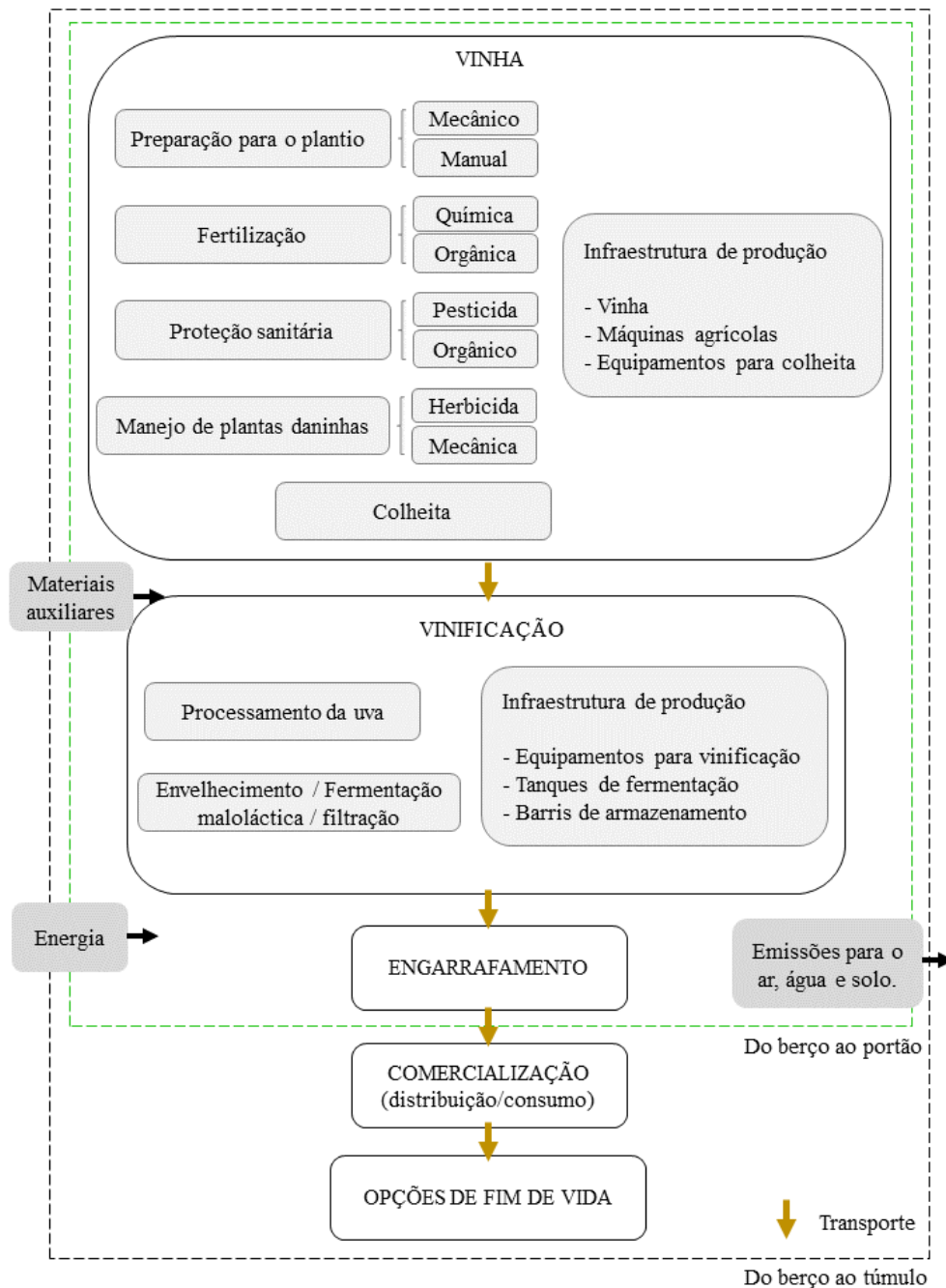


Figura 2. Descrição da fronteira do sistema para ACV da cadeia do vinho.

Fonte: adaptado de De Matos et al. (2015).

### 2.2.1 Vinha

A videira é uma planta perene, da Família Vitaceae, Género *Vitis*, composta por várias espécies (Bortoletto et al., 2015). Em Portugal, existe uma grande variedade de videiras, destinando-se a maior parte das suas uvas à produção de vinho, das quais muitas delas são castas genuinamente portuguesas. Cada tipologia de uva, para a produção dos diferentes tipos de vinho, é dependente de uma interação e correlação de vários fatores como a forma de cultivo

da vinha, a área da vinha, a distribuição geográfica e, especialmente, as condições climáticas (Silva, 2001).

O primeiro estágio de criação de uma vinha encontra-se no estudo do solo por meio de análises físico-químicas (textura, matéria orgânica, pH, deficiência de nutrientes). A análise preliminar irá fornecer as características do solo que, juntamente com o conhecimento sobre as condições climáticas e territoriais do local, permite escolher qual a técnica de cultivo mais adequada, bem como definir as precauções necessárias durante o plantio (Reynier, 2011).

Sendo a vinha uma planta trepadeira, o segundo estágio consiste na implementação dos suportes para a videira. Estes podem ser estruturas de madeira, betão ou metal. Após a vinha plantada, deve esperar-se entre dois a três anos para o início da produção de uva. Durante este período, são necessárias operações de manutenção da vinha como a fertilização, o controlo de pragas e doenças, e controlo de ervas daninhas (Reynier, 2011).

Para a proteção agrícola, são aplicados pesticidas ou os designados produtos fitossanitários. Tratam-se de substâncias ativas e um conjunto de outras substâncias geneticamente designada formulantes (e.g. fungicida, herbicida e inseticida), criadas para a prevenção ou controlo dos organismos prejudiciais à cultura (Simões, 2005). A vinha é uma cultura que possui uma elevada variedade e complexidade de problemas fitossanitários que podem ocasionar perdas relevantes de produtividade, redução da qualidade e aumento dos custos de produção (Félix e Cavaco, 2009).

Durante o período ativo das videiras, no terceiro estágio, a manutenção da vinha também inclui as designadas intervenções em verde, onde são realizadas atividades como a espampa, a desponta (ou poda verde) e a desfolha. As intervenções realizadas envolvem atividades manuais e automáticas com vista ao aumento da qualidade do produto final, através do melhoramento das condições de crescimento e maturação dos cachos (DRAP, 2008).

A irrigação é um instrumento muito importante na vinha e está presente em diferentes estágios de produção. A água influencia a taxa de crescimento vegetativo e, assim, o microclima da planta. A quantidade de água é manipulada para estabelecer condições ótimas para o crescimento da videira e desenvolvimento da uva, no entanto, algumas vinhas não têm a necessidade da irrigação, uma vez que já possuem os fatores pretendidos ou quando há excesso de água (Keller, 2005).

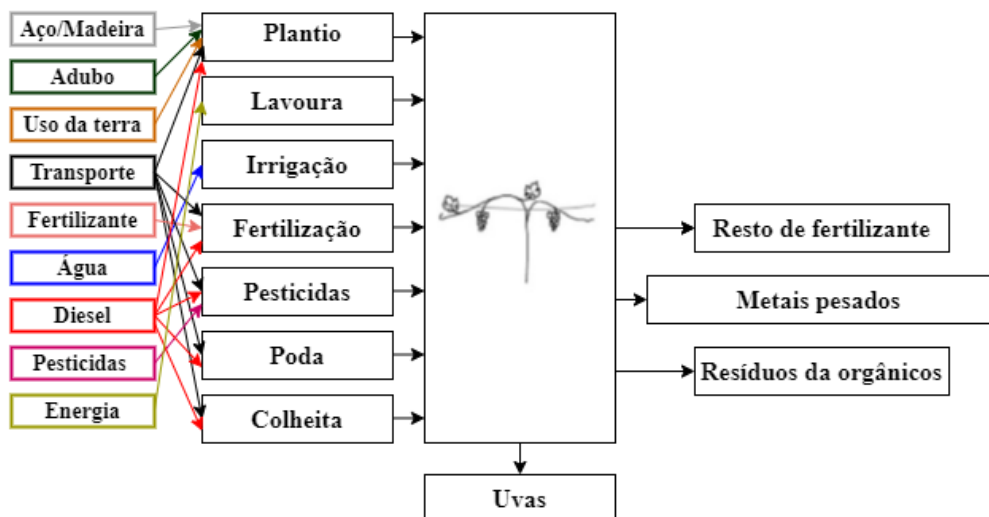
No último estágio, quando as uvas estão em condições ótimas (em termos do nível de açúcar, acidez e cor), elas podem ser colhidas de forma manual ou mecânica e, por fim, transportadas até uma adega para o processo de vinificação e engarrafamento. A colheita da

uva ou vindima é um dos fatores de maior interferência na qualidade do vinho, sendo conduzida de acordo com a experiência do viticultor e nas condições climáticas específicas de cada região (Bortoletto et al., 2015).

Após estes estágios, inicia-se a preparação da produção da uva do ano seguinte. As primeiras atividades incluem as designadas intervenções de inverno, que se realizam na fase de repouso vegetativo abrangendo a pré-poda, a poda e a manutenção das estruturas de suporte. As intervenções realizadas podem ocorrer de forma manual ou mecânica. A maneira com qual estas atividades são conduzidas irá influenciar na qualidade das uvas produzidas (DRAP, 2008).

Em particular, a prática da poda é direcionada para auxiliar a vinha a obter o rendimento máximo de qualidade e consiste na remoção das brotações que crescem desnecessariamente no final de cada repouso (Bortoletto et al., 2015).

A Figura 3 ilustra as operações de uma viticultura e suas entradas e saídas.

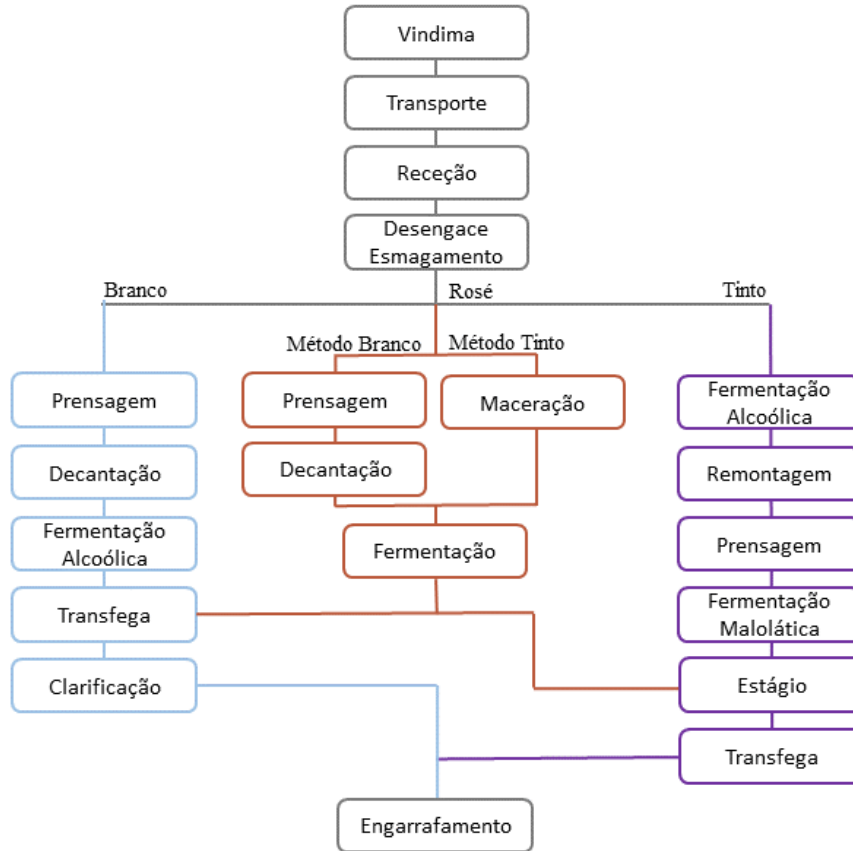


**Figura 3. Fluxograma de uma vinha.**  
 Fonte: adaptado de Meneses et al. (2016).

### 2.2.2 Vinificação

A vinificação consiste na realização de diversos processos que se diferem em função do tipo de vinho que se deseja obter, existindo, no entanto, processos de produção comuns entre eles. Na Figura 4, encontram-se esquematizados os processos que envolvem a produção de vinhos do tipo branco, tinto e rosé. A seguir à Figura 4, são descritos os processos (Sandler e Pinder, 2003; Teixeira, et al., 2008; Bortoletto et al., 2015). O vinho rosé tem duas formas de

produção – o método branco e o tinto. Estes dois métodos são apresentados juntamente com os processos do vinho branco e tinto.



**Figura 4. Processos de produção de vinho branco, rosé e tinto.**

Fonte: adaptado de Bortoletto et al. (2015).

O estágio de vinificação inicia-se com o processo de receção da uva, seguido do controlo da qualidade, com as primeiras análises (concentração de açúcar, pH, teor alcoólico provável e acidez). Posteriormente, ocorre o descarregamento da carga e a retirada das uvas que não estão na qualidade necessária, seguido do desague no tégão de receção. Após o desague no tégão, as uvas passam pelo processo de desengace, que consiste na extração total ou parcial dos engaços (parte lenhosa do cacho), e, posteriormente, as uvas podem passar ou não pelo esmagamento, para o rompimento ou rachada da casca da uva e libertação da polpa e do sumo para a fermentação. Normalmente, na produção de vinhos brancos e rosés utiliza-se o desengace total.

A fermentação alcoólica é um processo químico que corresponde ao consumo do açúcar presente no mosto por ação de leveduras com formação de álcool e dióxido de carbono. No caso do vinho tinto, o mosto é fermentado em contacto com as partes sólidas, responsáveis por conferir a cor ao vinho, onde pode ocorrer também a formação de outros produtos. Geralmente,

essas são as substâncias que fornecem ao vinho as suas características gustativas e olfativas. Ainda na fermentação, há o processo de remontagem. Trata-se de um sistema de bombeamento responsável por manter a mistura dos sólidos com o líquido, além de favorecer a distribuição homogênea das leveduras e temperatura. Posteriormente, ocorre a prensagem, que consiste num processo mecânico com o objetivo de separar o mosto das partes sólidas.

A fermentação malolática é um processo biológico particular ao vinho tinto, e corresponde à transformação do ácido málico presente no líquido em ácido láctico por ação de bactérias. A fermentação malolática também é responsável pela eliminação de parte da acidez do vinho.

O estágio é onde ocorre o envelhecimento do vinho. O vinho permanece por um tempo em contacto com o ar para obter as características “amadeiradas” ou outras características dependentes do tipo de reservatório (barris ou cascos de carvalho novo ou velho). Seguindo o envelhecimento, o vinho vai para a transfega, processo onde é transferido cautelosamente para outro recipiente, evitando uma nova mistura do vinho limpo e a borra.

No vinho branco, as partes sólidas são retiradas antes de iniciar a fermentação e o processo de prensagem exige cautela quanto à pressão exercida para que não ocorra a quebra ou rompimento das partes sólidas, pois não se deseja atribuir cor ao líquido. Posteriormente a este processo, ocorre a clarificação. Após a fermentação, o vinho possui muitos resíduos provenientes dos mostos ou das partes sólidas das uvas, que atribuem cor ao líquido. A clarificação elimina todas as impurezas em suspensão no vinho e o torna límpido. O processo pode ser feito de diferentes formas, como coagulação, filtração e colagem. As partículas mais densas são removidas por sedimentação.

A maceração é um processo particular ao vinho rosé, neste processo o mosto fica em contacto com as uvas durante um período, para adquirir pigmentação.

### **2.2.3 Engarrafamento**

Finalmente, a produção do vinho termina com o processo de engarrafamento e armazenamento. Essas atividades englobam um conjunto de subprocessos, desde o fornecimento de garrafas às linhas, despaletização e lavagem de garrafas, lavagem e esterilização das linhas de enchimento, filtração do vinho, enchimento das garrafas com vinho, rolhamento, capsulagem, rotulagem, encaixotamento, finalizando com a paletização das caixas.

Esse estágio exige um conjunto de processos que devem ser realizados imediatamente antes do engarrafamento para garantir a estabilidade final do vinho. Estes processos incluem o processo de pasteurização, de esterilização e, ainda, a lavagem adequada dos recipientes, geralmente garrafas e rolhamento (Grainger e Tattersall, 2007).

O processo de pasteurização é aplicado com a finalidade de eliminar os organismos patogênicos e reduzir a quantidade de organismos deteriorantes. Já o processo de esterilização visa garantir a inexistência de microrganismos que podem comprometer a durabilidade do produto. De acordo com (Grainger e Tattersall, 2007), existem quatro sistemas de tratamento disponível para o produtor e o uso é determinado pelas especificações do vinho, estes estão listado a seguir:

- Filtragem estéril a frio: um processo sem o uso de calor, consiste na filtração do vinho, através de folhas finas ou um filtro de membrana, para a remoção de todas as células de levedura. O método é particularmente adequado para vinhos contendo açúcar residual e com níveis modestos de álcool, diferente desta condição, os vinhos correm o risco de voltar a fermentar na garrafa.
- Engarrafamento termo-ótico: consiste no aquecimento do vinho a 54 °C seguido do engarrafamento ainda quente. Nesta temperatura, as leveduras são eliminadas e o álcool torna-se tóxico para qualquer bactéria.
- Pasteurização instantânea: o vinho é aquecido a 95 °C por um ou dois minutos, depois aplica-se o resfriamento de forma ligeira e o engarrafamento frio.
- Pasteurização de túnel: o vinho é engarrafado frio e depois passado através de um túnel de calor onde as garrafas seladas são pulverizadas com água quente para elevar a temperatura para 82 °C por 15 a 20 minutos.

O processo de limpeza deve ser executado com eficácia, sendo um pré-requisito imprescindível também para garrafas novas. Além disso, quando a lavagem é feita corretamente, até uma garrafa usada, depois de limpa, pode ser reutilizada normalmente (Bortoletto et al., 2015).

As rolhas e as garrafas são materiais utilizados para assegurar, durante mais tempo, a conservação da qualidade do produto (Teixeira et al., 2008). O manuseamento correto destes objetos é fundamental para que não ocorra a modificação na qualidade e/ou contaminação do

vinho por meio de contato com o oxigênio e depósito de impurezas pré-existentes no fundo da garrafa, respetivamente (Bortoletto et al., 2015).

As rolhas são a maneira tradicional de fechar garras de vinho e são geralmente feitas de cortiça, um produto natural proveniente da casca de um tipo de carvalho sempre verde. A sua propriedade de elasticidade fornece uma vedação firme no fechamento da garrafa de vinho, no entanto, a rolha de pode conferir um sabor desagradável ao vinho. Diante disso, já existem novas alternativas de produtos em material sintético (ex. rolhas de plásticos) e outras tem sido desenvolvidas (Grainger e Tattersall, 2007).

A necessidade de substituição do tradicional e o desenvolvimento de novos materiais também se estende às garrafas, sobretudo, como meio de reduzir os impactes ambientais relacionados à produção de vidro para a produção de garrafas. As alternativas incluem: caixas assépticas, vidro leve, garrafas de vidro recarregável, garrafas plásticas de tereftalato de polietileno (PET) e outros tipos de containers (Cleary, 2013).

### 2.3 IMPACTES AMBIENTAIS DO SETOR

Os principais impactes ambientais da produção do vinho estão associados ao uso de produtos fitossanitários, uso de água para irrigação, uso de energia, impactes ao ecossistema, produção de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos, degradação do solo, ruído e emissões de gases ao efeito estufa (EPA, 2004; Gabzdylova et al., 2009).

No que respeita aos produtos fitossanitários, na sua grande maioria, podem gerar problemas de toxicidade no seres humanos, animais e ambiente, desencadeando uma série de riscos secundários. A intensidade do problema é dependente das propriedades químicas e físicas inerentes e do tempo de exposição ao produto. Eis alguns dos potenciais transtornos associados (Simões, 2005):

- Risco para saúde humana e animal (causa de problemas reprodutivos e hormonais);
- Resíduos na cultura;
- Resíduos para o solo e para água e causa de intoxicação de organismos do solo e aquáticos;
- Bioacumulação na cadeia alimentar em virtude da sua difícil degradação;
- Poluição do ar;
- Riscos para a biodiversidade.

Em Portugal, existe um número reduzido de herbicidas disponíveis para o uso em videiras, o que torna comum a prática do uso repetido de um mesmo composto. Esta prática é a principal causa do surgimento de populações de plantas daninhas mais resistentes aos herbicidas, que com o passar do tempo, passam a exigir doses cada vez mais elevadas para o seu controlo (Souza e Maia, 2002).

A água é um recurso essencial para a viticultura e vinicultura. A vinha utiliza elevadas quantidades de água na irrigação, enquanto na vinícola a água é utilizada para limpeza e higienização (Gabzdylova et al., 2009). As águas residuais de vinícolas são águas com alto teor orgânico, acidez, nutrientes e odor desagradável (Ene, et al., 2013; Knowles e Hill, 2001).

O teor orgânico é resultante da transformação da uva em vinho, proveniente, principalmente, das leveduras e seu excedente, borras, esvaziamento e lavagem de tanques (caldeiras, filtros e outros tanques), lavagem de tubulações e no processo de embalagem. A grande variação do pH pode estar associada ao uso de ácidos e/ou produtos cáusticos contidos nos materiais de limpeza, assim como a concentração de fósforo (Ene et al., 2013).

Toda a produção de vinho gera muitas embalagens, como as dos pesticidas, dos fertilizantes, dos produtos de limpeza e etc. De um modo geral, estas embalagens podem ser recicladas quando não estão contaminadas, caso contrário, a reciclagem torna-se um processo complexo e caro (Keenan, 2005).

A Tabela 2 apresenta os principais impactes associados aos resíduos gerados pelas vinícolas.

**Tabela 2. Principais impactes de resíduos vinícolas (continua).**

<b>Resíduos</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Efeitos</b>
Matéria orgânica	CBO <sup>1</sup> COT <sup>2</sup> CQO <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduz o nível de oxigénio em corpos hídricos, levando à morte de peixes e outros organismos aquáticos.</li> <li>• Produção de odor a partir da decomposição anaeróbia de resíduos depositados em área aberta.</li> </ul>
Alcalinidade e acidez	pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Morte de organismos aquáticos em condições extremas de pH.</li> <li>• Afeta a atividade microbiana no tratamento biológico de efluentes.</li> <li>• Afeta a solubilidade de metais pesados no solo e a disponibilidade e/ou toxicidade nas águas.</li> <li>• Afeta o crescimento da cultura.</li> </ul>
Nutrientes	azoto, fósforo potássio, enxofre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eutrofização ou proliferação de algas.</li> <li>• As proliferações de algas podem causar indesejáveis odores em lagoas.</li> <li>• N (nitrato e nitrito) no abastecimento de água potável pode ser tóxico para bebês.</li> <li>• Tóxico para as culturas quando em grandes quantidades.</li> </ul>

Tabela 2. Principais impactes de resíduos vinícolas (continua).

Resíduos	Indicadores	Efeitos
Sais	CE <sup>4</sup> SDT <sup>5</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confere sabor indesejável à água.</li> <li>• Tóxico para organismos aquáticos.</li> <li>• Afeta a absorção de água pelas culturas.</li> </ul>
Sódio	RBS <sup>6</sup> PSI <sup>7</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afeta a estrutura do solo, resultando em crostas superficiais.</li> <li>• Infiltração e condutividade hidráulica, subsolo duro e denso.</li> </ul>
Contaminação de metal	Cádmio, cromo, cobalto, cobre, níquel, chumbo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tóxico para plantas e animais.</li> </ul>
Sólidos	SST <sup>8</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduz a porosidade do solo, afetado a captação de oxigénio.</li> <li>• Pode reduzir a transmissão de luz na água, comprometendo a saúde do ecossistema.</li> <li>• Sufoca habitats.</li> <li>• Odor gerado a partir da decomposição anaeróbia.</li> </ul>

Nota: 1 Carência bioquímica de oxigénio

2 Carbono orgânico total

3 Carência química de oxigénio

4 Condutividade elétrica

5 Sais dissolvidos totais

6 Taxa de absorção do sódio

7 Percentagem de sódio intercambiável

8 Sólidos Suspensos totais

Fonte: adaptado de EPA (2004).

O estágio da vinha é o que apresenta a maior variabilidade de resultados para os impactes ambientais (Ferrara e De Feo, 2018). O cultivo da vinha é frequentemente conduzido por práticas convencionais (um sistema ainda dominante) ou por prática de agricultura orgânica. Na prática convencional, faz-se o uso intensivo de fertilizantes químicos e pesticidas para a gestão de pragas e doenças da videira, enquanto a prática orgânica utiliza-se de elementos como esterco orgânico, armadilha para parasitas e pragas, e controlo de ervas daninhas por meios mecânicos (De Matos et al., 2015).

IOV (2010) orienta que, para implementação de uma vinha sustentável, numa etapa anterior à implementação é importante realizar uma análise crítica sobre o local e toda a biodiversidade que o envolve já que essa poderá ser afetada de alguma forma. Durante o estudo do solo, as questões pedológicas, a disponibilidade e a gestão de águas superficiais, o risco de escoamento e erosão e, ainda, a drenagem de superfície e subsolo, são critérios a serem seguidos.

No quesito dos produtos fitossanitários e de acordo com as orientações de Félix e Cavaco (2009), para o alcance de uma vinha de elevada qualidade sanitária é necessário o uso de estratégias integradas de produção em termos das medidas diretas (biológicas, biotécnicas e químicas) e dos meios indiretos (legislativos, genéticos e culturais), a fim de reduzir os impactes

no ambiente e os níveis populacionais dos principais agentes nocivos da cultura a níveis aceitáveis (Félix e Cavaco, 2009).

### 3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O princípio do desenvolvimento sustentável apoia-se em suprir as necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade de suprir as necessidades das gerações futuras. Para atender ao requisito sustentável, o desenvolvimento deve levar em consideração o “*triple bottom line*” ou “tripé da sustentabilidade”: ser ecologicamente equilibrado, economicamente eficiente e socialmente desejável (Romeiro, 2012).

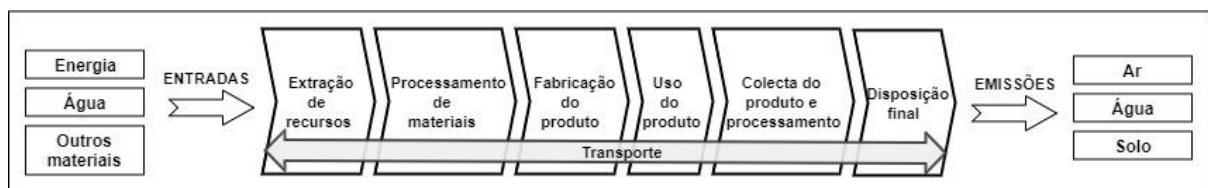
Visando alcançar a qualidade ambiental de toda a cadeia de suprimentos, surgiu a Gestão do Ciclo de Vida (GCV) ou *Life Cycle Management (LCM)*, um sistema de gestão do ciclo de vida para o desenvolvimento de produtos sustentáveis com o objetivo de minimizar encargos ambientais e socioeconómicos ligados ao produto (UNEP, 2007).

Neste contexto, uma das principais ferramentas utilizadas é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que tem ganhado ampla aceitação devido ao fato de que todos os impactes diretos e indiretos podem ser rastreados e avaliados através desta metodologia.

Neste capítulo são apresentados aspetos amplos sobre ACV, tais como: definição, aplicações, limitações, metodologia, condução de ACV e também alguns trabalhos recentes relacionados ao tema de estudo.

#### 3.1 DEFINIÇÃO E VISÃO GERAL

A ACV é uma ferramenta que avalia ambientalmente um produto ou um serviço ao quantificar os impactes ambientais associados ao longo de todo o ciclo de vida do produto, ou seja, desde a extração de matérias-primas até à produção, uso e descarte, a partir da identificação, compilação e avaliação de todas as entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*), e de todas as emissões e resíduos liberados em cada etapa do ciclo de vida (EPA, 2006 ; Júnior et al., 2008; ICCA, 2013; Clark, 2018). A Figura 5 apresenta um esquema de estágios do ciclo de vida de um produto.



**Figura 5. Estágios de um ciclo de vida de um produto – conceito básico.**

Fonte: adaptado de Chau et al. (2015).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA, 2006) descreve a ACV como um estudo que avalia sistematicamente as consequências ambientais da existência de um produto, investigando quais as perdas e os ganhos ecológicos envolvidos tanto com o produto como com os processos associados. Todas as emissões resultantes para o ar, água e solo são quantificadas e caracterizadas em impactes ambientais, identificando-se, desta forma, os efeitos na saúde humana e no ecossistema gerados por estas emissões.

Segundo Finnveden et al. (2009), para compreender melhor a dinâmica dos impactes ambientais de um produto é importante estudá-los sob uma abordagem de ciclo de vida. Na perspectiva da EPA (2006), a ACV fornece uma visão mais abrangente dos impactes ambientais ligados ao produto, favorecendo uma imagem mais exata dos encargos ambientais ligados a toda cadeia produtiva.

Nos últimos anos, a ACV tornou-se internacionalmente reconhecida e muitos países têm incentivado o uso da ACV como objeto central de políticas ambientais ou aplicações voluntárias (Guinée et al., 2011). De forma a padronizar e uniformizar a metodologia e facilitar a comunicação entre análises de ciclo de vida, realizados por diferentes instituições e países, a *International Organization for Standardization* (ISO) regulamenta e estrutura a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) por meio de normas, sendo representadas na UE nas versões EN ISO 14040 e EN ISO 14044.

A aplicação da ACV passou a ser uma ferramenta de gestão de múltiplas funções. Embora seja tipicamente para tratar de aspetos ambientais, a abordagem utilizada já se estendeu a aspetos económicos e sociais. De acordo com a norma, a ACV pode ser útil para as finalidades de:

- Identificar oportunidades de melhoria do desempenho ambiental dos produtos ao longo do seu ciclo de vida;
- Auxiliar o processo de tomada de decisão e de planeamento estratégico na indústria, em organizações governamentais e não governamentais;
- Permitir a seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes, inclusive técnicas de medição;
- Favorecer o marketing (e.g. na implementação de esquemas de rotulagem ecológica, realização de alegação ambiental, ou elaboração de declaração ambiental de produto).

Na mesma linha de raciocínio, Júnior et al. (2008) e Clark (2011) ressaltam que a ACV pode ser usada para melhorar o desempenho ambiental de produtos ou processos por meio da identificação dos impactos ambientais; servir como suporte para tomada de decisões e planejamento estratégicos; possibilitar o surgimento de sistemas mais sustentáveis ambientalmente, através de mudanças conscientes em vários estágios do ciclo de vida; e também permitir a comparação de produtos que oferecem a mesma função e avaliação de alternativas de design para o mesmo produto.

Mesmo diante de tantos benefícios e possibilidades de aplicação, estudos de ACV também apresentam limitações. Dependendo da abrangência do estudo, a ACV pode envolver limitações quanto à coleta de dados e a indisponibilidade dos dados pode ter grande impacto na precisão dos resultados finais (Alvarenga, 2012).

Em muitos casos, o processo de recolha de dados pode tornar-se inviável por motivos diversos, tais como o desinteresse de empresas ou setores produtivos. Isso surge da falta de confiança em fornecer dados importantes por questão de sigilo ou por receio de despertar a atenção de agências ambientais e organizações não-governamentais para os seus processos, podendo resultar em algum tipo de penalidade (Seo e Kulay, 2006).

Para Kirchain et al. (2017), a ACV exige uma quantidade elevada de informações que envolvem gastos especiais de tempo e recursos. Dessa forma, é natural que ocorra o desencorajamento dos interessados ou o atraso na execução de uma ACV, um desafio prático observado em quase toda implementação, senão todas.

Após analisar as limitações que envolviam inúmeros trabalhos de diferentes setores, Zocche (2014) identificou como principais fatores de limitação em ACV a indisponibilidade de bases de dados, a incerteza do método em relação aos resultados para a tomada de decisão, a dificuldade na recolha de dados primários, a complexidade devido ao grande volume de dados, a falta de interesse por parte da iniciativa privada e a omissão de dados.

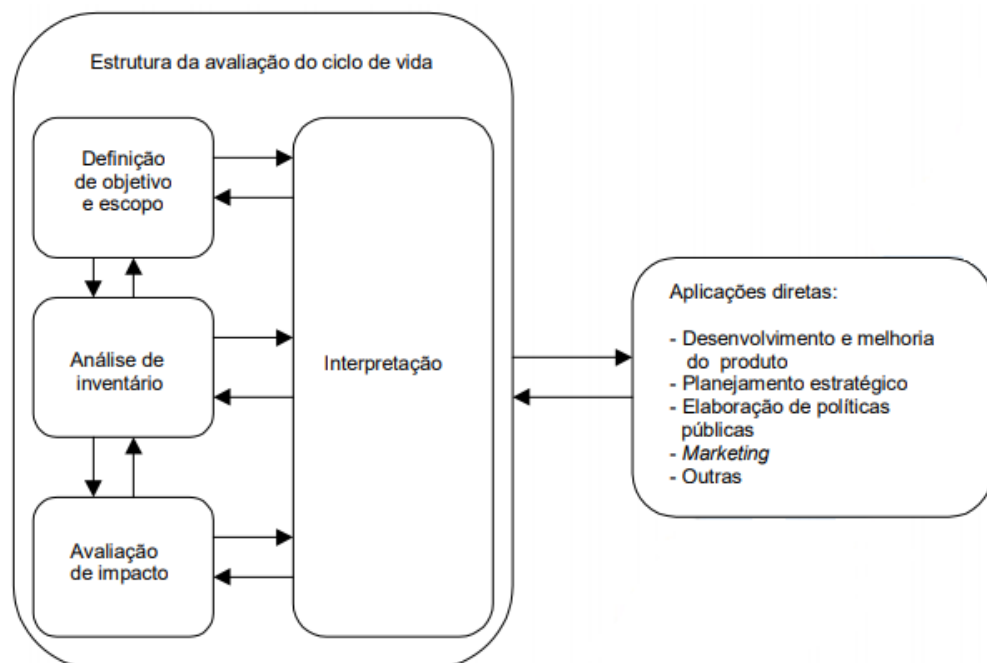
Contudo, apesar das suas limitações, a ACV não deixa de ser uma ferramenta ímpar para verificar os impactos ambientais causados pelos produtos e serviços das atividades humanas. Além de identificá-los, é possível interpretar os resultados e assumir uma atitude para minimizar a influência desses impactos no ambiente.

Além disso, devido à importância crescente da metodologia da ACV, têm surgido investimentos para a obtenção do amadurecimento das atividades relacionadas a bases de dados, garantia de qualidade, consistência e harmonização de métodos. Há, também, um forte

desenvolvimento quanto à melhor compreensão das diferenças entre ACV; melhores modelos para avaliação de impactos e; outros (Finnveden et al., 2009).

### 3.2 ETAPAS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A metodologia padronizada pela EN ISO 14040:2008 consiste na realização de quatro etapas: (i) a definição do objetivo e do âmbito do trabalho, (ii) o inventário do ciclo de vida (ICV), (iii) a avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) e (iv) a interpretação dos resultados do ciclo de vida (IRCV). A interação entre as quatro etapas pode ser observada na Figura 6.



**Figura 6. Etapas e aplicação de uma ACV.**

Fonte: adaptada da ISO 14040:2008.

#### 3.2.1 Definição do objetivo e do âmbito de estudo

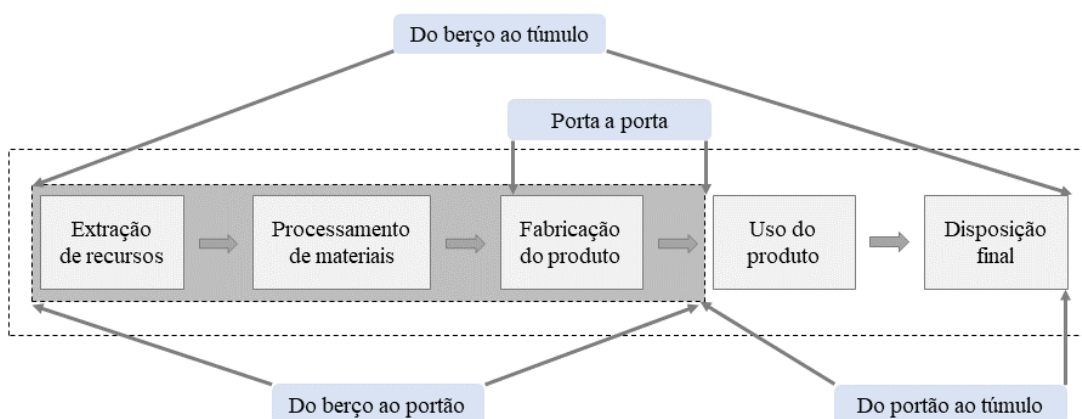
A primeira etapa da ACV compreende a definição do objetivo e do âmbito. De acordo com a NP ISO 14040:2008, é nesta etapa que se estabelecem os propósitos do estudo, cobrindo questões como cobertura temporal, geográfica e tecnológica, e ainda, a definição do público-alvo (aqueles que deverão ser informados sobre os resultados do estudo). Define-se, também, se há intenção de utilizar os resultados obtidos em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente.

Ainda de acordo com essa norma, um estudo de ACV inclui, entre outros elementos, a definição dos recursos necessários para atingir os objetivos estabelecidos, envolvendo decisões sobre a fronteira do sistema, a unidade funcional, procedimentos de alocação e hipótese de limitações.

A unidade funcional (UF) é um valor de referência para qual as entradas e saídas do sistema são calculadas, geralmente equivale ao uso de uma unidade do produto. A finalidade de se utilizar uma UF global para cada produto é permitir que os resultados de uma avaliação possam ser comparados e analisados entre estudos de mesma área (Clark, 2018).

A fronteira do sistema define os processos que devem ser incluídos na ACV, isto é, corresponde a uma delimitação das fases do sistema de produção que farão parte do estudo. De acordo com a ICCA, (2013), os limites do sistema podem ser do tipo (exemplificado na Figura 7):

- Do berço ao túmulo – “*cradle-to-grave*”: Da extração da matéria prima ao uso e descarte final do produto;
- Do berço ao portão – “*cradle-to-gate*”: Da extração da matéria prima ao portão da fábrica;
- Porta a Porta – “*gate-to-gate*”: De um ponto (inicial) definido ao longo do ciclo de vida a um segundo ponto (final) ao longo do ciclo de vida.
- Do portão ao túmulo – Do portão da fábrica ao uso e descarte final do produto.



**Figura 7. Tipos de fronteira do sistema.**  
 Fonte: adaptado do GaBi Education (2010).

A alocação diz respeito aos processos que possuem mais de uma saída de interesse no sistema produtivo e, na maioria das vezes, em ACV apenas se está interessado num produto. O

procedimento consiste na divisão adequada dos aspetos ambientais (fluxos de materiais, energia e de emissões ao ambiente). A ISO 14044:2006 orienta que a alocação seja evitada sempre que possível através da abordagem de expansão do sistema.

### **3.2.2 Inventário do ciclo de vida (ICV)**

O Inventário de Ciclo de Vida (ICV) envolve a recolha e a validação de dados necessários para a realização da ACV. Estes permitirão o alcance do objetivo em questão, assim como a correlação dos dados com os processos elementares e a UF, o refinamento da fronteira do sistema (caso necessário) e a alocação (ISO 14044, 2006).

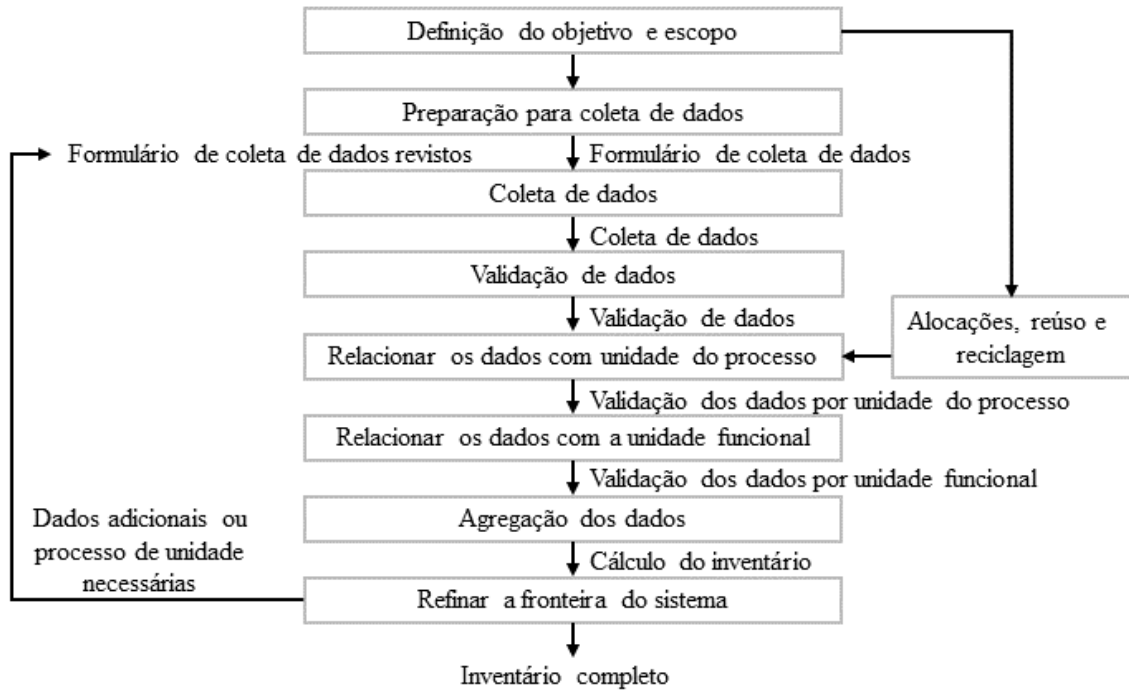
O ICV deve, em princípio, conter os dados que irão representar os fluxos de massa e energia que entram e saem de cada processo individual do sistema (Clark, 2011; Cays, 2017). É possível averiguar a coerência da ICV quando esta não viola as leis da termodinâmica, de forma a respeitar a lei da conservação de energia e da massa (Ferreira, 2004).

O inventário requer dados de qualidade para garantir a confiabilidade do resultado do estudo (JRC, 2010b), a ISO 14044:2006 requisita propriedades em relação aos dados, tais como: cobertura temporal, geográfica e tecnológica, a precisão, a representatividade, a consistência, as fontes e a incerteza da informação, de forma a que tais propriedades assegurem a fiabilidade dos resultados e a sua adequada interpretação.

Convém que, ao executar o plano para a ICV, sejam seguidos passos operacionais. A sequência de passos operacionais, que deve ser adotada, está definida na ISO 14044:2006 e ilustrada no fluxograma que se segue (Figura 8).

A construção do ICV pode exigir muito tempo e recursos devido à grande quantidade de dados necessários para a sua execução. Quando limitada, a base de dados pode afetar significativamente a precisão dos resultados finais, elevando os níveis de incertezas sobre a ACV (Clark, 2011). Portanto, antes da realização de uma ACV, deve avaliar-se a disponibilidade de dados, os recursos financeiros e o tempo necessário para a realização do estudo em relação aos benefícios previsíveis da ACV (EPA, 2006; Júnior et al.; 2008).

Para Kirchain et al. (2017), é impossível que um estudo seja realizado somente com dados primários sobre cada processo relevante envolvido no ciclo de vida, em vez disso, os profissionais de ACV coletam os dados primários sempre que possível e, complementarmente, recorrem ao conjunto de dados existentes compilados por outros analistas.



**Figura 8. Procedimentos simplificados para análise do inventário.**  
 Fonte: adaptado da ISO 14044:2006.

### 3.2.3 Avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV)

#### 3.2.3.1 Seleção e caracterização das categorias de impacto

Todos os estágios do ciclo de vida contam com diferentes tipos de consumos e emissões (fluxos elementares), os quais na AICV são transformados em possíveis impactos para o ambiente e são comparados entre si em termos da importância do seu impacto. Por exemplo, 1 kg de metano emitido para o ar não tem o mesmo efeito nas mudanças climáticas que 1 kg de CO<sub>2</sub>, visto que o metano é um gás com maior influência sobre o efeito estufa (GEE).

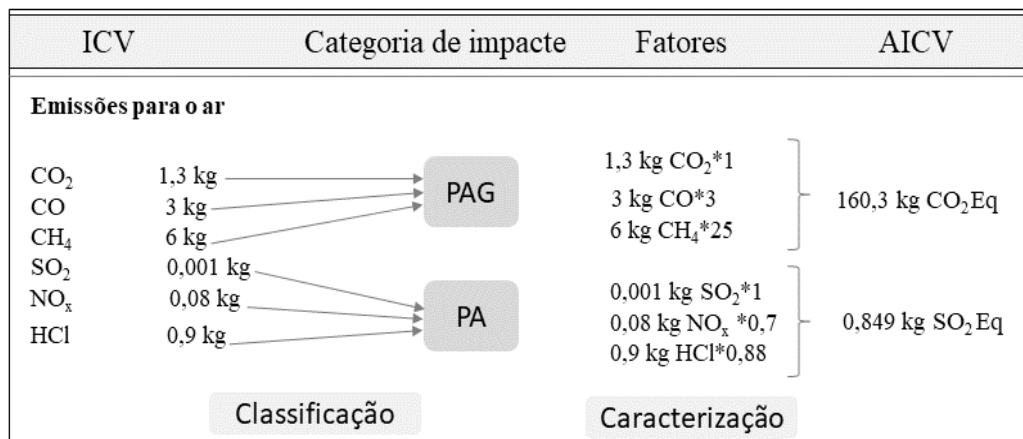
Deste modo, o processo dentro da AICV ocorre e deve respeitar obrigatoriamente os seguintes passos (JRC, 2010b; Hauschild et al., 2018; Clark, 2018):

- Seleção da categoria de impacto: depende das duas etapas anteriores da ACV, ou seja, do objetivo e do âmbito estabelecido e do resultado obtido na análise do inventário. Essa seleção é realizada a partir da identificação das categorias relevantes de impacto ambiental (e.g. aquecimento global, eutrofização, acidificação, esgotamento de recursos, entre outros);

- Classificação das emissões: seleção e atribuição dos dados (entradas e saídas) do ICV às respectivas categorias de impactes, de acordo com o problema que podem causar no ambiente (e.g. classificação de emissões de CO<sub>2</sub> na categoria aquecimento global);
- Caracterização das categorias de impacte: cálculo dos resultados de indicadores representativos para cada categoria de impacte utilizando fatores de conversão.

A Figura 9 exemplifica o processo de atribuição de várias emissões para a atmosfera às suas respectivas categorias de impactes.

Além destes, para uma avaliação ainda mais completa, outros passos opcionais podem ser realizados para normalizar, agrupar e ponderar os resultados dos indicadores e técnicas de análise de qualidade dos dados (EPA, 2006; JRC, 2010b; Hauschild et al., 2018; Clark, 2018). Os passos opcionais estão descritos a seguir à Figura 9.



**Figura 9. Esquemática do processo de classificação e caracterização na AICV.**

Fonte: adaptado do GaBi Education (2010).

- Normalização: cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores da categoria de impacte em relação a um referencial, ou seja, é a multiplicação por fatores de equivalência. No final, os resultados normalizados fornecem a cada indicador o contributo relativo para o impacte global da categoria, de forma a possibilitar a perceção de quais indicadores contribuem mais ou menos dentro de cada categoria;
- Agrupamento: organização dos dados por tipo de impacte, em relação às categorias de impacte com as quais estão relacionados;
- Ponderação: determinação da importância relativa de dois ou mais impactes, a partir da conversão dos resultados dos indicadores normalizados de cada uma das categorias de impactes numa escala comum, atribuindo-se a importância de um impacte em relação

ao outro (e.g. em regiões com escassez de água, os impactos na qualidade da água podem ser mais relevantes do que aqueles que se relacionam com o uso do solo. Assim, o peso atribuído à qualidade de água será maior do que o atribuído ao uso do solo). A aplicação da ponderação ainda é alvo de muita discussão, devido à subjetividade envolvida na escolha de relevância dos impactos;

As atribuições dos indicadores de categorias às respectivas categorias de impacto, seguem, normalmente, dois procedimentos diferentes: para impactos independentes e para os impactos dependentes um dos outros. Os indicadores de impactos independentes podem ser atribuídos na sua totalidade a cada categoria para a qual contribuem, enquanto os indicadores de impactos dependentes devem ser divididos de acordo com a sua contribuição para as categorias de impactos (Clark, 2018).

Um exemplo para cada tipo de atribuição pode ser observado, primeiramente, nas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que seriam alocadas somente para a categoria de impacto do aquecimento global, enquanto uma emissão de óxidos de nitrogénio, com múltiplos impactos, pode ser alocada para a categoria de acidificação, formação de ozono fotoquímico e eutrofização (Clark, 2018).

O resultado desta avaliação pode auxiliar na seleção de indicadores relevantes para o desempenho ambiental, além de poder identificar quais impactos são mais significativos em todo o ciclo de vida (Clark, 2018). Essa abordagem permite analisar, dentro do ICV, a dominância de um indicador dentro de uma categoria de impacto, de forma a favorecer a comparação entre as categorias de impacto em relação ao indicador dominante (Pennington et al., 2004).

Para a realização desta etapa, a escolha dos métodos de avaliação dos impactos deve ser considerada, e de acordo com Guinée (2002) corresponde ao mecanismo ambiental através do qual os indicadores de categorias são determinados. Segundo Jolliet et al. (2003) existem dois métodos de avaliação:

- Métodos clássicos de avaliação de impactos, ou chamados métodos “orientados para o problema”, restringindo-se à modelação quantitativa em termos de causa-efeito, tendo a finalidade de minimizar incertezas e juntar os resultados de inventário das chamadas “categorias *midpoints*”. Estas categorias fazem parte dos resultados considerados intermédios.

- Métodos orientados a danos, que tendem a modelar a cadeia de causa-efeito até às designadas “categorias *endpoint*”, que representam o resultado final. A modelação pode, em alguns casos, agregar níveis elevados de incertezas.

Como exemplificadas na Figura 10, após serem convertidos em indicadores de categorias, os resultados ICV serão atribuídos às categorias de impacto intermédias (*midpoints*) que, por sua vez, poderão ser relacionadas com os resultados de danos finais (*endpoint*). As setas simbolizam um caminho de impacto conhecido ou possível de existir. As setas tracejadas são caminhos incertos entre os pontos médios e as áreas de proteção que não são modeladas quantitativamente (Jolliet et al., 2003).

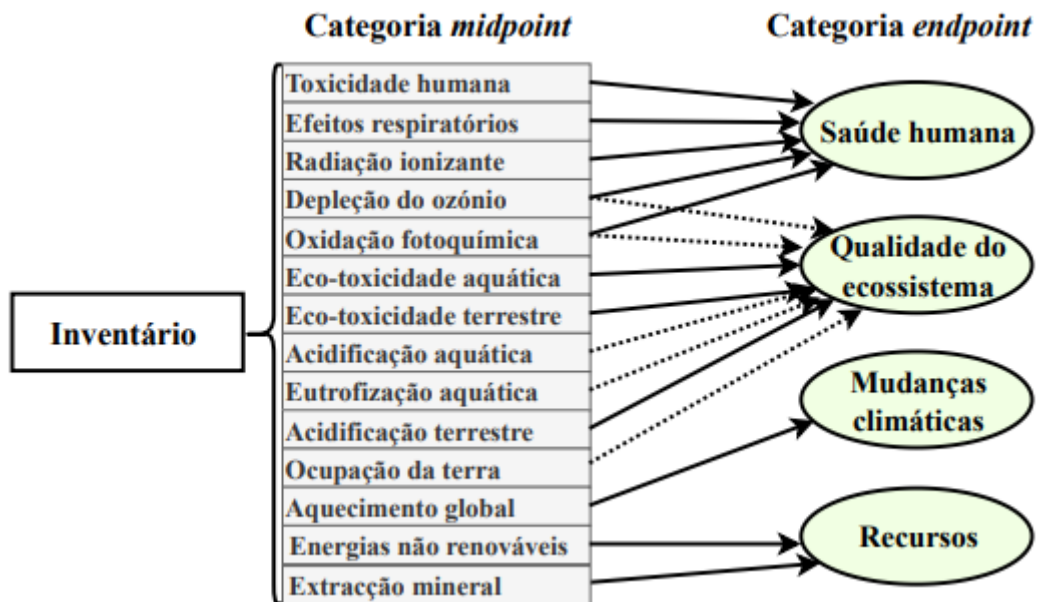


Figura 10. Correlação entre as categorias de impacto *midpoint* e as categorias *endpoint* – estrutura ReCiPe.

Fonte: adaptado de Jolliet et al. (2003).

Segundo Hauschild et al. (2018), para relacionar o ponto médio com o ponto final, são necessários fatores de caracterização de dano, que indicam a capacidade de uma alteração no indicador de ponto médio afetar o indicador de ponto final. Enquanto os fatores de caracterização de ponto médio apresentam as propriedades dos fluxos elementares e, logo, são específicos do fluxo, os fatores de caracterização do ponto final apresentam as propriedades do indicador de ponto médio e, logo, existe apenas um por categoria de impacto no ponto médio.

Ainda de acordo com o mesmo autor, alguns métodos de avaliação possuem somente a caracterização de ponto médio ou caracterização de ponto final, havendo ainda os que

combinam ambos os métodos. É recomendável realizar a AICV utilizando um método que forneça ambos, pois assim é possível obter resultados e interpretações que se complementam (Hauschild, 2018).

### 3.2.3.2 Métodos de avaliação de impactes para ACV

Os métodos de avaliação fazem parte das bases de dados e estão implementados nos *softwares* de ACV. Após uma revisão bibliográfica sobre os métodos utilizados nos artigos referentes ao tema de estudo, identificou-se que na sua grande maioria o método de avaliação mais utilizado tem sido o *CML (Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden)*. Igualmente Petti et al. (2015), após catalogar diferentes tipos de trabalhos (teses, artigos, livros, entre outros) referentes a ACV no setor do vinho, também identificou o método CML como o mais utilizado. Na visão dos autores, isso provavelmente ocorre devido à maturidade em que o método se encontra em relação aos demais.

A seguir, o método CML encontra-se descrito mais detalhadamente. Para mais informação deste método, o leitor pode recorrer ao manual *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards* Guinée (2002).

#### *CML - Institute of Environmental Sciences*

O método *CML* foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Ambientais da Universidade da Universidade de Leiden na Holanda e publicado através do manual *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*.

Os modelos de caracterização foram escolhidos a partir de uma vasta revisão de metodologias presentes no mundo. Desta forma, o método visa fornecer as melhores práticas para indicadores de ponto médio/intermédios (*midpoint*), com menores níveis de incerteza. O manual oferece fatores de caracterização para mais de 1.500 resultados diferentes de ICV.

São abordadas as seguintes categorias de impacte: mudança climática, uso do solo, acidificação, eutrofização, depleção de recursos abióticos, depleção de ozono estratosférico, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha e formação de foto-oxidantes. Algumas outras categorias de impacte podem ser utilizadas, dependendo dos requisitos do estudo. Entre elas estão as seguintes: perda de biodiversidade, impactes da radiação ionizante, perda de função de suporte à vida, mau cheiro

do ar, mau cheiro da água, barulho, calor residual, acidentes, letais, não letais e dessecação (JRC, 2010a; Guinée, 2002).

O método foi desenvolvido para uma abrangência global, com exceção das categorias de acidificação e formação de foto-oxidantes, que apresentam abrangência de aplicação Europeia. Entre as mais interessantes características deste método, destacam-se as seguintes:

- Assenta em fundamentos científicos explícitos que sustentam todas as escolhas importantes;
- Integra fatores alternativos de AICV fornecidos para análise de sensibilidade para cada categoria de impacto;
- Inclui fatores da AICV que podem ser obtidos através de planilhas (CML, 2016), as quais são constantemente atualizadas;
- Uso de categorias de impacto em inúmeros estudos científicos;
- Envolve o desenvolvimento da AICV de acordo com os princípios de outros elementos da metodologia de ACV, como unidade funcional, alocação, normalização, etc., de maneira consistente em relação ao tempo, espaço, não linearidades, mecanismos económicos, sociais e tecnológicos, entre outros.

A seguir estão descritos sucintamente outros métodos de avaliação utilizados e citados na literatura, porém, com menor aplicação em relação ao tema de estudo. Para uma descrição mais detalhada, recorra-se o leitor para a *European Platform on Life Cycle Assessment* – (JRC, 2010a). Os métodos são:

*ReCiPe* – O método consiste na união dos métodos de avaliação *CML* e *EcoIndicador 99*, e integra de maneira consistente as abordagens orientadas ao *midpoint* e *endpoint*. O principal diferencial deste método encontra-se nas características adotadas para a construção das categorias de avaliação. Os dados de normalização estão disponíveis a nível europeu e mundial, tendo por referência o ano 2000.

*IMPACT 2002+* - Este método consiste numa abordagem que combina os modelos *midpoint* e *endpoint* por meio de 14 categorias de ponto médio e 4 categorias de danos. Os resultados podem ser obtidos para ambos os modelos. Este método destaca-se por ter desenvolvido metodologias próprias de cálculos para a obtenção das categorias de toxicidade

humana e ecotoxicidade. As demais categorias foram adaptadas dos métodos de *EcoIndicator 99* e o *CML*.

*Traci* – Trata-se de um modelo *midpoint*, que foi desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency* para avaliar as condições ambientais nos Estados Unidos.

*Eco-Points - Ecological Scarcity Method*: Fornece fatores para ponderação e agregação comparativa de várias intervenções ambientais pelo uso dos chamados eco-fatores. Os eco-fatores são especificamente desenvolvidos por diferentes regiões geográficas, para atender a políticas ambientais e objetivos próprios. É um modelo *endpoint*.

*EPS 2000* – O método de avaliação *midpoint* e *endpoint* criado para auxiliar os produtores em relação à tomada de decisões e planejamento estratégicos. É o primeiro método a possuir as incertezas totalmente definidas e especificadas.

*EDIP 97 / EDIP 2003* – Este método tem como propósito suportar a ACV de produtos industriais com o objetivo de apoiar a análise ambiental quanto ao desenvolvimento de produtos na área do ambiente, recursos e trabalho. Destaca-se por fornecer fatores de caracterização diferenciados para as emissões caracterizadas como não-globais e ruídos. Ambos possuem a abordagem do modelo *midpoint*.

*Eco-Indicador 99* – O método visa simplificar a interpretação de ponderação dos resultados da ACV por meio do cálculo de pontuações únicas (eco indicadores). Este mecanismo torna-se um importante facilitador para o modelo utilizado, o *endpoint*, que neste método, abrange as categorias de dano a saúde humana, qualidade do ecossistema e depleção dos recursos.

*LIME* – Especialmente desenvolvido para avaliações realizadas no Japão, trata-se de um método que suporta características e condições ambientais específicas do país. A abordagem esta orientada para o *midpoint* e *endpoint*.

A definição do método que será utilizado possui alta relevância e traz diferenças significativas para que os resultados obtidos apresentem maior confiabilidade (Zhou et al., 2011). No entanto, muitos estudos de ACV apresentam dificuldades quanto à seleção do método ideal. Para com Hauschild et al. (2018) a escolha do método mais adequado pode ser realizado por meio de uma série de perguntas e critérios que devem ser respondidos sistematicamente. Por exemplo, a saber:

- Quais categorias de impactos deverão ser utilizadas e por qual motivo as demais serão excluídas?
- Em qual região ocorre o estudo?
- Que abordagem será necessária? De ponto médio (*midpoint*), de ponto final (*endpoint*) ou ambas?
- Quais os fluxos elementares a serem caracterizados?
- Existem recomendações relevantes que podem auxiliar no processo de escolha?
- Há necessidade de aplicar a normalização? Se sim, para qual sistema de referência? (Na maioria dos casos, não é recomendável misturar fatores de caracterização e normalização).
- O método está documentado e é comunicável?
- Qual o nível de atualização do método em relação aos progressos científicos?
- Há disponibilidade de recursos/dados para aplicar uma metodologia regionalizada?
- Se necessário, o método está programado para qualificar incertezas?

Para Alvarenga (2010) uma alternativa é a utilização de mais de um método de avaliação de AICV na realização de um determinado estudo, este procedimento pode facilitar à tomada de decisões mais confiáveis, por meio da convergência dos resultados obtidos, no entanto, na ocorrência de divergência nos resultados, o procedimento servirá como critério para a escolha do método que irá oferecer a melhor resposta final.

### **3.2.4 Interpretação dos resultados do ciclo de vida (IRCV)**

Nesta etapa são apresentados e interpretados os resultados da ACV. A interpretação dos resultados deve respeitar os pressupostos, os limites do sistema, a qualidade dos dados e a especificidade do trabalho inicialmente levantados durante a definição do objetivo e do âmbito, ademais, é necessário uma interpretação cautelosa para evitar declarações incoerentes (EPA, 1993; ISO 14044:2006)

Para uma interpretação mais verdadeira, nesta etapa, além da análise das principais contribuições, também podem ocorrer a análise de sensibilidade e a análise de consistência que irão dizer se o pretendido no objetivo e no âmbito da AVC foram alcançados (Cays, 2017).

Através da análise de sensibilidade é possível avaliar a confiabilidade dos resultados. Compreender a sensibilidade pode indicar onde há necessidade de aprimoramento, permitindo

o alcance das melhorias desejadas e a identificação das mudanças necessárias para as reduções dos impactos (UNEP, 2009). Noutras palavras, a análise de sensibilidade ajuda a identificar os processos e os fluxos que contribuem de forma mais relevante, apontando para a necessidade do melhoramento dos dados que foram considerados de pouca importância, porém relevantes para análise de sensibilidade.

De acordo com EPA (2006), todo inventário consiste numa mistura de dados reais e suposições, sendo estas últimas aplicadas quando os dados reais não podem ser obtidos no contexto do estudo ou não existem. Diante disso, como as suposições podem afetar significativamente os resultados do estudo, uma série de cálculos “e se” e/ou análise de sensibilidade são frequentemente realizados para examinar o efeito de alterações a introduzir.

Ainda, segundo a EPA (2006), na prática, uma análise de sensibilidade altera provisoriamente um ou mais parâmetros e afeta o cálculo dos resultados. Ao observar as mudanças nos resultados, é possível determinar a importância de cada parâmetro com relação aos resultados.

No que se refere à análise de consistência, a sua finalidade é estabelecer um determinado grau de confiança para os resultados do estudo. Analisa a consistência em etapas como a fronteira do sistema, recolha de dados, alocação dos dados para categorias de impactos para cada alternativa (JRC, 2010b).

Por fim, após a interpretação ser concluída, é possível inferir conclusões, definir quais foram as limitações do estudo, e então redigir recomendações e relatórios sobre aspetos ambientais significativos para a disposição e apresentação global do estudo aos interessados predefinidos no objetivo.

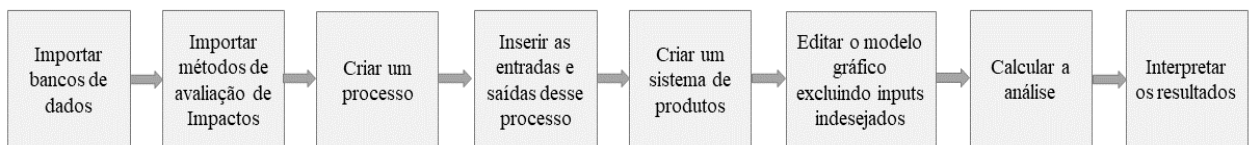
### 3.3 *SOFTWARES PARA APOIO À ACV*

Considerando a importância da ACV descrita no capítulo 3.1 DEFINIÇÃO E VISÃO GERAL, vários programas computacionais têm sido desenvolvidos com o intuito de facilitar e auxiliar as metodologias da ACV. Num estudo realizado por Zocche (2014) foram catalogados 35 *softwares*, dos quais 29 foram desenvolvidos na Europa, em especial na Alemanha e Holanda. Entre os mais difundidos estão os seguintes: GaBi (Alemanha), OpenLCA (Alemanha), LCAPIX (Estados Unidos), Regis (Suíça), SimaPro (Holanda) e Umberto (Alemanha).

De acordo com Campolina et al. (2015), os *softwares* são constituídos por diversas bases de dados que contêm informações ambientais comuns a vários ciclos de vida, e servem como facilitadores para os procedimentos de cálculos de balanços de massa e energia, análise de impactes ambientais e interpretação de resultados. Além disso, para Ribeiro (2009) o uso de *softwares* pode proporcionar uma redução significativa do tempo de coleta e tratamento de informações.

As bases de dados são formadas por inúmeros dados que contêm informações ambientais relevantes relativas ao ciclo de vida de uma grande variedade de produtos, tais como: recursos (fontes renováveis ou não renováveis, etc.), energia (térmica, elétrica, biomassa, etc.), transporte (rodoviário, ferroviário etc.) e tipo de combustível (gasolina, diesel, etc) (Campolina, 2015). Como exemplo de base de dados, pode citar-se o *Ecoinvent* e *Japan National* encontrados em *softwares* como GaBi, SimaPro e Umberto.

A Figura 11 exemplifica quais são as etapas de uma análise de ciclo de vida pelo *software* OpenLCA.



**Figura 11. Etapas da ACV pelo OpenLCA.**  
 Fonte: adaptado de Jolliet et al. (2003).

Primeiramente, é importado para o *software* toda a base de dados relevante para a ACV que será realizada. Todos carregam informações sobre diferentes fluxos de massa, energia e emissão. Após a adição dos dados, é necessário selecionar os métodos de avaliação de impacte, responsáveis por realizar a leitura dos dados e fornecerem o resultado dos cálculos de acordo com a análise desejada. Cada dado pode abranger diversos impactes diferentes e mesmo nas ocasiões em que diferentes métodos ofereçam o mesmo tipo de impacte, o resultado da análise pode ser diferente de um para o outro (OpenLCA, 2020).

### 3.4 ACV APLICADA NO SETOR DO VINHO

O investimento em práticas ambientais para o “desenvolvimento sustentável” tem por finalidade proteger o ambiente e conservar os recursos naturais, também significa estratégia de diferenciação, entrada no mercado, imagem corporativa, vantagem competitiva, reputação,

qualidade do produto e serviços, e fatores monetários (Berry e Rondinelli, 1998; Bhaskaran et al., 2006).

De acordo com o guia da sustentabilidade da IOV (2010), a viticultura sustentável é definida como uma estratégia na escala global em toda cadeia produtiva e de valor do vinho, com vista a produzir produtos de qualidade, considerando requisitos como a proteção e conservação do ambiente, a segurança e saúde do consumidor, a valorização de património, e os aspetos históricos, culturais, ecológicos e paisagísticos.

Na indústria do vinho, a qualidade ambiental do produto tem sido vista como uma variável necessária para manter ou aumentar a competitividade no mercado (Gabzdylova et al., 2009). Em resposta a isso, a ACV tem sido uma ferramenta crescente na literatura académica, especialmente, no que diz respeito a responder às necessidades de implementação da sustentabilidade.

A ISO 14040:2006 é uma das ferramentas de gestão da ACV mais utilizada no setor do vinho (Mariani e Vastola, 2015) e em muitos outros setores. Nos últimos anos, diferentes tipos de ACV do vinho foram desenvolvidos utilizando diversas bases de dados, condições de fronteiras e métodos de avaliação para interpretar resultados (Ferrara e De Feo, 2018).

A Tabela 3 apresenta alguns estudos de ACV aplicados ao setor vitivinícola. Para cada estudo, são indicados os autores, o *software* e o método de avaliação utilizado, o país que o desenvolveu, a fronteira do sistema abordada e seus principais objetivos.

**Tabela 3. Estado da arte no uso da ACV aplicada em sistemas de tratamento com diferentes contextos (continua).**

Referências	Software	Método	País	Fronteira do sistema	Objetivos
Gazulla et al. (2010)	GaBi	CML	Espanha	V <sup>1</sup> , V <sup>2</sup> , E, D, DR	Com duplo objetivo, o estudo pretendeu definir os processos mais críticos da produção do vinho do ponto de vista ambiental e compará-los com outros vinhos e cervejas.
Point et al. (2012)	SimaPro	CML	Canadá	V <sup>1</sup> , V <sup>2</sup> , E, D, DR	Conhecer os impactes e buscar melhorias no desempenho ambiental da produção de vinho.
Vázquez et al. (2013)	SimaPro	IPCC 2007	Itália, Espanha e Luxemburgo	PV, V <sup>1</sup> , V <sup>2</sup> , E	Com a finalidade de identificar as principais razões para a variação de resultados da pegada do carbono, este estudo aplicou a pegada do carbono em diferentes vinhos de diferentes regiões, aplicando para todos a mesma premissa metodológica de ACV.

**Tabela 3. Estado da arte no uso da ACV aplicada em sistemas de tratamento com diferentes contextos (continua).**

Referências	Software	Método	Região	Fronteira do sistema	Objetivos
Neto et al. (2013)	SimaPro	CML	Portugal	V <sup>1</sup> , V <sup>2</sup> , E, D	Avaliou os impactes ambiental de um vinho português. Também realizou a análise de sensibilidade dos dados, a fim de identificar os fatores que mais influenciam os resultados do estudo.
Quinteiro et al. (2014)	GaBi	CML	Portugal	PV, V <sup>1</sup> , V <sup>2</sup>	Analizou a pegada hídrica da produção de um vinho verde em Portugal, sobre diferentes metodologias de ACV.
Amienyo et al. (2014)	GaBi	CML	Austrália	V <sup>1</sup> , V <sup>2</sup> , E, D, DR	Avaliar os impactes ambientais de um vinho tinto produzido na Austrália e consumido no reino unido.
Iannone et al. (2015)	SimaPro	Impact 2002+	Itália	V <sup>2</sup> , E, D, DR	Avaliar os impactes ambientais e a eficiência energética na produção de vinho por pequenos produtores, com enfoque na categoria de aquecimento global.
Bonamente et al. (2016)	SimaPro	Ecoinvent	Itália	V <sup>1</sup> , V <sup>2</sup> , E, D, DR	Aplicar a pegada do carbono e pegada hídrica, para a identificação dos pontos críticos ambientais e oferecimento do suporte para decisões estratégicas de sustentabilidade.

Nota: PV – Plantação da vinha; V<sup>1</sup> – Vinha (cultivo da uva e colheita); V<sup>2</sup> – Vinificação; E – Engarrafamento (inclui a produção das embalagens); D – Distribuição e DR – Destinação final de resíduos.

Fonte: autoria própria.

Embora as associações industriais e governamentais estejam fomentando a importância do desenvolvimento sustentável do setor do vinho, ainda existe uma taxa de abstenção muito alta em relação às ferramentas de gestão a serem aplicadas. Isso ocorre principalmente quando há dificuldade em reconhecer claramente os benefícios a serem obtidos a partir dessas atividades ou quando estes benefícios parecem não compensar o esforço, o tempo e os custos necessários para implementá-las (Christ e Burritt, 2013). Vale lembrar que, ainda que vencidas essas dificuldades, as ferramentas são muitas vezes aplicadas em condições de escassez de informações ambientais importantes.

No entanto, muitas organizações da indústria do vinho têm-se unido em busca de possibilitar e garantir a existência de informações e ferramentas ambientais mais completas e consistentes, com vista a compartilhar os benefícios económicos e ambientais entre si. Um exemplo desta união pode ser visto num estudo da Autoridade de Proteção Ambiental no Sul da Austrália (EPA), em que um grupo de pequenas empresas se juntaram à EPA, a fim de realizar um projeto orientado para a ecoeficiência, com o objetivo de melhorar o desempenho

ambiental de seus produtos, além de transmitir e promover os benefícios do conhecimento adquirido através do projeto (SAEPA, 2004).

### 3.5 ANÁLISE DE CENÁRIOS

A análise de cenários é uma importante ferramenta que permite obter uma visão de longo prazo, utilizada como suporte estratégico no processo de tomada de decisões (Blyth, 2005). Para Moritz (2004), a ferramenta auxilia na projeção de ambientes futuros, de forma a facilitar a busca das metas futuras na organização. Além disso, esta análise permite que as organizações encontrem respostas rápidas às mudanças do ambiente, enquanto se desenvolvem suas cenas e trajetórias.

Segundo Coates (2016) existem dois objetivos para se recorrer a análises de cenários, o primeiro é para quando se pretende estimular uma ideia a ser conduzida no futuro e, o segundo objetivo é utilizar o cenário para avaliar as consequências de escolhas hipotéticas ou já realizadas.

Sob a mesma perspectiva, Carpenter et al. (2012) atribui duas funções à construção de cenários, uma diz respeito à estratégia de criatividade e desenvolvimento de novas ideias para o futuro, enquanto a outra é a gestão de riscos, na qual os cenários permitem estratégias e decisões a serem testadas em relação a possíveis futuros.

Na prática, o cenário permite interpretar os resultados de um estudo sobre diferentes condições para a comparação de distintas alternativas (JRC, 2010b), isto é, após a execução e obtenção dos resultados iniciais do sistema em estudo, os cenários são desenvolvidos para compreender a importância dos dados utilizados por meio de alterações de um ou mais principais pontos de dados (Sengupta et al., 2016).

Para a criação de um bom cenário, é necessário assumir hipóteses verdadeiras para o futuro, eliminando elementos muito pouco prováveis de serem executados na realidade. Somente um cenário com perspectivas reais levará uma organização a mudanças significativas. De acordo com (Blyth, 2005), os cenários desafiam os tomadores de decisões a abandonar a mentalidade de suposições de longa data e focar a sua imaginação em horizontes possíveis.

De forma genérica, as construções de cenários envolvem três estágios, a saber (Godet, 2012):

- Situação atual: uma imagem detalhada do estado atual do sistema em estudo, sua delimitação e determinação das variáveis;
- Situação futura: definição dos possíveis cenários e suas probabilidades, impactes, etc; e
- Descrição da evolução dos acontecimentos da situação atual até a situação futura de cada cenário.

A preocupação sobre as questões ambientais tem ganhado elevadas proporções, assim como a busca para compreender as perspectivas para o futuro do planeta. Neste sentido, a análise de cenários também tem sido aplicada. Um exemplo desta, é o trabalho realizado por uma equipa de 95 pesquisadores de 25 países diferentes que propunha uma avaliação de possíveis cenários que abordam mudanças futuras no ecossistema, na oferta e procura de serviços ecossistémicos e nas consequentes mudanças no bem-estar humano para o ano de 2050 (Carpenter et al., 2012).

No setor do vinho os cenários encontram aplicação em diferentes contextos em busca de variadas respostas. Por exemplo, Iannone et al. (2015) descreve a aplicação da análise de cenários relativas a duas alternativas possíveis para avaliar as condições de gasto energético para diferentes formas de regulação de temperatura na produção de quatro tipos de vinhos produzidos por um pequeno produtor na parte sul da Itália.

O estudo realizado por Amienyo et al. (2014) avaliou os ganhos ambientais relativos a diferentes opções de materiais para engarrafamento de vinho Australiano, para tal considerou o uso de garrafas de vidro com adição de materiais recicláveis, garrafas de vidros mais leves e o uso de caixas de papelão.

Noutro estudo, desenvolvido por Point et al. (2012), abordaram-se diferentes estágios da produção: cenário com uma vinha orgânica; cenário com garrafas de menor peso; e cenário com acréscimo nas distâncias do transporte e alteração no tipo de transporte (e.g. navio).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo inicia-se com a apresentação da localização da área de estudo, seguido da metodologia aplicada para o desenvolvimento deste estudo. Assim, encontra-se os principais elementos que compõe a ACV, tais quais, o *software* de apoio; método de avaliação; a unidade funcional; a fronteira do sistema e alocação. Também se apresenta o inventário de ciclo de vida e identificam-se as categorias de impactes adotadas neste estudo. Finalmente, são definidos os cenários objeto de avaliação neste estudo.

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo teve por base duas vitivinícolas situadas na região sul de Portugal, designadas a partir de agora por sistema A e sistema B, para preservar a identificação das empresas que não desejam ser expostas. Os dois sistemas integram áreas próprias de vinha, vinificação, engarrafamento e comercialização dos seus próprios vinhos. Ambas produzem vinhos do tipo tinto, branco e rosé, e ainda, vinhos espumantes.

O sistema A localiza-se na região do Ribatejo, mais especificamente, na margem direita do rio Tejo. O local é caracterizado por um clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente (IPMA, 2020), o solo é pouco produtivo e de origem calcária e argilosa. Por ser uma zona de elevada temperatura, as uvas neste local apresentam melhores condições de maturação do que em outras áreas da região (IVV, 2020).

O sistema B encontra-se na região do Alentejo, é considerada uma das melhores regiões vitivinícolas de Portugal (IVV, 2020). O local também é caracterizado pelo clima temperado, com inverno chuvoso e verão seco e quente (IPMA, 2020), e solo pouco fértil. A composição do solo nesta região é bastante heterogénea, contendo argila, granito, calcário ou xisto. Por ser uma zona muito soalheira, também oferece perfeita maturação para as uvas (IVV, 2020).

A Figura 12 apresenta as regiões vitivinícolas de Portugal e o quadrante na Figura destaca a região sul onde se concentram as duas empresas em estudo.

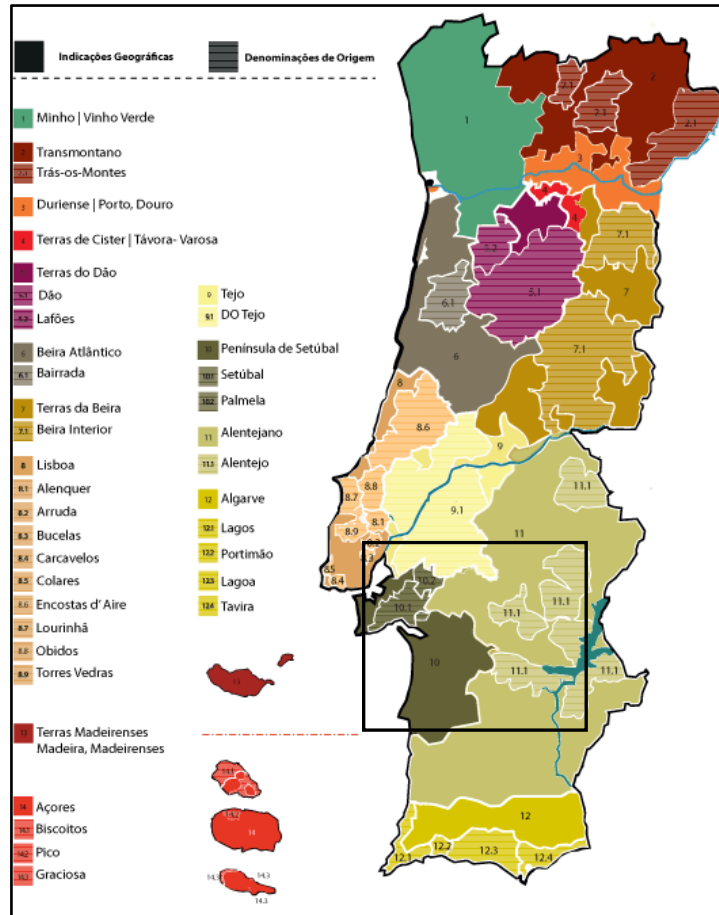


Figura 12. Destaque da localização onde se concentram as vitivinícolas em estudo.  
 Fonte: adaptado de Clube vinhos portugueses (2020).

#### 4.2 SOFTWARE E MÉTODO DE AVALIAÇÃO

O *software* utilizado nesta dissertação é o GaBi, 9.1, desenvolvido na Alemanha pela empresa PE *International*, atual *Thinkstep*. O GaBi possui uma base de dados profissional com cobertura mundial. É uma ferramenta criada para dar suporte a análises de ciclo de vida, tendo sido desenvolvida para, entre outras aplicações, rastrear automaticamente todos os fluxos de materiais, energia e emissões, efetuar os cálculos do ciclo de vida, realizar a avaliação do ciclo de vida, relatórios de ciclo de vida e ciclo de vida em ambiente de trabalho (Thinkstep, 2019).

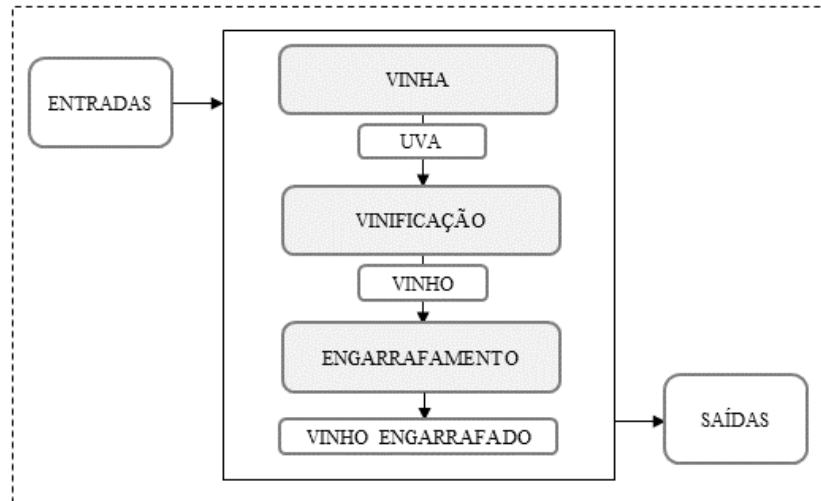
Como referido no capítulo III, o método usado para avaliar os impactes ambientais foi o CML 2001 proposto por Guinée (2002), tendo sido utilizada a versão mais recente desta metodologia, CML 2016. O método CML geralmente é selecionado devido à sua cobertura de ampla gama de impactes ambientais relevantes para o vinho (Amienyo et al., 2014). Como método intermedio – *midpoint*, também ajuda a eliminar as incertezas, permitindo uma análise

dos impactes individuais, em vez de agregá-los numa única medida de dano ambiental – *endpoint*.

### 4.3 FRONTEIRA DO SISTEMA

Em todos os estágios de produção do vinho foram considerados os processos que são passíveis de obter dados reais e significativos para o estudo, tendo por objetivo representar o máximo possível da massa total, os insumos energéticos totais e todos os insumos de relevância ambiental necessária à cadeia produtiva.

Comummente, a fronteira do sistema é limitada de acordo com os dados disponíveis para a realização da ACV, pois compilar todos os dados necessários para uma ACV completa pode exigir muito tempo e recursos, tornando a técnica inviável de ser desenvolvida. Neste contexto, a fronteira do sistema limitou-se, de acordo com o detalhe dos dados disponíveis, aos estágios da produção da uva, produção de vinho e engarrafamento, ou seja, adotou-se o método "do berço ao portão" (Figura 13).



**Figura 13. Definição da fronteira do sistema para ACV da produção do vinho.**  
 Fonte: autoria própria.

### 4.4 UNIDADE FUNCIONAL

De forma a auxiliar a interpretação dos resultados e a permitir estabelecer comparações com outras pesquisas, a unidade funcional (UF) selecionada para este estudo foi uma garrafa de vinho de 0,75L, tendo por base outros estudos como os citados no subcapítulo 3.4 “ACV

APLICADA NO SETOR DO VINHO”. Considerou-se também, o facto de o uso desta garrafa ser a mais utilizada na comercialização de vinho em Portugal.

#### 4.5 ALOCAÇÃO

Uma série de coprodutos são gerados durante a produção do vinho, porém, muitos estudos não se referem à alocação destes. Alguns autores não consideram a alocação, devido aos coprodutos (e.g. engaço e borra) não estarem incluídos na análise do sistema de estudo ou por estes produtos serem considerados resíduos que podem servir de matéria prima para outros produtos (Arzoumanidis et al., 2014 e Petti et al., 2015).

Dado que o sistema de estudo envolve apenas um produto, o vinho propriamente dito, não houve necessidade de se utilizar procedimentos de alocação.

#### 4.6 INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)

Esta etapa é descrita de forma genérica no subcapítulo 3.2.2. Neste caso, pretende-se agregar os dados relativos aos recursos e produtos utilizados, assim como as emissões atmosféricas, resíduos ou efluentes gerados nos estágios de produção do vinho. Para este estudo, a avaliação de impacte da produção do vinho no sul de Portugal teve por base as características de duas empresas produtoras de vinhos, conforme já mencionado no subcapítulo 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

Os dados foram adquiridos, principalmente, junto aos gestores das duas indústrias vinícolas, por meio da aplicação de questionários detalhados para extrair informações primárias relevantes de cada estágio de produção. Os dados primários utilizados correspondem ao ano de 2017, para a produção de vinho tinto, branco e rosé (não foram produzidos espumantes). Recorreu-se igualmente à troca de vários e-mails entre as partes, devido à necessidade de esclarecimentos adicionais. Além disso, informações desconhecidas pelos gestores foram obtidas através de entrevistas com especialistas do setor; da literatura/referências bibliográficas; e do conjunto de base de dados disponíveis no *software*.

Os transportes relativos aos produtos a montante e a jusante do sistema de estudo, nomeadamente produtos indiretos à produção estão inclusos na análise. No geral, a distribuição de um produto de consumo raramente é identificada como uma das áreas relevantes de impacte

ambiental numa ACV. No entanto, visto que todos os produtos são distribuídos, o transporte torna-se relevante no contexto social (UNEP, 2007).

#### 4.6.1 Descrição geral dos processos adotados – *Software GaBi*

A seguir, são esclarecidos os processos adotados da base de dados presentes no *software GaBi* que complementam o inventário nesta ACV.

✓ Mix energético

A eletricidade foi utilizada em todas os estágios de produção do vinho, desde a vinha até ao engarrafamento. Neste trabalho, para representar a eletricidade, foi utilizado o processo de mistura de redes de eletricidade para Portugal - *PT: Electricity grid mix*, considerando o cenário de produção do ano de 2016. A base de dados abrange toda a cadeia de abastecimento dos combustíveis desde a exploração, extração, refinamento e transporte para as centrais elétricas, inclui ainda, a eletricidade importada dos países vizinhos e perdas de transmissão.

✓ Máquinas Agrícolas

Para melhor apresentar a contribuição para os impactes relativos ao uso de máquinas agricultura nas vinhas, adotou-se o processo – *GLO: Tractor Universal*. Este processo foi criado para modelar as características gerais dos gases de escape a partir da queima de diesel, nomeadamente HC, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, material particulado e benzopireno. Este processo permite que o conjunto de dados seja adaptado à situação específica do país ou região.

✓ Produtos fitossanitário e agente de limpeza

Dada a difícil construção de um processo complexo como a fabricação de um produto fitossanitário, optou-se por utilizar processos existentes no *GaBi* para representar estes produtos. Para os herbicidas foi utilizado o processo – *DE Herbicide unspecific*, para os inseticidas o processo - *DE Insecticide unspecific*, e o processo - *DE Fungicide unspecific* para os fungicidas. Neste mesmo sentido, adotou-se o processo - *EU-28 Sodium hydroxide (caustic soda) mix (100%)*, para representar o hidróxido de sódio utilizado como agente de limpeza na

vinícola. Os processos escolhidos caracterizam a fabricação de cada produto, abrangendo o conjunto de dados de todas as suas cadeias de suprimento (desde a aquisição da matéria prima à saída do portão de fábrica).

✓ Óleo lubrificante

O óleo lubrificante é utilizado para melhorar o desempenho dos equipamentos na adega. Neste trabalho, para representar óleo lubrificante foi utilizado o processo - *EU-28 Lubricants at refinery*. O conjunto de dados abrange toda a cadeia de suprimento da refinaria, isso inclui a perfuração de poços, a produção e processamento de petróleo bruto, bem como os transportes envolvidos. Também são consideradas todas as tecnologias a jusante do refino.

✓ Produtos relativos ao engarrafamento e à embalagem

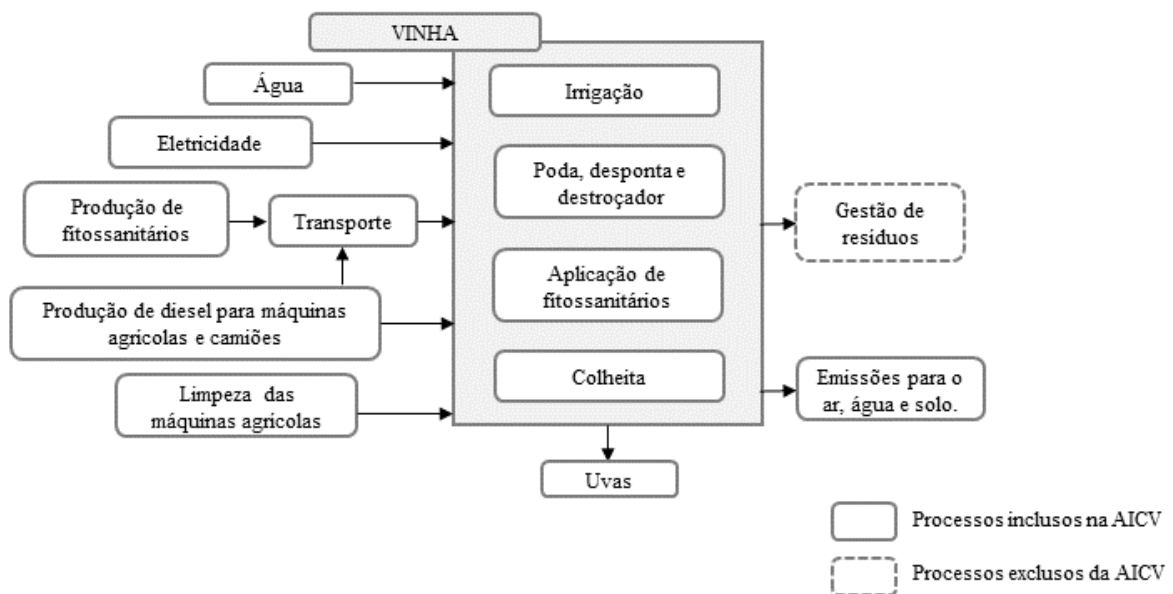
Para melhor representar o estágio de engarrafamento e embalagem também se utilizou de processos existente no GaBi. O processo de produção de vidro (*EU-28 Container glass*) possui aplicação sobretudo a garrafas de bebidas, incluindo garrafas de vinho. O conjunto de dados representa uma produção de vidro 100% virgem. O processo de placas de cortiça (*EU-28 Corkboard*) é composto basicamente pela fabricação dos componentes da formulação e o rejuntamento dos mesmos. Por fim, o processo de cartão ondulado (*EU-28 Corrugated board*) que representa a embalagem para a garrafa do vinho. O conjunto de dados deste processo abrange todos os estágios da cadeia de suprimentos do berço ao portão.

✓ Transporte e combustível

Este estudo considerou o transporte rodoviário de todos os produtos a montante da produção, bem como o transporte dos resíduos e coprodutos gerados. O modelo de transporte adotado foi um veículo a diesel, utilizado para curtas distâncias de distribuição e com capacidade de carga útil variável – *GLO: Truck*. O processo que caracteriza a fabricação do combustível diesel abrange o conjunto de dados de toda a cadeia de suprimentos (desde a aquisição de petróleo bruto, por perfurações de poços, à produção, processamento e transporte para as refinarias), tendo por referência a União Europeia – *EU-28: Diesel mix at refinery*, no ano de 2013.

#### 4.6.2 Inventário da vinha

As atividades na vinha decorrem durante todo o ano e, associada a estas atividades, está uma série de produtos e materiais que são aplicados e utilizados. Para este estudo, esta etapa compreende ao período ativo das videiras, correspondente às atividades de intervenção em verde (poda, despona e destroça), tratamentos fitossanitários, uso de água e energia, vindima, além de um conjunto de emissões e resíduos produzidos. A Figura 14 apresenta os processos que estão incluídos dentro da fronteira do sistema deste estudo com relação ao estágio da vinha.



**Figura 14. Principais fluxos de entrada e de saída de emissões na vinha.**

Fonte: autoria própria.

As vitivinícolas em estudo (A e B), obtiveram uma produtividade total de 965.260 kg/ano e 1200.000 kg/ano de uvas na campanha de 2017, respetivamente. O valor da produtividade média inclui o total da produção de todas as diferentes castas produzidas na vinha. As principais características dos sistemas de produção de ambas as vinhas estão presentes na Tabela 4.

**Tabela 4. Principais características das vinhas analisadas.**

Característica		Quantidade	
		Sistema A	Sistema B
Área da vinha	Área (ha)	140	250
Consumo de água	(m <sup>3</sup> /ha)	688,72 (subterrânea)	1500 (subterrânea e de rede)
Consumo de energia	Elétrica (kWh/ano)	48.719	36.895
Máquinas agrícolas <sup>1)</sup>	(un.)	5 un. (consumo 6 L/h)	5 un. (consumo 7 L/h)
Produtos fitossanitários	(kg/ha)	35,88	20,50
Transporte de produtos	Distância (km)	60	70

Nota: <sup>1)</sup> Máquinas agrícolas utilizadas para poda, despona, destroça, aplicação de fitossanitários e vindima. Os valores apresentados são referentes ao total consumido no ano de referência (2017).

Na Tabela 5, procede-se à inventariação dos recursos e materiais utilizados, que dão entrada nos sistemas, e são igualmente apresentados na mesma tabela, os dados referentes a emissões e resíduos gerados. Como referido no subcapítulo 4.4, os dados de inventário são reportados à unidade funcional de 0,75 litros de vinho produzido. Os cálculos levam em conta a produtividade média por hectare de vinho e a quantidade de uvas usadas para produzir o vinho.

Os processos excluídos deste estudo incluíram o estágio de viveiro (antes do cultivo da vinha), devido, principalmente à falta de dados. No entanto, dada a longevidade da maioria das videiras e a pequena substituição que deve ocorrer anualmente, a sua exclusão não afeta significativamente os resultados (Bosco et al., 2011).

Como também pode ser observado, a Figura 14 e a Tabela 4 não mencionam a fertilização. Isso ocorre porque ambos produtores (A e B) declararam não utilizar fertilizantes sintéticos nas vinhas, mas sim o engaço, um resíduo orgânico resultante da etapa da vinificação (utiliza do mesmo recurso de Vázquez-Rowe et al. (2012). O engaço é um subproduto rico em matéria orgânica e nutrientes, com elevado potencial de fertilização e tem sido fortemente utilizado na vinha (Ruggieri et al., 2009).

A fertilização geralmente ocorre uma vez a cada cinco anos e no ano de referência (2017) não houve aplicação nas vinhas em estudo. Como em muitas aplicações agrícolas, os nutrientes dos fertilizantes aplicados na safra podem permanecer no campo e ser utilizados pelas videiras durante os anos posteriores e devido à complexidade envolvida em modelar esse efeito para o engaço, este processo foi ignorado e considerado irrelevante neste estudo.

Para uma correta estimativa das emissões (ar, água e solo), devido ao uso de produção de fitossanitários seria necessário conhecer um grande número de fatores acerca da aplicação dos produtos (EMEP/EEA, 2019c). Não sendo possível levantar e avaliar todos os fatores no curto período em que decorreu este estudo, foram utilizados fatores de emissão de acordo com os mencionados no trabalho de Margni et al. (2002) e Fusi et al. (2014). Foram consideradas

que as emissões das substâncias ativas dos produtos fitossanitários ocorriam com valores de 85% para o solo, 10% para o ar e 5% que ficaria contido nas folhas.

As emissões por uso de fitossanitários aplicados ao solo e que atingirão um corpo de água (água de superfície ou subterrânea) foram estimadas seguindo as recomendações sugeridas no guia de Franke et al. (2013).

As emissões gasosas provocadas pela utilização de caminhões para os transportes dos insumos, nomeadamente relativas à combustão de diesel, foram calculadas através da metodologia EMEP/EEA (2019b). Para tal, foi aplicada a abordagem *Tier 2*, considerando a mesma categoria de veículo utilizado no *software*. Esta metodologia também é válida e aplicada aos demais estágios de produção a seguir.

Também deve ser referido que os resíduos decorrentes das intervenções em verde não foram contabilizados por serem deixados no solo do local das vinhas sem um destino específico.

**Tabela 5. Dados do inventário da vinha por UF (continua).**

Produção do vinho (0,75 L)	Quantidade		Un.	Referência
	Sistema A	Sistema B		
<b>Entradas</b>				
Área de plantio	1,45	2,08	m <sup>2</sup>	Questionário
Água <sup>1)</sup>	1,25 10 <sup>-1</sup>	3,13 10 <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup>	
Energia elétrica <sup>2)</sup>	5,05 10 <sup>-2</sup>	3,07 10 <sup>-2</sup>	kWh	
Diesel <sup>3)</sup>	7,58 10 <sup>-3</sup>	8,78 10 <sup>-3</sup>	kg	
<b>Produtos fitossanitários</b>				
Alaska Micro <sup>4)</sup>	-	8,33 10 <sup>-4</sup>	kg	Questionário
Azbany <sup>4)</sup>	-	8,33 10 <sup>-5</sup>	kg	
Cabrio Top <sup>4)</sup>	-	2,50 10 <sup>-4</sup>	kg	
Collis <sup>4)</sup>	1,18 10 <sup>-5</sup>	-	kg	
Eminent 125 <sup>4)</sup>	1,16 10 <sup>-5</sup>	-	kg	
Emir <sup>5)</sup>	-	6,25 10 <sup>-4</sup>	kg	
Envidor <sup>6)</sup>	-	8,33 10 <sup>-5</sup>	kg	
Flint <sup>4)</sup>	-	3,13 10 <sup>-5</sup>	kg	
Glifosato <sup>5)</sup>	-	4,17 10 <sup>-4</sup>	kg	
Luna <sup>4)</sup>	-	8,33 10 <sup>-5</sup>	kg	
Luzindo <sup>6)</sup>	9,57 10 <sup>-5</sup>	-	kg	
Karathane Star <sup>4)</sup>	1,93 10 <sup>-5</sup>	-	kg	
Katana <sup>5)</sup>	-	4,17 10 <sup>-5</sup>	kg	
Melody Super <sup>4)</sup>	1,45 10 <sup>-3</sup>	2,71 10 <sup>-4</sup>	kg	
Melody WG <sup>4)</sup>	-	-	kg	
Microthiol <sup>4)</sup>	2,90 10 <sup>-4</sup>	-	kg	
Profiler <sup>4)</sup>	-	5,21 10 <sup>-4</sup>	kg	
Rhodax Flash <sup>4)</sup>	-	3,13 10 <sup>-4</sup>	kg	
Ridomil Combi <sup>4)</sup>	1,91 10 <sup>-4</sup>	-	kg	
Rontrat <sup>5)</sup>	2,18 10 <sup>-3</sup>	-	kg	
Targa Gold <sup>5)</sup>	-	6,25 10 <sup>-4</sup>	kg	
Tebutop <sup>4)</sup>	-	8,33 10 <sup>-5</sup>	kg	
Vinostar <sup>4)</sup>	6,53 10 <sup>-4</sup>	-	kg	
Vitipecc C <sup>4)</sup>	2,90 10 <sup>-4</sup>	-	kg	
Vivando <sup>4)</sup>	9,57 10 <sup>-6</sup>	-	kg	
<b>Saída</b>				
Emissões devido a produção energia elétrica	Base de dados do <i>software</i> Gabi 9.1			
Emissões devido a produção do diesel				

Tabela 5. Dados do inventário da vinha por UF (continua).

Produção do vinho (0,75 L)	Quantidade		Un.	Referência	
	Sistema A	Sistema B			
<b>Saídas</b>					
Emissões devido a produção de fitossanitários		Base de dados do <i>software</i> Gabi 9.1			
Emissões devido a aplicação de fitossanitários.	solo	$4,42 \cdot 10^{-3}$	$3,62 \cdot 10^{-3}$	kg	Margni et al. (2002) <sup>7)</sup>
	ar	$5,21 \cdot 10^{-4}$	$4,26 \cdot 10^{-4}$	kg	Margni et al. (2002) <sup>7)</sup>
	água	$5,64 \cdot 10^{-5}$	$3,98 \cdot 10^{-5}$	kg	Franke et al. (2013)
Combustão – Camiões <sup>8)</sup>					
	Pb	$6,83 \cdot 10^{-11}$	$1,14 \cdot 10^{-10}$	kg	EMEP/EEA (2019b)
	CO	$6,18 \cdot 10^{-7}$	$1,03 \cdot 10^{-6}$	kg	
	CO <sub>2</sub>	$4,23 \cdot 10^{-6}$	$7,09 \cdot 10^{-6}$	kg	
	N <sub>2</sub> O	$4,25 \cdot 10^{-7}$	$4,96 \cdot 10^{-7}$	kg	
	NH <sub>3</sub>	$9,57 \cdot 10^{-8}$	$1,60 \cdot 10^{-7}$	kg	
	NM <sub>2</sub> OC	$6,96 \cdot 10^{-8}$	$1,17 \cdot 10^{-7}$	kg	
	NO <sub>x</sub>	$1,31 \cdot 10^{-5}$	$2,20 \cdot 10^{-5}$	kg	
	PM <sub>10</sub>	$1,40 \cdot 10^{-7}$	$2,35 \cdot 10^{-7}$	kg	
	PM <sub>2,5</sub>	$1,40 \cdot 10^{-7}$	$2,35 \cdot 10^{-7}$	kg	
	TSP <sub>10</sub>	$1,40 \cdot 10^{-7}$	$2,35 \cdot 10^{-7}$	kg	
Combustão – Máquinas agrícolas		Base de dados do <i>software</i> Gabi 9.1			

Notas: <sup>1)</sup> O valor inclui a água consumida na irrigação e na lavagem das máquinas agrícolas.

<sup>2)</sup> Energia elétrica consumida na bombagem da água<sup>1)</sup>.

<sup>3)</sup> O valor inclui o diesel utilizado para a operação das máquinas agrícolas (poda, despona, destroça, aplicação de fitossanitários e vindima) e nos camiões para o transporte dos materiais necessários a produção (e.g. produtos fitossanitários).

<sup>4,5 e 6)</sup> Produtos fitossanitários – Fungicida, herbicida e Inseticida, respetivamente.

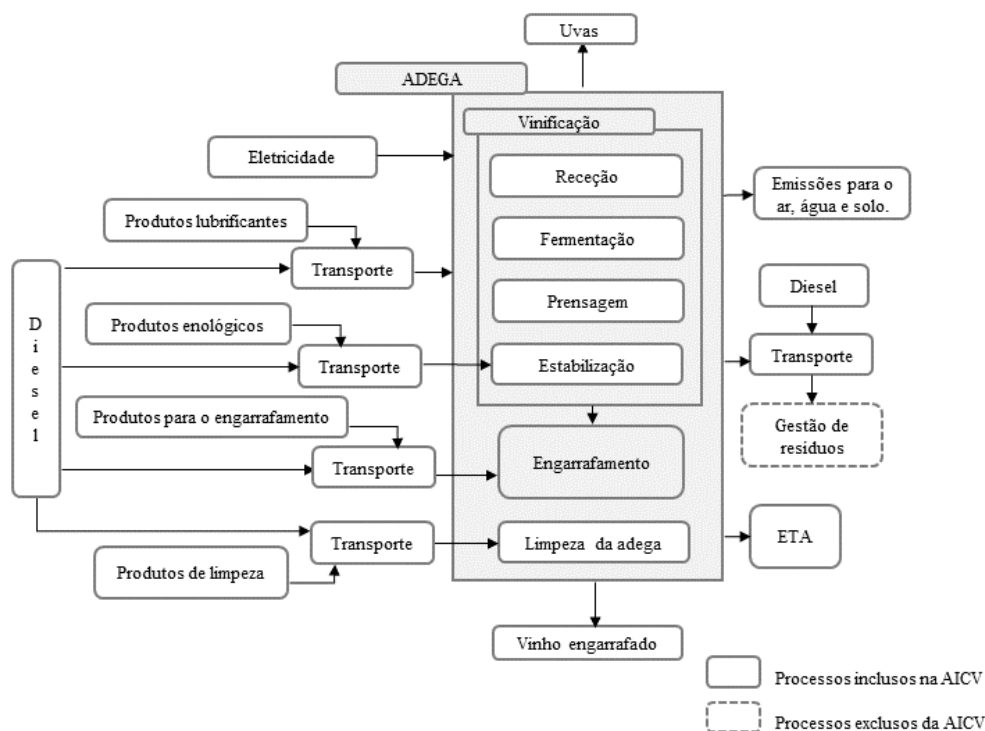
<sup>7)</sup> Inclui a referência Fusi et al. (2014).

<sup>8)</sup> O valor inclui as emissões para o ar, devido à combustão de diesel utilizado para o transporte dos materiais necessários para a produção da uva (e.g. produtos fitossanitários).

### 4.6.3 Inventário da vinificação

Esta etapa incide sobre uma série de processos descritos na Figura 15 relacionados com a transformação da uva em vinho. Embora as vinícolas em estudo produzam diferentes tipos de vinho (tinto, branco e rosé), a falta de algumas informações específicas (e.g. linhas de barris, clarificação e etc.) tornou inviável avaliar os impactes ambientais de forma isolada para cada vinho produzido, portanto, este estudo avalia os impactes das vinícola de forma global, sem diferenciar os diferentes tipos de vinhos.

No ano de referência (2017) foram produzidos, nos sistemas (A e B), cerca de 713.975 L/ano e 870.000 L/ano, respetivamente, incluindo a produção de todos os vinhos produzidos nas vinícolas. As principais características dos sistemas de produção de ambas as vinícolas no estágio de vinificação estão presentes na Tabela 6.



**Figura 15. Principais fluxos de entrada e de saída da vinificação.**  
 Fonte: autoria própria.

**Tabela 6. Principais características do estágio de vinificação das empresas de vinhos analisadas.**

Característica		Quantidade	
		Sistema A	Sistema B
Consumo de água	(m <sup>3</sup> /ano)	2.274	3.101
Consumo de energia	(kWh/ano)	113.720	86.879
Produtos enológicos	(kg/ano)	3.130	3.516
Produtos de limpeza <sup>1)</sup>	(kg/ano)	940	3.000
Transporte de produtos	(km/ano)	840	1.020
Bagaço (resíduo orgânico)	(kg/ano)	100.380	250.000
Borra (resíduo orgânico)	(L/ano)	25.000	26.000
Água residual gerada	(m <sup>3</sup> /ano)	Igual ao consumo	Igual ao consumo
Óleo lubrificante	(L/ano)	6	6

Nota: <sup>1)</sup> Produto de Limpeza: NaOH.

Os valores apresentados são referentes ao total consumido no ano de referência (2017).

A inventariação dos principais fluxos de materiais e energia consumidos e as emissões e os resíduos da produção de vinho, estão apresentados na Tabela 8 e reportados à unidade funcional (0,75 L de vinho).

Para produzir 0,75 L de vinho foram necessários 1,01 e 1,06 kg de uvas, nos sistemas A e B, respetivamente (valores aproximados foram estimados por Gazulla et al., 2010; Benedetto, 2013 e Amienyo et al., 2014).

A distribuição percentual da energia consumida por cada fase da vinificação foi fornecida pelo sistema A (Figura 7), tendo sido considerada igual no sistema B (o estudo de Malvoni et al. (2017) apresentou percentuais de distribuição de consumo aproximados).

**Tabela 7- Distribuição percentual de energia consumida por cada fase da vinificação.**

Consumo de energia (kWh/ano)	
Receção	8,29%
Fermentação	48,38%
Prensagem	10,09%
Estabilização	12,34%
Engarrafamento	20,90%

As emissões gasosas provenientes do processo de fermentação englobam mais precisamente os componentes COVNM e CO<sub>2</sub>. Para o cálculo de emissões de COVNM, dos quais se destaca o etanol, foi utilizada a metodologia de EMEP/EEA (2019a). O CO<sub>2</sub> não foi considerado (como em Benedetto, 2013), uma vez que, de acordo com Notarnicola (2003), a quantidade de CO<sub>2</sub> reavida da atmosfera através da fotossíntese é igual à resultante do processo de fermentação. Sendo assim, o sequestro de carbono pelas videiras também não é considerado na análise deste estudo (também considerado por Point et al., 2012; Benedetto et al., 2013 e Fusi et al., 2014).

Os valores das análises do efluente, após tratamento na ETAR, servem como indicadores da composição das descargas dos efluentes líquidos produzidos pela empresa, não sendo analisado o funcionamento da ETAR.

Outros processos importantes, como a filtração usada no processo de vinificação, que podem gerar resíduos ou subprodutos (e.g., terras de diatomáceas), também foram excluídos da análise neste estudo devido à inexistência de dados e informações necessárias.

O tratamento dos resíduos orgânicos produzidos na vinificação (e.g. engaço, borras e caules) não se encontram no âmbito deste trabalho, tal como referido na Figura 15.

**Tabela 8. Dados do inventário da vinificação por UF (continua).**

Produção do vinho (0,75 L)	Quantidade		Un.	Referência
	Sistema A	Sistema B		
<b>Entradas</b>				
Uvas	1,01	1,06	kg	Questionário
Água	2,39 10 <sup>-3</sup>	3,06 10 <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup>	
Energia elétrica <sup>1)</sup>	1,19 10 <sup>-1</sup>	7,59 10 <sup>-2</sup>	kWh	
Produtos enológicos	3,29 10 <sup>-3</sup>	3,03 10 <sup>-3</sup>	kg	
Lubrificante para o maquinário de produção	6,30 10 <sup>-6</sup>	5,17 10 <sup>-6</sup>	kg	
Diesel <sup>2)</sup>	4,02 10 <sup>-3</sup>	4,03 10 <sup>-3</sup>	kg	
Agente de limpeza				
Hidróxido de sódio	5,25 10 <sup>-4</sup>	2,07 10 <sup>-3</sup>	kg	
<b>Saídas</b>				
Emissões devido a produção energia elétrica	Base de dados do <i>software</i> Gabi 9.1			
Emissões devido a produção do diesel	Base de dados do <i>software</i> Gabi 9.1			
Fermentação – Emissões para o ar				
COVNM	6,00 10 <sup>-4</sup>	6,00 10 <sup>-4</sup>	kg	EMEP/EEA (2019a)

Tabela 8. Dados do inventário da vinificação por UF (continua).

Produção do vinho (0,75 L)	Quantidade		Un.	Referência
	Sistema A	Sistema B		
<b>Saídas</b>				
Descargas de efluentes <sup>3)</sup>				
AOX	3,71 10 <sup>-5</sup>	-	kg	Questionário
Azoto total	1,17 10 <sup>-5</sup>	-	kg	
Fósforo total	6,61 10 <sup>-6</sup>	-	kg	
CBO	8,10 10 <sup>-4</sup>	-	kg	
CQO	2,54 10 <sup>-3</sup>	-	kg	
Subprodutos <sup>4)</sup>				
Bagaçó	1,05 10 <sup>-1</sup>	2,16 10 <sup>-1</sup>	kg	EMEP/EEA (2019b)
Borra	2,63 10 <sup>-2</sup>	2,24 10 <sup>-2</sup>	kg	
Combustão do diesel <sup>5)</sup> - Emissões para o ar				
Pb	6,93 10 <sup>-12</sup>	8,41 10 <sup>-12</sup>	kg	EMEP/EEA (2019b)
CO	6,26 10 <sup>-8</sup>	7,61 10 <sup>-8</sup>	kg	
CO <sub>2</sub>	4,29 10 <sup>-7</sup>	5,21 10 <sup>-7</sup>	kg	
N <sub>2</sub> O	3,00 10 <sup>-8</sup>	3,67 10 <sup>-8</sup>	kg	
NH <sub>3</sub>	9,71 10 <sup>-9</sup>	1,18 10 <sup>-8</sup>	kg	
COVNM	7,06 10 <sup>-9</sup>	8,57 10 <sup>-9</sup>	kg	
NO <sub>x</sub>	1,33 10 <sup>-6</sup>	1,62 10 <sup>-6</sup>	kg	
PM <sub>10</sub>	1,42 10 <sup>-8</sup>	1,76 10 <sup>-8</sup>	kg	
PM <sub>2,5</sub>	1,42 10 <sup>-8</sup>	1,76 10 <sup>-8</sup>	kg	
TSP10	1,42 10 <sup>-8</sup>	1,76 10 <sup>-8</sup>	kg	

Notas: <sup>1)</sup> A energia elétrica consumida no estágio de vinificação corresponde a 78,1% de toda a adegas. Dado fornecido pelo sistema A e considerado similar no sistema B.

<sup>2)</sup> O valor inclui o diesel utilizado nos camiões para o transporte de produtos relativos à produção e dos subprodutos encaminhados até aos pontos de venda.

<sup>3)</sup> Valores de descargas, após tratamento de ETAR, fornecidos pelo sistema A e considerados similares no sistema B.

<sup>4)</sup> Os subprodutos são vendidos a empresas terceiras.

<sup>5)</sup> O valor inclui as emissões para o ar, devido à combustão do diesel utilizado nos camiões envolvidos neste estágio<sup>2)</sup>.

#### 4.6.4 Inventário do engarrafamento e embalagem

Optou-se por criar uma separação na adegas entre o estágio de vinificação e o engarrafamento e embalagem, de forma a estimar, separadamente, o impacto causado pela produção de garrafas, empacotamento e transporte dos diversos produtos utilizados.

As principais características dos sistemas de produção de ambas as vinícolas no estágio de engarrafamento e embalagem estão presentes na Tabela 9.

Tabela 9. Principais características do estágio de engarrafamento e embalagem das empresas produtoras de vinhos analisadas.

Características		Quantidade	
		Sistema A	Sistema B
Consumo de energia	(kWh/ano)	30	22,76
Consumo total de vidro	(ton/ano)	381	464
Transporte de produtos	(km/ano)	146	196
Resíduos	(ton/ano)	3,8	4,6

Nota: Os valores de entrada que não foram fornecidos pelo sistema B foram determinados utilizando o sistema A como referência. Os valores apresentados são referentes ao total consumido no ano de referência (2017).

De forma a inventariar os recursos necessários para engarrafar o vinho produzido, foram identificadas as massas dos diversos produtos reportados à unidade funcional de 0,75 L (Tabela 10).

**Tabela 10. Massas ponderadas dos produtos utilizados no estágio de engarrafamento e embalagem.**

Produto	Massa ponderada (kg)/UF
Garrafa de vidro	$4,00 \cdot 10^{-1}$
Rolha	$7,00 \cdot 10^{-3}$
Embalagem de cartão	$8,00 \cdot 10^{-2}$

A informação de inventário deste estágio é apresentada na Tabela 11 a seguir. Os dados estão reportados à unidade funcional (0,75 L de vinho).

**Tabela 11. Dados do inventário do estágio de engarrafamento e embalagem por UF.**

Produção do vinho (0,75 L)	Quantidade		Un.	Referência
	Sistema A	Sistema B		
<b>Entradas</b>				
Vinho	0,75	0,75	L	Questionário
Energia elétrica	$3,16 \cdot 10^{-2}$	$1,96 \cdot 10^{-2}$	kWh	
Vidro	$4,00 \cdot 10^{-1}$	$4,00 \cdot 10^{-1}$	kg	
Cortiça	$7,00 \cdot 10^{-3}$	$7,00 \cdot 10^{-3}$	kg	
Embalagem em papel cartão	$8,00 \cdot 10^{-2}$	$8,00 \cdot 10^{-2}$	Kg	
Diesel	$3,93 \cdot 10^{-4}$	$6,42 \cdot 10^{-4}$	Kg	
<b>Saídas</b>				
Vinho engarrafado	0,75	0,75	L	UF.
Emissões devido a produção energia elétrica	Base de dados do <i>software</i> Gabi 9.1			
Emissões devido a produção do diesel	Base de dados do <i>software</i> Gabi 9.1			
<b>Resíduos</b>				
Vidro <sup>1)</sup>	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$1,20 \cdot 10^{-3}$	Kg	Questionário
Embalagem em papel cartão	$2,79 \cdot 10^{-3}$	$2,79 \cdot 10^{-3}$	Kg	
<b>Combustão diesel – Emissões para o ar</b>				
Pb	$1,20 \cdot 10^{-12}$	$1,62 \cdot 10^{-12}$	Kg	EMEP/EEA (2019b)
CO	$1,09 \cdot 10^{-8}$	$1,46 \cdot 10^{-8}$	Kg	
CO <sub>2</sub>	$7,45 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	Kg	
N <sub>2</sub> O	$5,21 \cdot 10^{-9}$	$7,00 \cdot 10^{-9}$	Kg	
NH <sub>3</sub>	$1,69 \cdot 10^{-9}$	$2,26 \cdot 10^{-9}$	Kg	
COVNM	$5,21 \cdot 10^{-9}$	$1,65 \cdot 10^{-9}$	Kg	
NO <sub>x</sub>	$2,31 \cdot 10^{-7}$	$3,11 \cdot 10^{-7}$	Kg	
PM <sub>10</sub>	$2,47 \cdot 10^{-9}$	$3,31 \cdot 10^{-9}$	Kg	
PM <sub>2,5</sub>	$2,47 \cdot 10^{-9}$	$3,31 \cdot 10^{-9}$	Kg	
TSP10	$2,47 \cdot 10^{-9}$	$3,31 \cdot 10^{-9}$	Kg	

Nota: <sup>1)</sup>Referente à taxa de perda de 0.3 % de vidro por garrafa.

#### 4.7 AVALIAÇÃO DE IMPACTES DE CICLO DE VIDA (AICV)

Como referido anteriormente no subcapítulo 3.2.3, a AICV consiste na associação dos dados do inventário do ciclo de vida às categorias de impacte. Esta etapa é compreendida por

três elementos obrigatórios: a seleção de categorias de impacto, a classificação e a caracterização.

As categorias de impactos representam os problemas ambientais, como por exemplo, o aumento do teor de acidez da água (acidificação) e o aumento da temperatura superficial média do planeta (aquecimento global). A etapa de classificação corresponde àquela em que os fluxos elementares de entradas (recursos) e saídas (emissões) de substâncias relacionadas ao inventário são atribuídas às categorias de impactos de acordo com a capacidade de causar problemas ambientais. Por fim, na etapa de caracterização, a cada fluxo elementar é atribuído um valor referente (fator) ao seu respectivo potencial de dano ambiental na respectiva categoria de impacto, ou seja, os valores de impacto para cada categoria são obtidos através da multiplicação do fator com as quantidades de cada componente do inventário.

Existe uma série de categorias de impactos ambientais que podem relacionar-se com as atividades de produção de vinho. Consistentemente com outros estudos (Point et al., 2012; Vázquez-Rowe et al., 2012; Benedetto, 2013; Neto et al., 2013; Amienyo et al., 2014; Fusi et al., 2014), as seguintes categorias de impacto foram selecionadas para avaliar o impacto ambiental do vinho, sendo elas: o potencial de aquecimento global, o potencial de acidificação, o potencial de eutrofização e a depleção abiótica.

Também se teve em consideração neste processo de seleção, as categorias que possuíam dados mais relevantes no inventário, desta forma, oferecendo maior confiabilidade aos resultados. Estas categorias estão sucintamente descritas a seguir (Shepherd et al., 2002; ICCA 2013; Petti et al., 2015; Hauschild et al., 2018). Além disso, são apresentados alguns exemplos de fatores de caracterização para cada categoria selecionada.

#### **4.7.1 Potencial de aquecimento global**

O aquecimento global é o aumento da temperatura superficial média do planeta Terra. A sua principal causa é a concentração de gases que intensificam o efeito estufa através do forçamento radiativo (isto é, absorção de radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre). Por sua vez, traz como consequência as mudanças climáticas que podem causar impactos adversos nos sistemas naturais e humanos.

Devido aos GEE possuírem diferentes influências sobre o aquecimento, em resultado das suas diferentes propriedades radiativas e tempo de vida na atmosfera, as influências podem ser expressas através de uma medida comum baseada no impacto ambiental causado pelo

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ou seja, todos os GEE são convertidos em CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>-eq). A emissão de CO<sub>2</sub>-eq. é obtida pela multiplicação da emissão de GEE pelo seu potencial de aquecimento global (AG) para o horizonte de tempo dado, conforme a Equação 1.

$$PAG = \sum PAG_{a,i} * mi \tag{1}$$

Onde:

PAG<sub>a,i</sub> - PAG para a substância *i* integrada ao longo de um ano *a* em kg CO<sub>2</sub>-eq. kg<sup>-1</sup> de emissão; *mi* – quantidade de substância *i* emitida em kg.

A Tabela 12 apresenta os valores de fatores de caracterização de AG, segundo IPCC (2013), relativos aos parâmetros CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

**Tabela 12. Potencial de aquecimento global (AG) em kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>.**

Categoria de impacto	Parâmetro	Compartimento	Fator de Caracterização
Aquecimento Global (AG)	CO <sub>2</sub>	Ar	1
	CH <sub>4</sub>	Ar	28
	N <sub>2</sub> O	Ar	265

Fonte: CML (2016).

#### 4.7.2 Potencial de acidificação

A categoria aborda o efeito relativo das emissões totais de gases ácidos, como os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), ácidos nitrogenados (HNO<sub>3</sub>), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF) e amônia (NH<sub>3</sub>). Os poluentes acidificantes causam um grande impacto no solo, nas águas subterrâneas, nas águas superficiais, nos organismos biológicos e nos ecossistemas, além de causar corrosão a inúmeros materiais.

O potencial de acidificação é definido em termos de dióxido de enxofre equivalente (kg SO<sub>2</sub>-eq.) e a Equação 2 expressa como o cálculo é realizado.

$$PA = \sum PA_i * mi \tag{2}$$

Onde:

PA<sub>i</sub> – Potencial de acidificação para uma substância *i* emitida na atmosfera em kg SO<sub>2</sub>-eq. kg<sup>-1</sup> de emissão; *mi* – emissão da substância *i* para a atmosfera em kg.

A Tabela 13 mostra o fator do PA médio para a caracterização da acidificação relativo a emissões para a atmosfera dos parâmetros NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>.

**Tabela 13. Valores médios de potencial de acidificação para algumas substâncias relevantes a este estudo.**

Categoria de impacto	Parâmetro	Compartimento	Fator de Caracterização
Acidificação potencial (AP)	NH <sub>3</sub>	Ar	1,6
	NO <sub>x</sub>	Ar	0,5
	SO <sub>2</sub>	Ar	1,2

Fonte: CML (2016).

### 4.7.3 Potencial de eutrofização

A eutrofização é um processo normalmente estimulado por ação antrópica e ocorre devido às emissões de compostos que contêm macronutrientes como o fósforo (P) e o azoto (N) direta ou indiretamente nos corpos d'água e solo durante o ciclo de vida do produto. O enriquecimento de nutrientes pode causar o crescimento excessivo de biomassa (sobretudo de algas) impedindo a passagem de luz, e conseqüentemente, favorecendo a diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido. Além disso, altas concentrações de nutrientes também podem afetar a utilização normal e desejável da água.

Como mostrado na Equação 3, o potencial de eutrofização é avaliado em kg de fosfato equivalente (kg PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>-eq.).

$$PE = \sum PE_i * m_i \tag{3}$$

Onde:

PE<sub>i</sub> – Potencial de eutrofização para uma substância *i* emitida em kg PO<sub>4</sub>-eq. kg<sup>-1</sup>. de emissão; m<sub>i</sub> – emissão da substância *i* para a atmosfera em kg.

A Tabela 14 mostra alguns fatores genéricos que são caracterizados pela eutrofização relativos as emissões para o ar, água e solo.

**Tabela 14. Fatores de potencial de eutrofização em kg PO<sub>4</sub>-eq. kg<sup>-1</sup>.**

Categoria de impacto	Parâmetro	Compartimento	Fator de Caracterização
Eutrofização potencial (EP)	NO <sub>x</sub>	Ar	0,13
	NH <sub>3</sub>	Água/Solo	0,35
	Azoto total	Água	0,42
	Fósforo total	Água	3,06

Fonte: CML (2016).

#### 4.7.4 Potencial de depleção de recursos abióticos

Historicamente os seres humanos precisam da natureza para obter os seus meios de subsistência, que incluem recursos bióticos e recursos abióticos. Essa categoria refere-se somente ao uso (extração) de recursos abiótico e abrange, principalmente, o uso de recursos fósseis, minerais e metais.

A depleção leva à redução da disponibilidade do tipo de recurso correspondente para as gerações futuras. A unidade utilizada é o kg de equivalentes de antimônio (Sb) ou MJ por unidade funcional, e apoia-se na vantagem de que os potenciais de depleção abiótica estão mais próximos da unidade Sb e, portanto, mais fáceis de serem compreendidos. A Equação 4 expressa como o cálculo é realizado.

$$DA = \sum DA_i * m_i \quad (4)$$

Onde:

PE<sub>i</sub> – Potencial de depleção abiótica para uma substância *i* extraída em kg Sbe-q. kg<sup>-1</sup>. de emissão; m<sub>i</sub> – quantidade de recurso usado.

A Tabela 15 apresenta fatores de caracterização de DA relativos à retirada de recursos utilizados em produtos que são necessários na cadeia produtiva do vinho.

**Tabela 15. Valores médios de depleção abiótica para algumas substâncias relevantes a este estudo.**

Categoria de impacto	Parâmetro	Compartmento	Fator de Caracterização
Depleção abiótica (DP)	Cl <sup>1)</sup>	Recursos	2,71 10 <sup>-5</sup>
	Na <sup>2)</sup>	Recursos	5,50 10 <sup>-8</sup>

Nota: <sup>1)</sup>Cl – Recurso utilizado no inseticida (*DE Insecticide unspecific – GaBi*).

<sup>2)</sup>Na – Recurso utilizado no hidróxido de sódio (*EU-28 Sodium hydroxide – Gabi*)

Fonte: CML (2016).

#### 4.8 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Esta é a etapa final da ACV que corresponde à análise dos resultados, tendo por base o objetivo e o âmbito traçados para o estudo, para enfim retirar conclusões e recomendações futuras.

Com os resultados da ACV da produção do vinho, foi possível identificar qual dos estágios e quais os processos são potencialmente mais nocivos para o ambiente. A partir disso,

também foi possível criar cenários visando a melhoria da produção em relação a ganhos ambientais.

Após a identificação dos principais impactes e da proposta de minimização através dos cenários, também foram propostas mais algumas oportunidades de melhoria para uma produção cada vez mais sustentável no ponto de vista ambiental.

#### 4.9 CENÁRIOS PROPOSTOS

A aplicação da modelação de cenários, descrita no subcapítulo 3.5, tem por objetivo avaliar os efeitos de várias mudanças potenciais no ciclo de vida do vinho visando melhorias no sistema. A inovação ambiental é normalmente classificada em dois grupos (Kemp e Volpi, 2008): (i) tecnologias limpas, que permitem minimizar os danos ambientais na fonte e podem ocorrer através de uma adaptação ou de uma substituição; e (ii) tecnologias de "fim de linha", que coletam e tratam os danos criados por um processo.

Neste estudo, após agregados os resultados iniciais dos sistemas em estudo, dois cenários foram desenvolvidos de acordo com a primeira (i) classificação. Cada um deles representa um dos estágios do ciclo de vida da produção de vinho, que integram processos que contribuem de forma considerável para a geração de impactes ambientais. A base de dados utilizada para a criação destes cenários encontra-se na sua totalidade disponível na base de dados do *software* GaBi. Os cenários criados foram:

- Estágio da vinha, com a redução do consumo de 10% do uso de fitossanitários e de 20% do consumo de combustível utilizado nas máquinas agrícolas.
- Estágio do engarrafamento e embalagem, com a substituição do uso de garrafas de vidro por garrafas de dois diferentes materiais, nomeadamente, garrafas em material PET e garrafas de vidro 30% mais leves.

Não há consensos na literatura sobre o requisito de massa para que um recipiente de vidro seja considerado leve, portanto, o valor de 30% foi escolhido com base no que foi observado noutros estudos, e que serão utilizados para fins de comparação dos resultados (Point et al., 2012 e Amienyo et al., 2014)

O peso médio atribuído ao material PET foi de 0,054 kg/UF. Foi adicionada uma taxa de perda de 2% das garrafas devido ao enchimento insuficiente durante a produção (Franklin et

al., 2006; WRAP, 2008; WRAP; 2017). As energias consumidas, estimadas em  $2,39 \cdot 10^{-2}$  kWh no sistema A e  $1,48 \cdot 10^{-2}$  kWh no sistema B, foram obtidas utilizando o estudo de Franklin et al. (2006) como referência.

A seguir, está esclarecido o processo adotado da base de dados presentes no *software* GaBi que representa o material para produção da garrafa PET:

✓           Produção de PET

O polietileno tereftalato (PET) é um polímero linear muito comum, mais conhecido pelo seu uso na fabricação de garrafas plásticas. Neste trabalho, para representar a produção de PET, foi utilizado o processo – EU-28: *Polyethylene terephthalate bottle grade granulate*, considerando o cenário de produção do ano de 2019. A base de dados abrange toda as etapas, “do berço ao túmulo”.

## 5 RESULTADOS

Este capítulo contempla os resultados e suas discussões. Os resultados para cada categoria são discutidos separadamente, assim sendo, apresentam-se primeiramente os resultados para AG, seguidos de PA, PE e, por fim, AD. Nesta análise, são identificados os principais componentes de cada estágio e as atividades que mais influenciam os impactos ambientais. Adicionalmente, são apresentados os resultados dos cenários desenvolvidos para simular a redução do impacto global das vitivinícolas.

### 5.1 DESEMPENHO AMBIENTAL DOS SISTEMAS

#### 5.1.1 Potencial de aquecimento global

As emissões de GEE resultantes da produção de vinho pelos sistemas em estudo (A e B) estão apresentadas na Figura 16 e são expressas em equivalentes de CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>-eq.) por UF.

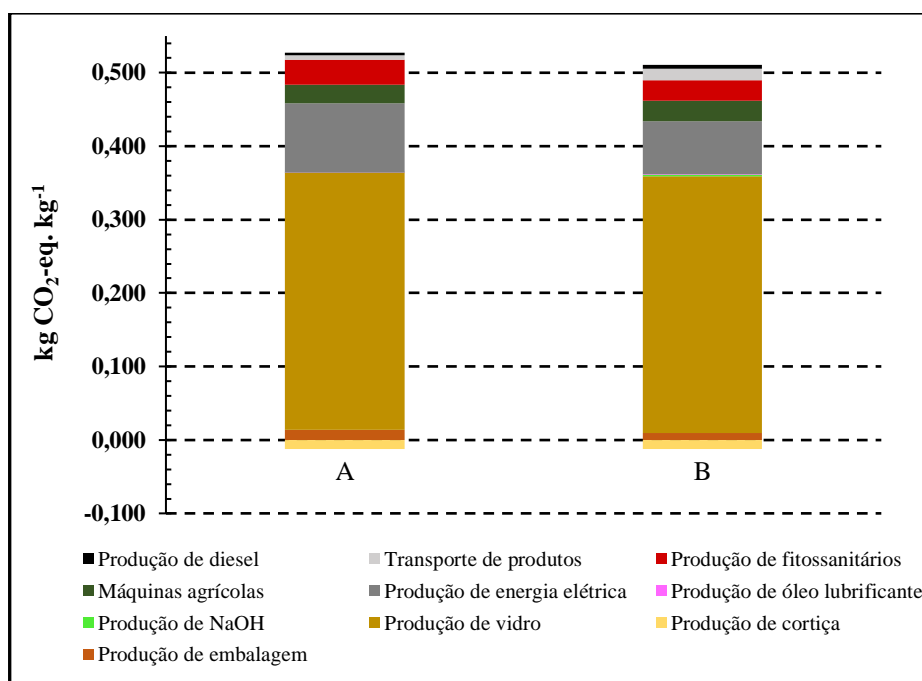


Figura 16. Emissões de GEE para os sistemas A e B das vitivinícolas, expressos em kg CO<sub>2</sub>-eq. kg<sup>-1</sup> de unidade funcional.

Os problemas do aquecimento global (AG) devem-se essencialmente à emissão de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O, sendo eles Gases do Efeito Estufa (GEE) com capacidades para absorver radiação infravermelha que causa o aumento de temperatura da Terra (Guinée, 2002). O setor vitivinícola possui uma contribuição global anual para o AG estimada em 0,3%, valor que definitivamente não deve ser desprezado (Rugani et al., 2013).

O desempenho total na categoria de aquecimento global neste estudo foi estimado em 0,516 kg CO<sub>2</sub>-eq. por UF para o sistema A e 0,498 kg CO<sub>2</sub>-eq. por UF para o sistema B. Os resultados apontaram para a maior contribuição das emissões associadas ao estágio de engarrafamento e embalagem, estimadas em 0,368 e 0,361 kg CO<sub>2</sub>-eq., o correspondente a 71,4% e 72,4% no impacto total para o sistema A e B, respectivamente. Esses resultados estão, sobretudo, associados à produção de vidro, que representa 67,90% (A) e 70,24% (B) no impacto total. O resultado obtido é consistente com o estudo de revisão sobre ACV no setor do vinho realizado por Ferrara e De Feo (2018), no qual foram reportados contribuições de 40 a 90%, para o impacto total, dos processos associados à produção de garrafas de vidro. Além disso, a influência da produção de vidro nas emissões de GEE também é destacada nos estudos de Gazulla et al. (2010); Benedetto (2013) e Bonamente et al. (2016).

O estágio da vinha é o segundo maior contribuidor para as emissões GEE, com 0,086 kg CO<sub>2</sub>-eq. no sistema A e 0,074 kg CO<sub>2</sub>-eq. no sistema B. Esta contribuição deve-se em primeiro lugar à produção de fitossanitários (6,69% em A e 5,66% em B), seguida da combustão do combustível (diesel) usado nas máquinas agrícolas (4,79% em A e 5,60% em B) que é estimada em 13% no estudo de Benedetto (2013). O desempenho ambiental obtido para a vinificação foi de 0,061 kg CO<sub>2</sub>-eq. no sistema A e 0,064 kg CO<sub>2</sub>-eq. no sistema B. As emissões de GEE neste estágio estão associadas principalmente ao consumo de energia elétrica (consistente com Notarnicola et al. (2003)). Entre os processos envolvidos na vinificação, o consumo de energia elétrica representa 91,48% (sistema A) e 72,42% (sistema B) de todo o impacto do estágio e, 18,29% e 14,53% das emissões totais de energia elétrica para AG, no sistema A e B, respectivamente.

O impacto mostrou-se negativo para a produção da cortiça (-2,33% em A e -2,41% em B), o que significa que o impacto final do uso de cortiça para produção da rolha pode ser positivo para o meio ambiente. Isso ocorre devido aos valores da absorção de CO<sub>2</sub> na planta (sobreiro) serem maiores do que a soma dos valores dos fluxos que representam as emissões de CO<sub>2</sub> no processo (Croezen et al., 2013).

A contribuição restante deve-se à produção de diesel (0,63% em A e 0,97% em B), à produção de NaOH (0,10% em A e 0,40% em B) e ao transporte dos produtos (1,21% em A e 3,16% em B). As contribuições do processo de produção do óleo lubrificante, do processo de aplicação de fitossanitários (não inclui a máquina agrícola) e de águas residuais para o impacto ambiental foram nulas, portanto, não precisaram ser consideradas na Figura 16, nesta categoria e nem para nenhuma outra, com exceção do processo de águas residuais que aparecerá nos resultados de outra categoria.

Comparativamente, o sistema A apresenta resultados mais elevados do que o sistema B nos processos de produção de energia elétrica, produção de fitossanitários e produção de embalagem, no entanto, esses processos possuem baixa influência no resultado global, representando uma diferença de apenas 5,67%. De modo geral, os resultados para o AG foram muito similares nos dois sistemas.

Os valores de impacto global obtidos para o sistema A e B são inferiores à faixa estimada no estudo de Rugani et al. (2013), onde as emissões médias de GEE resultantes da produção do vinho (do berço ao portão) variam de 0,83 a 3,51 kg CO<sub>2</sub>-eq. por garrafa, com uma média estimada em 2,17 kg CO<sub>2</sub>-eq. Em outros estudos de ACV sobre a produção do vinho, obtiveram-se valores máximos significativamente inferiores para as emissões de GEE, mesmo em situações de fronteiras de sistema mais abrangentes “do princípio ao fim”. Gazulla, et al. (2010) verificou um intervalo entre 0,9 a 1,0 kg CO<sub>2</sub>-eq para as emissões GEE, dependendo do cenário de distribuição do vinho, enquanto os resultados de Bosco et al. (2011) mostraram valores que variaram entre 0,6 e 1,3 kg CO<sub>2</sub>-eq. a partir da análise de quatro tipos de vinho italianos, produzidos em diferentes condições de fertilização.

A diferença entre os valores de emissões totais na categoria AG pode estar associada às diferentes características específicas da produção (regiões geográficas, tipo de vinho, peso das garrafas), bem como às incertezas e limitações de dados associadas aos *inputs* e/ou *outputs* de cada sistema. Por exemplo, a exclusão da fertilização deste estudo pode ter provocado uma redução substancial nos resultados, muitos estudos de ACV apresentam a fertilização como o maior contribuidor de emissões de GEE (Bosco et al., 2011; Point et al., 2012; Neto et al., 2013; Amienyo et al., 2014), em especial, devido à elevada quantidade de N<sub>2</sub>O libertada para a atmosfera (Gazulla et al., 2010).

### 5.1.2 Potencial de acidificação

A Tabela 16 indica os resultados obtidos para os sistemas de produção de vinho em estudo. Os valores de PA foram expressos em gramas do dióxido de enxofre equivalente por kg de UF ( $\text{g SO}_2\text{-eq kg}^{-1}$ ).

**Tabela 16. Potencial de acidificação expresso em  $\text{g SO}_2\text{-eq kg}^{-1}$  para a produção do vinho nos sistemas A e B.**

Processos	Sistema A	Sistema B
Máquinas agrícolas	9,10	8,99
Produção de vidro	1,89	1,89
Outros <sup>1)</sup>	0,51	0,42
<b>Total</b>	<b>11,5</b>	<b>11,3</b>

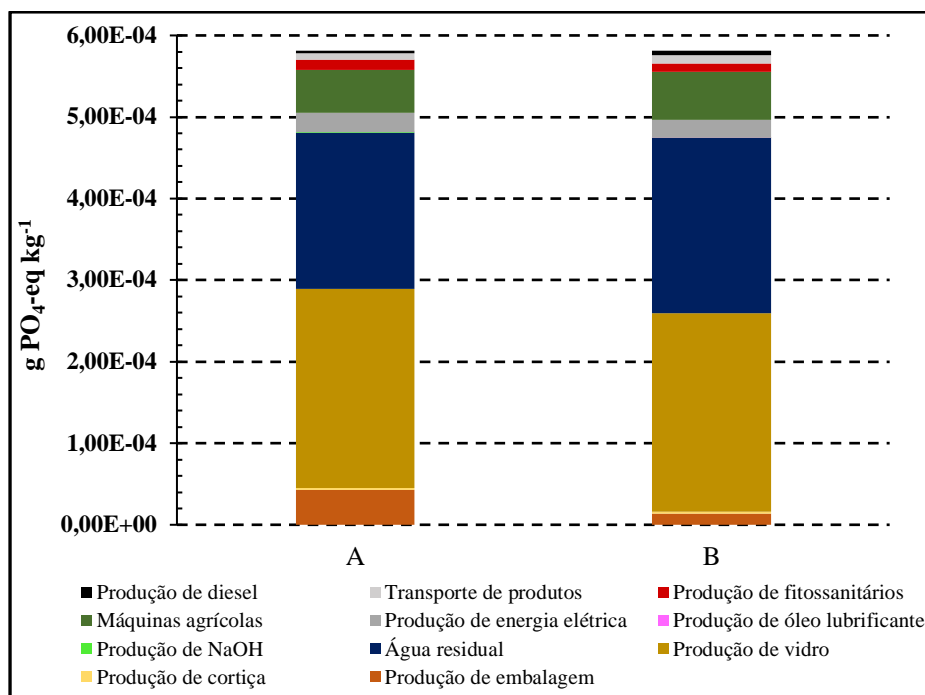
Nota: <sup>1)</sup> Produção de energia elétrica, produção de fitossanitários, produção diesel, transporte de produtos, produção de lubrificantes, produção de NaOH, produção de cortiça e produção de embalagem.

A fase da vinha obtém os valores mais elevados nesta categoria, com o desempenho ambiental estimado em 9,32 e 9,17  $\text{g SO}_2\text{-eq.}$  por UF, o correspondente a 81,0% e 81,2% do impacte total no PA, para a sistema A e B, respetivamente. Estudos mostram que o PA está em grande parte associado às emissões de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$  para o ar (Neto et al., 2013; Fusi et al., 2014). As máquinas agrícolas surgem como o principal processo que potencializa o impacte, com 80,05% (A) e 80,55% (B), devido, em especial, ao  $\text{NO}_x$  emitido para a atmosfera, associado predominantemente à combustão interna (possui conformidade com o estudo de Point (2008) e Neto et al. (2013)).

O  $\text{SO}_2$  emitido a partir da produção de vidro representou aproximadamente 16,7% para ambos os sistemas nas emissões totais. Outras emissões de  $\text{SO}_2$  também podem ocorrer devido à produção de energia elétrica e à produção de diesel (Neto et al., 2013; Fusi et al., 2014). Para ambos os processos, os resultados obtidos foram ligeiramente baixos, com a produção de energia elétrica representando 0,39% (A) e 0,24% (B) e, a produção de diesel representando 0,16% (A) e 0,26% (B) do impacte total.

### 5.1.3 Potencial de eutrofização

As cargas ambientais totais associadas ao PE foram estimadas em  $5,82 \cdot 10^{-4} \text{ kg PO}_4\text{-eq.}$  para o sistema A e  $5,81 \cdot 10^{-4} \text{ kg PO}_4\text{-eq.}$  para o sistema B por UF de vinho produzido. A Figura 17 mostra a contribuição para o impacte ambiental que cada processo nos sistemas A e B acrescenta ao potencial de eutrofização.



**Figura 17. Potencial de eutrofização expresso em g PO<sub>4</sub>-eq kg<sup>-1</sup> de unidade funcional, para a produção do vinho nos sistemas A e B.**

Os resultados apontaram para a maior contribuição das emissões associadas ao estágio de engarrafamento e embalagem, estimadas em  $2,94 \cdot 10^{-4}$  e  $2,63 \cdot 10^{-4}$  kg CO<sub>2</sub>-eq., o correspondente a 50,5% e 45,1% no impacto total para o sistema A e B, respetivamente. A produção de vidro foi a principal contribuidora com 41,96% do impacto total, para ambos os sistemas. Nos estudos de Gazulla et al. (2010) e Neto et al. (2013), este estágio também teve destaque para o EP, ficando apenas abaixo do estágio da vinha, na qual tem como principal contribuinte o processo de uso de fertilizantes. O mesmo ocorre no estudo de Benedetto (2013), porém, como já referido anteriormente, neste estudo, o principal contribuidor no estágio da vinha foi o processo de combustão de diesel.

Esta é a única categoria para a qual a vinificação apresenta destaque, com 36,0% e 41,4%, nos sistemas A e B, respetivamente. Ela está associada maioritariamente às águas residuais, 33,02% (A) e 36,97% (B), devido à sua carga poluidora de natureza orgânica e biodegradável. Resultado semelhante pode ser observado no estudo Amienyo et al. (2014), onde cerca de 30% do impacto total em PE esteve, em grande parte, associado às emissões dos compostos orgânicos decorrentes dos efluentes da vinícola.

A contribuição restante deve-se ao uso de máquinas agrícolas (8,99% para A e 10,15% para B); à produção de embalagem (7,39% para A e 2,32% para B); ao uso de energia elétrica (4,14% para A e 3,75% para B); à produção de fitossanitários (2,15% para A e 1,78% para B),

ao transporte de produtos (1,29% para A e 1,74% para B). Os demais processos apresentaram uma contribuição abaixo de 1% ou nula.

Os valores obtidos para cargas ambientais totais neste estudo ( $5,81 \cdot 10^{-4}$  kg PO<sub>4</sub>-eq. em A e  $5,82 \cdot 10^{-4}$  kg PO<sub>4</sub>-eq em B) encontram-se abaixo dos valores reportados na literatura. Neto et al. (2013) estimaram o PE em  $7,96 \cdot 10^{-3}$  kg PO<sub>4</sub>-eq., enquanto Fusi et al. (2014) obtiveram valores de  $9,01 \cdot 10^{-4}$  kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-eq e Point et al. (2012) estimaram o PE em  $7,02 \cdot 10^{-3}$  kg PO<sub>4</sub>-eq. Essa diferença pode estar associada à inclusão do processo de fertilização e/ou às fronteiras de sistema mais alargadas.

### 5.1.4 Potencial de depleção de recursos abióticos

Na Figura 18 são mostradas as principais contribuições dos sistemas A e B para a depleção de recursos abióticos (DA).

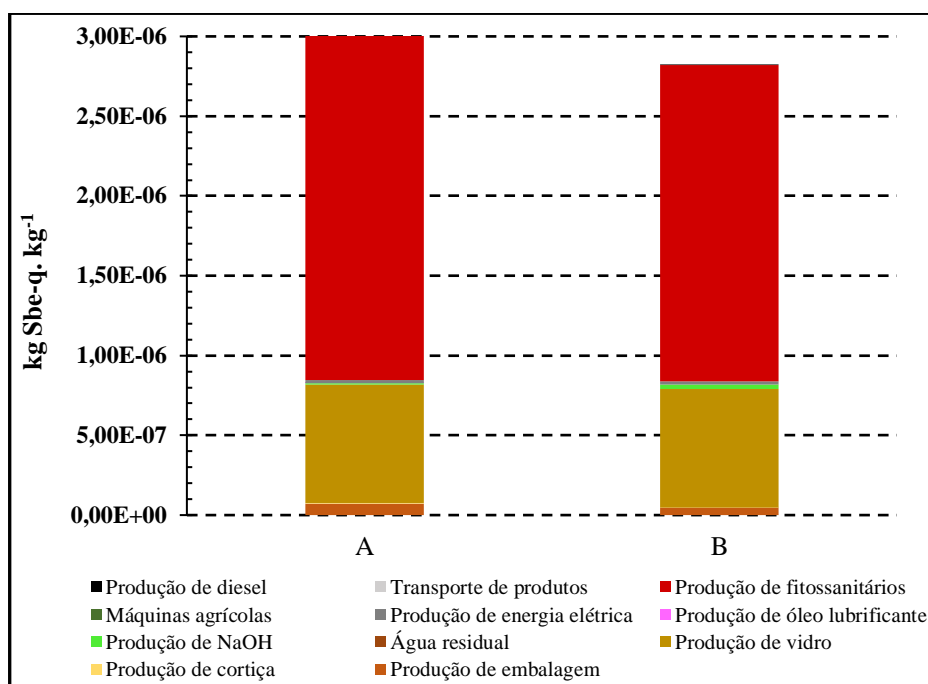


Figura 18. Principais contribuintes para o potencial de depleção abiótica na produção do vinho dos sistemas A e B, expressos em kg Sbe-q. kg<sup>-1</sup>.

A depleção abiótica está relacionada com a extração de minerais e combustíveis fósseis que integram os insumos do sistema. As cargas ambientais totais associadas à DA foram estimadas em  $3,32 \cdot 10^{-6}$  kg Sbe-q. para o sistema A e  $2,83 \cdot 10^{-6}$  kg Sbe-q. para o sistema B, por UF. A fase da vinha é a mais crítica para esta categoria de impacto, para os sistemas A e B obteve-se  $2,48 \cdot 10^{-6}$  kg Sbe-q. e  $1,99 \cdot 10^{-6}$  kg Sbe-q., o correspondente a 74,7% e 70,4% das

cargas totais, respetivamente. Esses valores são devidos, principalmente, à produção de fitossanitários.

A contribuição restante deve-se, em segundo lugar, à produção do vidro devido, essencialmente, aos combustíveis fósseis usados (Neto et al., 2013), alcançando 22,32% no sistema A e 26,27% no sistema B. A produção de embalagens surge em terceiro lugar com uma contribuição de 2,21% em A e 1,69% em B. Os demais processos apresentaram uma contribuição muito baixa, menor do que 1% ou nula. Entre os contribuintes para a depleção abiótica ressaltados por outros autores, destaca-se, ainda, o uso de combustível (diesel) (Fusi, et al., 2014).

Os estudos de ACV sobre a produção do vinho mostram uma grande variedade na dimensão do impacto para a categoria de DA. Segundo o estudo de revisão de Ferrara e De Feo (2018) sobre ACV no setor do vinho, o estágio da vinha apresenta uma média de contribuição de 44,3% para DA, um pouco mais da metade do valor estimado neste estudo. No estudo realizado por Neto et al. (2013), foram obtidos valores de DA de  $1,1 \cdot 10^{-2}$  kg Sbe-q., onde o estágio da vinha foi o maior contribuidor com 63,7%, principalmente devido ao uso de gás natural e petróleo bruto.

No mesmo sentido, o estudo realizado por Fusi et al. (2014) encontrou valores para DA de  $7,53 \cdot 10^{-3}$  kg Sbe-q., sendo o estágio de engarrafamento e embalagem o maior contribuidor para o impacto com 55,7%, porém, em relação aos processos, destaca-se em primeiro lugar, os recursos energéticos fósseis (como diesel) usados principalmente na fase da vinha. Estas diferenças podem estar associadas às diferentes características que envolvem a produção do vinho, como também às incertezas associadas aos *inputs* e/ou *outputs* de cada sistema.

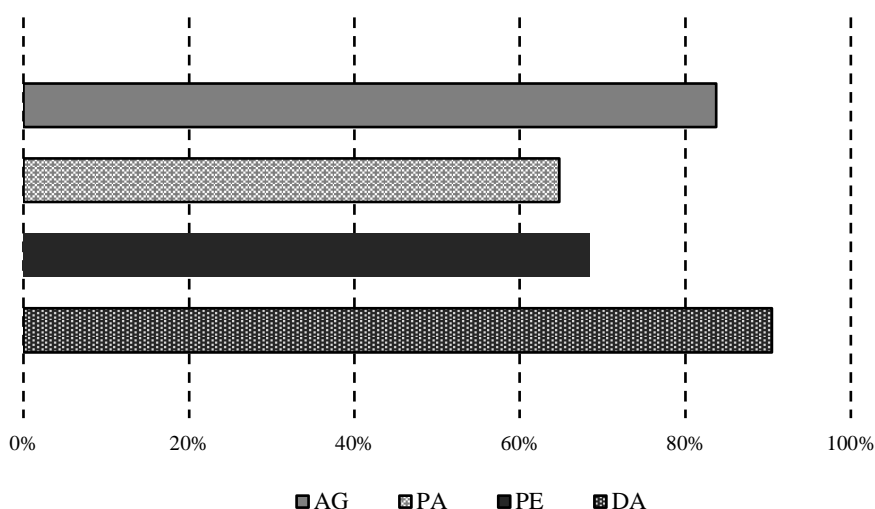
Por fim, o DA foi aproximadamente 15% maior para o sistema A do que para o sistema B. A diferença em termo quantitativo está relacionada meritoriamente a produção de fitossanitários, com  $4,93 \cdot 10^{-7}$  kg PO<sub>4</sub>-eq., devido ao maior consumo de fitossanitários utilizado na vinha do sistema A.

## 5.2 AICV DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

### 5.2.1 Cenário aplicado à vinha

Na situação atual, o estágio da vinha mostrou-se como o principal contribuidor para as categorias PA e DA, estimadas em 11,5 e 11,3 g SO<sub>2</sub>-eq. por UF, e em 3,32 10<sup>-6</sup> e 2,83 10<sup>-6</sup> kg Sbe-q. por UF, para os sistemas A e B, respectivamente. Isso se deve, meritoriamente às atividades relacionadas com o uso de máquinas agrícolas e a produção de fitossanitários, tal como é possível observar na Tabela 16 e na Figura 18 (páginas 60 e 63). Este cenário é apresentado apenas para o sistema B.

A Figura 19 apresenta o desempenho ambiental relativo do cenário para a vinha para as categorias em análise, onde 100% representa o desempenho global da Situação Atual (Sistema B).



**Figura 19. Resultado das reduções de impactes devido a redução do uso de fitossanitários e de combustíveis nas máquinas agrícolas no estágio da vinha.**

O resultado obtido neste cenário mostra que as reduções em 10% do uso de fitossanitários e de 20% dos combustíveis fósseis utilizados nas máquinas agrícolas podem representar consideráveis ganhos ambientais em todas as categorias, em especial para o PA e PE que apresentaram uma redução no impacte superior a 30% no sistema B. Os ganhos ambientais em relação à categoria PA estão diretamente ligados ao uso de combustíveis fósseis nas máquinas agrícolas (35,22%), mais especificamente à redução de emissões de NO<sub>x</sub> para a

atmosfera. O mesmo ocorreu com a categoria DA, onde a redução potencial esteve ligada diretamente ao processo de produção de fitossanitários (9,55%).

Embora a redução dos fitossanitários possa apresentar-se muito interessante face à intenção de minimizar os impactos ambientais na vinha, a redução deste composto pode significar o aumento das infestações de pragas caso o controle químico utilizado não seja suficiente. Para reduzir a dependência de fitossanitários na vinha, é necessário mais do que diminuir a quantidade aplicada, é preciso utilizar uma combinação de métodos, como por exemplo, maximizar os fluxos ao redor da videira, boa higiene e remoção do material doente, uso de barreiras contra insetos e outros. Além disso, cada videira deve ser avaliada separadamente, pois nem todos os métodos se adequam a todas as variedades de cultivos (EU, 2018).

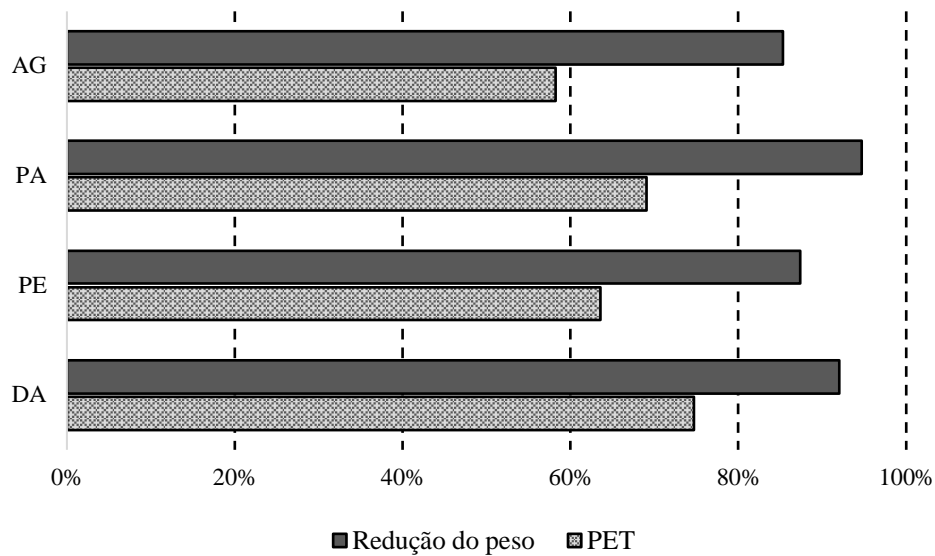
Na UE já existem projetos de suporte digital que visam aconselhar os produtores de vinha em como melhorar a gestão do uso de produtos de fitossanitários, através da redução do seu consumo e na forma de conduzir o controlo de doenças (eip-adri, 2020).

No que tange as máquinas agrícolas, apesar da mudança no processo ter caracterizado importantes ganhos ambientais para o estágio da vinha, outras considerações podem ser levantadas sobre a melhoria deste processo usando resultados da literatura. Por exemplo, o uso de biodiesel também poderia ser uma solução para o problema do impacto ambiental resultante do uso de máquinas agrícolas, durante as operações realizadas na vinha (Benedetto, 2013).

### **5.2.2 Cenário aplicado à mudança para garrafas alternativas**

Na situação atual a produção de vinho engarrafado em garrafas de vidro, constituído 100% em material virgem, contribuiu de forma significativa para todas as categorias de impacto avaliadas, principalmente na categoria AG, com um montante superior a 67%. O segundo cenário foi desenvolvido para testar as mudanças nos impactos que podem ocorrer a partir da adesão de diferentes tipos de garrafas, nomeadamente garrafas em material PET e garrafas com vidros mais leves.

A Figura 20 mostra os resultados globais da ACV obtidos a partir da mudança de garrafas de vidro por garrafas PET e garrafas de vidro 30% mais leves. O 100% representa o desempenho global da Situação Atual (Sistema B).



**Figura 20. Resultados das reduções de impactes com a utilização de garrafas alternativas.**

As garrafas PET são ambientalmente vantajosas em relação às garrafas de vidro, devido a, geralmente, requererem menos energia e libertarem menos GEE durante a produção (Barry, 2011). Em média, a produção de uma garrafa de 0,054 kg de PET na Europa emite 0,222 kg CO<sub>2</sub>-eq. (WRAP, 2008). Franklin et al. (2016) estimou as emissões associadas à produção de uma garrafa de 0,054 kg de PET em 0,253 kg CO<sub>2</sub>-eq. Neste estudo, o valor total de emissões de GEE com a adesão da garrafa PET com o mesmo peso foi reduzido em 42%, restando o correspondente a 0,290 kg CO<sub>2</sub>-eq., valor um pouco acima à média estimada para a Europa e pelo estudo de Franklin et al. (2016). Os resultados do impacte devem-se ao processo de produção de PET, principalmente, para a produção de ácido tereftálico purificado (Kang et al., 2017).

Os resultados mostram que a redução do peso de garrafas de vidro em 30% resulta numa economia na faixa de 5-15% nas categorias de impacte. Especificamente na categoria AG, para a qual a produção do vidro apresenta um elevado contributo, a redução foi de 15% ou 0,072 kg CO<sub>2</sub>-eq. por garrafa, sendo equivalente a 83,5 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq. que não foram emitidas para a atmosfera. Reduções semelhantes foram observadas no estudo de Point et al. (2012), no qual a adoção de garrafas de vidro 30% mais leves resultou em diminuições de até 10% para todos os impactes associados ao ciclo de vida de uma garrafa de vinho. Amienyo et al. (2014) estimaram que para garrafas 30% mais leves, o AG seria reduzido em 11%. Estas vantagens resultam do menor uso de energia e matéria prima para produção da garrafa de vidro, bem como impactes reduzidos a nível do transporte.

Apesar das vantagens ambientais resultantes da adesão às garrafas PET para o engarrafamento do vinho, alguns problemas relacionados ao seu uso devem ser considerados. Primeiro, o PET permite a difusão do oxigênio no vinho, afetando a vida útil e o frescor do produto (Ghidossi et al., 2012). Por esse motivo, o envio do vinho em garrafas PET para longas distâncias pode causar prejuízos (Cleary, 2013). Segundo, as garrafas PET podem lixiviar substâncias tóxicas, como os ftalatos, para o conteúdo da garrafa, isso pode ocorrer sob certas condições específicas, como quando são submetidos a armazenamento prolongado e altas temperaturas (Sax, 2010).

Entre as duas opções, concluiu-se que a garrafa fabricada com menos vidro pode ser considerada a opção mais viável. O vinho ainda é condicionado em garrafas de vidro, e não enfrenta os potenciais problemas de qualidade e saúde que podem ocorrer com o uso de garrafas PET.

## 6 OUTRAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA

As alternativas de melhoria devem visar a redução de consumo de matéria prima, melhor eficiência energética e redução de emissões de poluentes. No presente estudo, além das medidas mostradas na análise de cenários, outras melhorias podem ser alcançadas para o Sistemas A e B, como as listadas a seguir:

- Eficiência hídrica: embora não muito comentada durante o desenvolvimento do trabalho, a água é um recurso essencial para a manutenção da produtividade. Apesar de atualmente Portugal possuir apenas de 10-15% da área total de produção de uva sendo irrigada, esse valor vem aumentando como resultado de medidas para aliviar os problemas associados ao aquecimento global (Costa et al., 2020). A água aplicada na rega deve ser sempre pensada sobre a perspectiva de satisfazer a necessidade da vinha, sem promover desperdícios. Para isso, é relevante considerar a melhoria da qualidade dos sistemas de rega, evitando perdas no transporte e na aplicação (Ene et al., 2013; ecodeep, 2014) e/ou considerar o tratamento eficaz de água que permita a sua reutilização (Santos, 2012).
- Valorização dos resíduos: os resíduos verdes provenientes da vinha e a biomassa gerada na vinificação podem ser valorizados energeticamente. Os resíduos verdes podem ser incorporados na fertilização natural da vinha (ecodeep, 2014), assim como resíduos da vinificação podem ser utilizados como subprodutos (e.g. bagaço e borras) em indústrias farmacêuticas, cosméticas, alimentares, entre outras (Dias, 2016). Também podem substituir fertilizantes sintéticos na vinha (e.g. caules e lamas de águas residuais) após serem tratados (Ruggieri et al., 2009).
- Eficiência energética: a implementação de um projeto de eficiência energética pode significar uma redução substancial no consumo total da produção do vinho (Santos, 2012; Iannone et al., 2016 e Malvoni et al., 2017), garantindo a redução de emissão de GEE para atmosfera. São exemplos de medidas a serem implementadas a adesão de iluminação natural nas instalações ou a opção por luminárias de baixo consumo (ecodeep, 2014). Fontes de energias renováveis e/ou de baixo carbono também podem ser consideradas como alternativas para a otimização de impactes relacionados ao consumo de energia (Ene et al., 2013; ecodeep, 2014).

## 7 CONCLUSÃO

Neste estudo, empregou-se a metodologia de avaliação do ciclo de vida para quantificar os impactos ambientais associados à produção de vinho de duas vitivinícolas (sistema A e sistema B) localizadas na região sul de Portugal. É possível observar pela análise das Figuras 16,17 e 18 e, da Tabela 16, que os resultados dos dois sistemas em estudo apresentaram elevada semelhança em todas as categorias de impacto analisadas, mostrando que ambos possuem os mesmos pontos críticos ambientais. Esta semelhança é importante por apresentar maior confiabilidade aos resultados do estudo.

Os resultados indicam que o estágio da vinha é o maior contribuidor para o impacto ambiental geral. O impacto neste estágio esteve predominantemente associado às categorias de PA e DP, decorrentes das emissões por uso de máquinas agrícolas e da extração de recursos para a produção de fitossanitários, respetivamente. O segundo maior contribuidor para o impacto geral foi o estágio de engarrafamento e embalagem, com destaque para a categoria de AG, principalmente devido à produção de vidro. A vinificação destaca-se na categoria PE com relação às águas residuais geradas.

A análise de cenário na vinha permitiu concluir que pequenas alterações nos processos de maior impacto podem significar importantes ganhos ambientais no impacto geral. Com o cenário de garrafas alternativas, foi possível concluir que a garrafa de vidro mais leve é a opção mais sustentável em comparação às garrafas de vidro comuns e mais segura que a garrafa PET para o engarrafamento do vinho.

Em comparação com outras publicações relacionadas ao vinho, foi possível observar algumas diferenças significativas em relação aos resultados obtidos no presente estudo. Isso pode ser devido às diferentes opções metodológicas que podem envolver uma ACV, como por exemplo, os parâmetros de inventário considerados, os métodos utilizados para estimar as emissões e os métodos de avaliação de impacto. Por fim, outra razão possível está relacionada aos procedimentos distintos usados para produzir o vinho.

Para estudos futuros, considera-se interessante aprofundar aspetos como:

- Acrescentar os materiais e processos sobre os quais não foi possível recolher dados e, portanto, não foram incluídos neste estudo, como por exemplo: processo de fertilização, clarificação, filtração e/ou decantação, entre outros. Além disso, estudar os estágios de produção de cada tipo de vinho de maneira individual, a fim de ao final da análise poder

identificar qual tipo de vinho oferece maior impacto dentre os que são produzidos pelas empresas e quais atividades são mais ambientalmente críticas.

- Alargar a fronteira do sistema em estudo (análise do tipo “berço ao túmulo”), considerando as etapas de ciclo de vida que não foram incluídas neste trabalho, como a análise dos procedimentos de distribuição, consumo, transporte dos consumidos, opções de fim de vida das garrafas de vidro e tratamento dos resíduos produzidos decorrentes de toda a cadeia de produção do vinho.

- E por fim, acrescentar a análise de sensibilidade ao estudo, principalmente sobre os parâmetros associados à libertação dos poluentes que mais contribuem para o impacto global, como CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> e P.

## REFERÊNCIAS

- Alvarenga, R. (2012). *Subsídios para avaliação do ciclo de vida de modo simplificada da produção agrícola de milho por meio de um estudo de caso. Dissertação de mestrado - Grau de mestre em Engenharia da Produção, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho.”*
- Alvarenga, R. A. F. (2010). *Avaliação de métodos de AICV: um estudo de caso de quatro cenários de ração para frangos de corte. Dissertação de mestrado - Grau de mestre em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.*
- Amienyo, D., Camilleri, C., & Azapagic, A. (2014). Environmental impacts of consumption of Australian red wine in the UK. *Journal of Cleaner Production*, 72, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.044>
- Arzoumanidis, I., Raggi, A., & Petti, L. (2014). Considerations when applying simplified LCA approaches in the wine sector. *Sustainability (Switzerland)*, 6(8), 5018–5028. <https://doi.org/10.3390/su6085018>
- Barry, M. (2011). *Life Cycle Assessment and the New Zealand Wine Industry : A tool to support continuous environmental improvement. Master Thesis - Massey University.*
- Benedetto, G. (2013). The environmental impact of a Sardinian wine by partial Life Cycle Assessment. *Wine Economics and Policy*, 2(1), 33–41. <https://doi.org/10.13140/2.1.3693.4084>
- Benedetto, G., Corinto, G. L., & Rugani, B. (2013). The evolution of life cycle assessment (LCA): some guidelines for future research in the wine sector. *50th Annual SIDEA Conference, At Lecce Italy*, 1(3), 1–7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.009>
- Berry, M. A., & Rondinelli, D. A. (1998). Proactive corporate environmental management: A new industrial revolution. *Academy of Management Perspectives*, 12(2), 38–50. <https://doi.org/10.5465/AME.1998.650515>
- Bhaskaran, S., Polonsky, M., Cary, J., & Fernandez, S. (2006). Environmentally sustainable food production and marketing: Opportunity or hype? *British Food Journal*, 108(8), 677–690. <https://doi.org/10.1108/00070700610682355>
- Blyth, M. J. (2005). Learning from the future through scenario planning. *Scenario*, 1–12. Retrieved from <http://www.fourszenes.com.au/LearningFromScenarios0305.pdf>
- Bonamente, E., Scrucca, F., Rinaldi, S., Merico, M. C., Asdrubali, F., & Lamastra, L. (2016). Environmental impact of an Italian wine bottle: Carbon and water footprint assessment. *Science of the Total Environment*, 560–561, 274–283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.026>
- Bortoletto, A. M., Alcarde, A. R., Carazzato, C., Mendonça, J. A., & Filho, J. A. S. (2015). *Produção de Vinho de Qualidade.*

- Bosco, S., di Bene, C., Galli, M., Remorini, D., Massai, R., & Bonari, E. (2011). Greenhouse gas emissions in the agricultural phase of wine production in the Maremma rural district in Tuscany, Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 6(2), 93–100. <https://doi.org/10.4081/ija.2011.e15>
- Campolina, J. M., Sigrist, C. S. L., & Moris, V. A. da S. (2015). Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(2), 735–750. <https://doi.org/105902/2236117015494>
- Cardoso, C., & Quelhas, V. (2018). Vinhos portugueses crescem no mercado internacional. *Portugal Global*, 109, 1–72.
- Carpenter, S. R., Bennett, E. M., & Peterson, G. D. (2006). Scenarios for ecosystem services: An overview. *Ecology and Society*, 11(1). <https://doi.org/10.5751/ES-01610-110129>
- Cays, J. (2017). Life-cycle assessm. *Architectural Design*, 87(3), 96–103. <https://doi.org/10.1002/ad.2179>
- Chau, C. K., Leung, T. M., & Ng, W. Y. (2015). A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. *Applied Energy*, 143(1), 395–413. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>
- Christ, K. L., & Burritt, R. L. (2013). Critical environmental concerns in wine production: An integrative review. *Journal of Cleaner Production*, 53, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.007>
- Ciroth, A., Noi, C. Di, Lohse, T., & Srocka, M. (2020). openLCA 1.10: Comprehensive user manual. *OpenLCA*, (February).
- Clark, C. E. (2011). Life-cycle assessment. *Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability*, 4(January), 565–576. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511718786.047>
- Clark, C. E. (2018). Life cycle assessment. *Environmental Science Division, Argonne National Laboratory, Washington, DC, USA*, 565–576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511718786.04>
- Cleary, J. (2013). Life cycle assessments of wine and spirit packaging at the product and the municipal scale: A Toronto, Canada case study. *Journal of Cleaner Production*, 44, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.009>
- Clube vinhos portugueses. (2020). Regiões vitivinícolas Portuguesas – IG, IGP, Regionais, DOC E DOP – Atualização. Retrieved August 28, 2020, from <https://www.clubevinhosportugueses.pt/vinhos/regioes-vitivinicolas-portuguesas-ig-igp-regionais-doc-e-dop-atualizacao-2/>
- Coates, J. F. (2016). Scenario planning. *Technological Forecasting and Social Change*, 113, 99–102. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.10.043>
- Costa, J. M., Vaz, M., Escalona, J. M., Egipto, R., Medrano, H., & Chaves, M. M. (2020). Water

- as a critical issue for viticulture in southern Europe: sustainability vs competitiveness. *IVES Technical Reviews, Vine and Wine*, 1–2. <https://doi.org/10.20870/ives-tr.2020.3182>
- Croezen, H., Bijleveld, M., & Sevenster, M. (2013). *Natural cork bottle stoppers: a Stopper on Co2 Emissions?*
- De Matos, C. T., Garcia, J. C., Aurambout, J.-P., Kavalov, B., & Manfredi, S. (2015). *Environmental Sustainability Assessment of Bioeconomy Products and Processes – Progress Report 1*. <https://doi.org/10.2788/708144>
- Dias, Â. S. T. (2016). Manual de Boas Práticas Ambientais para o Setor da Produção de Vinhos Fase : Produção de Vinho. *Dissertação de Mestrado - Grau de Mestre Em Gestão Integrada de Qualidade - Ambiente e Segurança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Politécnico Do Porto.*, 141.
- DRAP. (2008). *Estação vitivinícola da Bairrada: Intervenções em verde. DRAP - Direcção Regional de Agricultura e Pesca.*
- ecodeep - Eco-Eficiência e a Eco-Gestão no sector Agro-Industrial. (2014). Avaliação de ciclo de vida do vinho, 51.
- eip-adri - Agriculture e Innivation. (2020). *Inspirational ideas Vineyard app for plant protection.*
- EMEP/EEA. (2019a). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Food and beverages industry.*
- EMEP/EEA. (2019b). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles.*
- EMEP/EEA. (2019c). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Technical guidance to prepare national emission inventories.* <https://doi.org/10.2800/293657>
- Ene, S. A., Teodosiu, C., Robu, B., & Volf, I. (2013). Water footprint assessment in the winemaking industry: A case study for a Romanian medium size production plant. *Journal of Cleaner Production*, 43, 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.051>
- EPA - U.S. Environmental Protection Agency. (1993). *Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles.* <https://doi.org/EPA/600/R-92/245>
- EPA - U.S. Environmental Protection Agency. (2004). *Guidelines for Wineries and Distilleries.*
- EPA - U.S. Environmental Protection Agency. (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice.*
- EU - European Commission. (2018). Reducing synthetic pesticide use on grapevines — a review of methods. *Science for Environment Policy*, 50(2011), 2013–2014.
- FAO - Food and Agriculture Organization. (2019). Food and agriculture data. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Félix, A. P., & Cavaco, M. (2009). *Manual de protecção fitossanitária para protecção*

*integrada e agricultura biológica da vinha. DGADR - Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural.*

- Ferrara, C., & De Feo, G. (2018). Life cycle assessment application to the wine sector: A critical review. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2), 395–411. <https://doi.org/10.3390/su10020395>
- Ferreira, J. V. R. (2004). Análise de ciclo de vida de produtos. *Instituto Politécnico de Viseu*.
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., ... Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- Franke, N.A., Boyacioglu, H. and Hoekstra, A. Y. (2013). *Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines. UNESCO- IHE, Institute for water education.*
- Franklin, A., A\_Division\_of\_ERG, & Prairie\_Village. (2006). *Live cycle inventory of container systems for wine. Tetra Pak, Inc.*
- Fusi, A., Guidetti, R., & Benedetto, G. (2014). Delving into the environmental aspect of a Sardinian white wine: From partial to total life cycle assessment. *Science of the Total Environment*, 472, 989–1000. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.148>
- GaBi Education. (2009). *Handbook for Life Cycle Assesment (LCA): Using the GaBi education software package. PE Internacional.*
- Gabzdylova, B., Raffensperger, J. F., & Castka, P. (2009). Sustainability in the New Zealand wine industry: drivers, stakeholders and practices. *Journal of Cleaner Production*, 17(11), 992–998. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.02.015>
- Gazulla, C., Raugei, M., & Fullana-I-Palmer, P. (2010). Taking a life cycle look at crianza wine production in Spain: Where are the bottlenecks? *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(4), 330–337. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0173-6>
- Ghidossi, R., Poupot, C., Thibon, C., Pons, A., Darriet, P., Riquier, L., ... Mietton Peuchot, M. (2012). The influence of packaging on wine conservation. *Food Control*, 23(2), 302–311. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.06.003>
- Godet, M., Durance, P., & Dias, J. G. (2008). *A Prospectiva Estratégica para empresas e os territórios. Cadernos de Lipsor.*
- Grainger, K., & Tattersall, H. (2007). *Wine production: vine to bottle. Blackwell.* <https://doi.org/10.1002/9780470995600>
- Guinée, Jeroen B., Heijungs, R., & Huppes, G. (2011). Life cycle assessment: Past, present, and future. *Environmental Science Technology*, 45(1), 90–96. <https://doi.org/doi.org/10.1021/es101316v>
- Guinée, Jeroen B., Gorré, M., & Heijungs, R. (2002). *Handbook on life cycle assessment: Operational Guide to the ISO standards. Eco-efficiency in industry and science.*
- Hauschild, M. Z. (2018). *Life cycle assessment: Theory and practice. Springer.* [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_6)

- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). *Life cycle assessment: Theory and practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>
- Iannone, R., Miranda, S., Riemma, S., & De Marco, I. (2016). Improving environmental performances in wine production by a life cycle assessment analysis. *Journal of Cleaner Production*, *111*, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.006>
- ICCA - International Council of Chemical Associations. (2013). *How to know if and when it's time to commission a life cycle assessment: An executive guide*.
- Infovini. (2019). *Elaboração de vinhos tranquilos*.
- IOV - International organisation of vine and wine. (2019). *2019 Statistical Report on World Vitiviniculture*.
- IOV - International organization of vine and wine. (2010). *Guidelines for sustainable vitiviniculture: production, processing and packaging of products*.
- IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2020). *Clima de Portugal continental*. Retrieved June 18, 2020, from [www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=clima.pt.xml](http://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=clima.pt.xml)
- ISO 14044. (2006). *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. International Standard*.
- IVV - Instituto da vinha e do vinho. (2020). *Regiões Vitivinícolas*. Retrieved June 18, 2020, from [www.infovini.com/pagina.php?codNode=18012](http://www.infovini.com/pagina.php?codNode=18012)
- Jolliet, O., Brent, A., Goedkoop, M., Itsubo, N., Mueller-Wenk, R., Peña, C., ... Udo de Haes, H. A. (2003). *Final report of the LCIA definition study. Life cycle initiative*. Retrieved from [https://lca-net.com/files/LCIA\\_defStudy\\_final3c.pdf](https://lca-net.com/files/LCIA_defStudy_final3c.pdf)
- JRC. (2010a). *Analysing of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. Publications Office of the European Union*. <https://doi.org/10.2788/38479>
- JRC. (2010b). *General guide for life Cycle Assessment - Detailed Guidance. Luxembourg: Publications Office of the European Union*. <https://doi.org/10.2788/38479>
- Júnior, A. F. B., Morais, R. M. de, Emerenciano, S. V., Pimenta, H. C. D., & Gouvinhas, R. P. (2008). Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo Vida (ACV) no Brasil. *Revista Ibero-Americana de Estratégia*, *7*(1), 39–44. <https://doi.org/10.5585/riae.v7i1.972>
- Kang, D. H., Auras, R., & Singh, J. (2017). Life cycle assessment of non-alcoholic single-serve polyethylene terephthalate beverage bottles in the state of California. *Resources, Conservation and Recycling*, *116*, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.011>
- Keenan, C. (2005). *Winery waste management. Proceedings of the Romeo Bragato. In 11th Annual Conference*. New Zealand.
- Keller, M. (2005). *Estratégias de irrigação de uvas brancas e tintas. Washington State University, Irrigated agriculture research and extension center*.

- Kemp, R., & Volpi, M. (2008). The diffusion of clean technologies: a review with suggestions for future diffusion analysis. *Journal of Cleaner Production*, 16(1 SUPPL. 1), S14–S21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.10.019>
- Kirchain, R. E., Gregory, J. R., & Olivetti, E. A. (2017). Environmental life-cycle assessment. *Nature Materials*, 16(7), 693–697. <https://doi.org/10.1038/nmat4923>
- Knowles, L., & Hill, R. (2001). Initiatives in south African wineries: A comparison between small and large wineries. *Eco-Management and Auditing*, 8(1), 210–228. <https://doi.org/10.1002/ema.163>
- Lourenço, M. (2017). Caraterização do setor do vinho em Portugal. *Banco de Portugal*. Retrieved from [https://www.bportugal.pt/sites/default/files/caraterizacao\\_do\\_setor\\_do\\_vinho\\_em\\_portugal\\_final.pdf](https://www.bportugal.pt/sites/default/files/caraterizacao_do_setor_do_vinho_em_portugal_final.pdf)
- Malajovich, M. A. (2009). Manual de atividades práticas e biotecnologia: Vinhos. *Instituto de Tecnologia ORT*.
- Malvoni, M., Congedo, P. M., & Laforgia, D. (2017). Analysis of energy consumption: A case study of an Italian winery. *Energy Procedia*, 126(201709), 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.144>
- Margni, M., Rossier, D., Crettaz, P., & Jolliet, O. (2002). Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93(1–3), 379–392. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00336-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00336-X)
- Mariani, A., & Vastola, A. (2015). Sustainable winegrowing: Current perspectives. *International Journal of Wine Research*. <https://doi.org/10.2147/IJWR.S68003>
- Meneses, M., Torres, C. M., & Castells, F. (2016). Sensitivity analysis in a life cycle assessment of an aged red wine production from Catalonia, Spain. *Science of the Total Environment*, 562, 571–579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.083>
- Moritz, G. de O. (2004). *Planejando por Cenários Prospectivos: a construção de um referencial metodológico baseado em casos. Dissertação de Doutorado - Título em Engenharia Da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.*
- Neto, B., Dias, A. C., & Machado, M. (2013). Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: From viticulture to distribution. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), 590–602. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0518-4>
- Notarnicola, B., Tassielli, G., & Nicoletti, G. M. (2003). *Life cycle assessment (LCA) of wine production. Environmentally-Friendly Food Processing*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781855737174.2.306>
- NP EN ISO 14040:2008. (2008). Gestão ambiental/Avaliação do ciclo de vida/Princípios e enquadramento. *Norma Portuguesa*, 29.
- Pennington, D. W., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Jolliet, O., Rydberg, T., & Rebitzer, G. (2004). Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. *Environment*

*International*, 30(5), 721–739. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.12.009>

- Petti, L., Arzoumanidis, I., Benedetto, G., & Bosco, S. (2015). *Life cycle assessment in the agri-food sector. Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11940-3>
- Petti, L., Arzoumanidis, I., Benedetto, G., Bosco, S., Cellura, M., Camillis, C. De, ... Vale, M. (2015). *Life cycle assessment in the agri-food sector. Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11940-3>
- Point, E. (2008). *Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in nova scotia, Canada. Master Thesis - Dalhousie University*.
- Point, E., Tyedmers, P., & Naugler, C. (2012). Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 27, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.035>
- Pretorius, I. S. (2000). Tailoring wine yeast for the new millennium Saade, M. R., Silva, M. G., & Gomes, V. (2014). A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV e a etapa de avaliação de impactos ambientais : considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados f. *Institute for Wine Biotechnology*, 16, 675–729.
- Quinteiro, P., Dias, A. C., Pina, L., Neto, B., Ridoutt, B. G., & Arroja, L. (2014). Addressing the freshwater use of a Portuguese wine ('vinho verde') using different LCA methods. *Journal of Cleaner Production*, 68, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.017>
- Reynier, A. (2011). *Manuel de viticulture : Guide technique du viticulteur*.
- Ribeiro, P. H. (2009). Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados. *Dissertação de Doutorado - Título Em Engenharia, Escola Politécnica Da Universidade de São Paulo*, 375.
- Romeiro, A. R. (2012). Sustainable development: an ecological economics perspective. *Estudos Avancados*, 26(74), 65–92. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>
- Rugani, B., Vázquez-Rowe, I., Benedetto, G., & Benetto, E. (2013). A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector. *Journal of Cleaner Production*, 54, 61–77. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.036>
- Ruggieri, L., Cadena, E., Martínez-Blanco, J., Gasol, C. M., Rieradevall, J., Gabarrell, X., ... Sánchez, A. (2009). Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *Journal of Cleaner Production*, 17(9), 830–838. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.12.005>
- Saade, M. R., Silva, M. G., & Gomes, V. (2014). A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV e a etapa de avaliação de impactos ambientais : considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais. *Natureza on Line*, 12, 109–116.
- SAEPA - Environment Protection Authority. (2004). *Greener business alliance project report*. Retrieved from [http://www.environment.sa.gov.au/epa/pdfs/gbap\\_report.pdf](http://www.environment.sa.gov.au/epa/pdfs/gbap_report.pdf)
- Sandler, M., & Pinder, R. (2003). *Wine: a scientific exploration*. New York: Taylor & Francis.

- Santos, A. C. C. (2012). *Avaliação da sustentabilidade do vinho verde em Portugal*. Dissertação de mestrado - Grau de mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia.
- Sax, L. (2010). Polyethylene terephthalate may yield endocrine disruptors. *Environmental Health Perspectives*, 118(4), 445–448. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901253>
- Sengupta, D., Lee, S.-J., Ingwersen, W., Weisbrod, A., Ceja, M., Bhandar, G. S., ... Zanolli, E. (2016). Detailed life cycle assessment of Bounty® paper towel operations in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 131, 509–522. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.149>
- Seo, E., & Kulay, L. (2006). Avaliação do ciclo de vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão. *InterfacEHS - Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 1(1), 1–23.
- Shepherd, D. P., Beeston, G. R., & Hopkins, A. J. M. (2001). *Life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards - parte2*.
- Silva, F. da. (2001). *Informação empresarial sector dos nacional dos vinhos/Grupo Sogrape*. Dissertação de mestrado - Grau de mestre em Gestão de Informação, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia FEUP.
- Simões, J. S. (2005). *Utilização de produtos fitofarmacêuticos na agricultura*. Sociedade Portuguesa de Inovação.
- Souza, R. T. de, & Maia, J. D. G. (2002). *Manejo de plantas daninhas em pomares cítricos*.
- Teixeira, L., Andrade, S., & Guiné, R. P. . (2008). *Projecto industrial de uma adega e centro de aproveitamento de subprodutos*. Millenium (Vol. 34).
- Thinkstep. (2019). Thinkstep. What is GaBi Software? Retrieved from <http://www.gabi-software.com/international/overview/what-is-gabi-software/>
- UNEP - United Nations Environment Programme. (2009). *Guidelines for social LCA of products*.
- UNEP - United Nations Environment Programme. (2007). *Life cycle management: a business guide to sustainability*.
- Vázquez-Rowe, I., Rugani, B., & Benetto, E. (2013). Tapping carbon footprint variations in the European wine sector. *Journal of Cleaner Production*, 43, 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.036>
- Vázquez-Rowe, I., Villanueva-Rey, P., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2012). Environmental analysis of Ribeiro wine from a timeline perspective: Harvest year matters when reporting environmental impacts. *Journal of Environmental Management*, 98(1), 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.009>
- WRAP - Waste & Resources Action Programme. (2008). *The carbon impact of bottling Australian wine in the UK : PET and glass bottles*.
- WRAP - Waste & Resources Action Programme. (2017). *Lightweight wine bottles : less is*

more, 1–4.

Zhou, J., Chang, V. W. C., & Fane, A. G. (2011). Environmental life cycle assessment of reverse osmosis desalination: The influence of different life cycle impact assessment methods on the characterization results. *Desalination*, 283, 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.04.066>

Zocche, L. (2014). *Identificação das limitações da acv sob a ótica de pesquisas acadêmicas. Dissertação de mestrado - Grau de mestre em Engenharia da Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.*

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo I.** Fluxograma do estágio da vinha do sistema A inserido no GaBi 9.1.

**Anexo II.** Fluxograma da linha de produção do vinho na adega no sistema A inserido no GaBi 9.1.

**Anexo III.** Fluxogramas das etapas de recepção e fermentação do estágio de vinificação do sistema A inserido no GaBi 9.1.

**Anexo IV.** Fluxogramas das etapas de esmagamento e estabilização do estágio de vinificação do sistema A inserido no GaBi 9.1.

**Anexo V.** Fluxograma do estágio de engarrafamento e embalagem do sistema A inserido no GaBi 9.1.

**Anexo VI.** Fluxograma do estágio da vinha do sistema B inserido no GaBi 9.1.

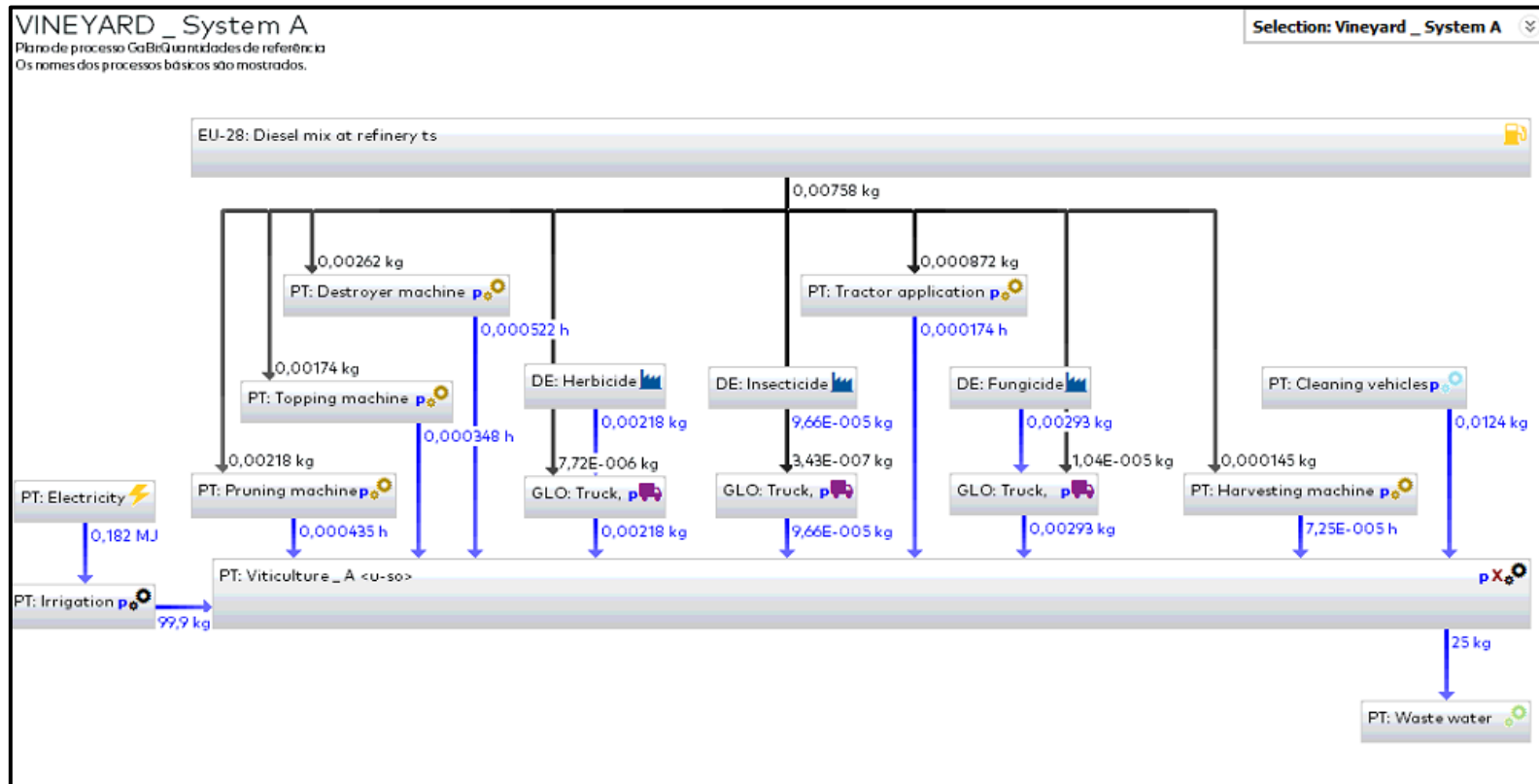
**Anexo VII.** Fluxograma da linha de produção do vinho na adega no sistema B inserido no GaBi 9.1.

**Anexo VIII.** Fluxogramas das etapas de recepção e fermentação do estágio de vinificação do sistema B inserido no GaBi 9.1.

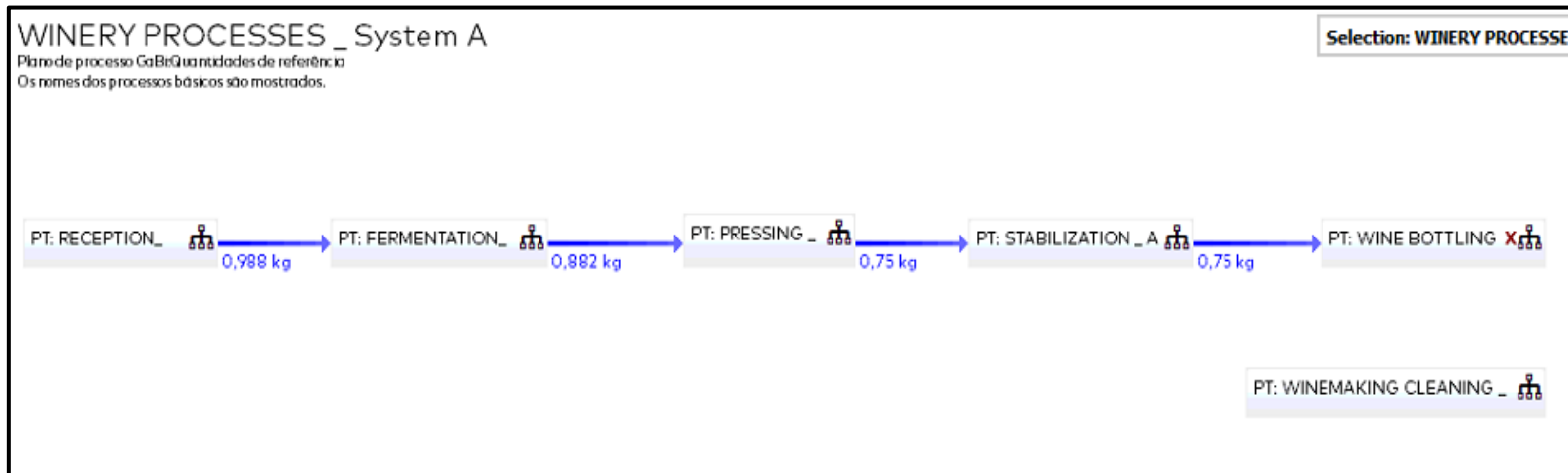
**Anexo IX.** Fluxogramas das etapas de esmagamento e estabilização do estágio de vinificação do sistema B inserido no GaBi 9.1.

**Anexo X.** Fluxograma do estágio de engarrafamento e embalagem do sistema B inserido no GaBi 9.1.

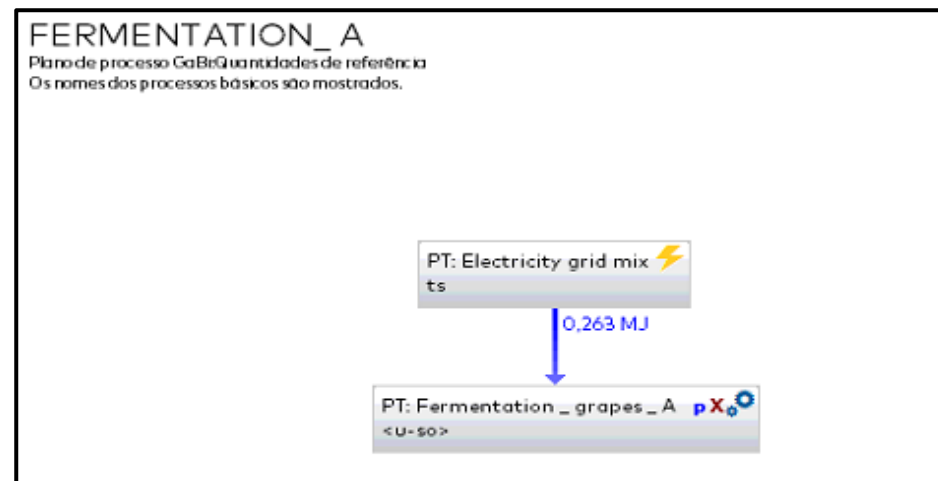
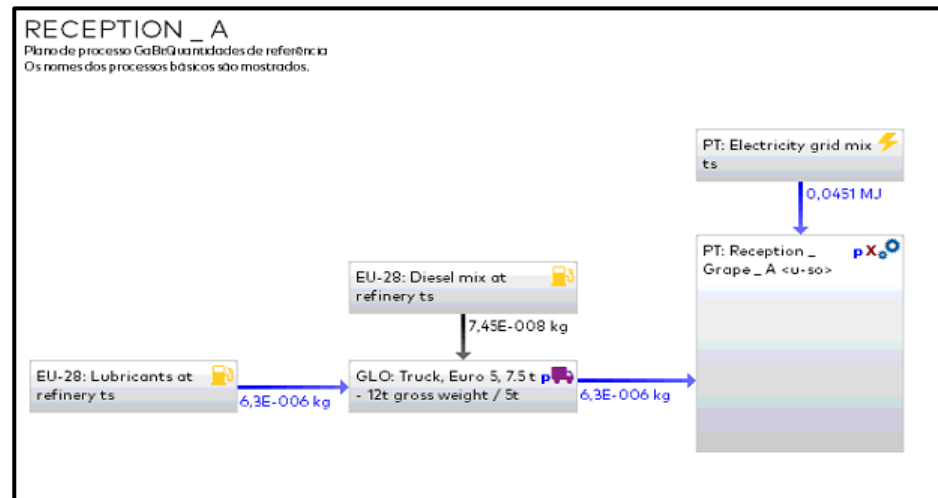
**Anexo I.** Fluxograma do estágio da vinha do sistema A inserido no GaBi 9.1.



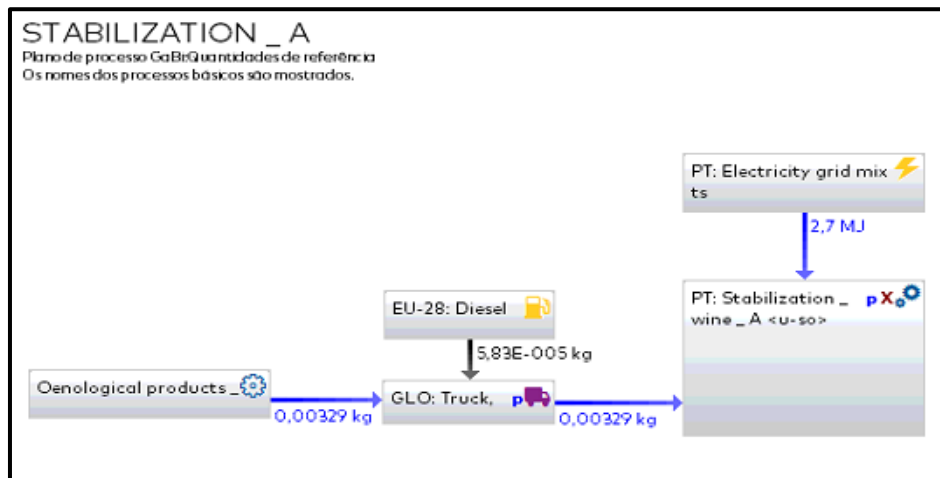
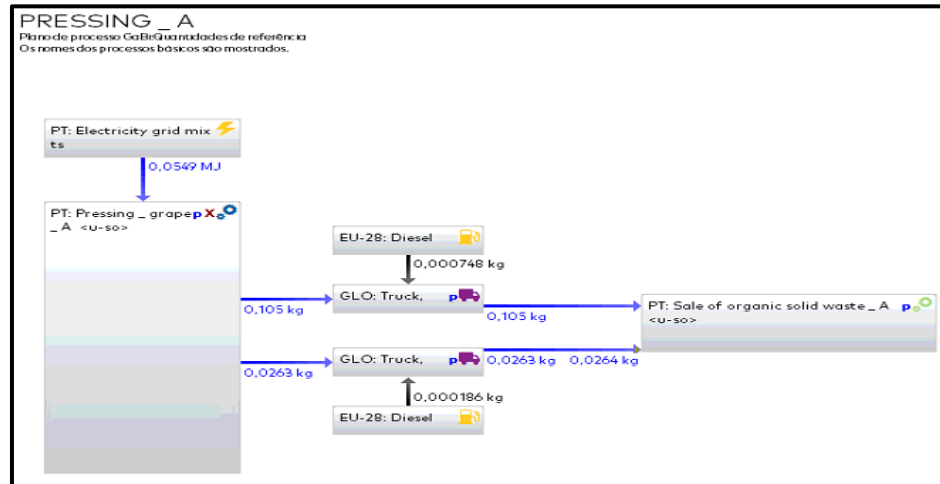
**Anexo II.** Fluxograma da linha de produção do vinho na adega no sistema A inserido no GaBi 9.1.



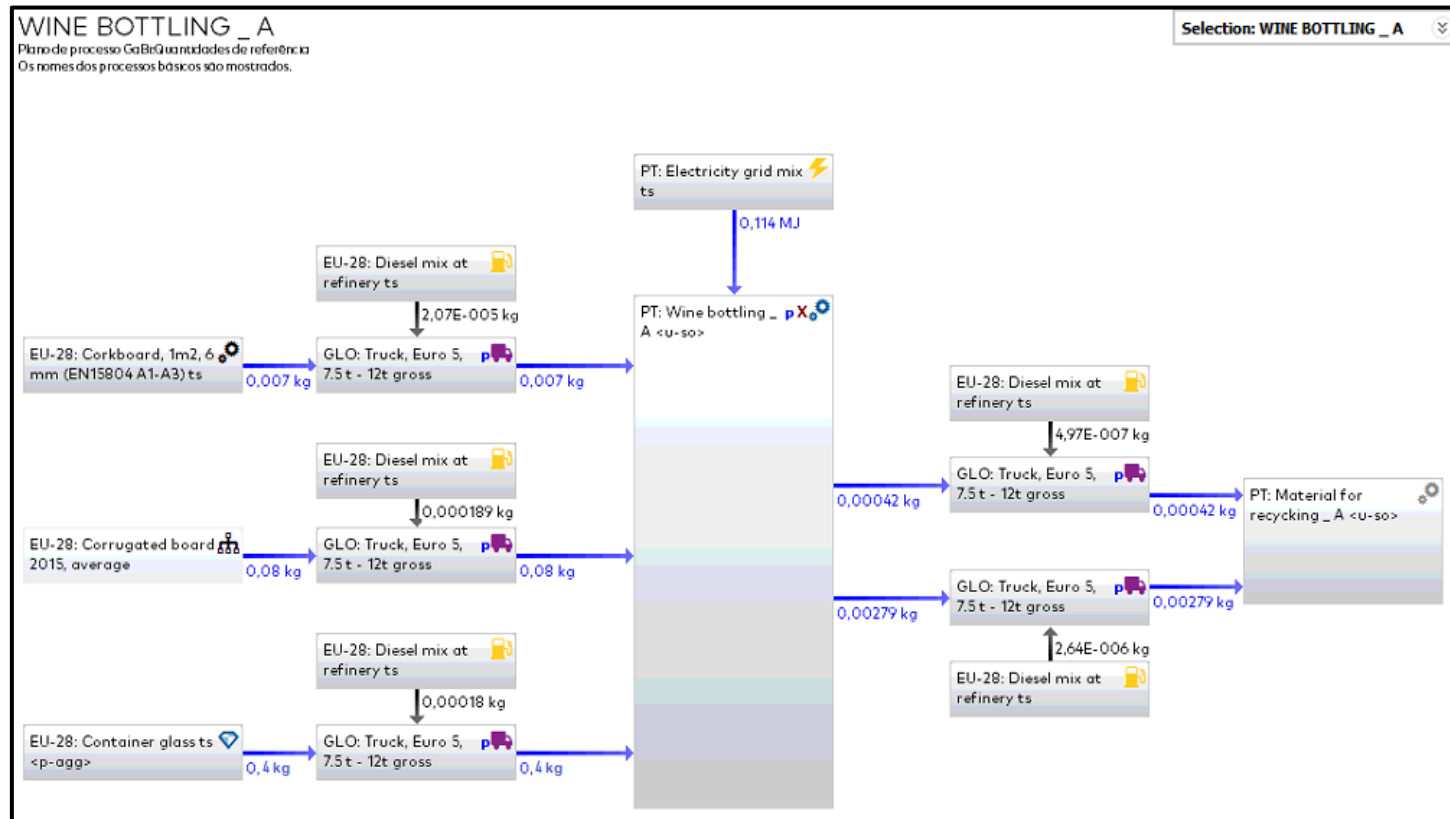
**Anexo III.** Fluxogramas das etapas de receção e fermentação do estágio de vinificação do sistema A inserido no GaBi 9.1.



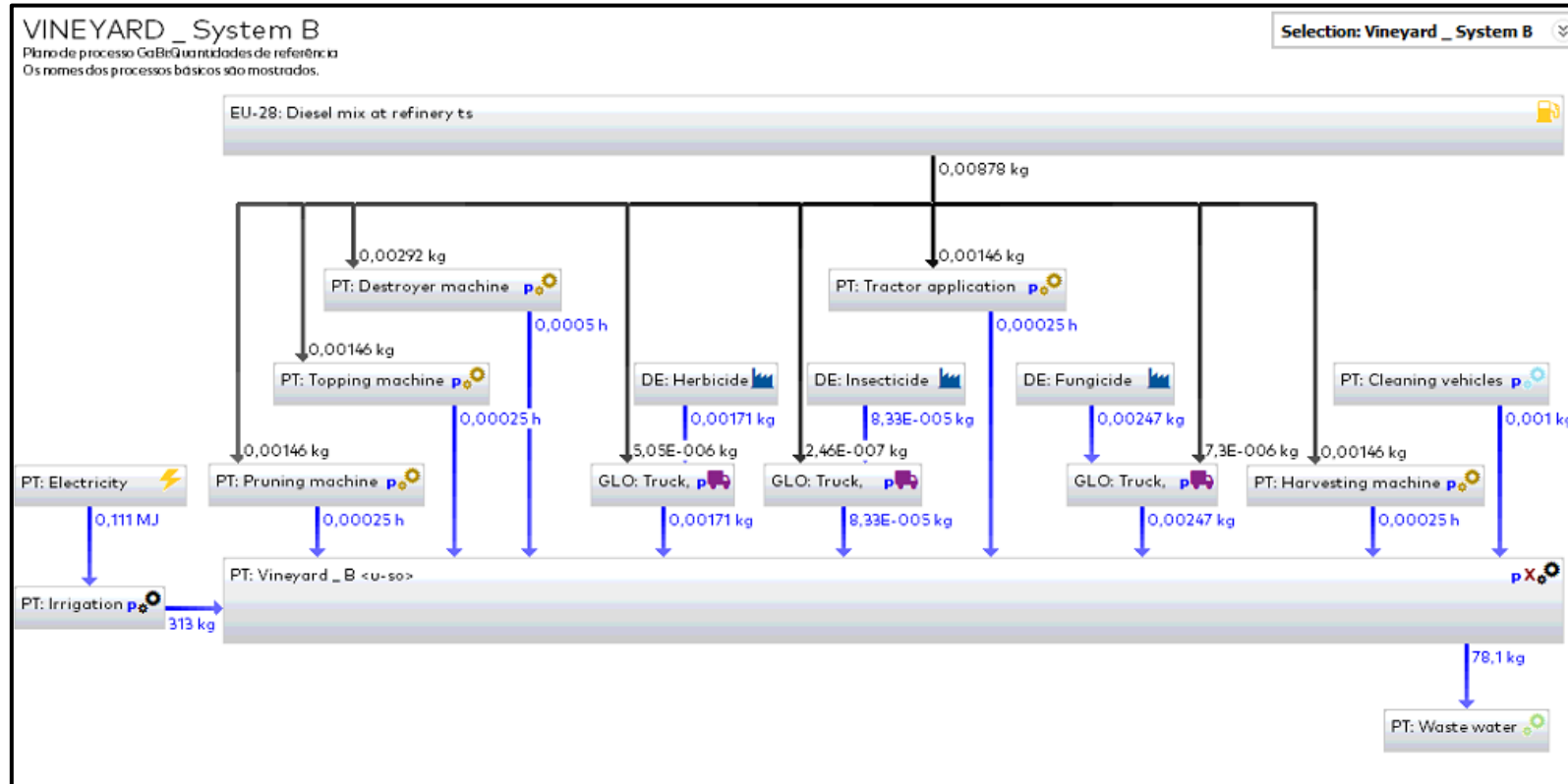
**Anexo IV.** Fluxogramas das etapas de esmagamento e estabilização do estágio de vinificação do sistema A inserido no GaBi 9.1.



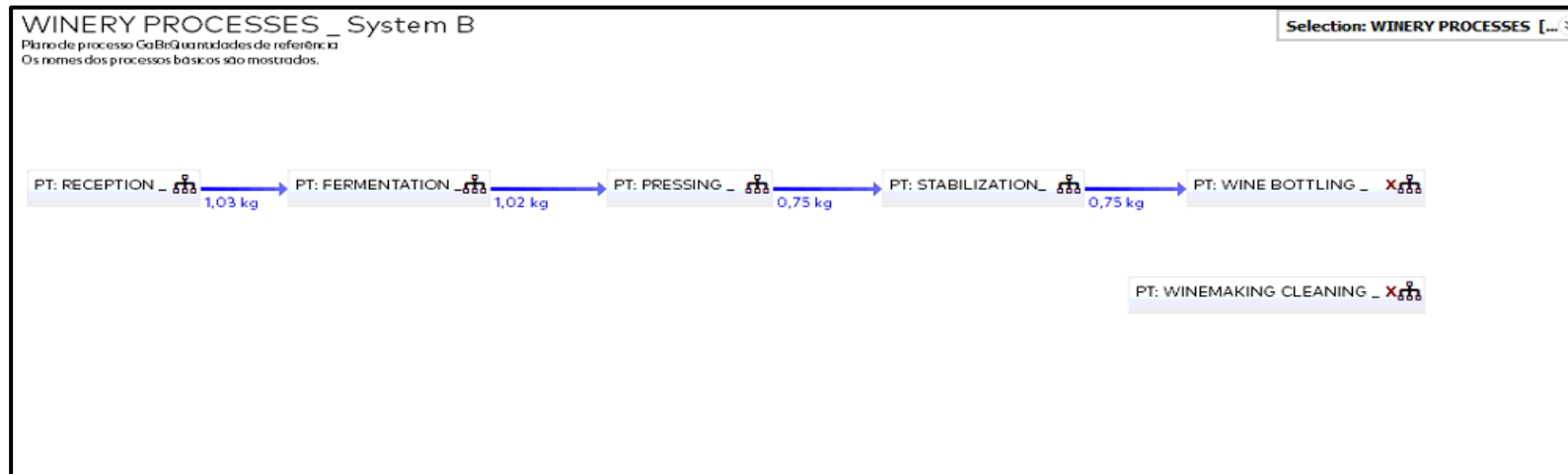
Anexo V. Fluxograma do estágio de engarrafamento e embalagem do sistema A inserido no GaBi 9.1.



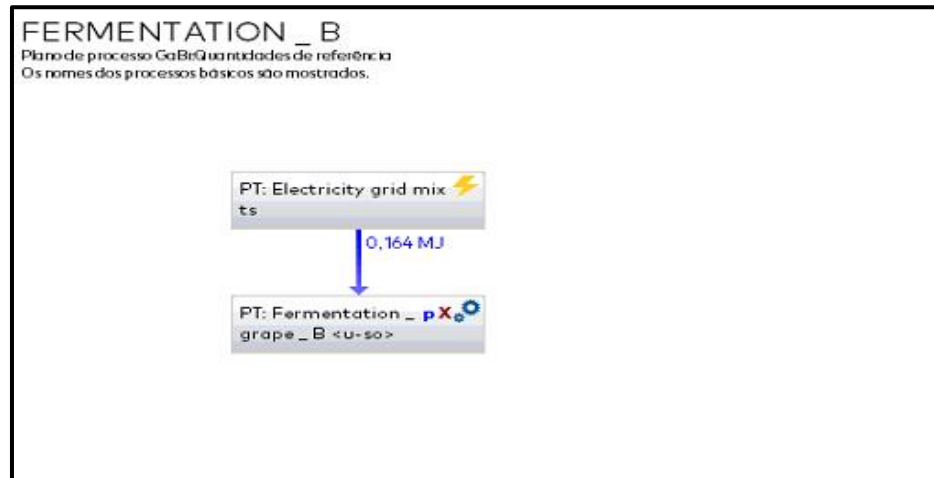
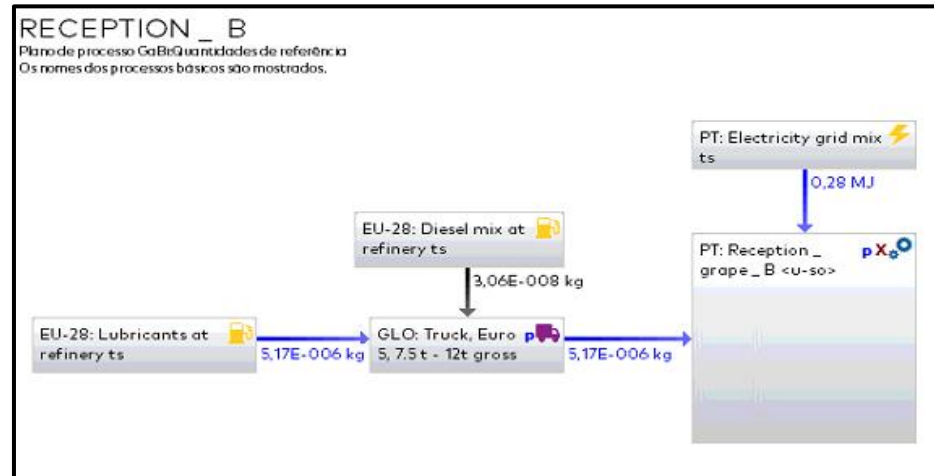
**Anexo VI.** Fluxograma do estágio da vinha do sistema B inserido no GaBi 9.1.



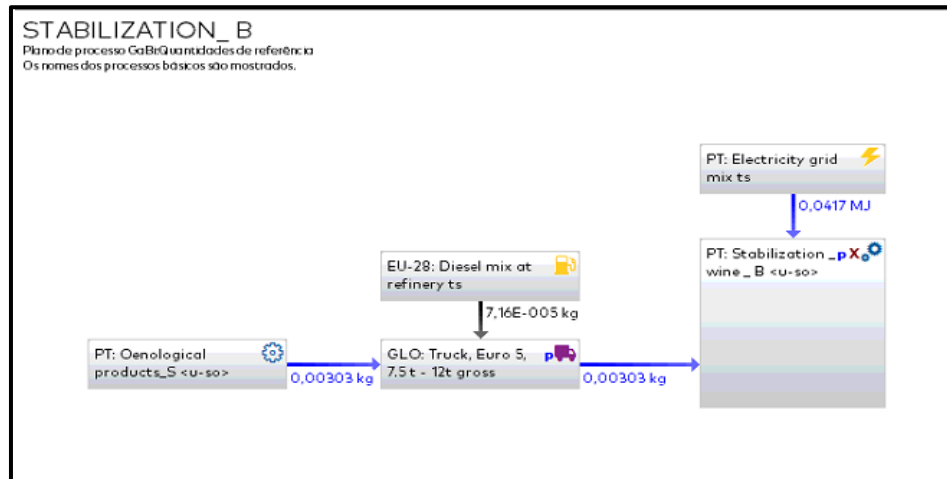
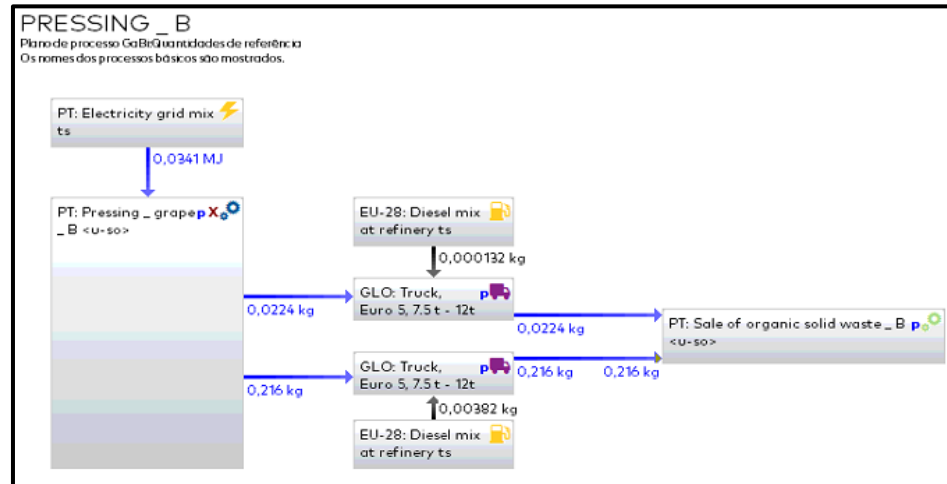
**Anexo VII.** Fluxograma da linha de produção do vinho na adega no sistema A inserido no GaBi 9.1.



**Anexo VIII.** Fluxogramas das etapas de recepção e fermentação do estágio de vinificação do sistema B inserido no GaBi 9.1.



**Anexo IX.** Fluxogramas das etapas de esmagamento e estabilização do estágio de vinificação do sistema B inserido no GaBi 9.1.



**Anexo X.** Fluxograma do estágio de engarrafamento e embalagem do sistema B inserido no GaBi 9.1.

