



**UFOP**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

---



**Luiza Murta Gatti**

## **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO CASEIRA DE CERVEJA ARTESANAL DO TIPO PILSEN**

Ouro Preto

2022

# **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO CASEIRA DE CERVEJA ARTESANAL DO TIPO PILSEN**

Luiza Murta Gatti

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Guilherme José Cunha Gomes – UFOP

Co-orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marina de Medeiros Machado - UFOP

Ouro Preto

2022



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Luiza Murta Gatti**

### **Análise do ciclo de vida da produção caseira de cerveja artesanal do tipo pilsen**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental

Aprovada em 07 de novembro de 2022

#### Membros da banca

Prof. Dr. Guilherme José Cunha Gomes - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lia de Mendonça Porto - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Prof. Dr. Alberto Fonseca - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Guilherme José Cunha Gomes, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06/01/2023



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Jose Cunha Gomes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/01/2023, às 10:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0454184** e o código CRC **BB2C5DA0**.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família por me apoiar e dar forças em mais essa etapa tão importante. Agradeço à minha mãe Cida, meu pai Vicente e ao meu irmão Rodrigo por sempre acreditarem em mim, e ao meu noivo Weydster por não deixar eu desistir.

Aos mestres que me passaram o seu conhecimento, experiências profissionais e me inspiraram a ser uma profissional dedicada e buscando sempre o meu melhor. Agradeço ao meu orientador Guilherme, por acreditar na minha ideia.

Aos meus amigos e colegas de curso, pois sem vocês a caminhada não seria a mesma; passar por tudo isso com vocês deixou minha caminhada leve e cheia de ensinamentos. Agradeço à Camila e Vanessa por estarem comigo nessa.

À Universidade de Ouro Preto, à Escola de Minas, ao DEAMB e todos os professores que tive a oportunidade de aprender, agradeço pelos ensinamentos.

## RESUMO

As cervejarias artesanais causam impactos ambientais, principalmente ao longo da sua cadeia produtiva, ou seja, ao longo de todo o processo desde a matéria prima até o seu descarte. Porém, pouco se conhece sobre os impactos das cervejarias caseiras. O trabalho pretende identificar os impactos gerados ao longo do ciclo de vida da cerveja, com base em uma produção caseira, com a unidade funcional de 100 litros de cerveja tipo pilsen. Para a avaliação de impacto foi utilizada uma abordagem de análise do ciclo de vida com dados de uma cervejaria caseira em Ouro Preto/MG. Os impactos do ciclo de vida foram avaliados usando o software livre Open LCA e o método de avaliação de impacto ReCipe 2016. Este método usa a abordagem *midpoint* e a perspectiva hierarquizada, que se baseiam em consenso científico, utilizando o banco de dados *Agribalyse* baseado na produção e consumo. A análise de sensibilidade foi necessária para identificar as variações do resultado da avaliação de impacto, auxiliando a interpretação dos dados. Os resultados mostraram que os impactos mais relevantes são o aquecimento global e a ecotoxicidade terrestre, principalmente devido à produção de energia elétrica por hidrelétrica. Comparando-se o ciclo de vida das usinas hidrelétricas com outras fontes de geração de energia, as hidrelétricas têm sua produção com o menor impacto no ciclo de vida. Para caldeiras de aquecimento, o gás de cozinha é o menos poluente em comparação com a energia elétrica, lenha, gás natural e óleo combustível. Os resultados são importantes para a compreensão dos impactos ambientais de cervejarias caseiras em operação no Brasil.

Palavras-chave: Análise do Ciclo de vida, Impactos Ambientais, Microcervejarias, Cervejaria Caseira, Cerveja Pilsen

## **ABSTRACT**

Craft breweries cause environmental impacts throughout their production chain, that is, throughout the entire process from raw materials to disposal. However, little is known about the impacts of home breweries. The aim of the work is to identify the impacts generated throughout the life cycle of the homemade production of 100 liters of Pilsner beer. For the impact assessment, a life cycle analysis was performed with data from a home brewery in Ouro Preto/MG. Lifecycle impacts were evaluated using the Open LCA package and the ReCipe 2016 impact assessment method. This method uses the midpoint approach and hierarchical perspective, which are based on scientific consensus, using the Agribalyse database based on production and consumption. Sensitivity analysis was necessary to identify variations in the final result, helping to improve data analysis. The results showed that the most relevant impacts are global warming and terrestrial ecotoxicity, mainly due to the production of electric energy by hydroelectric plants. When comparing the life cycle of hydroelectric plants with other sources of energy generation, hydroelectric plants have the least impact on the life cycle. For heating boilers, cooking gas is less polluting compared to electricity, firewood, natural gas, and fuel oil. The results are important to understand the environmental impacts of home breweries operating in Brazil.

**Keywords:** Life Cycle Analysis, Environmental Impacts, Microbreweries, Home Brewery, Pilsner Beer

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição do número de cervejarias por município no Brasil a partir de círculos proporcionais .....	11
Figura 2: Fluxograma Produção da cerveja .....	14
Figura 3: Fluxograma de malteação do grão de cevada .....	20
Figura 4: Estrutura do ciclo de vida.....	25
Figura 5: Visão geral das categorias de impacto contempladas na metodologia ReCiPe2016 e sua relação com as áreas de proteção. ....	31
Figura 6: Entrada de dados da cervejaria.....	32
Figura 7: Gráfico das atividades que influenciam o Aquecimento Global.....	39
Figura 8: Gráfico das atividades que influenciam a Ecotoxicidade Terrestre.....	40
Figura 9: Gráfico comparativo do cenário atual e com a variação da quantidade de água .....	42
Figura 10: Gráfico comparativo do cenário atual com a variação.....	44
Figura 11: Gráfico comparando GLP, Energia Elétrica, lenha óleo combustível gás natural. .	45
Figura 12: Gráfico comparativo do cenário atual e da variação de energia .....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição qualitativa dos efluentes líquidos gerados nas principais fontes geradoras de um processo produtivo de cerveja.....	23
Tabela 2: Principais softwares de apoio a avaliação do ciclo de vida.....	26
Tabela 3: Abordagens e métodos da análise do ciclo de vida .....	28
Tabela 4: Os fluxos de entradas e saídas do processo. ....	34
Tabela 5: Categorias de impacto ReCipe 2016 do ponto médio .....	36
Tabela 6: Inputs e Outputs do produto com unidade funcional de produção de 100 litros de cerveja Pilsen.....	37
Tabela 7: As principais categorias de impactos e seus valores .....	38
Tabela 8: Categorias de impacto e seus valores .....	40
Tabela 9: Principais Categorias de Impacto e seus valores atuais com a variação da quantidade de água.....	41
Tabela 10: Principais Categorias de impactos e seus valores atuais e com a mudança de GLP para energia elétrica.....	43
Tabela 11: Taxa de emissões de $CO_2$ para diferentes combustíveis.....	45
Tabela 12: Principais Categorias de Impacto e seus valores atuais com a variação de energia. ....	46
Tabela 13: Emissões de $CO_2$ ao longo da fase de construção e operação de diferentes gerações de energia.....	48

## **LISTA DE SIGLAS**

ACV – Ciclo de Vida

AICV – Avaliação de Impacto do Ciclo de vida

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

LCA – Life Cycle Analysis (Análise do Ciclo de Vida)

LCI – Life Cycle Initiative (Iniciativa de Ciclo de vida)

OG – Gravidade Original

PIB – Produto Interno Bruto

FG – Gravidade Final

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	Objetivos .....	13
2.1	Objetivo Geral .....	13
2.2	Objetivos Específicos .....	13
3	Revisão Bibliográfica.....	14
3.1	Processo da cervejaria .....	14
3.1.1	Moagem .....	15
3.1.2	Mosturação.....	15
3.1.3	Clarificação .....	16
3.1.4	Fervura .....	16
3.1.5	Resfriamento e aeração .....	17
3.1.6	Fermentação .....	17
3.1.7	Maturação .....	18
3.1.8	Carbonatação.....	18
3.1.9	Envase .....	18
3.2	Matérias primas .....	18
3.2.1	Água.....	18
3.2.2	Malte .....	20
3.2.3	Lúpulo .....	21
3.2.4	Levedura .....	22
3.3	Impactos ambientais .....	22

3.4	Ciclo de vida.....	24
3.4.1	<i>Softwares</i> de apoio ao ciclo de vida.....	26
3.4.2	Métodos de avaliação de impacto .....	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
4.1	Local de estudo .....	32
4.2	Escopo e levantamento de dados .....	32
4.3	Avaliação de impacto .....	33
4.3.1	Processos.....	34
4.3.2	Método de avaliação de impacto.....	35
4.4	Interpretação do ciclo de vida utilizando análise de sensibilidade .....	37
5	Resultados.....	37
5.1	Escopo e análises das entradas e saídas.....	37
5.2	Avaliação de Impacto .....	38
5.3	Análise de sensibilidade .....	41
5.3.1	Água.....	41
5.3.2	Gás .....	43
5.3.3	Energia .....	46
6	Conclusão.....	49
7	Referências bibliográficas.....	50

## 1 INTRODUÇÃO

Há registros de que a cerveja tenha sido descoberta pelas mulheres no ano 5000 a.C. no norte da China e na Mesopotâmia. Essa bebida fermentada tem uma forte ligação com o pão, pois ambos são feitos de grãos de cereais, água e fermento. É muito provável que esse processo tenha sido descoberto por acaso (MORADO, 2011). A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no mundo. Considerando-se o consumo de todas as bebidas, inclusive as não alcoólicas, a cerveja perde apenas para a água e o chá (MORADO, 2011).

O Brasil fechou o ano de 2019 como o terceiro maior fabricante do mundo de cerveja, com 13,3 bilhões de litros produzidos. O primeiro lugar é a China com 46 bilhões de litros e logo depois os Estados Unidos com 22,1 bilhões. Esse setor representa 2% do PIB do Brasil e faturou, em 2019, 77 bilhões de reais (SINDICERV, 2020).

Em 2020, mesmo com a pandemia, foram registradas 204 novas cervejarias, e foi o primeiro ano em que cada estado teve pelo menos uma empresa envolvida desse setor, sendo que as maiores concentrações são nas regiões sul e sudeste. O estado de Minas Gerais é o terceiro estado em números de cervejarias, atrás de São Paulo e Rio Grande do Sul. Dentro das 10 cidades brasileiras que mais possuem cervejarias, três delas são mineiras, são elas Nova Lima, Belo Horizonte e Juiz de Fora (BRASIL, 2020). A figura 1 ilustra esse cenário.

Figura 1: Distribuição do número de cervejarias por município no Brasil a partir de círculos proporcionais



Fonte: BRASIL (2021).

Todas as empresas geram algum tipo de impacto, ao longo da sua cadeia produtiva, e portanto não seria diferente para as cervejarias. Esses impactos podem ser sociais, ambientais e econômicos. A maioria desses impactos relacionados ao produto não ocorre no local em que é produzido, mas ao longo da sua cadeia produtiva (SEBRAE; ONU, 2017).

A cadeia produtiva é um conjunto de etapas ao longo das quais os diversos insumos sofrem uma transformação. Seja ela a transformação do insumo em produto acabado, uso do produto até o seu descarte e a transformação que se tem após ele ser descartado. Um produto passa por diversas cadeias produtivas, que são chamadas de ciclo de vida (SEBRAE; ONU, 2017).

Segundo a norma NBR ISO 14044 (2009), “O ciclo de vida são os estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final”.

O estudo do ciclo de vida do produto é importante para se conhecer todas as etapas e processos da cadeia produtiva, identificar os possíveis riscos e impactos, propor ações para minimizá-los (os riscos e impactos identificados), além de manter o registro para facilitar o monitoramento e compartilhamento quando necessário (YOSHIMUCHI, A. et al., 2015).

Desta forma o objetivo deste trabalho é identificar os impactos gerados por meio da análise do ciclo de vida, na produção de 100 litros de cerveja pilsen, em uma cervejaria caseira localizada em Ouro Preto/MG.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Identificar os impactos ambientais da produção caseira de 100 litros de cerveja pilsen, por meio de análise do ciclo de vida.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

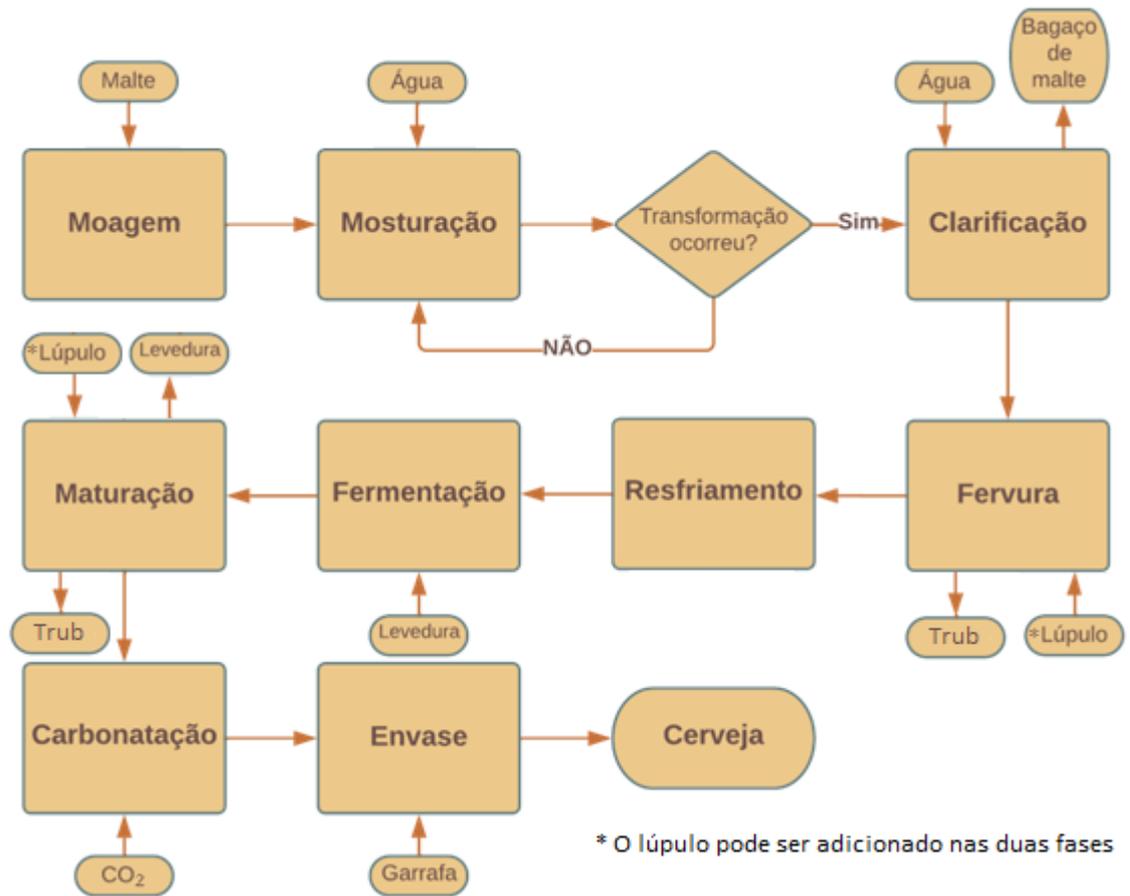
- Definir o escopo da análise do ciclo de vida;
- Identificar as categorias de impactos ambientais mais relevantes do ciclo de vida da produção de cerveja artesanal caseira;
- Realizar análise de sensibilidade dos impactos para variações no uso da água, gás e energia.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Processo da cervejaria

A elaboração da cerveja pode ser dividida em nove etapas essenciais: moagem do grão, mosturação, clarificação, fervura do mosto, resfriamento, fermentação, maturação, carbonatação e envase (figura 2). As etapas são detalhadas a seguir.

Figura 2: Fluxograma Produção da cerveja



Fonte: Próprio Autor (2022).

### 3.1.1 Moagem

A moagem é o primeiro processo, em que os grãos de malte são moídos para a liberação dos açúcares (endosperma). Os açúcares são quebrados pelas enzimas, para posteriormente serem consumidos pelas leveduras. Então, é necessário moer os grãos para aumentar sua área de contato (AGRARIA, 2016).

Para uma boa eficiência no processo, a moagem tem que ser ideal, isto é, não se deve moer os grãos finamente, pois a casca tem que ficar íntegra para não prejudicar a filtragem. E não moer grosseiramente para não perder rendimento, ou seja, quanto maior o grão ficar, menos ele será aproveitado no processo (AGRARIA, 2016).

### 3.1.2 Mosturação

Essa etapa tem como objetivo promover a hidrólise enzimática das moléculas de amido, para formar açúcares fermentáveis, além de dissolver as substâncias do malte, com adição de água a uma temperatura e pH ideal para que isso ocorra, formando assim o mosto. O mosto contém 65% dos sólidos totais do malte, que inclui sólidos em suspensão e dissolvidos na água (CARVALHO, 2007).

Essas enzimas quebram substâncias maiores e mais complexas, às vezes insolúveis em substâncias menores, mais simples e solúveis em água que serão assimiladas pelas leveduras para que ocorra a fermentação posteriormente (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Por depender de atividades enzimáticas o controle de parâmetros é muito importante, principalmente a temperatura e o pH. As principais enzimas são as amilases  $\alpha$  e  $\beta$  que tendem a quebrar o amido em moléculas menores, para serem nutrientes para as leveduras (CARVALHO, 2007).

A relação da temperatura com as enzimas são proporcionais, aumentando a temperatura aumenta a atividade enzimática, até atingir a temperatura ótima. Subindo mais a temperatura ocorre a desnaturação da enzima, que é irreversível. A faixa de temperatura ótima da Amilase  $\alpha$  é de 70 a 75°C e a Amilase  $\beta$  é de 60 a 65°C. A relação de pH com as enzimas é reversível, a enzima amilase  $\alpha$  trabalha com o pH ótimo entre 5,6 a 5,8 e a amilase  $\beta$  entre 5,4 a 5,6 (AGRARIA, 2016).

Para verificar a eficiência do processo de quebra das moléculas de amido, é realizado um teste com iodo. São retiradas algumas gotas do mosto e colocadas para reagir com uma solução de iodo, que fica azulado ao entrar em contato com a molécula de amido. Conforme for passando o tempo e as reações enzimáticas vão se completando. O iodo em contato com o mosto não reage, não havendo mudança de cor, ficando assim em um tom marrom/avermelhado (AGRARIA, 2016).

Logo depois do processo enzimático é realizado um aumento de temperatura, em média 78°C. Isso irá inativar as enzimas e diminuir a viscosidade do mosto para que os outros processos possam ter um melhor rendimento (AGRARIA, 2016).

### 3.1.3 Clarificação

Neste processo, todo aquele malte moído que foi colocado na etapa anterior é chamado de bagaço de malte, então essa etapa tende a separar o mosto primário deste bagaço, por meio de um leito filtrante (CARVALHO, 2007). O mosto primário significa o mosto mais concentrado que é gerado durante a mostura. O mosto secundário ou extrato da lavagem do bagaço é extraído durante o processo de lavagem do bagaço de malte, e representa um mosto menos concentrado. A lavagem é necessária para extrair todos os açúcares que restam ainda no bagaço de malte (AGRARIA, 2016).

### 3.1.4 Fervura

A etapa de fervura adiciona o lúpulo. Quando adicionado no início da fervura confere amargor a cerveja; ao final contribui com a complexidade aromática (LIMA; FILHO, 2011).

A etapa da fervura tem como objetivo a regulação da concentração do mosto, a quebra e expulsão substâncias indesejáveis, a formação de compostos aromáticos desejáveis, intensificação da cor, formação do *trub*, esterilização do mosto, o término da desnaturação das enzimas, sedimentação de proteínas que causam turvação, chamada de *trub* e a extração de componentes do lúpulo (AGRARIA, 2016).

Logo depois da fervura, que pode variar de 60 a 75 minutos, é realizado um procedimento de medição da densidade do mosto, chamado de OG (*Original Gravity*), pois identifica-se a quantidade de açúcares que se tem dissolvidos no mosto. A densidade da água é aproximadamente 1.0 g/cm<sup>3</sup> em 20°C, e o mosto tem uma maior densidade devido aos açúcares dissolvidos (WHITE, C.; ZAINASHEFF J., 2010). Esse procedimento é feito com ajuda de um

densímetro e o mosto a 20°C, possibilitando avaliar o rendimento do processo. Através desse resultado pode-se fazer a diluição ou aumentar o tempo de fervura para que o mosto fique mais concentrado e aumentar a densidade, por meio da evaporação (AGRARIA, 2016).

### 3.1.5 Resfriamento e aeração

É necessário resfriar o mosto até a temperatura de inoculação da levedura, e esse resfriamento ideal deve ser rápido para que as substâncias desejáveis do lúpulo não evaporem, e a cor não se altere. Essa etapa requer cuidado pois há um alto risco de contaminação devido ao mosto estar na temperatura em que os microrganismos estão mais ativos e estar rico em açúcares, o alimento ideal. Então é recomendado a esterilização de todos os equipamentos. Esse procedimento, em geral, ocorre por meio de trocadores de calor (AGRARIA, 2016).

A aeração é necessária para o desenvolvimento da levedura (cerca de 8 a 10mg de O<sub>2</sub>/L). Essa é a única etapa em que o oxigênio é desejado. Caso contrário ele irá atribuir cor e paladar indesejáveis. A solubilização do oxigênio depende do tamanho das bolhas de oxigênio, pressão, temperatura e concentração do mosto (CARVALHO, 2007).

### 3.1.6 Fermentação

Após, o mosto frio é adicionado à levedura. Ela consome o açúcar do mosto e o oxigênio do mosto, e transforma em novas células, etanol, dióxido de carbono e compostos de sabor, tomando sempre cuidado com a temperatura ideal das leveduras. A etapa de fermentação tem 3 fases, a fase *lag* que é geralmente do início até 15 horas, a fase exponencial de um a quatro dias e a fase estacionária de 3 a 10 dias (WHITE; ZAINASHEFF, 2010).

Na fase *lag* as leveduras começam a captar o oxigênio minerais e aminoácidos do mosto e construir proteínas a partir dos aminoácidos. Na fase exponencial, elas começam a consumir os açúcares e produzir o CO<sub>2</sub> e compostos de sabor. É nessa fase que o número de células aumenta rapidamente. A fase estacionária é a fase de amadurecimento da cerveja, em que a levedura já produziu a maior parte dos compostos de sabor e aroma, e seu crescimento desacelera (WHITE; ZAINASHEFF, 2010).

Para verificar se o processo de fermentação chegou ao fim, é necessário calcular novamente a densidade do mosto, neste caso chamada de FG (*Final Gravity*). Como a levedura

consome o açúcar, a densidade da solução diminui, então é medida a densidade por três dias. Se essa não altera, a fermentação chegou ao seu fim. E nessa hora é possível verificar a sua atenuação aparente, juntamente com o valor de OG encontrada na etapa de fervura. Logo depois a temperatura é colocada próxima a 0°C para que as leveduras se sedimentem (WHITE; ZAINASHEFF, 2010).

### **3.1.7 Maturação**

Essa etapa dura de 6 a 30 dias. Então as leveduras vão se sedimentar, causando o *trub* fino, fazendo com que a cerveja se clarifique. Acontece também transformações para melhorar o aroma e paladar. Essa fase representa o refinamento e acabamento da cerveja (CARVALHO, 2007).

### **3.1.8 Carbonatação**

A carbonatação é necessária para a formação da espuma e é importante para o frescor da cerveja. É feita por contrapressão no próprio tanque de maturação, utilizando o CO<sub>2</sub> que foi produzido na etapa de fermentação (CARVALHO, 2007).

### **3.1.9 Envase**

Na etapa final do processo a cerveja será armazenada, podendo ser em barris, garrafas e latas, para assim ser comercializada.

## **3.2 Matérias primas**

### **3.2.1 Água**

A água representa geralmente cerca de 90% da cerveja, além de ser a matéria prima em maior volume. Ela é o principal insumo a ser controlado na cervejaria. Por isso, para evitar um custo adicional ao produto, é recomendável a instalação da cervejaria em locais de água de boa qualidade (PALMER; KAMINSKI, 2013).

A fonte de água cervejeira tem que ser abundante e de alta qualidade, já que é utilizado cerca de 5 a 10 litros de água para cada litro de cerveja, sendo a maior parte dessa água é utilizada na limpeza. Para a água ser de alta qualidade para o setor cervejeiro, ela deve ser livre de off-flavors e odores, além de ser potável e livre de contaminantes. Os off-flavors são provocados pelos contaminantes químicos e industriais (PALMER; KAMINSKI C, 2013).

A água antes de ser usada na cervejaria passa por algum processo de tratamento, dependendo do tipo de contaminante. Os parâmetros que influenciam o desempenho da água cervejeira são o cálcio, magnésio e a alcalinidade total, eles influenciam o pH, e outros processos, o sódio, os cloretos e sulfatos influenciam o sabor da cerveja (PALMER; KAMINSKI, 2013).

Os minerais contidos na água formam uma substância tampão, que representam a resistência da mudança de pH, quanto mais forte o tampão mais ele resistirá à mudança do pH, o tampão da água é a alcalinidade que é encontrado no equilíbrio entre o carbono, carbonato e bicarbonato. O pH é importante para a mostura e fermentação, então é necessário controlar o pH do mosto, que varia entre 5,2 a 5,6, e o pH da água é em média 6,5 a 7,0 (PALMER; KAMINSKI, 2013).

O íon cloreto ajuda a acentuar a doçura do malte, mas em níveis controlados. O cobre em pequenas quantidades causará a redução de sulfitos e outros compostos sulfurosos, além de serem consumidos pelas leveduras. O íon sulfato em concentrações abaixo de 400 ppm acentua o amargor do lúpulo tornando-a seca e mais vívida. O zinco é um elemento essencial para as leveduras, em uma concentração de 0,1 a 0,5 ppm. Já fora dessa concentração o zinco provocará superatividade do fermento e off-flavors. O cálcio determina a dureza na água potável, e contribui para muitas reações de levedura, enzimas e proteínas tanto na mostura, fervura e fermentação. Na mostura, reage com o fosfato do malte precipitando fosfato de cálcio e liberando hidrogênio, reduzindo o pH. O magnésio tem seu comportamento parecido com o do cálcio, mas não é muito eficiente com a queda do pH, mas é um importante nutriente para a levedura. Já a alcalinidade e a dureza influenciam o pH da mostura (PALMER; KAMINSKI, 2013).

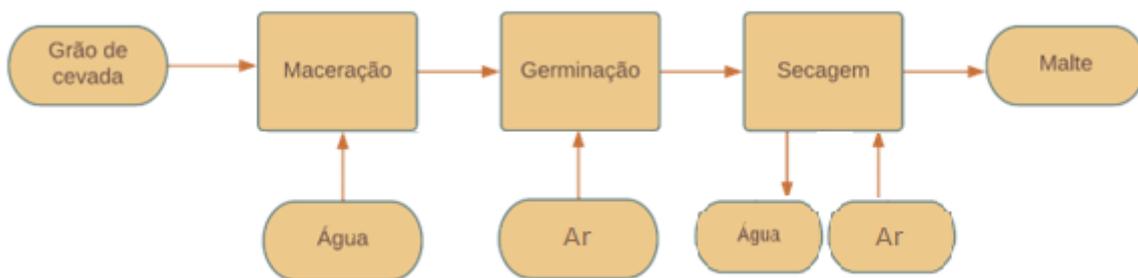
### 3.2.2 Malte

O malte é ingrediente mais importante da cerveja e está diretamente ligado ao teor alcoólico da cerveja, pois fornece o extrato fermentável. Também dá à cerveja sabor e viscosidade devido às cadeias longas de carboidratos, que permanecem logo após a fermentação (CARVALHO, 2007).

O malte contribui com os amidos, as enzimas que quebram os amidos para se tornar fermentáveis, o nitrogênio livre, os minerais e as vitaminas. Porém nem todos os maltes têm esses requisitos, pois o processo de secagem pode desnaturar as enzimas (CARVALHO, 2007).

O processo de maltagem, mostrado na figura 3, é formado por três etapas: maceração, germinação e secagem. O grão mais usado é a cevada (mas também pode-se usar o milho, arroz, entre outros) por possuir alta taxa de amido em seus grãos que pode ser transformado em açúcares fermentáveis e incorporar no extrato da cerveja (CARVALHO, 2007).

Figura 3: Fluxograma de malteação do grão de cevada



Fonte: Próprio autor (2022).

Primeiramente os grãos passam por um processo de controle de qualidade, quando são retirados resíduos da colheita, como palhas, pedras e resíduos, e também grãos fora do padrão, que possam prejudicar a eficiência do processo (CARVALHO, 2007).

A maceração tem como objetivo fornecer a umidade necessária para a germinação, aumentando o seu metabolismo através do fornecimento de água. O grão chega com aproximadamente com 12% de umidade e passa para 43 a 48%, chegando a um tamanho de 40% do seu tamanho original.

A cevada hidratada é encaminhada para a área de germinação, onde a circulação de ar é de extrema importância, já que os grãos precisam de oxigênio. Esse ar é saturado com água para que os grãos não percam a umidade, e é usado também para o controle de temperatura. À medida que os grãos germinam ocorrem mudanças bioquímicas, o embrião começa a se desenvolver, e

as raízes emergem da extremidade entre o endosperma. O endosperma é a reserva de energia que alimenta o embrião, consistindo em grandes estruturas de amido mantidos dentro de uma proteína. À medida que a germinação progride, as enzimas geradas pela camada de casca dividem esse material proteico (CARVALHO, 2007).

Os grãos germinados são encaminhados para o processo de secagem. Essa etapa é importante para interromper a germinação e evitar a proliferação de fungos e bolores. É utilizado o ar quente e seco, para que a água seja removida por evaporação, a primeira etapa a temperatura varia de 20°C a 70°C e a segunda etapa, a cura, a temperatura do ar é maior para o grão desenvolver cor e aroma, geralmente de 70°C a 95°C (CARVALHO, 2007).

A cura do malte é muito importante principalmente para o sabor da cerveja. Curas com temperaturas mais baixas formam-se os maltes bases, contendo suas enzimas saudáveis, e cores claras que não atribuem muito sabor. São exemplos o malte pilsen e o Pale. Já na cura com temperatura mais elevada, as enzimas acabam sendo desnaturadas e não fazem o papel da hidrólise do amido, mas configuram muito sabor a cerveja, são os maltes especiais (CARVALHO, 2007).

### **3.2.3 Lúpulo**

O lúpulo traz à cerveja o amargor, aroma, sabor, paladar, a qualidade da espuma e a estabilidade no sabor, além de inibir o crescimento microbiano na cerveja que pode causar danos no sabor e aparência. Na Mesopotâmia e no Egito, o lúpulo era usado na cerveja para a sua conservação (HIERONYMUS, 2012).

O lúpulo é extraído das flores femininas da planta, nessas flores há uma glândula chamada lupulina. É nessa glândula que contém os óleos essenciais, que são responsáveis pelo aroma e os alfas e beta ácidos que são importantes para dar amargor à cerveja (HIERONYMUS, 2012).

Para atribuir amargor a cerveja o lúpulo é adicionado no início da fervura. Para que extraia todo o alfa ácido e beta ácido e para atribuir aroma, é adicionada ao final da fervura, ou na maturação, já que os óleos essenciais são voláteis (HIERONYMUS, 2012).

### 3.2.4 Levedura

A levedura é um microrganismo unicelular, que transformam o açúcar em álcool e produzem dióxido de carbono e outros compostos que influenciam o sabor de alimentos e bebidas fermentáveis. Ela faz isso para o seu ganho de energia e para se reproduzir (WHITE; ZAINASHEFF, 2010).

As principais leveduras utilizadas pelos cervejeiros são as leveduras da espécie *brewerâ* do gênero *Saccharomyces cerevisiae* (levedura ale) e *Saccharomyces bayanus* (levedura lager). Essas leveduras passaram por evoluções com o passar dos anos, perdendo a capacidade de formar esporos e a capacidade evolutiva, o que fez a levedura ser mais consistente em cada lote, conseguindo manter um padrão (WHITE; ZAINASHEFF, 2010).

As leveduras ale fermentam rapidamente, consomem o perfil correto de açúcares, toleram níveis de álcool moderado, sobrevivem a condições anaeróbias de fermentação e sua temperatura ideal de fermentação está entre 18 a 21°C. As leveduras lager reduzem mais os subprodutos, pois ficam mais tempo em suspensão, trabalham mais lentamente e sua temperatura ideal de fermentação é entre 10 a 13°C (WHITE; ZAINASHEFF, 2010).

### 3.3 Impactos ambientais

De acordo com Ferrari (2008), utiliza-se em média 15 kg de malte a cada 100 litros de água. Isso depende da receita a ser utilizada, igualmente com o lúpulo. Já o consumo de água varia em uma ampla faixa, em função principalmente do porte das instalações, o tipo de vasilhame a ser envasado. Os vasilhames reaproveitados, são limpos cuidadosamente, além de se retirar os rótulos, já vasilhames como latas, não é necessário serem lavados. O tipo de envase a ser utilizado, nível tecnológico e aspectos operacionais influenciam bastante o consumo da água. Além disso tem-se também a utilização da energia. Neste setor a energia é consumida de duas formas, através do calor de processo, vapor e energia elétrica (FERRARI, 2008).

Então como principais poluentes gerados temos os resíduos sólidos, que são gerados através dos processos de clarificação, fervura e fermentação, além de resíduos sólidos como garrafas quebradas e rótulos. O resíduo sólido gerado pela clarificação é o bagaço de malte, quando já extraiu todas as propriedades desejadas na etapa de mosturação e o mosto é passado por uma filtragem, em que restam apenas a casca e a polpa do grão moída e úmida. Esse resíduo é o principal em questão de volume. Há também o *trub* grosso, que é retirado na etapa de

fervura, que são as partes finas que restaram do malte, e o *trub* fino que é retirado na etapa da maturação, que é ainda um pouco dos ultrafinos do malte e a levedura (FERRARI, 2008).

O Bagaço de malte representa 85% de todo o resíduo de uma cervejaria. No passado a maior parte desse resíduo era descartada no meio ambiente, mas através de estudos descobriu-se que ele é rico, principalmente, em açúcares e proteínas. Então pelo baixo custo, grande disponibilidade e valiosa composição química, a sua principal aplicação atual é a utilização como ração para gado. Podendo ser utilizado diretamente na forma úmida ou seco, e com a adição de alguns aditivos, esse produto pode fornecer todos os aminoácidos essenciais para a nutrição animal (MUSSATTO, 2014).

O outro poluente é o efluente líquido. Para cada litro de cerveja produzido, são gerados cerca de 10 litros de efluentes. Neste processo a geração e as características são diferentes em cada etapa. A maior carga orgânica do efluente é gerado no processo produtivo, onde há a formação de açúcares, ácidos graxos e etanol. Na etapa de limpeza, ocasiona uma diluição do efluente, mas há a concentração de sólidos dissolvidos e, devido a isso, maior variação de pH. O processo de limpeza também contribui para a concentração de nitrogênio e fósforo derivado da matéria prima e da levedura (OLAJIRE, 2012; SIMATE et al., 2011). Na tabela 1, pode-se observar as etapas do processo e a composição dos efluentes líquidos gerados em cada etapa. Então, o efluente da indústria cervejeira possui uma alta carga orgânica, alta taxa de sólidos em suspensão, presença de fósforo e nitrogênio. Por isso são potencialmente poluidores, e necessitam de um tratamento para serem descartados (GUERREIRO, 2006).

Tabela 1: Composição qualitativa dos efluentes líquidos gerados nas principais fontes geradoras de um processo produtivo de cerveja

Etapa do processo	Origem	Composição
Maltaria	Impureza nas matérias primas	Restos de grãos, sólidos sedimentáveis, proteína e açúcares
Cozimento do mosto	Restos de mosto e lavagem de equipamentos	Açúcares, proteínas, taninos e resinas vegetais

Fermentação	Lavagem de dornas	Álcoois, ácidos orgânicos, aldeídos, cetonas, ésteres e leveduras
Maturação	Fundo das cubas	Proteínas e produtos de sua degradação.

Fonte: (SANTOS, M; RIBEIRO, F.,2005).

Outro impacto é devido às emissões atmosféricas, que são provenientes principalmente do combustível usado nas caldeiras, então são gases de combustão (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, hidrocarbonetos, etc.). Além de depender do combustível, depende também da tecnologia, e do sistema de controle da emissão dos equipamentos. O CO<sub>2</sub> liberado durante a fermentação, em algumas plantas ele é coletado e injetado na cerveja durante a carbonatação. A emissão de odor ocorre durante a fervura, pois o mosto evapora cerca de 10%. Além do vapor, também são emitidos compostos orgânicos, o que produz o cheiro (FERRARI, 2008).

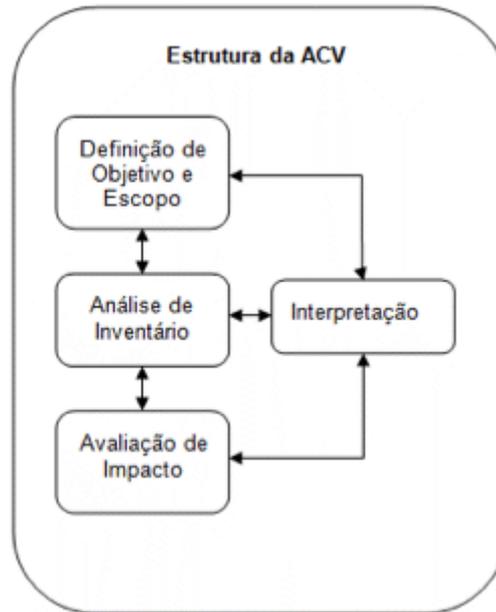
### 3.4 Ciclo de vida

A Avaliação do Ciclo de vida (ACV) é uma técnica para avaliar aspectos e impactos potenciais associados a um produto e que se divide em: a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas; e a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos. O estudo da ACV engloba toda a vida do produto, desde a aquisição da matéria prima até a sua disposição final. Levando em conta os aspectos e impactos ambientais como o uso de recursos, a saúde humana e consequências ecológicas (NBR ISO 14044, 2009).

A ACV é importante para auxiliar vários processos, como a identificação de oportunidades de melhora nos impactos da produção; auxiliar na tomada de decisões na empresa, como definição prioridades, no planejamento estratégico, e auxiliar também no marketing, principalmente o marketing verde, um produto ambientalmente correto (NBR ISO 14044, 2009).

De acordo com a norma da ABNT NBR ISO 14040 (2009), a ACV é um processo que se divide em quatro fases, como visto na figura 4.

Figura 4: Estrutura do ciclo de vida



Fonte: NBR ISO 14044 (2009).

Fase 1: objetivo e escopo - Nessa etapa será informado o objetivo do estudo, qual é sua finalidade e seu público-alvo, além de citar principalmente a unidade funcional, o sistema de produto, as fronteiras do sistema e suas limitações.

Fase 2: Análise de inventário - Nessa fase será necessário fazer a coleta de dados e os cálculos dos inputs e outputs do seu sistema de produto, ou seja, as entradas e as saídas que, além do produto final, são também as descargas que vão para o meio ambiente, podendo ser emissões, resíduos, etc.

Fase 3: Avaliação de impacto - Essa etapa reúne os dados do inventário, com impactos ambientais específicos, e entende esses impactos. Ela avalia os impactos ambientais potenciais, e para isso é importante o objetivo e o escopo estarem bem alinhados.

Fase 4: Interpretação do ciclo de vida - Nesta fase os resultados obtidos são combinados, e assim obtendo uma conclusão dos impactos de acordo com o objetivo definido previamente.

### 3.4.1 Softwares de apoio ao ciclo de vida

Os *softwares* de ACV servem para facilitar a gestão operacional em estudos do gênero. Afinal, os trabalhos de ciclo de vida, em geral, são complexos, pois requerem uma grande quantidade de dados a serem gerenciados, e demandam por bases de dados dos mais variados produtos. Além disso, Mariotoni (2007) cita que o uso de tais ferramentas computacionais possibilita o aumento da confiabilidade dos cálculos, conclusões e recomendações dos estudos. Todavia, é importante frisar que, nessa linha sobre a confiabilidade dos estudos, o mais importante é o domínio da técnica de ACV e suas restrições (SILVA, 2012).

Atualmente existe um número considerável de *softwares*, desenvolvidos por centros de pesquisa, universidades e empresas ao redor do mundo que auxiliam no desenvolvimento e execução da ACV de diferentes produtos e serviços. Para a escolha de qual *software* utilizar devem ser considerados alguns aspectos como o financeiro, as atualizações do programa, suporte técnico disponível, tamanho do banco de dados, idioma, possibilidade da edição dos dados originais e a inclusão e documentação de novos dados (SFEIR, 2013). Uma lista com alguns dos *softwares* disponíveis no mercado e suas características estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Principais *softwares* de apoio a avaliação do ciclo de vida

Ferramenta	Características	País
BEES	Setor Construção civil	Estados Unidos
ECO-it	Informações ambientais para metais, plásticos, papel e vidro e dados referentes à produção desses materiais, atividades de transporte, energia e tratamento de resíduos.	Holanda
EIO-LCA	estima os materiais e recursos energéticos necessários e as emissões ambientais resultantes das atividades em nossa economia	Estados Unidos
GaBi	Avalia os aspectos ambientais, sociais, econômicos, processos e tecnologias associados ao ciclo de vida de um produto, sistema ou serviço.	Alemanha
GREET	Permite avaliar diferentes combinações de motores e combustíveis	Estados Unidos

KCL-ECO	Utilizado para aplicar a ACV em estudos que possuem sistemas com muitos fluxos de processos incluindo recursos gráficos, procedimentos de alocação e avaliação de impacto	Finlândia
Open LCA	Um software de código aberto gratuito, para modelagem e avaliação do Life Cycle Assessment, com várias opções de importação e exportação.	Alemanha
SimaPro	É possível comparar e analisar produtos com ciclos de vida complexos como é o caso de produtos que possuem diferentes componentes em sua composição	Holanda
Umberto	Utilizado para visualizar fluxogramas de materiais e energia de tal forma que possibilite otimizar processos produtivos, reduzindo recursos de materiais e energia.	Alemanha

Fonte: EPA (2006); RIBEIRO (2009), adaptado

Entre as vantagens apontadas por Mariotoni et al (2007) apud Ribeiro (2009) para a utilização destes recursos estão a disponibilização de bancos de dados, reduzindo consideravelmente o tempo despendido com a coleta de dados; realização de avaliação de impactos e suas interpretações e a apresentação dos resultados de forma facilitada através de gráficos e tabelas.

De acordo com Cherubini e Ribeiro (2015), para *softwares* de gestão e manipulação de dados para a ACV na Europa e no Brasil, existe uma maior tendência ao uso do SimaPro®, do GaBi e do Umberto. Outro *software* que se destaca é o OpenLCA desenvolvido pela GrenDelta e disponibilizado de forma gratuita.

### 3.4.2 Métodos de avaliação de impacto

A fase de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), avalia a significância dos potenciais impactos ambientais coletados no inventário, fornecendo informações para a fase de interpretação do ciclo de vida (ABNT, 2009). Muitas metodologias podem ser aplicadas para a

AICV e boa parte destes métodos faz uso de cálculos na manipulação dos dados disponíveis, fazendo uso de *softwares* para realizá-los (NIGRI, 2012).

O ILCD (2010) apresenta um guia em que são apresentados e detalhados os principais métodos aplicados em estudos do ciclo de vida mundialmente. Um resumo das principais características e métodos, bem como, sua classificação quanto ao nível de sua abordagem é apresentada na tabela 3.

Tabela 3: Abordagens e métodos da análise do ciclo de vida

Método	Características	Abordagem
CML 2002	É o método mais utilizado em abordagens midpoints e apresenta uma ampla lista de categorias de avaliação de impactos.	Midpoint
EDIP 1997	Abordagem típica midpoint, abrange a maioria dos impactos relacionados a emissões, uso de recursos e impactos no meio ambiente de trabalho.	Midpoint
EDIP 2003	É uma evolução do EDIP 97, entretanto não o substitui. A versão 2003 apresenta um modelo de caracterização diferenciado espacialmente. Recomenda-se que seja usado como uma alternativa para ao EDIP97 em uma caracterização local.	Midpoint
LUCAS	Fornecer uma metodologia para AICV adaptada ao contexto canadense	Midpoint
MEEuP	Permite avaliar produtos que consomem energia e cumprem critérios que os tornam elegíveis para implementação de medidas de concepção ecológica.	Midpoint
TRACI	É um método de avaliação de impacto que representa as condições dos EUA/EPA.	Midpoint
USEtox	Fornecer fatores de caracterização para toxicidade humana e ecotoxicidade na AICV. É o método mais completo em termos de requisitos toxicológicos.	Midpoint
Eco-Indicator 99	É o mais utilizado em abordagens endpoints. Realiza caracterização e avaliação dos danos sobre saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos; possui normalização e valoração dos impactos.	Endpoint

Ecopoints	Fornece caracterização e fatores de ponderação de várias emissões e extrações com base em metas de políticas públicas e objetivas. É sueco	Endpoint
EPS	Ajuda designers e desenvolvedores de produtos em apoio à decisão.	Endpoint
Pegada Ecológica	Fornece um indicador da área biológica produtiva para fatores de demanda humana.	Endpoint
Impact 2002 +	A proposta do método Impact2002+ é a junção dos métodos midpoint com endpoint, a fim de absorver suas respectivas limitações e agrupar os pontos positivos de outros métodos.	Midpoint/Endpoint
LIME	Desenvolve listas de midpoint (caracterização), endpoint (avaliação de danos) e a ponderação que reflete as condições ambientais do Japão.	Midpoint/Endpoint
ReCiPe 2016	Os fatores de caracterização do ponto final, relacionados à três áreas proteção, são derivados de fatores de caracterização do ponto médio com um fator de ponto médio constante por categoria de impacto.	Midpoint/Endpoint

Fonte: Adaptado de ILCD (2010a); ECOINVENT (2010) apud Piekarski (2015) e Huijbregts et al (2016)

A avaliação de impacto do ciclo de vida geralmente envolve uma lista muito longa de emissões e recursos consumidos resultantes do impacto de ciclo de vida (ICV), e a interpretação desta lista é um processo difícil. Assim, os métodos de AICV, são projetados para auxiliar esta interpretação. Atualmente existem diversos métodos que podem ser aplicados na fase de AICV, sendo que cada um deles apresentam características próprias (BUENO, 2016).

As principais características dos métodos de AICV existentes podem ser classificados de acordo com vários parâmetros. Um deles está relacionado ao nível das categorias de impacto abrangidas pelo método. Os métodos podem ser agrupados pelo nível de avaliação no ponto médio (*midpoint*) ou ponto final (*endpoint*) e alguns tem uma abordagem combinada, que inclui fatores de caracterização nos dois níveis (BUENO, 2016).

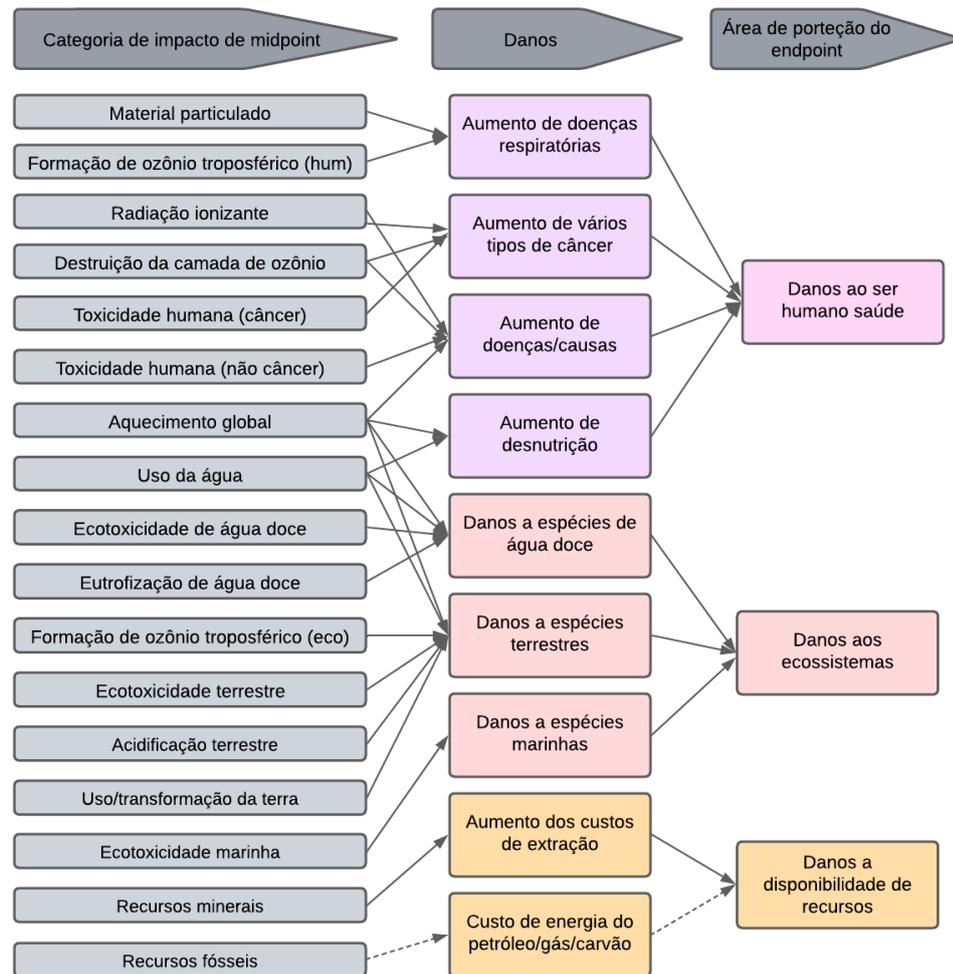
De acordo com Fehrenbach et al (2015), a seleção de um indicador de ponto final reflete o objetivo de considerar a cadeia causal a partir do aspecto ambiental antrópico (como por exemplo, extração ou emissão para o ambiente) para os efeitos nocivos final de ordem superior. A distinção se um indicador de categoria de impacto pode ser classificado como ponto médio ou ponto final é relacionado com a proximidade com o nível do inventário do ciclo de vida.

Um indicador de ponto médio mostra proximidade com os resultados do ICV, sendo assim, modelam o impacto primário, e estão localizados entre a emissão e o efeito nocivo final. Neste caso, a complexidade do impacto final da ordem mais elevada é reduzida a um único parâmetro que deve ser incluído no ICV e ser quantificável em uma escala cardinal (FEHRENBACH et al, 2015).

Dos métodos citados na tabela 3, Eco-indicator 99, IMPACT2002+ e ReCiPe 2008 são considerados por Piekarski (2015), os três principais métodos discutidos na literatura para *endpoint*. Sendo que Impact 2002+ e ReCiPe 2016 foram desenvolvidos a partir de Eco indicador 99 (ILCD, 2010a).

O método ReCiPe 2016, por exemplo, integra e harmoniza a abordagem *midpoint* e *endpoint* num quadro consistente. A nível *midpoint* aborda questões ambientais dentro de 18 categorias de impacto, sendo que estas categorias de impacto são convertidas e agregadas em 3 categorias a nível *endpoint* (Piekarski, 2015). A estrutura geral do método pode ser observada na Figura 5.

Figura 5: Visão geral das categorias de impacto contempladas na metodologia ReCiPe2016 e sua relação com as áreas de proteção.



Fonte: HUIJBREGTS, Maj et al. (2016).

A Figura 5 esboça as relações entre os parâmetros de ICV (à esquerda), indicador de ponto médio (meio) e indicador de ponto final (direita). O método ReCiPe utiliza um mecanismo ambiental como base para a modelação. Um mecanismo ambiental pode ser visto como uma série de efeitos que, em conjunto, podem criar um certo grau de dano para, por exemplo, à saúde humana ou para o ecossistema (GOEDKOOP et al, 2013).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

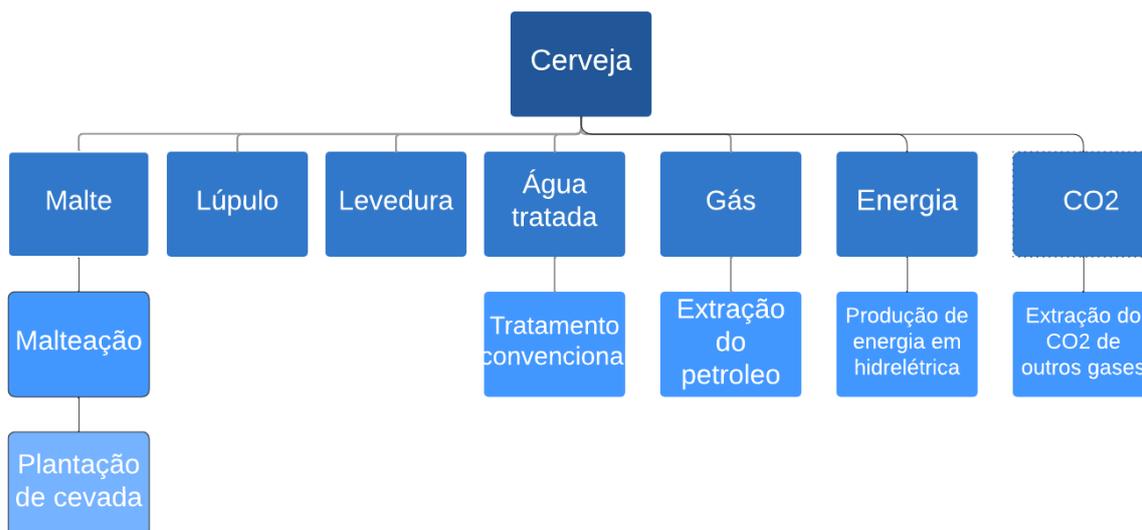
### 4.1 Local de estudo

Para realizar o estudo de ciclo de vida da cerveja, foi necessário conhecer na prática como é o processo produtivo. Então foi feita uma visita a uma cervejaria caseira localizada em Ouro Preto/MG, que está em atividade desde 2017. Ela tem a capacidade de produzir 300 litros de cerveja por mês, sendo dessa produção em mais de 50% do tipo Pilsen. A cervejaria distribui sua produção para consumidores finais e alguns comerciantes da região.

### 4.2 Escopo e levantamento de dados

A figura 6 apresenta resumidamente as entradas de dados utilizado para realização do estudo de ciclo de vida.

Figura 6: Entrada de dados da cervejaria



Fonte: Próprio Autor (2022).

Para o estudo da cerveja Pilsen foram analisados os dados da produção do malte, desde a plantação da cevada até o processo de malteação do grão, incluindo também os dados do tratamento da água, utilizando o método convencional coagulação, decantação, filtração e desinfecção. Também inclui o gás GLP em botijão e a extração do gás do petróleo, e a produção de energia elétrica provinda de usinas hidrelétricas, Isso porque em 2020 a energia hidráulica representou 65% da geração de energia no país, de acordo com o anuário estatístico de energia elétrica de 2021. Além da extração do CO<sub>2</sub> de outros processos de produção.

Como método de limitação da fronteira do sistema foram excluídos dados de transporte, transporte de matérias e produto final.

A unidade funcional do sistema é uma medida de referência de saída para o processo. Neste estudo a unidade funcional é equivalente ao fluxo de referência do sistema, ou seja, a produção 100 litros de cerveja lager do tipo Pilsen.

### **4.3 Avaliação de impacto**

Para o estudo do ciclo de vida da cervejaria caseira adotou-se o *software* de ACV Open LCA, por ter a disponibilidade gratuita e sem custos de licença, isso faz com que os dados sejam visualizados, e alterados por qualquer pessoa fazendo com que seja compartilhado livremente. É baseado na ISO 14040 e 14044. O Open LCA foi criado para a avaliação do ciclo de vida e a avaliação da sustentabilidade (CIROTH, 2019).

O Open LCA também tem disponível uma série de banco de dados para cada objetivo, sendo eles gratuitos ou pagos. O banco de dados escolhido para este trabalho foi o *agribalyse*, ele é um banco de dados francês para o setor agroalimentar, que inclui 2500 produtos agrícolas e alimentares, combinando uma abordagem baseada na produção e uma abordagem baseada no consumo (AGRIBALYSE, 2020).

### 4.3.1 Processos

Como processo para o sistema de produto da avaliação do ciclo de vida da cerveja foram utilizados processos encontrados no banco de dados *Agribalyse*. Os processos encontrados no banco de dados, apesar de possuírem dados de localizações diferentes ao do estudo, possuem grandes semelhanças ao sistema de produto do trabalho. O processo que não foi encontrado no banco de dados foi o lúpulo, então o sistema tem uma deficiência em relação a esse processo. A tabela 4 apresenta os fluxos dos processos de entrada e saída, as propriedades analisadas e respectivas unidades.

Tabela 4: Os fluxos de entradas e saídas do processo.

	fluxo	Propriedade de fluxo	unidade
Entrada	CO <sub>2</sub> líquido	Massa	Kg
	Eletricidade	Energia	kWh
	Gás	Energia	kWh
	Lúpulo	Massa	g
	Malte	Massa	kg
	Água tratada	Volume	m <sup>3</sup>
	Levedura	Massa	g
	Outros produtos	Volume	l
Saída	Cerveja	Volume	l
	água descartada	Volume	m <sup>3</sup>

Fonte: Próprio Autor (2022).

O fluxo do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) retirado do banco de dados é extraído de gases residuais de diferentes processos de produção, seguido por uma purificação e uma etapa de liquefação. Tem como entrada o material, energia e a água utilizada, como saída temos as emissões para a produção do CO<sub>2</sub>. Além de estar incluído no processo também a infraestrutura utilizada.

O fluxo de energia elétrica provém de hidrelétricas. De acordo com o Anuário Estatístico de energia elétrica em 2020, a produção de energia hidráulica é a maior fonte de geração, com 64%. Logo depois vem o gás natural, a biomassa e a energia eólica com 9% (BRASIL, 2020). Então esse fluxo têm os dados a partir da usina pronta para produzir eletricidade, com o reservatório cheio de água, e inclui a área ocupada pela barragem, estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> e metano, e as atividades de operação.

O gás utilizado no processo é o GLP, e o fluxo abrange toda a cadeia dos suprimentos dos produtos da refinaria do petróleo, incluindo a perfuração de poços, até a extração do gás.

O fluxo de água representa a água tratada de modo convencional, ou seja, tratamento que inclui coagulação, decantação filtração e desinfecção. E a atividade inicia-se desde o bombeamento da captação da água superficial e finaliza no portão de instalação das casas.

Já o fluxo do malte é representado por toda a cadeia de plantação do grão da cevada, incluindo desgastes das máquinas, tratamento do solo, até a sua colheita, e também inclui o processo de maltagem do grão, onde acontece o processo de maceração, germinação e secagem.

Para os processos da levedura e do lúpulo, não se tem essa informação no banco de dados.

Considerando a geração de resíduos sólidos durante o processo, ele será utilizado em uma fazenda como alimentação do gado.

#### **4.3.2 Método de avaliação de impacto**

Como forma de calcular o ciclo de vida da cerveja e analisar os impactos gerados pelo seu processo, foi escolhido o método ReCipe 2016 com a metodologia *midpoint* H.

O método de impacto ReCipe, além de fornecer fatores de caracterização representativos globais, também aborda uma série de preocupações ambientais no nível do ponto médio e do ponto final. A metodologia do ponto médio, ou *midpoint*, mede o efeito antes que o dano ocorra, tem incerteza baixa e tem uma relação forte com os fluxos ambientais, ao contrário do método endpoint, que principalmente segue as consequências de determinada emissão até que cause o dano. A incerteza maior nesse método se dá pois utiliza dados do método midpoint e por meio de ponderações se restringe a três áreas de proteção: a saúde humana, qualidade do ecossistema e escassez de recursos (HUIJBREGTS, Maj et al., 2016).

A metodologia *midpoint* leva em consideração vários impactos, observados na tabela 5, juntamente com as unidades adequadas.

Tabela 5: Categorias de impacto ReCipe 2016 do ponto médio

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidades</b>
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB *
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq
Uso da terra	m <sup>2</sup> a crop eq
Consumo de água	m <sup>3</sup>
Toxicidade humana não cancerígena	kg 1,4-DCB
Radiação ionizante	kBq** Co-60 eq
Toxicidade cancerígena humana	kg 1,4-DCB*
Ecotoxicidade marinha	kg 1,4-DCB*
Ecotoxicidade de água doce	kg 1,4-DCB*
Acidificação terrestre	kg SO <sub>2</sub> eq
Escassez de recursos minerais	kg Cu eq
Formação de ozônio, ecossistemas terrestres	kg NOx eq
Formação de ozônio, saúde humana	kg NOx eq
Formação de partículas finas	kg MP2.5 eq
Eutrofização marinha	kg N eq
Eutrofização de água doce	kg P eq
Destruição do ozônio estratosférico	kg CFC***11 eq

Fonte: HUIJBREGTS, Maj et al. (2016).

\* DCB: Diclorobenzeno

\*\*Bq: Becquerel é a unidade de medida no Sistema Internacional para atividade de um radionuclídeo

\*\*\*CFC: Clorofluorcarbonetos

Os resultados do estudo de impactos são dados muitas vezes em equivalência de substâncias, podendo ser elas o metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, entre outros, para cada categoria de impacto.

#### 4.4 Interpretação do ciclo de vida utilizando análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade tem como objetivo identificar as variações do resultado final devido às pequenas mudanças nos dados de entrada, podendo auxiliar na melhoria da interpretação do resultado (ROSENBAUM; GEORGIADIS; FANTKE, 2018).

A análise da sensibilidade serviu para verificar a mudança nos resultados com a variação de dados de entrada. Para tanto, buscou-se realizar variações que correspondiam à realidade do sistema de produto estudado. Dessa maneira, as análises feitas foram as seguintes:

- Mudança na quantidade de água utilizada no processo;
- Alteração do gás GLP para energia elétrica;
- Alteração da energia elétrica provinda de hidrelétrica para energia renovável, fotovoltaica.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Escopo e análises das entradas e saídas

Após a coleta dos dados da cervejaria e a análises dos processos disponíveis no banco de dados *Agribalyse* foram selecionados os processos que mais se adequam à proposta do trabalho para a elaboração do ciclo de vida da cerveja artesanal.

A tabela 6 apresenta todos os fluxos de entrada e saída (inputs e outputs) relacionados à produção da cerveja artesanal caseira e a cadeia de suprimentos conectada a este processo. Ressalta-se que o resultado foi gerado em função da unidade funcional do processo (produção de 100 litros de cerveja tipo pilsen).

Tabela 6: Inputs e Outputs do produto com unidade funcional de produção de 100 litros de cerveja Pilsen

	Fluxo	Quantidade	Unidade
Entrada	CO <sub>2</sub> líquido	1	Kg
	Eletricidade	344,3	kWh
	Gás	178	kWh
	Lúpulo	500	g
	Malte	17	kg
	Água tratada	8400	l
	levedura	46	g
	Outros produtos	0,4	l

Saída	Cerveja	100	1
	água descartada	8300	1

Fonte: Próprio Autor (2022).

No inventário gerado, foram identificados e analisados os *inputs*, ou seja, os recursos consumidos durante o ciclo de vida do processo, e os *outputs*, que são as descargas ambientais do processo, juntamente com os dados recolhidos da cervejaria. Vale ressaltar a dificuldade de quantificar certos dados, por ser uma cervejaria artesanal caseira, onde os processos não têm controles definidos, como a utilização da água no processo, bem como o CO<sub>2</sub> e o gás.

Na cervejaria em estudo, a cada 100 litros de cerveja produzidos, são consumidos 8.400 litros de água, conseqüentemente grande parte dessa água virará efluente líquido. São utilizados no processo 1 botijão de gás de GLP, então de acordo o poder calorífico isso representa 178 kWh de energia elétrica, (CEGÁS, 2016). O fluxo de “outros produtos” inclui produtos de desinfecção e limpeza.

Os resíduos sólidos como o bagaço de malte foram retirados do processo. Estes são uma fonte de alimentação animal, portanto não precisam passar por nenhum outro processo.

## 5.2 Avaliação de Impacto

A avaliação de impacto do ciclo de vida da produção de cerveja artesanal foi realizada pelo método ReCiPe 2016 Midpoint (H). Neste item, cada parâmetro de *output* é associado a uma ou mais categorias de impacto dos modelos. Na tabela 7 encontram-se as categorias de impacto mais relevantes e seu resultado. As categorias mais relevantes foram as que obtiveram um resultado maior.

Tabela 7: As principais categorias de impactos e seus valores

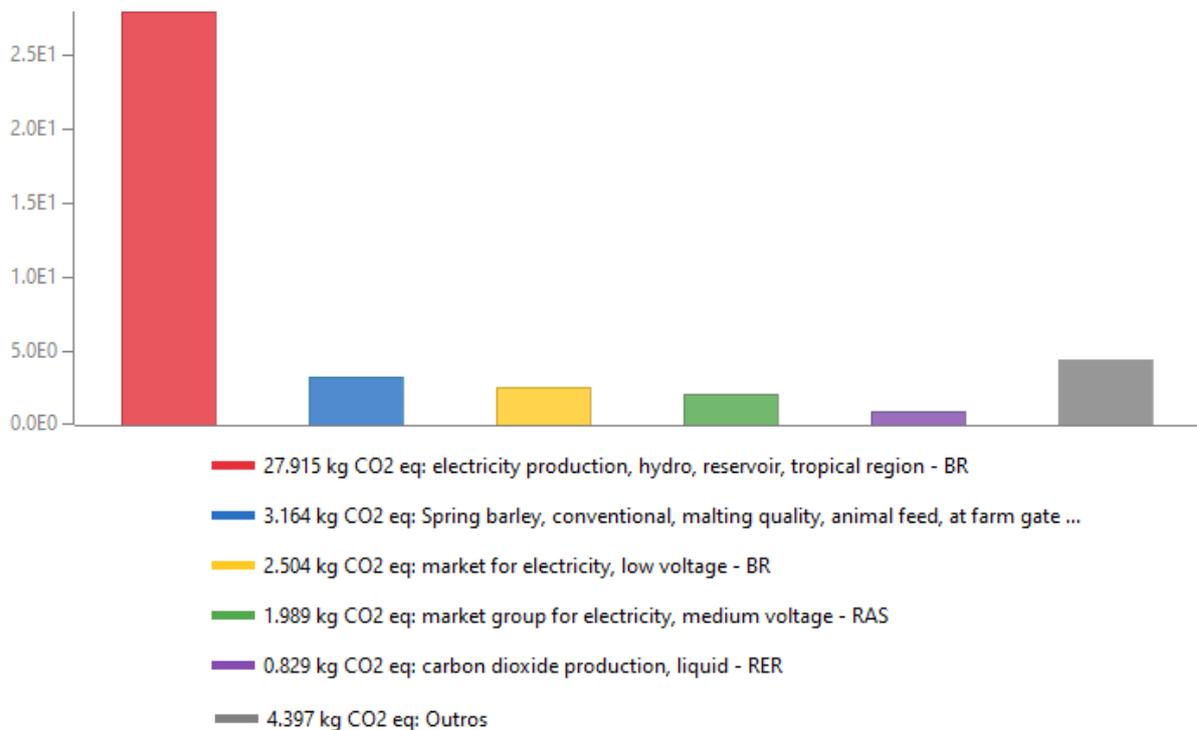
<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Quantidades</b>
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	40,80
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	37,47
Uso da terra	m <sup>2</sup> a crop eq	27,25
Consumo de água	m <sup>3</sup>	19,00
Toxicidade humana não cancerígena	kg 1,4-DCB	7,73
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	3,02
Radiação ionizante	kBq Co-60 eq	0,96
Toxicidade marinha	kg 1,4-DCB	0,73

Fonte: Próprio Autor (2022).

Observa-se que a produção de cerveja tem grande impacto principalmente no aquecimento global e na ecotoxicidade terrestre.

O aquecimento global está relacionado à emissão de gases de efeito estufa. Esses gases levam a um aumento da concentração de outros gases na atmosfera, que aumentará a capacidade de forçamento radioativo levando a um aumento da temperatura global. Esse aumento da temperatura acaba causando danos à saúde humana e aos ecossistemas (Recipe, 2016). As contribuições para esse impacto são dadas na figura 7.

Figura 7: Gráfico das atividades que influenciam o Aquecimento Global.

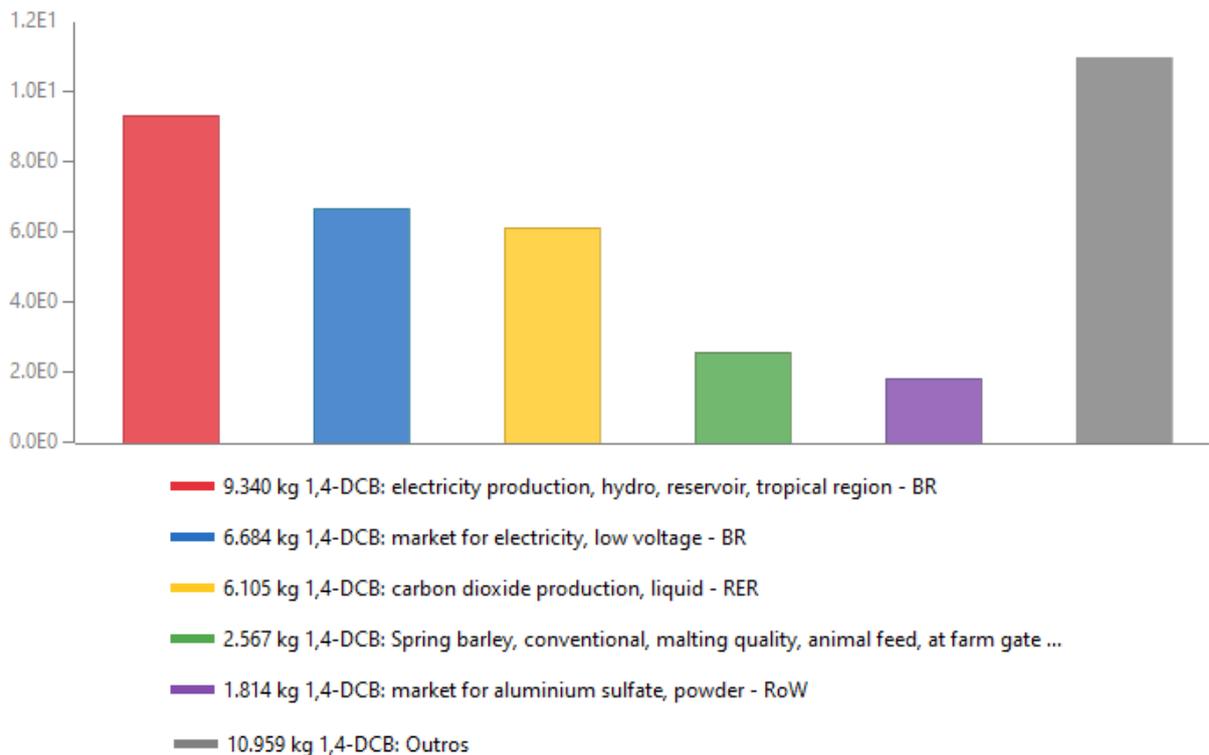


Fonte: Próprio autor (2022).

A principal atividade que está ligada ao aquecimento global é a produção de energia elétrica provinda de hidrelétricas. Neste fluxo inclui dados de emissão de gases de efeito estufa a partir do início da produção de energia elétrica, com o reservatório cheio de água. Inclui também dados de área/volume ocupado pela barragem, estimativa de emissões de dióxido de carbono e metano e também dados das atividades de operação, manutenção e materiais das usinas, como óleo lubrificante.

A ecotoxicidade, o segundo impacto mais relevante, é avaliada pela persistência ambiental, acúmulo na cadeia alimentar e a toxicidade de um produto químico. O que afeta várias espécies e causa danos à saúde humana, causando doenças. Os fluxos que contribuem para esse impacto podem ser observados na figura 8.

Figura 8: Gráfico das atividades que influenciam a Ecotoxicidade Terrestre.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Apesar da categoria “outros” estar com um valor mais alto, a atividade que causa mais impacto em relação à ecotoxicidade terrestre é também a produção de eletricidade proveniente de hidrelétricas.

Comparando com o estudo feito por Koroneos (2003), ele teve como principal impacto os resíduos sólidos, que são provenientes principalmente da produção da cerveja, e da utilização da embalagem, que são fluxos que foram retirados do nosso estudo, e como segunda categoria de impacto o efeito estufa (tabela 8).

Tabela 8: Categorias de impacto e seus valores

Categoria	Valor caracterizado	Unidade
Efeito estufa	392,46	kg CO <sub>2</sub> eq

Destruição do ozônio	0,00234	Kg CFC 11 eq
Eutrofização	0,40895	kg $PO_4$ eq
Acidificação	0,00015	kg $SO_2$ eq
Formação de fumaça	21,413	kg $C_2H_4$ eq
Resíduos sólidos	557,9	kg
Toxicidade humana	6,724E-05	kg B(a)P
Toxicidade da terra	0,05161	kg Pb

Fonte: Koroneos (2003).

### 5.3 Análise de sensibilidade

#### 5.3.1 Água

A água do processo cervejeiro artesanal caseiro é difícil de ser medida, pois geralmente está associado ao consumo de água interno da casa. Considerando o consumo de 200 litros de água por pessoa por dia (CPRM), e 3 pessoas na casa, chegamos a um número de 8.400 litros de água para a produção de 100 litros de cerveja.

Para a produção de cerveja da AMBEV ela utiliza 5,6 litros de água para cada litro de cerveja, o que é muito diferente do estudo analisado, que são cerca de 84 litros de água para cada litro de cerveja. Além de ser um valor estimado, de acordo com a conta de água do local, o local não possui tecnologias para realizar a limpeza dos recipientes onde a cerveja será engarrafada, ocasionando um alto consumo de água.

Então a análise de sensibilidade da água alterou a quantidade necessária de água de 84 litros para 5,6 litros de água. Utilizando esses dados veremos a tabela 9 e a figura 9, o resultado dessa variação.

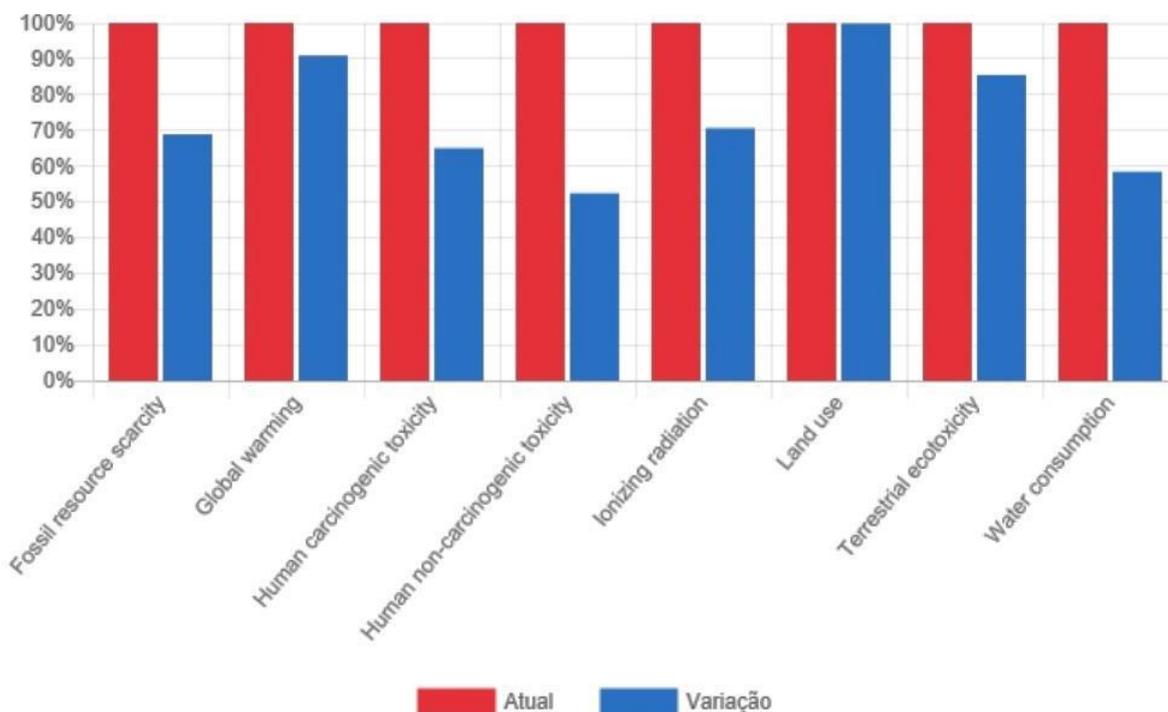
Tabela 9: Principais Categorias de Impacto e seus valores atuais com a variação da quantidade de água

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Atual</b>	<b>Varição</b>
Aquecimento global	kg $CO_2$ eq	40,80	37,08
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	37,47	32,02
Uso da terra	$m^2$ a crop eq	27,25	27,21
Consumo de água	$m^3$	19,00	11,10

Toxicidade humana não cancerígena	kg 1,4-DCB	7,73	4,05
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	3,02	2,08
Radiação ionizante	kBq Co-60 eq	0,96	0,68
Toxicidade marinha	kg 1,4-DCB	0,73	0,59

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 9: Gráfico comparativo do cenário atual e com a variação da quantidade de água



Fonte: Próprio Autor (2022).

Podemos observar uma queda nos valores de todos os principais impactos relacionados ao ciclo de vida da cerveja, principalmente no consumo de água, que tem uma queda de 42%. Já o valor de uso da terra não se modifica muito, pois representa o uso da terra para a plantação do malte.

Podemos observar também uma queda significativa nos valores de impactos de toxicidade humana cancerígena e não cancerígena. Isso se dá, pois, a água utilizada é incorporada nos produtos, evaporada, e transferida para outras bacias hidrográficas ou descartadas ao mar. Então essa água não está mais disponível na bacia de origem para os seres humanos e nem para aquele ecossistema. Com a redução da água doce, há uma competição de diferentes usos da água. A queda da disponibilidade de água para irrigação leva a redução de produtos agrícolas e conseqüentemente um aumento da desnutrição entre a população local. Isso causa uma maior utilização de agrotóxicos e substâncias prejudiciais à saúde humana e dos

seres vivos para que aquele alimento se torne resistente. Com a diminuição do uso da água os valores de toxicidade caem justamente pelo fato de existir mais água disponível na localidade.

Então é necessário o uso de tecnologias para quantificar com exatidão a quantidade de insumo utilizado e para principalmente a limpeza dos recipientes, para que se consuma menos água e, conseqüentemente, se diminuam os impactos.

### 5.3.2 Gás

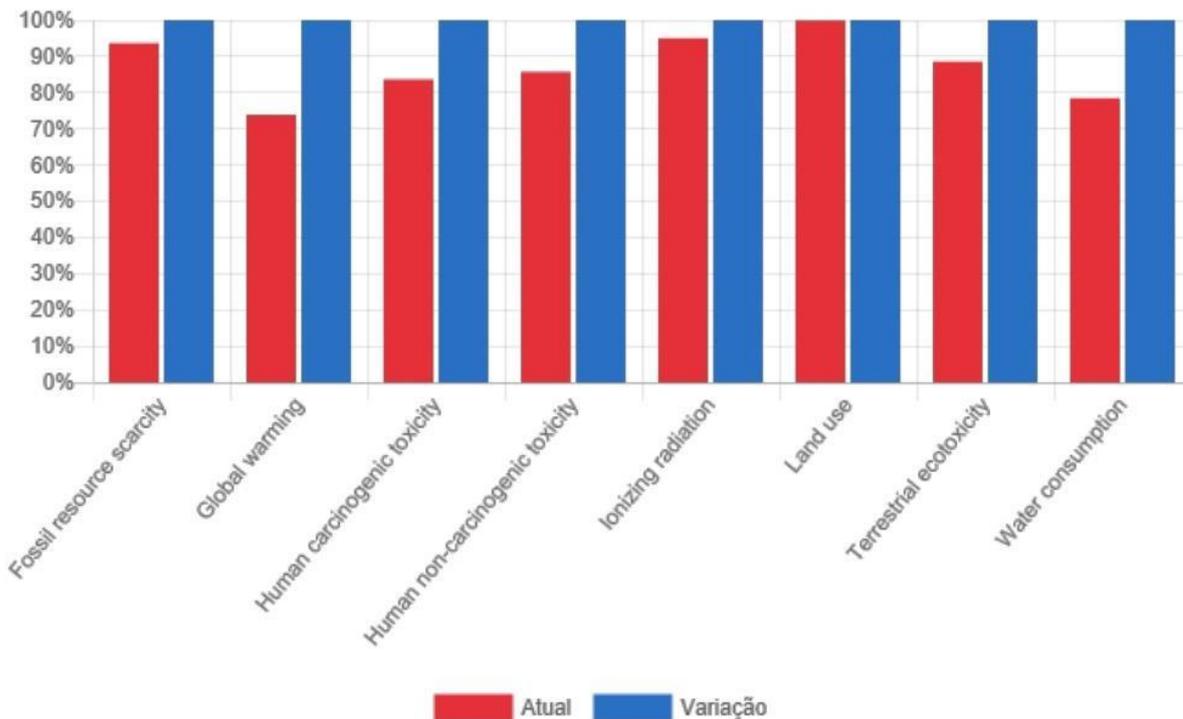
A energia nas grandes cervejarias é oriunda do calor do processo na forma de vapor e da energia elétrica (SANTOS, 2005). Por ser uma cervejaria caseira, o estudo de caso ainda utiliza o método do GLP, ou gás de cozinha. Então foi retirado o gás e adicionado o valor em poder calorífico para eletricidade provinda de hidrelétrica. Podemos observar os resultados na tabela 10 e na figura 10.

Tabela 10: Principais Categorias de impactos e seus valores atuais e com a mudança de GLP para energia elétrica

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Atual</b>	<b>Variação</b>
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	40,80	55,23
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	37,47	42,30
Uso da terra	m <sup>2</sup> a crop eq	27,25	27,26
Consumo de água	m <sup>3</sup>	19,00	24,21
Toxicidade humana não cancerígena	kg 1,4-DCB	7,73	9,02
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	3,02	3,22
Radiação ionizante	kBq Co-60 eq	0,96	1,01
Toxicidade marinha	kg 1,4-DCB	0,73	0,76

Fonte: Próprio Autor (2022).

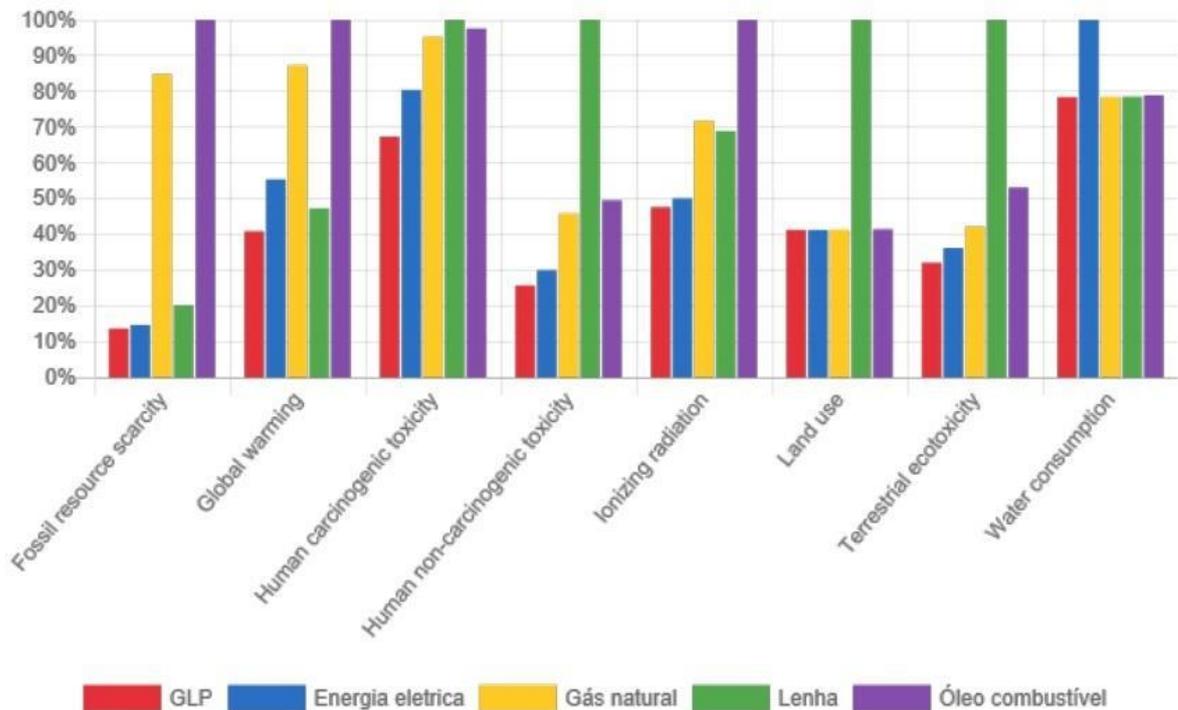
Figura 10: Gráfico comparativo do cenário atual com a variação



Fonte: Próprio Autor (2022).

Retirando apenas o gás e transformando em energia elétrica todos os impactos aumentaram em no máximo 35%, que é o caso do aquecimento global. Ou seja, o processo da energia elétrica gera mais impactos do que o processo do gás de cozinha. De acordo com a SANTOS (2005), a caldeira de fervura pode também ser alimentada por lenha, óleo combustível e gás natural, portanto é interessante observar qual o método que causa menos impactos (Figura 11).

Figura 11: Gráfico comparando GLP, Energia Elétrica, lenha óleo combustível gás natural.



Fonte: Próprio Autor (2022).

De acordo com a figura 11, o método que causa menos impacto continua sendo o processo do gás GLP.

GIODA (2018) afirma que se os combustíveis fossem substituídos pelo GLP haveria uma redução significativa na emissão dos gases de efeito estufa, como podemos ver na tabela 11, os combustíveis e suas emissões de CO<sub>2</sub>.

Tabela 11: Taxa de emissões de CO<sub>2</sub> para diferentes combustíveis

Combustível	Emissão de CO <sub>2</sub>
GLP	1,71 x m <sup>7</sup>
Lenha	3,04 x m <sup>7</sup>
Carvão vegetal	1,82 x m <sup>6</sup>
Gás Natural	8,37 x m <sup>5</sup>

Querosene	7,42 x m <sup>3</sup>
-----------	-----------------------

Fonte: GIODA (2018).

De acordo com a tabela anterior, confirma-se que o gás GLP emite menos CO<sub>2</sub> do que os outros tipos de combustíveis, mesmo dentro da sua cadeia produtivas, que consiste na extração do petróleo e seu refino.

### 5.3.3 Energia

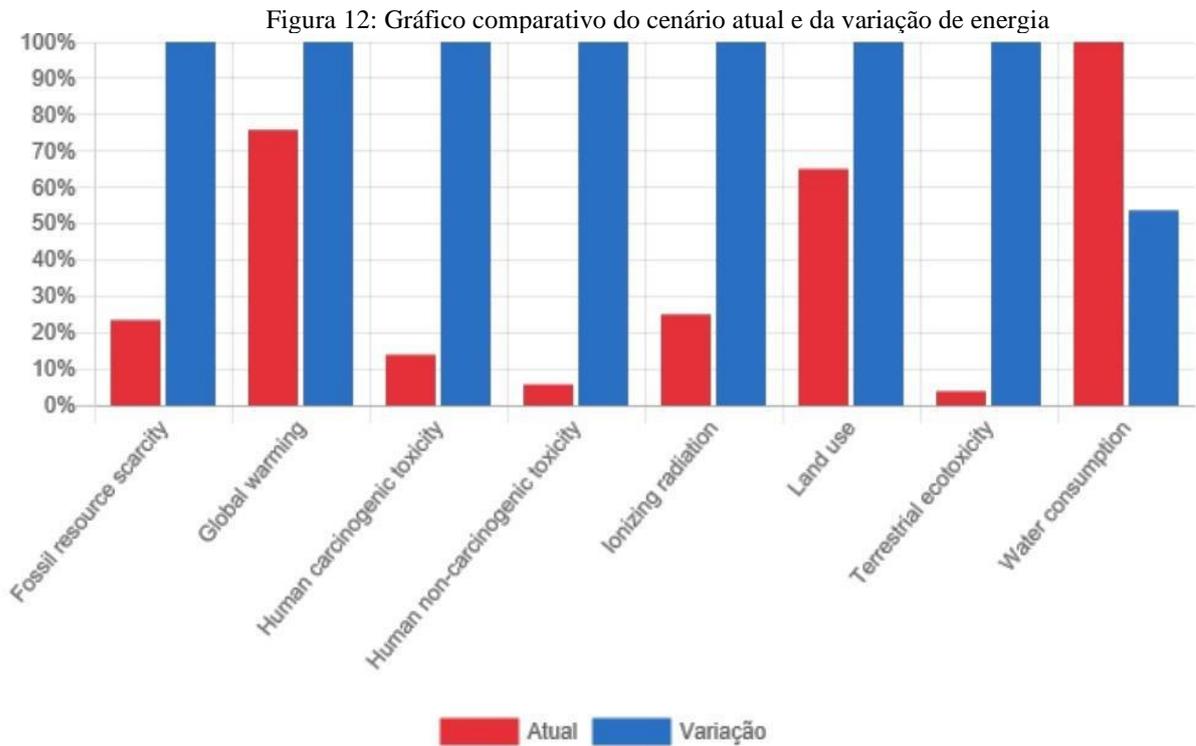
De acordo com a figura 7 e figura 8, a energia elétrica provinda de hidrelétrica é o fluxo que mais causa impactos na ACV da cerveja, apesar de ser uma "energia limpa" ou "renovável".

A energia renovável está ligada às fontes que possuem capacidade de se recuperar, nunca se esgotam, e são chamadas de energia limpa, pois causam uma baixa agressão ao meio ambiente. Tanto a energia solar fotovoltaica como energia hidrelétrica são aceitas como energia renovável (Santos, 2005). Então foi alterada a energia hídrica para fotovoltaica, o resultado é observado na tabela 12 e na figura 12.

Tabela 12: Principais Categorias de Impacto e seus valores atuais com a variação de energia.

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Atual</b>	<b>Varição</b>
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	40,80	53,81
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	37,47	972,31
Uso da terra	m <sup>2</sup> a crop eq	27,25	41,88
Consumo de água	m <sup>3</sup>	19,00	10,20
Toxicidade humana não cancerígena	kg 1,4-DCB	7,73	134,85
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	3,02	12,89
Radiação ionizante	kBq Co-60 eq	0,96	3,82
Toxicidade marinha	kg 1,4-DCB	0,73	9,64

Fonte: Próprio Autor (2022).



Fonte: Próprio Autor (2022).

De acordo com o gráfico anterior, praticamente todos os impactos relacionados à ACV da cerveja aumentaram em relação à produção de energia hídrica para a produção de energia fotovoltaica. Isso porque os impactos das hidrelétricas acontecem na sua maioria na fase de construção (BRASIL, 2015). As emissões das hidrelétricas são variadas pois dependem dos seguintes fatores: tamanho do reservatório; profundidade; tipo e quantidade de matéria orgânica submersa; tipo de solo; clima da região. Essas informações alteram a decomposição anaeróbia da matéria orgânica submersa no reservatório, modificando as emissões de metano (Ramos et, al.,2017).

O sistema de energia fotovoltaica, apesar de possuir flexibilidade locacional, e permitir o acesso à energia a locais distantes e de difícil acesso, os impactos relacionados à cadeia produtiva são relevantes. Para produção dos painéis fotovoltaicos é necessário silício metalúrgico que gera impactos desde a fase de extração até a fase de fabricação (BRASIL, 2015). E durante a purificação desse silício ocorre a liberação dos gases tóxicos e de efeito estufa na atmosfera. E ainda há o risco de contaminação da água pelo descarte inadequado das baterias de chumbo e a geração de resíduos tóxicos (Ramos, 2017).

Ramos (2017), fez um artigo que demonstra a contribuição da metodologia de ACV na quantificação dos potenciais impactos ambientais no processo de produção da energia elétrica. A tabela 13 demonstra os resultados obtidos no estudo, levando em conta as emissões de CO<sub>2</sub> na fase de construção e na fase de operação.

Tabela 13: Emissões de CO<sub>2</sub> ao longo da fase de construção e operação de diferentes gerações de energia

Geração	Emissões [kgCO <sub>2</sub> /(kWh/ano)]		
	Fase de construção	Fase da operação	Total
Carvão	0,0221	0,9159	0,938
Óleo	0,0164	0,7557	0,7721
Gás Natural	0,0160	0,5630	0,579
Hidrelétrica	0,3954	0,0171	0,4125
Fotovoltaica 1	3,5400	0,1534	3,6934
Fotovoltaica 2	3,4143	0,1480	3,5623
Fotovoltaica 3	4,3070	0,1866	4,4936

Fonte: Ramos (2017).

Observa-se que a hidrelétrica é a matriz energética que menos emite CO<sub>2</sub>, apesar de, na fase de construção, o valor de emissão seja maior que o carvão e o óleo e o gás natural, mas na fase de operação esse valor se compensa.

Comparando a energia solar com a hidrelétrica, a fase de construção dos painéis fotovoltaicos emite um valor muito acima, já na fase de operação esse valor cai bastante. Então esse valor de operação se dá pela extração do minério da natureza, o seu processo, purificação e o transporte.

Então a energia hidrelétrica é o tipo de matriz que causa menos impactos ambientais no aspecto do ciclo de vida.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs identificar os impactos ambientais da produção caseira de 100 litros de cerveja pilsen, por meio da análise do ciclo de vida, utilizando a abordagem do ciclo de vida e a abordagem da análise de sensibilidade.

Utilizando o Open LCA e o banco de dados Agribalyse, foram colocados os dados do estudo e foram encontrados os fluxos de referência do processo. Porém, não foram encontrados os fluxos para o lúpulo e levedura.

Um dos maiores impactos causados com a produção de cerveja é o aquecimento global e a ecotoxicidade terrestre. O processo que contribuiu majoritariamente para as categorias de impacto mais relevantes foi a geração de energia elétrica por hidrelétricas.

Na análise de sensibilidade sobre a água, a diminuição do consumo de água na produção cervejeira reduz todos os impactos ambientais. A troca de combustível da caldeira, do GLP para lenha, gás natural, óleo combustível ou energia elétrica não é viável ambientalmente, pois o processo de produção destes combustíveis é mais poluente do que o processo do próprio gás GLP. A mudança de energia elétrica para uma energia limpa, fotovoltaica, também se mostra equivocada ambientalmente, pois o processo de produção das placas fotovoltaicas envolve extração de mineral e refino, e todo esse processo gera muitos impactos, o que reflete na cadeia produtiva da energia fotovoltaica, e por isso a produção de energia hidrelétrica é a menos poluente.

O estudo da cervejaria caseira contém certas dificuldades, principalmente relacionadas à aquisição de dados de forma concisa, e à falta de tecnologia e maquinário específico, pois evita que se gaste mais insumos do que o necessário, refletindo assim a cadeia produtiva.

Embora os resultados apresentados sugiram que a ACV seja uma ferramenta útil para auxiliar no monitoramento de sistemas de produção, a falta de uma base de dados aplicável a situação brasileira torna-se uma grande limitação da aplicabilidade desta ferramenta. Portanto, é necessário usar e ajustar modelos e métodos aplicáveis à realidade do país em estudo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRARIA, Malte. **Guia prático de produção de cerveja**. 2016

**AGRIBALYSE**. OPENLCA Nexus, 2020. Disponível em: <<https://nexus.openlca.org/database/Agribalyse>> Acesso em: janeiro 2022.

AMBEV. **A ÁGUA É DA NOSSA CONTA**. Jun 2021. Disponível em: <https://www.ambev.com.br/sustentabilidade/agua/>. Acesso em: 03 ago 2021.

NBR ISSO 14044. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, nov 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040:2009 Versão Corrigida: 2014: **Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Brasil, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário da cerveja 2020**. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021**. Brasília, 2020.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, EPE. **Cenário econômico 2050**. Estudos econômicos Rio de Janeiro, 2015.

BUENO, C.; HAUSCHILD, M.Z.; ROSSIGNOLO, J.A.; OMETTO, A.R.; MENDES, N.C. Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: a case study on building materials. **Journal of Cleaner Production**, v.112, n.20, 2016.

CARVALHO, Lilian. **Produção de cerveja**. REDETEC - Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Março, 2007.

CEGÁS. **Equivalência energética**. 2016. Disponível em <<https://www.cegas.com.br/gas-natural/equivalencia-energetica/>>. Acesso em: março 2022.

CHERUBINI, E.; RIBEIRO, P.T. **Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia Desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil**. Brasília: Ibct, 2015.

CIROTH, A. **Comprehensive User Manual**. Greendelta. 2019.

CPRM, **Coisas que você deve saber sobre a água**. BRANCO, Pércio. Serviço geológico do Brasil.

EPA. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. Cincinnati, 2006.

FEHRENBACH, H.; GRAHL, B.; GIEGRICH, J.; BUSCH, M. Hemeroby as an impact category indicator for the integration of land use into life cycle (impact) assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.20, n.11, 2015.

FERRARI V. **O mercado de cervejas no Brasil**. Porto Alegre, 2008.

GOEDKOOPE, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; SCHRYVER, A.; STRUIJS, J.; ZELM, R.V. **ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**. PRé Consultants, Amersfoort, 2013.

GUERREIRO. L. **Efluente em cervejaria**. Resposta técnica. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

HIERONYMUS, Stan. **For the love of hops: The Practical Guide to Aroma, Bitterness and the Culture of hops**. Brewers Publications. 2012.

HUIJBREGTS, Maj et al. **ReCiPe 2016 v1.1**. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization. National Institute for Public Health and the Environment. 2016.

ILCD (INTERNATIONAL REFERENCE LIFE CYCLE DATA SYSTEM). **ILCD Handbook: Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment**. 2010. Disponível em: . Acesso em: 10 jun. 2015.

LIMA,L.; FILHO A. **Tecnologia de bebidas**. Recife: EDUFRPE, 2011.

MANSILHA, Márcio Burguer; FARRET, Felix Alberto; ROSA Leandro Cantorski. **Avaliação do ciclo de vida do alumínio primário utilizando o software openLCA**. Revista Espacios, Vol. 38, N 41, 28, abril, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n41/a17v38n41p06.pdf>. Acesso em: 03 ago 2021.

MARIOTONI, C. A.; CUNHA, M. E. G.; BAPTISTELA, R. Z. **Uma discussão de diferentes softwares visando a aplicação da técnica Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) em indústrias**. In: Conferência Internacional sobre Avaliação de Ciclo de Vida - CILCA 2007, anais. São Paulo, 2007. 1 CD-ROM. apud RIBEIRO, P. H. Contribuição ao Banco de Dados

Brasileiro para Apoio à Avaliação do Ciclo de Vida: Fertilizantes Nitrogenados. 341 p. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009

MORADO, R. **Larousse da Cerveja**. Larousse do Brasil. 1 ed, São Paulo, 2011.

MUSSATTO, S.I. Brewer's spend grain: a valuable feedstock for industrial applicatins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2014.

NIGRI, E. M. **Análise comparativa do ciclo de vida de produtos alimentícios industriais e artesanais da culinária mineira**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFMG, Belo Horizonte, 2012.

OLAJIRE, A. A. The brewing industry and environmental challenges. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-21, 2012.

PALMER, J.; KAMINSKI C. **Water : a comprehensive guide for brewers**. Kristi Switzer, 2013.

PIEKARSKI, C. M. **Modelo multicritério para apoio à tomada de decisão baseado em avaliação do ciclo de vida e indicadores corporativos**. 2015. 146f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

RAMOS; et al. Geração de Eletricidade Abordando o Ciclo de Vida: Uma Revisão Sistemática sob a Ótica da Sustentabilidade Ambiental. **Revista Engineering and Science**. 6:1. 2017

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao Banco de Dados Brasileiro para Apoio à Avaliação do Ciclo de Vida: Fertilizantes Nitrogenados**. 341 p. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ROSENBAUM, Ralph K.; GEORGIADIS, Stylianos; FANTKE, Peter. **Uncertainty Management and Sensitivity Analysis**. In: Life Cycle Assessment. Springer, Cham, 2018. p. 271-321.

SANTOS, M; RIBEIRO, F. **Cervejas e refrigerantes**. São Paulo. CETESB, 2005.

SEBRAE; ONU. **Pensamento do ciclo de vida: negócios conscientes a caminho da sustentabilidade**. Cuiabá, MT: Sebrae, 2017. Disponível em: <<https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2018/08/Pensamento-do-Ciclo-de-Vida-Cartilha.pdf>> Acesso em: set, 2022.

SILVA, Diogo. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP do Brasil**. São Carlos. 2012.

SIMATE, G. S. et al. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. **Desalination**, v. 273, p. 235-247, Elsevier: 2011.

SINDICERV - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA. **O setor em números**. 2020. Disponível em: <<https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/#>> Acesso em: set 2022.

SFEIR, Tamires. **Avaliação do ciclo de vida da produção de pellets de madeira utilizando o software livre Open LCA**. Curitiba, 2013.

WHITE, C.; ZAINASHEFF J. **Yeast - The Practical Guide to Beer Fermentation**. Brewers Publications, 2010.

YOSHIMUCHI, A. et al. **Guia PCS, Produção e consumo sustentáveis: tendência e oportunidades para o setor de negócios**. 2015. Disponível em: <<http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2015/06/dma-guia-pcs-web.pdf>>. Acesso em: out, 2022.

ZEHN Bier. **Pilsen: A cerveja mais consumida no mundo**. 2019. Disponível em: <<https://www.zehnbier.com.br/2019/11/18/pilsen-a-cerveja-mais-consumida-no-mundo/#:~:text=S%C3%A3o%20conhecidas%20como%20cervejas%20de,intensa%20e%20com%20sabor%20refrescante.>> Acesso em: set, 2022.