



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



DANIEL DE PAULA DINIZ

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA EM CERVEJARIAS

JOÃO PESSOA - PB
2020

DANIEL DE PAULA DINIZ

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA EM CERVEJARIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis – PPGER da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis.

Orientadora
Prof^ª. Monica Carvalho, PhD.

**JOÃO PESSOA - PB
2020**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D585t Diniz, Daniel de Paula.
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA EM CERVEJARIAS / Daniel de Paula
Diniz. - João Pessoa, 2020.
68 f.

Orientação: MONICA CARVALHO.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Cerveja. 2. Avaliação do Ciclo de Vida. 3. Energias
Renováveis. 4. Energia Solar Térmica. 5. Energia Solar
Fotovoltaica. I. CARVALHO, MONICA. II. Título.

UFPB/BC

DANIEL DE PAULA DINIZ

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA EM CERVEJARIAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 20 de fevereiro de 2020.



Prof.ª Monica Carvalho, PhD
UFPB / CEAR / DEER
SIAPE nº 1991228

Prof.ª. Dr.ª. Monica Carvalho – CEAR/UFPB



Prof. Raphael Abrahão, PhD
UFPB / CEAR / DEER
SIAPE 1991244

Prof. Dr. Raphael Abrahão – CEAR/UFPB



Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato Silva – CCT/UFPB

Orientadora
Prof.ª Dr.ª Monica Carvalho

JOÃO PESSOA – PB

2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a minha família, minha mãe Zélia, meu pai Edimundo e minha irmã Carolina a qual foi a principal incentivadora no início do processo do mestrado.

Quero agradecer minha companheira Candice Didonet por toda força e incentivo nessa caminhada.

Agradecimento especial a minha orientadora Monica Carvalho, que mesmo não me conhecendo me acolheu no programa e me orientou da melhor forma possível.

Também quero agradecer aos meus professores da UFSC, Haiko Hense que me orientou no TCC, do qual nasceu essa pesquisa, e Marco di Luccio pelo incentivo a pesquisa.

Aos demais professores do CEAR-UFPB que me apresentaram todo o universo das energias renováveis.

A todos meus colegas de mestrado, pelas novas amizades em solo paraibano.

À CAPES pelo incentivo com a concessão da bolsa de mestrado, que chegou na hora certa permitindo que eu finalizasse essa fase da vida.

"Somos o que pensamos.

Tudo o que somos, surge de nossos pensamentos.
Com nossos pensamentos, fazemos o nosso mundo."

Buddha

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Industria cervejeira no Brasil.....	15
2.2 Processo produtivo da cerveja.....	16
2.3 Malte.....	19
2.4 Utilização de energia térmica no setor cervejeiro.....	20
2.5 Energia elétrica na indústria cervejeira.....	22
2.6 Transporte de cargas no Brasil.....	23
2.6.1 Transporte rodoviário.....	23
2.6.2 Transporte aquaviário.....	24
2.7 Avaliação de ciclo de vida.....	24
3 ARTIGO: O TRANSPORTE E SUA CONTRIBUIÇÃO ÀS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA EM CERVEJARIAS	
RESUMO.....	27
INTRODUÇÃO.....	27
OBJETIVOS.....	28
METODOLOGIA.....	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
AGRADECIMENTOS.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
4 ARTIGO: VANTAGENS AMBIENTAIS DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA PARA CERVEJARIAS	
RESUMO.....	36
INTRODUÇÃO.....	36
OBJETIVO.....	37

METODOLOGIA.....	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
5 ARTIGO: COMPARAÇÃO AMBIENTAL DA ORIGEM DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA EM CERVEJARIAS	
RESUMO.....	46
INTRODUÇÃO.....	46
METODOLOGIA.....	48
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
AGRADECIMENTOS.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA DISSERTAÇÃO.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Fases da avaliação do ciclo de vida.....	25
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Temperaturas dos processos térmicos em maltarias e cervejarias.....	21
Tabela 2.2: Matriz do transporte de cargas no Brasil.....	23
Tabela 3.1: Pegada de carbono para diferentes formas de transporte do malte.....	30
Tabela 3.2: Pegada de carbono mensal e pegada de carbono por volume de cerveja associada ao transporte do malte.....	31
Tabela 4.1: Emissões de GEE associadas ao fornecimento de 1 kWh de calor.....	40
Tabela 4.2: Emissões de GEE associadas ao fornecimento de 11.500 kWh de energia térmica, com substituições totais e parciais utilizando energia solar para uma microcervejaria.....	41
Tabela 5.1: Consumo de energia elétrica em uma microcervejaria.....	51
Tabela 5.2: Emissões de gases do efeito estufa para fornecimento de 5.842 kWh de energia elétrica, com diferentes participações da energia fotovoltaica em uma cervejaria.....	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

CNT – Confederação Nacional dos Transportes

GEE – Gases do Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GWP - *Global Warming Potential* (Potencial de Aquecimento Global)

ISO - *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Padronização)

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

NBR – Norma Brasileira

PB - Paraíba

PPGER – Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis

TKU – Tonelada Quilômetro Útil

RESUMO

O mercado cervejeiro é um dos mais relevantes setores econômicos do Brasil, alcançando o patamar de terceiro maior do mundo, atrás apenas de China e Estados Unidos. A adequação desse setor às práticas ambientalmente sustentáveis estimula sua competitividade, resultando também em benefícios ambientais. Esta dissertação está organizada em três artigos científicos. O primeiro artigo faz uma análise ambiental da etapa de transporte do malte para as indústrias, considerando uma cervejaria de grande porte e uma de pequeno porte, ambas instaladas no Nordeste. Verificou-se um alto impacto ambiental devido às grandes distâncias percorridas. O segundo artigo trata da geração de energia térmica para uso industrial cervejeiro, demonstrando a viabilidade tecnológica para substituição de fontes energéticas tradicionais (gás natural, por exemplo) por energia solar térmica. O terceiro artigo trata da geração de energia elétrica para uso em cervejarias. Aqui se compara a matriz energética atual com a geração fotovoltaica. Todos os artigos quantificaram a pegada de carbono por meio da aplicação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), utilizando o *software SimaPro*, base de dados *EcoInvent* e método de avaliação de impacto ambiental IPCC 2013 GWP100a, que expressa o impacto ambiental em kg CO₂-eq. Os resultados obtidos neste trabalho, somados aos resultados de futuras pesquisas abrangendo diversos setores industriais, poderão diminuir os efeitos negativos das atividades humanas. Com esses resultados, ações podem ser formuladas afim de mitigar a intensificação do efeito estufa, uma vez que o somatório das emissões evitadas poderá ser elevado. Por meio destas mudanças em diferentes setores, será possível, em um futuro próximo, estabelecer uma economia de baixo carbono.

Palavras-Chave: Cerveja, Avaliação de Ciclo de Vida, Energias Renováveis, Energia Solar Térmica, Energia Solar Fotovoltaica.

ABSTRACT

The brewing market is one of the most important economic sectors in Brazil, being the third largest in the world, after China and the United States. The adaptation of this sector to environmentally sustainable practices stimulates its competitiveness, also resulting in environmental benefits. This work is organized in three scientific studies. The first study carries out an environmental analysis of the malt transportation step to beer industries, considering a large brewery and a small one, both installed in the Brazilian Northeast. The high environmental impacts were mainly due to road transportation by trucks. The second study addresses the generation of thermal energy for industrial use, demonstrating the technological feasibility of replacing traditional energy sources (natural gas, for example) with solar thermal energy. The third study focuses on the generation of electricity for use in breweries, and compares the current Brazilian electricity mix supplied by the electric grid with photovoltaic generation. All studies developed the Life Cycle Assessment (LCA) methodology using SimaPro software, EcoInvent database and IPCC 2013 GWP100y environmental impact assessment method, which expresses the environmental impact in terms of kg CO₂-eq. The results obtained herein, added to results of future research covering several industrial sectors, have the potential to decrease the negative effects of human activities. With these results, actions can be formulated to mitigate the intensification of the greenhouse effect, as the sum of avoided emissions is high. Through these changes in different sectors, it will be possible in the near future to establish a low carbon economy.

Keywords: Beer, Life Cycle Assessment, Renewable Energy, Solar Thermal Energy, Solar Photovoltaic Energy.

1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma das bebidas mais antigas do mundo, os primeiros indícios são datados de 8.000 a.C. na Palestina (REBELLO, 2009). Cerveja é uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada, acrescido ou não de outros cereais maltados e água potável, por ação de levedura com adição de lúpulo. Atualmente o Brasil ocupa o 3º lugar mundial na produção de cerveja, atrás apenas de Estados Unidos e China (Associação Brasileira da Indústria da Cerveja - CERVBRASIL, 2016) isso mostra a relevância do mercado cervejeiro no contexto nacional.

O setor de alimentos e bebidas já vem sofrendo pressões do mercado para adotar processos menos agressivos ao meio ambiente e hoje em dia, adequações ambientais são vistas como oportunidades para crescimento e melhoria de eficiência. O desenvolvimento de uma consciência ambiental vem criando uma demanda por produtos e serviços com menos impactos ambientais associados. Porém, a redução de impactos ambientais somente pode ser confirmada após sua quantificação.

A metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) quantifica os potenciais impactos ambientais associados a diferentes processos, produtos e serviços (NBR 14040, 2014a, NBR 14044, 2014b). A quantificação da pegada de carbono pode ser considerada uma aplicação especial da metodologia da ACV que foca especificamente em emissões atmosféricas (Gases de Efeito Estufa, GEE). Após a quantificação da pegada de carbono podem-se adotar medidas administrativas e governamentais para o controle das emissões de GEE.

A aplicação da ACV no Brasil, e mais especificamente no setor cervejeiro, ainda é bastante tímida em relação a outros países do mundo. Um dos motivos que justifica a realidade brasileira é a escassez de trabalhos publicados e estudos aprofundados.

O presente projeto de pesquisa do mestrado do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis (PPGER) da Universidade Federal da Paraíba está organizado em forma de "artigos científicos", em conformidade com as Normas para Elaboração de Dissertações do PPGER. Dessa forma, inicialmente está apresentada uma introdução geral da dissertação, seguida dos objetivos e da revisão bibliográfica. Os capítulos seguintes são artigos científicos em processo de publicação ou já publicados. Esses artigos são independentes entre si, mas estão estritamente relacionados, já que tratam do mesmo tema geral da dissertação.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é a aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida em três processos na indústria cervejeira.

Os objetivos específicos são:

- Quantificar a pegada de carbono associada a etapa de transporte do malte, comparando o modal rodoviário com o marítimo utilizando como estudo de caso duas cervejarias de diferentes porte instaladas na região Nordeste brasileira;
- Quantificar a pegada de carbono associada a etapa de geração de energia térmica na indústria cervejeira, com a inserção de energia solar térmica no processo;
- Quantificar a pegada de carbono associada a etapa de geração de energia elétrica na indústria cervejeira, com a inserção de energia solar fotovoltaica no processo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria Cervejeira no Brasil

Criado em 1853, o setor cervejeiro é um dos mais tradicionais do Brasil, possui ampla capilaridade, estando presente em todas as cidades brasileiras, em uma cadeia que engloba desde o agronegócio, mercado de embalagens, logística, maquinários, construção civil até o pequeno varejo (CERVBRASIL, 2016). Os grandes grupos cervejeiros que atuam no país (Ambev, Grupo Petrópolis e Heineken) contam com cerca de 50 fábricas instaladas no país, 16 dessas instaladas no nordeste e abastecem mais de 1,2 milhão de pontos de venda em todo território nacional. Juntos, os três grupos correspondem a 99% do mercado nacional (CERVBRASIL, 2016).

O Brasil ocupa a terceira posição mundial de produção de cerveja, apresentando uma tendência de crescimento, nos últimos 30 anos, estando em um patamar de 140 milhões de hectolitros, atrás apenas da China (460 mi hl) e dos EUA (221 mi hl) (CERVBRASIL, 2016).

De acordo com dados do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2018) estão registradas no Brasil um total de 610 cervejarias. Ou seja, existem em torno de 560 micro e nano cervejarias que correspondem a 1% do mercado cervejeiro nacional (MARCUSO, 2015). Estas cervejarias estão instaladas majoritariamente nas regiões Sudeste e Sul do país, sendo que a região que concentra o maior número de fábricas é a região sul. Isso pode ser explicado pela forte influência da imigração europeia na região, sobretudo de Alemães. As regiões Nordeste e Centro-Oeste se destacam nos

últimos anos como cenário para novas cervejarias, apresentando um rápido crescimento. (MARCUSO, 2015).

Com relação aos produtos fabricados, as cervejarias brasileiras possuem cerca de 7540 produtos, entre chopes e cervejas, registrados (BRASIL, 2018).

2.2 Processo produtivo da cerveja

As principais etapas do processo de produção de cerveja são descritas a seguir:

Brassagem ou fabricação de mosto: consiste em uma sequência de procedimentos que transformam o amido e as proteínas contidas no malte em uma solução de açúcares e outras substâncias chamadas de mosto. Os principais processos da brassagem são: moagem, mostura, filtração do mosto, fervura e, finalmente, separação do trub e resfriamento do mosto (MORADO, 2009).

A moagem do malte tem por objetivo quebrar o grão e expor o amido contido no seu interior (TSCHOPE, 2001). A mostura consiste em adicionar água ao malte moído, submetido a diferentes temperaturas por períodos de tempo determinados. Como resultado, obtém-se uma solução adocicada, denominada mosto, que a esta altura ainda contém bagaço de malte (MORADO, 2009).

A filtração do mosto consiste na separação do mosto líquido do bagaço de malte. O objetivo do processo de clarificação do mosto é a separação das substâncias tornadas solúveis na operação de mosturação daquelas remanescentes insolúveis no chamado bagaço de malte. Segundo Tschope (2001), a operação se processa em duas fases: o escoamento do mosto primário para a tina de fervura e a lavagem do bagaço para extração do mosto secundário.

Após a filtração do mosto primário, adiciona-se água ao bagaço, extraíndo parte do mosto ainda embebido nas cascas (mosto secundário). A temperatura dessa água não deve ser elevada, de modo a evitar a extração excessiva de polifenóis, o que pode prejudicar o sabor da cerveja (MORADO, 2009).

Na etapa de fervura, o mosto recebido através do processo de filtração é cozido e, em seguida, adiciona-se lúpulo. Estas medidas provocam a evaporação da água em excesso do mosto, para atingir a concentração desejada de extrato, além da desnaturação das enzimas, retirada de excesso proteico na forma de trub quente e a dissolução do lúpulo dentro do mosto (TROMMER, 2011).

Segundo Tschope (2001), os objetivos da ebulição do mosto são múltiplos e todas as operações se desenvolvem simultaneamente na caldeira de fervura, seguindo:

inativação das enzimas, esterilização do mosto, coagulação de compostos proteicos, transferência dos componentes aromáticos e amargos do lúpulo para o mosto. A fervura estabiliza três aspectos: o biológico, bioquímico e o coloidal (aroma e paladar). Também, exerce função importante na definição da cor e do sabor da cerveja, devido à ação da caramelização e à reação com os açúcares e aminoácidos contidos no mosto (MORADO, 2009).

O tratamento do mosto ocorre, após a fervura até a entrada no tanque de fermentação, incluindo a dosagem da levedura e oxigênio. Após a fervura, o mosto passa por um processo de separação da fase protéica (o trub). Isto pode ser feito de diversas formas, mas o método mais utilizado é a sedimentação.

O resfriamento é necessário para que o mosto atinja a temperatura desejada para a fermentação. Em geral, são utilizados trocadores de calor do tipo placas. O resfriamento deve ser feito o mais rápido possível, para evitar a formação de aromas indesejáveis e o risco de contaminação. O mosto, então, é areado para fornecer à levedura o oxigênio de que ela necessita para a multiplicação celular, fase importante na formação de aromas (MORADO, 2009).

A fermentação consiste basicamente na transformação, pela levedura, de açúcares em dióxido de carbono e etanol. Muitos outros compostos são formados nesta etapa, como subprodutos do metabolismo da levedura. Procura-se, então, administrar a fermentação de modo a favorecer a produção e a manutenção dos aromas desejáveis e a eliminação dos indesejáveis. Os fatores mais importantes que concorrem para isso são: a temperatura de fermentação, a duração, a contrapressão e a escolha adequada da levedura (MORADO, 2009).

Os principais processos de transformação da glicose são a fermentação e a respiração aeróbica. Uma molécula de glicose “respirada” libera energia suficiente para recarregar 38 ATP’s e uma molécula de glicose “fermentada” produz apenas 2 ATP’s (TROMMER, 2011).

De 2,06 g de extrato (açúcares fermentescíveis) tem-se, após a fermentação com levedura, 1g de álcool, 0,95g de gás carbônico e 0,11g de levedura (TROMMER, 2011). Na respiração, a multiplicação da levedura é elevada, ocorrendo muita formação de biomassa e água no lugar do álcool (MORADO, 2009).

Segundo Trommer (2011), os aromas são divididos em:

- Aromas jovens, que podem ser retirados durante o processo da fermentação e maturação que são: o diacetil e ligações de enxofre;

- Aromas constantes, que ao contrário dos aromas jovens, os aromas constantes não são possíveis de serem retirados da cerveja em seu processo de elaboração como neutralizados sensorialmente, apenas controlada sua produção durante o processo de obtenção da cerveja. São álcoois superiores, ésteres e ácidos orgânicos.

A maturação ocorre após a retirada das leveduras, que, em geral, ocorre em temperaturas inferiores às de fermentação. Durante esta fase acontecem reações físico-químicas que transformam o aspecto visual e produzem alguns aromas e sabores. Essa etapa é considerada por muitos o “afinamento” da cerveja. Algumas cervejarias, que se dedicam à produção de cervejas especiais, aproveitam esta etapa para fazer a adição de especiarias, frutas ou lascas de madeira, que conferem características próprias de aroma e sabor à bebida (MORADO, 2009).

Segundo Tschope (2010), os objetivos do processo de maturação são:

- Clarificação: é feita pela sedimentação do fermento residual e partículas amorfas diversas;
- Estabilidade coloidal: ocorrem pela formação seguida da sedimentação de complexos proteicos, insolúveis a baixa temperatura (trub a frio);
- Carbonatação: é feita pela formação de CO₂ no processo de fermentação secundário em alguns casos.

A precipitação das leveduras e a formação, a baixa temperatura, de complexos de proteínas e polifenóis, ajudam na clarificação da cerveja (MORADO, 2009).

Além da formação dos subprodutos, segundo Trommer (2011), aparecem na fermentação e maturação e outras transformações, que são:

- Transformações da composição das proteínas;
- Cor da cerveja;
- Retirada de materiais amargos e adstringentes;
- Clarificação e estabilização coloidal da cerveja;
- Absorção do CO₂ pela cerveja.

A filtração da cerveja promove o acabamento brilhante, eliminando quase totalmente as leveduras que ainda restam no final da maturação. Em alguns casos, são utilizadas centrífugas antes da filtração, para reduzir ainda mais a quantidade de células em suspensão, aumentando a eficiência do processo. O método mais utilizado é a filtração com o uso de terra diatomácea. Durante a filtração da cerveja ocorre a absorção e a peneiração, onde as células de fermento e substâncias turvantes da cerveja pronta são absorvidos e peneirados, através dos materiais de apoio (TROMMER, 2011).

Certas cervejas como, por exemplo, cervejas de trigo e algumas Ale, chamadas de “autênticas”, não passam pelo processo de filtração para que as leveduras ainda sejam mantidas mesmo depois de envasada a bebida (MORADO, 2009).

A fase de embalagem e despacho ao consumidor final é um momento crítico para o futuro do produto, porque ele deixa o recipiente, no ambiente controlado em que foi gestado, e é exposto ao ambiente externo, que pode ser agressivo.

A assepsia das instalações, dos barris e das garrafas é fundamental para assegurar a qualidade e a estabilidade da cerveja (MORADO, 2009).

Depois de filtrada, a cerveja é depositada em barris, em temperatura da ordem de zero grau. Os barris, previamente lavados, e o enchimento é feito sob pressão. Normalmente, utiliza-se CO₂ ou N₂ e, às vezes, uma mistura dos dois gases, com o intuito de favorecer a estabilidade da espuma (MORADO, 2009).

A cerveja é uma bebida muito sensível, sujeita a deterioração rápida. Com o desenvolvimento do processo de pasteurização e de sistemas avançados de refrigeração, a cerveja envasada tornou-se mais estável, o que permitiu sua distribuição para localidades distantes da cervejaria. O setor de engarrafamento é crítico no tocante ao controle de qualidade, porque é também passível de contaminações. E a limpeza do local e dos vasilhames são processos que consomem água em grande quantidade (MORADO, 2009).

A pasteurização consiste em aquecer a bebida com seu recipiente e rolha, em torno de 60°C, por um período curto, de modo a proporcionar um ganho na sua estabilidade, microbiológica, eliminando micro-organismos que podem alterar o sabor (KUNZE, 2006).

2.3 Malte

Segundo Kunze (2006), a cevada é uma das principais matérias-primas usadas na produção da cerveja. Entende-se por cevada malteada, ou malte, o grão de cevada cervejeira submetida a germinação parcial e posterior desidratação e/ou tostagem, em condições tecnológicas adequadas. Qualquer outro cereal submetido a um processo de malteação deverá denominar-se malte, seguido do nome do cereal (BRASIL, 2001).

O processo de malteação consiste em embeber a cevada em água, para que o processo de germinação dê início, com a ativação do metabolismo da semente. Após isso, retira-se a cevada da água, germina-se a semente em condições controladas, e é feita a

secagem. Existem outros cereais que podem ser maltados (trigo, aveia, centeio), mas a cevada é a mais utilizada por ser rica em amido, e possuir um alto teor de proteínas em quantidade suficiente para fornecer os aminoácidos necessários para o crescimento da levedura e possuir substâncias nitrogenadas que desenvolvem um papel importante na formação da espuma. (CARVALHO, 2007).

A cevada é um cereal de inverno, originário do Oriente Médio e, em ordem de importância econômica, ocupa a quarta posição entre os grãos (MORADO, 2009). Os principais produtores de malte do mundo são Alemanha, Canadá, Estados Unidos, Austrália, Rússia, Espanha, Ucrânia, Reino Unido e França, responsáveis por aproximadamente 60% da produção mundial (MORADO, 2009). Na América do Sul, Brasil, Uruguai e Argentina também são produtores (BRASIL GLOBAL, 2005). O malte, depois de feita a mosturação, irá originar os açúcares fermentescíveis pelas leveduras, que farão o álcool da cerveja. Além disso, é o principal responsável pela cor da cerveja, aromas, sabor, entre outros atributos sensoriais. É a base da produção da cerveja.

A indústria do malte no Brasil produz principalmente o malte tipo Pilsen, devido à grande demanda por este tipo de malte pelas cervejarias tradicionais (AGRÁRIA, 2019).

A maior maltaria da América Latina está localizada no município de Guarapuava-PR, tem como carro chefe a produção de Malte Pilsen, atendendo aproximadamente 30% da demanda do mercado brasileiro de cerveja (AGRÁRIA, 2019).

2.4 Utilização de energia térmica no setor cervejeiro

No Brasil, a utilização de energia solar térmica em processos industriais ainda é bastante tímida em relação a outros países no mundo. Apesar do grande potencial brasileiro, as indústrias brasileiras geram energia térmica por meio de fontes tradicionais, como a lenha e o Gás Liquefeito de Petróleo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2018).

De acordo com Kalogirou (2016), dentro dos principais ramos da indústria que exigem calor de processo se destaca a indústria alimentícia e de bebidas, se sobressaindo as indústrias de laticínios, carnes processadas e cervejarias. As condições favoráveis das indústrias de alimentos se justificam, porque diversos processos demandam alto consumo de energia e elevado tempo de execução. Dentro dos processos podemos destacar o cozimento, branqueamento, pasteurização e limpeza.

A fabricação de malte e cerveja requer grandes quantidades de energia elétrica e térmica que hoje é baseada principalmente em combustíveis fósseis. Nas cervejarias de

última geração, são necessários entre 7,5-11,5 kWh de energia elétrica e 16,7-33,3 kWh de energia térmica por hectolitro de cerveja produzidos (MAUTHNER *et al.*, 2014). A produção anual de cervejarias de médio a grande porte podem facilmente ultrapassar um milhão de hectolitros.

Toda a demanda de energia térmica dos processos em cervejarias pode ser satisfeita com calor a uma temperatura entre 25 °C e 105 °C (MAUTHNER *et al.*, 2014). Isso permite a integração de energia solar térmica fornecida por tecnologias comerciais como coletores planos ou tubos evacuados. De fato, o fornecimento de energia térmica por meio de sistemas solares térmicos é muito eficiente em termos energéticos se a energia do sol for convertida em calor e fornecida ao processo no nível de temperatura mínimo exigido (integração solar no nível do processo) (KALOGIROU 2016).

A fim de reduzir as emissões de GEE oriundas de combustíveis fósseis e explorar completamente o potencial de recuperação de calor disponível, é necessário o uso em cascata de energia térmica, bem como a integração de tecnologias renováveis de fornecimento de calor (SERRA *et al.*, 2009)

Atualmente, muitas cervejarias buscam produzir seus produtos de maneira sustentável e ecologicamente correta. A cerveja, com sua enorme demanda de energia e calor para a produção, é um dos alimentos mais intensivos em energia (EPE, 2018). É por isso que a construção de um sistema de energia que melhora continuamente a eficiência e poupa recursos é um importante fator competitivo para o processo de fabricação de cerveja.

Os processos que demandam energia térmica em maltarias (fábricas de malte) e cervejarias estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 2.1. Temperaturas dos processos térmicos em maltarias e cervejarias.

Processo	Temperatura (°C)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Secagem do malte (1° etapa)										
Secagem do malte (2° etapa)										
Limpeza de garrafas										
Limpeza de equipamentos										
Produção de água cervejeira										
Pasteurização (flash ou túnel)										
Aquecimento do mosto										
Fervura do mosto										

Fonte: Adaptado de Mauthner *et al.* (2014).

2.5 Energia Elétrica na Indústria Cervejeira

Dentro da matriz energética brasileira a energia elétrica representa por volta de 17% do consumo final de energéticos (EPE, 2018). O Brasil dispõe de uma matriz predominantemente renovável, onde 84,3% da energia elétrica gerada vem de fontes renováveis, sendo que a geração hidráulica responde por 68,1%, energia eólica 6,7%, energia solar 0,1% e energia proveniente da biomassa 9,4% (EPE, 2018).

O setor industrial é responsável pelo consumo de 33% do consumo energético do país, sendo que 9,2% desse consumo é referente à indústria de alimentos e bebidas (EPE, 2018). O setor de alimentos e bebidas, onde as cervejarias estão inclusas, o consumo total de energia elétrica está no patamar de 26.931 GWh anuais (EPE, 2018).

No ciclo de vida completo da cerveja, desde a preparação da matéria-prima até o descarte do produto, o maior consumidor de energia elétrica está na produção de garrafas (KORONEOS *et al.*, 2008). Contudo, segundo Siret (2001), quando se foca no estudo apenas a área produtiva da cerveja, dentro da fábrica, a refrigeração é o ponto onde se consome mais energia. O fato de a cervejaria ser um grande consumidor de eletricidade faz com que ela seja de forte influência sobre o meio ambiente, sempre dependendo de como essa energia é gerada (hidroelétrica, fóssil, etc.) (SIRET, 2001). Assim como acontece com a energia térmica, cervejarias necessitam de uma grande quantidade de energia elétrica durante o processo de fabricação de cerveja.

De acordo com Sorrell (2000), o consumo de energia elétrica dentro da fábrica é dividido em: Refrigeração (30-40%), Envase (15-35%), Compressores de Ar (10%), Iluminação (6%), Outros (10-30%). E segundo Mauthner (2014), para cada hectolitro de cerveja produzidos são necessários de 7,5 a 11,5 kWh de energia elétrica.

2.6. Transporte de Cargas no Brasil

O setor de transportes é responsável por grande parte do consumo de recursos não renováveis e pelas emissões de GEE (Confederação Nacional do Transporte – CNT, 2018). Existem diversos modais de transporte de cargas, sendo eles o rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e o aéreo. No Brasil, predomina o transporte rodoviário, especialmente com o uso de caminhões para o transporte de cargas, impactando diretamente na composição dos custos e dos impactos ambientais atrelados a esse modal (CNT, 2018).

De acordo com a CNT (2018) a diferença da eficiência energética entre os modais de transporte é bastante elevada, com 1 litro de óleo diesel, o modal rodoviário transporta 30 ton/km, o ferroviário 125 ton/km e o aquaviário é o mais eficiente com 575 ton/km.

2.6.1 Transporte Rodoviário

De acordo com o Boletim Estatístico da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), o modal rodoviário representa 61,1% de todo transporte de cargas no Brasil. A Tabela 2 mostra a matriz do transporte de cargas no Brasil, onde as cargas estão expressas em tonelada-quilômetro-útil (tku).

Tabela 2.2 Matriz do transporte de cargas no Brasil.

Modal	Milhões (tku)	Participação (%)
Rodoviário	485.625	61,1
Ferrovário	164.809	20,7
Aquaviário	108.000	13,6
Dutoviário	33.300	4,2
Aéreo	3.169	0,4
Total	794.903	100,0

Fonte: Boletim Estatístico CNT (2018).

No caso brasileiro, o modal rodoviário, o mais poluente, predomina sobre os outros modais (CNT, 2018). Além da falta de infraestrutura e a má qualidade das rodovias, a elevada idade da frota nacional de caminhões, impulsionada por motores antiquados e combustíveis com altos níveis de enxofre além de interferir na velocidade e na consistência da entrega, influenciam, de forma relevante, os níveis de emissões. O somatório desses fatores vem trazendo impactos reais nas emissões de GEE do Brasil. De 1990 até 2005, o país registrou um aumento de 70% no volume de gases lançados na atmosfera e originados da atividade de transporte. Esse número foi muito acima do crescimento médio mundial, de 35% (*World Resources Institute*, 2011).

2.6.2 Transporte Aquaviário

Segundo a CNT (2018) o Brasil tem cerca de 8 mil quilômetros de costas e mais de 40 mil quilômetros de vias potencialmente navegáveis. Mesmo assim, o transporte aquaviário de cargas corresponde a 13,6% de toda a carga que é transportada no Brasil

(CNT, 2018). O transporte hidroviário se caracteriza por utilizar lagos, rios e oceanos para o deslocamento de pessoas e mercadorias dentro do mesmo país ou entre diferentes nações. Pode ser classificado basicamente em dois sistemas de transporte: o marítimo, que abrange a circulação na costa oceânica e o fluvial, que utiliza os rios navegáveis (CNT, 2018).

A cabotagem é denominada como transporte marítimo realizado entre dois portos da costa de um mesmo país ou entre um porto costeiro e um fluvial. Caso a navegação ocorra entre dois portos fluviais, então não é considerada cabotagem e sim navegação interior. Existe ainda o termo “cabotagem internacional”, o qual é utilizado frequentemente para designar a navegação costeira envolvendo dois ou mais países.

2.7 Avaliação de Ciclo de Vida

Define-se Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como metodologia para avaliação e determinação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema ao longo do seu ciclo de vida. Boullay (2011) descreve a ACV como uma ferramenta que quantifica e considera os impactos e insumos associados a um processo ou produto ao longo do seu ciclo, avaliando o seu desempenho e suas influências ao longo das fases do ciclo de vida, permitindo alcançar oportunidades de melhoria e desempenho do sistema (BENETTO *et al.*, 2009).

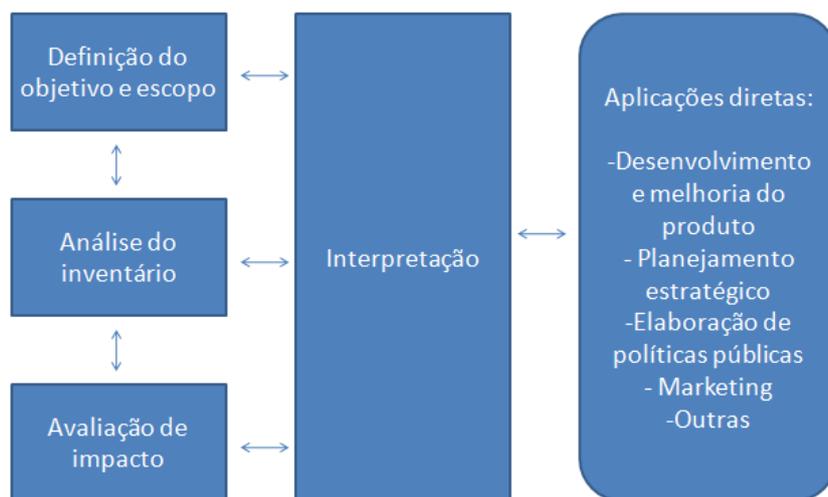
A ACV permite realizar a avaliação dos efeitos ambientais ao longo da trajetória de vida de certo produto ou processo, tornando-se uma ferramenta de gestão ambiental, que considera desde o processo de obtenção da matéria-prima até a sua disposição final (MONTEIRO, 2008). Segundo o mesmo autor, a ACV tem diferentes aplicações: desenvolver produtos e processos com menor impacto ao meio ambiente e também pode ser utilizada como marketing ambiental, divulgando melhorias nos aspectos ambientais de produtos e processos, ou ainda comparando sua qualidade com outros segmentos do ramo.

Em 1997 as normas da *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Padronização, ISO) começaram a estabelecer os princípios e requisitos gerais da ACV, a partir da primeira norma ISO 14040, sendo publicadas posteriormente mais três normas (ISO 14041, 14042 e 14043) e mais dois relatórios técnicos (SOUSA, 2008). Esses documentos passaram por uma revisão geral em 2006, reformulando e resultando em apenas duas normas (ISO 14040, 2006, ISO 14044, 2006).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) traduziu essas normas nas NBR 14040 (2014a) e NBR 14044 (2014b).

A ACV, estruturada segundo a ISO, normalmente é dividida em quatro fases, conforme pode ser visto na Figura 1.

Figura 2.1. Fases da avaliação do ciclo de vida.



Fonte: Adaptado de ISO 14040 (2006).

A definição do objetivo e escopo é a primeira etapa a ser concluída na ACV. O escopo deve ser bem delineado para que o grau de detalhamento, a profundidade e sua extensão estejam em conformidade para atender o objetivo pré-estabelecido (ABNT 2014a, 2014b). O escopo define todos os meios para que o objetivo seja alcançado (SOUSA, 2008).

Na sequência vem a etapa da análise de inventário. Essa etapa compreende a fase de estudos e efetivação das informações para se alcançar o objetivo almejado. Nessa etapa, são expostas e quantificadas as principais entradas e saídas de cada processo na construção de um produto ou atividade. As entradas e saídas são expostas e quantificadas por qualquer insumo ou energia que entra ou sai do processo (ABNT, 2014a, 2014b).

Segundo Sousa (2008), a etapa de avaliação de impactos do produto ou serviço é julgado sob a ótica ambiental, correlacionando os resultados da análise do ciclo de vida às categorias de impacto pré-estabelecidas em resultados dos indicadores ou um índice ambiental de um sistema ou produto. O resultado dos indicadores é o esqueleto do perfil da análise do ciclo de vida, informando assim às questões ambientais relativas associadas à entrada e saída do produto ou serviço (ABNT, 2014a, 2014b).

Para a última etapa do processo de avaliação de ciclo de vida é necessário realizar a interpretação dos resultados, confrontando com os objetivos propostos no início do

trabalho, possibilitando chegar à conclusão e recomendações finais do trabalho, direcionando-os as partes interessadas (SOUSA, 2008).

CAPÍTULO 3 ARTIGO:

O TRANSPORTE E SUA CONTRIBUIÇÃO ÀS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA EM CERVEJARIAS

RESUMO

Cerveja é uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo de cereais maltados e água potável, por ação de levedura com adição de lúpulo. Atualmente o Brasil ocupa o 3º lugar mundial na produção de cerveja, atrás apenas de Estados Unidos e China, isso mostra a relevância do mercado cervejeiro no contexto nacional. A etapa de transporte do malte possui um grande impacto ambiental, pois a maior parte do transporte de cargas no Brasil é realizado no modal rodoviário. O objetivo deste estudo foi quantificar a pegada de carbono associada à etapa de transporte do malte, utilizando como estudo de caso duas cervejarias instaladas no Nordeste brasileiro, uma de grande e outra de pequeno porte, que empregam transportes rodoviário e marítimo. A metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida foi aplicada, utilizando-se o software SimaPro 9.0.0.35, base de dados Ecoinvent, e método de avaliação de impacto ambiental IPCC 2013 GWP 100a. Como resultados foram encontrados uma pegada de carbono de 5,26 kg CO₂-eq/hl de cerveja produzido para a cervejaria de grande porte e 44,28 kg CO₂-eq/hl de cerveja produzido para a de pequeno porte. A diferença entre as duas se dá pelo volume de produção e pelo modal de transporte utilizado em cada caso. Observa-se que o transporte rodoviário penalizou a pegada de carbono da cervejaria de pequeno porte.

Palavras-chave: avaliação de ciclo de vida, gases do efeito estufa, pegada de carbono, cerveja, transporte, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O Artigo 64 do Decreto 2.314 de 4 de setembro de 1997, define cerveja como sendo a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo (BRASIL, 1997). Parte do malte de cevada pode ser substituída por carboidratos de origem vegetal, entre eles o arroz, trigo, centeio, milho, aveia ou sorgo. De acordo com receitas encontradas na literatura, é utilizada uma média de 1 kg de malte para cada 4 litros de cerveja (MORADO, 2009).

Para a produção da cerveja, é necessário que o grão da cevada passe pelo processo de malteação que normalmente ocorre em maltarias. O malte, depois de feita a mosturação, irá originar os açúcares fermentescíveis pelas leveduras, que farão o álcool da cerveja (BRIGGS et al., 2004; BARTH, 2013; MOSHER; TRANTHAM, 2017). Além disso, o malte é o principal responsável pela cor da cerveja, aromas, sabor, entre outros atributos sensoriais, sendo básico para a produção da cerveja. Uma etapa importante para o setor cervejeiro é o transporte do malte (e de outros ingredientes) até o local de produção.

O consumo de cerveja nos países em desenvolvimento vem aumentando (COLEN; SWINNEN, 2016; SWINNEN, 2017), e o Brasil está acompanhando este crescimento (WORLD KANTA, 2018). Portanto, sendo o malte um ingrediente muito importante e de limitada disponibilidade no Brasil, seu transporte ganha importância tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

O setor de transportes possui uma grande importância nos estudos e implementações de ações de combate e mitigação às mudanças climáticas. Este setor possui um padrão energético baseado fundamentalmente em combustíveis fósseis, apresentando assim uma forte relação com o aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE) de origem antrópica.

Estudos realizados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2013) destacam a importância sobre o efeito estufa e as mudanças climáticas relativos ao setor de transporte. Em todos relatórios divulgados envolvendo projeções e conhecimentos acerca das mudanças climáticas, o IPCC reservou capítulos específicos para a discussão sobre as emissões de GEE pelo setor de transportes.

De acordo com Andrade (2011), o setor de transporte brasileiro apresenta um consumo energético acima da média mundial, principalmente pela idade avançada da frota e pelas péssimas condições de várias estradas, isso se transforma em um problema no que se refere às emissões de gases do efeito estufa. Segundo Mattos (2001), uma forma de reduzir custos e desperdícios no consumo de energia é a adoção do uso integrado de modais de transporte, que se denomina multimodalidade, sendo que os mais usuais são: rodoviário + ferroviário, rodoviário + aéreo, rodoviário + aquaviário e ferroviário + aquaviário.

O setor de transportes brasileiro possui uma elevada concentração em torno do modal rodoviário, com números muito acima da média mundial. De acordo com a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2019), o transporte rodoviário representa cerca de 65% de toda carga transportada em território nacional.

OBJETIVO

O objetivo desse estudo foi quantificar e comparar a pegada de carbono associada à etapa do transporte do malte para uma cervejaria de grande porte (Cervejaria A) instalada em Itapissuma-PE e uma cervejaria de pequeno porte (Cervejaria B) instalada em João Pessoa-PB. As cervejarias empregam transportes aquaviário e rodoviário. Ambas

cervejarias estão localizadas fora do circuito tradicional de produção de cerveja, que se concentra no Sul e Sudeste do país.

METODOLOGIA

No âmbito da sustentabilidade, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma das metodologias mais modernas de gestão ambiental estratégica, pois contribui com informações importantes para a tomada de decisão. O estudo da ACV tem uma visão holística sobre a cadeia de um produto ou serviço, indicando os seus impactos ambientais desde a extração da matéria-prima até o pós-consumo (GUINEE, 2001; GUINEE, 2002).

A ACV possui quatro etapas, interrelacionadas (ABNT, 2014a; ABNT 2014b): i) definição do objeto e escopo, onde se definem as fronteiras da análise; ii) construção do inventário, que é um levantamento quantificado de dados de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões); iii) identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados levantados no inventário, e finalmente iv) interpretação dos resultados.

Utilizou-se o software Simapro 9.0.0.35 (2019) com a base de dados Ecoinvent (2018) para o desenvolvimento da ACV. O método de avaliação de impacto ambiental aplicado foi o IPCC 2013 GWP 100a (IPCC, 2014), que agrupa os gases de efeito estufa emitidos num horizonte de 100 anos.

A cervejaria de grande porte está instalada em Itapissuma-PE, possui capacidade de produzir 600.000 hl/mês utilizando cerca de 15.000 ton/mês de malte. O malte utilizado por essa unidade fabril tem origem no Uruguai, e seu transporte é realizado por via marítima até o porto de Recife-PE, da onde segue por via rodoviária até a unidade fabril. A distância entre os portos do Uruguai (Montevideo) até o porto de Recife é de cerca de 3.962 km e do porto de Recife até a cidade de Itapissuma é de 40 km através da BR101.

No caso da cervejaria de pequeno porte, essa está instalada em João Pessoa-PB, possui uma capacidade de 60 hl/mês e utiliza uma quantidade de malte de cerca de 1.500 kg/mês e o principal fornecedor é a Cooperativa Agrária, principal malteria brasileira instalada na cidade de Guarapuava-PR e o transporte do mesmo é realizado por via rodoviária. A distância estimada entre a cidade de Guarapuava e João Pessoa é de 3.424 km através da BR101.

Para representar o transporte rodoviário foi utilizado o processo *Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {ROW}| market for | APOS, S*. Esse processo é o que mais se assemelha à realidade brasileira, por meio da capacidade do caminhão e das normas de emissão. O termo “EURO 3” refere-se ao conjunto de requisitos que regulam os limites aceitáveis para as emissões de gases de combustão interna de veículos nos estados membros da União Européia. As normas de emissão são definidas em uma série de diretivas da União Européia com uma implementação progressiva que estão sendo cada vez mais restritivas (CONSELHO EUROPEU, 1998). O termo ROW refere-se a “Rest Of the World” que incluem processos que não se referem aos países representados na base de dados Ecoinvent. APOS refere-se a “At Point Of Substitution” que é a abordagem atribucional onde a alocação é feita no ponto da substituição e as cargas ambientais são alocadas proporcionalmente aos processos causadores. Finalmente, S corresponde a “System”.

Para representar o transporte marítimo foi utilizado o processo *Transport, freight, inland waterways, barge {ROW}| market for | APOS, S*.

A unidade funcional aqui considerada foi a produção de 1 hl de cerveja do tipo Pilsen, que no Brasil é o estilo de cerveja que domina o mercado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados sobre o transporte do malte inseridos no software Simapro, obtém-se os valores da pegada de carbono mostrados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Pegada de carbono para diferentes formas de transporte do malte.

Tipo de Transporte	Pegada de Carbono (associada a 1 ton.km)
Marítimo	0,0479 kg CO ₂ -eq
Rodoviário	0,5170 kg CO ₂ -eq

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Quando utilizamos os dados para análise do estudo de caso, levando em conta as quantidades mensais de transporte de cevada, para ambas cervejarias, obtém-se os valores da pegada de carbono nos dois casos estudados como demonstrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Pegada de carbono mensal e pegada de carbono por volume de cerveja associada ao transporte do malte.

Cervejaria	Transporte	Pegada de carbono/	
		Pegada de carbono mensal kg CO ₂ -eq	Produção de cerveja kg CO ₂ -eq/hl
Cervejaria A	59,43 x 10 ⁶ tkm aquaviário +	3.156.897	5,26
	0,60 x 10 ⁶ tkm rodoviário		
Cervejaria B	5,14 x 10 ³ tkm rodoviário	2.657	44,28

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A cervejaria A possui uma pegada de carbono mensal bruta cerca de 1.200 vezes maior que a cervejaria B, porém ao se considerar a produção por volume de cerveja, o valor se inverte e a cervejaria B tem uma pegada de carbono 8 vezes maior por hectolitro de cerveja produzido.

Isso ocorreu principalmente pelo modal de transporte utilizado pelas duas. O fato da cervejaria A utilizar o modal aquaviário (cabotagem) contribuiu de forma benéfica para sua pegada de carbono tendo como referência sua produção mensal.

A cervejaria B, por necessitar de uma quantidade de malte muito menor para sua operação, usa o modal rodoviário que é o mais utilizado no país.

Um dos problemas do Brasil é ter a sua economia ainda refém de uma matriz de transportes desbalanceada, na qual o modal rodoviário, que é muito poluente, predomina sobre os outros modais. Além da falta de infraestrutura, o país sofre com a má qualidade das rodovias, das ferrovias, dos portos e dos aeroportos, o que torna mais complicada a movimentação das mercadorias e contribui para o aumento de emissões.

A elevada idade da frota nacional de caminhões, impulsionada por motores antiquados e combustíveis com altos níveis de enxofre, é outro agravante. Além de interferir na velocidade e na consistência da entrega, a idade avançada dos veículos influencia, de forma relevante, os níveis de emissões. O somatório desses fatores vem trazendo impactos reais nas emissões de GEE do Brasil, nos últimos anos. De 1990 até 2005, o país registrou um aumento de 70% no volume de gases lançados na atmosfera e originados da atividade de transporte. Esse número foi muito acima do crescimento médio mundial, de 35% (WRI, 2011).

Na Europa, já se tem implantado o uso de corredores verdes, *green corridors*, com o intuito de integrar os meios modais de transporte ao longo de sua cadeia, tornando o

transporte de cargas sustentável, minimizando os prejuízos causados ao meio ambiente (LOZHKINA, LOZHKIN, 2015; ZAMBOBI, ROVEDA, CAPOBIANCO, 2015). O corredor verde tem como objetivo reforçar a competitividade da indústria logística e criar soluções sustentáveis. Um pilar essencial de um corredor verde é o conceito de co-modalidade, que pode ser definido como "o uso eficiente de diferentes modais que integrados resultará numa utilização ótima e sustentável dos recursos de transporte." O conceito de co-modalidade é vital para os corredores verdes, salientando o fato de que a solução logística escolhida pelo mercado pode e deve ser uma decisão tomada pelos transportadores (ENGSTRÖM, 2012; FOZZA, RECAGNO, 2012; GEORGOPOULOU, KAKALIS, 2012).

Engström (2012) caracteriza corredor verde por soluções logísticas sustentáveis com reduções documentadas de impacto ambiental e climático, de alta segurança, alta qualidade e eficiência; aplicações logística com a utilização otimizada de todos os modais de transporte, denominado co-modalidade; uma concentração de tráfego nacional e internacional de mercadorias em rotas de transporte relativamente longos; pontos eficientes e estratégicos de transbordo, bem como uma infraestrutura de apoio e uma plataforma para desenvolvimento e demonstração de soluções logísticas inovadoras, incluindo sistemas de informação, modelos de colaboração e tecnologia.

O sistema de cabotagem no Brasil possui um grande potencial para crescer e permitir um sistema de transporte mais sustentável para a nação. Apenas utilizar o transporte marítimo em maior escala, não significa necessariamente ter um processo totalmente sustentável no transporte nacional. Há necessidade de integrar o serviço marítimo com o sistema de transporte rodoviário e quando possível ao modal ferroviário, aplicando o conceito da intermodalidade nas operações logísticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu uma avaliação do ciclo de vida para quantificar a pegada de carbono associada à etapa de transporte de malte para duas cervejarias de diferentes portes instaladas no nordeste brasileiro.

Apesar da cervejaria de grande porte utilizar uma quantidade 1.200 vezes maior de malte por mês, possui uma pegada de carbono na etapa de transporte cerca de 8 vezes menor que uma cervejaria de pequeno porte por utilizar o meio marítimo para transportar o malte. A opção de transporte rodoviário, utilizada pela pequena cervejaria, e que é a

mais utilizada no país, se mostra ineficiente e com uma tendência de aumento de emissões de gases do efeito estufa.

Conclui-se que existe uma grande importância no controle de emissões pelo ramo cervejeiro, e que a etapa de transporte do malte representa uma grande parcela dessas emissões. Pequenas e micro cervejarias devem se organizar em associações para fomentar a compra de grandes quantidades de matéria-prima, como o malte, para viabilizar o custo econômico do transporte aquaviário, reduzindo a pegada de carbono de sua produção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Bolsa de Produtividade em Pesquisa, nº 307394/2018-2) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Anuário estatístico de transportes terrestres**. Vários anos. Disponível em: www.antt.gov.br. Acesso em: 25 jun 2019.

ANDRADE, André Luiz dos Campos; MATTEI, Lauro. **Consumo energético e emissões de CO₂: Uma análise do setor de transportes brasileiro** 39º Encontro Nacional de Economia, Foz do Iguaçu, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura: NBR ISO 14040**, Rio de Janeiro, ABNT, 2009 – versão corrigida 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044**, Rio de Janeiro, ABNT, 2009 – versão corrigida 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CERVEJA. **CERVBRASIL Anuário. 2016.** Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/CervBrasil-Anuario2016_WEB.pdf. Acesso em: 27 jun. 2019.

BARTH, R. **The chemistry of beer: the science in the suds**. Hoboken, John Wiley & Sons, 2013.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; STANK, T. P. **21st century logistics: making supply chain integration a reality**. Oak Brooks, Council of Logistics Management, 1999.

BRASIL GLOBAL. **O mercado brasileiro para malte não torrado uruguaio**. 2005. Disponível em: <http://www.brasilglobalnet.gov.br/ARQUIVOS/PSCI/PSCIUruguaiMalteNaoTorrado.pdf> Acesso em: 23 jan 2019.

BRIGGS, D. E. *et al.* **Brewing: science and practice**. Amsterdam, Elsevier, 2004.

CARVALHO, L. G. **Dossiê Técnico. Produção de cerveja**. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, mar. 2007. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc=>. Acesso em: 23 jan 2019.

COLEN, L.; SWINNEN, J. Economic growth, globalisation and beer consumption. **Journal of Agricultural Economics**, v. 67, n. 1, p. 186-207, 2016.

CONSELHO EUROPEU. **Diretiva 98/69/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa às medidas a tomar contra a poluição do ar pelas emissões provenientes dos veículos a motor e que altera a Diretiva 70/220/CEE do Conselho**. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L, v. 350, 1998.

Ecoinvent. **The ecoinvent database 3.4**. (2018). Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/>. Acesso em 23 mar. 2019.

ENGSTRÖM, R. **The Swedish green corridor initiative – history, current situation and thoughts about the future**. Development Strategist - Freight and Logistics - The Swedish Transport Administration - Strategic Development, 2012.

FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. São Paulo, Editora Atlas, 2003.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo, Editora Atlas, 2000.

FOZZA, S.; RECAGNO, V. **Sustainable Technologies and Innovation for Green Corridors: Survey and Application**. Science Direct, p. 1-11, 2012.

GEORGOPOULOU, C.; KAKALIS, N. **Assessing the Sustainability Potential of European Union Transport Networks**. Association for European Transport and Contributors, p. 1-17, 2012.

GUINÉE, J. B. (Ed). **Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISSO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide**. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.

GUINÉE, J. B. **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards.** Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). **Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol.** Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/>. Acesso em 27 jun. 2019.

ISO 14040 - **International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.** Genebra, ISO, 2006.

ISO 14044 - **International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.** Genebra, ISO, 2006.

KALOGIROU, S. A. **Engenharia de Energia Solar – Processos e Sistemas,** Rio de Janeiro, Elsevier, 2016. 2.ed.

LIMA, M. **Custeio do transporte rodoviário de cargas.** In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE P. (Eds.). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e de recursos.** São Paulo, Editora Atlas, 2003.

LOZHKINA, O. V., LOZHKIN, V. N. **Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models.** *Transportation Research Part D* 36, 178-189, 2015.

MATTOS, L. B. R. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa: O caso do município do Rio de Janeiro.** 2001. 179 f. Dissertação (Mestrado)–COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

MAUTHNER, F. et al. **Manufacture of malt and beer with low temperature solar process heat.** *Energy Procedia*, v. 48, p. 1188-1193, 2014.

MORADO, R. **Larousse da cerveja.** São Paulo, Larousse do Brasil, 2009.

MOSHER, M.; TRANTHAM, K. **Brewing Science: A Multidisciplinary Approach.** Berlin, Springer, 2017.

SIMAPRO Software. 2018. Disponível em: www.simapro.nl Acesso em 10 set 2019.

SWINNEN, J. **Beer Consumption and Trade in an Era of Economic Growth and Globalization.** *Choices*, v. 32, n. 3, p. 1-6, 2017.

WORLD KANTA. **Consumo de cerveja cresce no Brasil.** 2018. Disponível em: <https://www.kantarworldpanel.com/br/Releases/Consumo-de-cerveja-cresce-no-Brasil-categoria-ganha-mais-de-500-mil-lares-no-ltimo-ano-> Acesso em 27 jun. 2019.

WRI. **Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Version 8.0,** 2011.

ZAMBOBI, G., ANDRÉ, M. ROVEDA, A., CAPOBIANCO. **Experimental evaluation of heavy duty vehicle speed patterns in urban and port areas and estimation of their**

fuel consumption and exhaust emissions. Transportation Research Part D 35, 1-10, 2015.

CAPÍTULO 4 ARTIGO:

VANTAGENS AMBIENTAIS DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA PARA CERVEJARIAS

RESUMO

No Brasil, a utilização de energia solar térmica em processos industriais ainda é bastante tímida em relação a outros países do mundo. Dentro dos ramos industriais que exigem calor de processo se destacam as indústrias de alimentos e bebidas, em especial as cervejarias, pois os processos demandam alto consumo de energia e elevado tempo de execução. Foram comparadas duas formas de geração de calor comumente utilizadas (diesel e eletricidade) com a geração de calor através da energia solar térmica. A metodologia utilizada foi a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) utilizando o software SimaPro v.9.0.0.35, com base de dados Ecoinvent. O método de avaliação do impacto ambiental foi o IPCC 2013 GWP100a, que representa os valores em termos de emissões de gases de efeito estufa (kg CO₂-eq). A substituição parcial, das fontes tradicionais pela energia solar térmica se mostrou bastante eficaz, representando -768 kg CO₂-eq a cada 20% de substituição no caso do diesel e de -625 kg CO₂-eq no caso da eletricidade. Esses valores são associados ao consumo de 1 kWh de calor, sendo que uma cervejaria consome entre 16,7 e 33,3 kWh por hectolitro de cerveja produzido.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Avaliação de Ciclo de Vida; Cerveja; Bebidas.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, o desenvolvimento tecnológico e a melhoria nas condições de vida da sociedade como um todo, a demanda energética mundial tem crescido consideravelmente e isso tem causado impactos negativos ao meio ambiente, uma vez que a maior parcela desta energia ofertada é oriunda de combustíveis fósseis (BRASIL, 2018). Diante deste cenário, a necessidade de aprimoramento e aplicação de tecnologias que usem fontes de energia alternativas confiáveis, econômicas e preferencialmente renováveis, torna-se uma via necessária para garantir o suprimento das demandas energéticas futuras e minimizar os impactos ambientais.

O sol como fonte primária e principal fonte de energia do Planeta Terra, é a fonte de energia alternativa e renovável com maior potencial de exploração no mundo todo. Atualmente já existem tecnologias capazes de captar e converter a energia solar de acordo com a necessidade da aplicação. Os sistemas solares fotovoltaicos, fazem a conversão direta dos raios solares em energia elétrica, já os sistemas solares térmicos usam o calor do sol para fins de aquecimento. Ambos os sistemas de energia solar podem ser aplicados em qualquer setor de atividade, no entanto, os sistemas solares de aquecimento de água

são os que possuem maior potencial de aplicação, pois podem ser empregados para diferentes finalidades (BARBOSA; CARVALHO, 2018).

No que diz respeito ao perfil da demanda energética nacional por setores de atividade, o setor industrial brasileiro é responsável pelo consumo de 32,9% de toda a energia produzida no país, desse total apenas 20% é proveniente de energia elétrica, os outros 80% vem de outras fontes, renováveis ou não (BRASIL, 2018), que são direcionadas principalmente para geração de calor necessária aos diversos processos presentes nesse setor (SILVA, 2014).

Do ponto de vista ambiental, o setor industrial também aparece como um dos grandes vilões quando analisado o total de emissões antrópicas associadas a matriz energética brasileira, ele sozinho é responsável por 18,9% do total de emissões (435,8 Mt CO₂-eq), perdendo apenas para o setor de transporte que é responsável por 45,8% (BRASIL, 2018).

Portanto, considerando todos os pontos já abordados, é perceptível que a aplicação da energia solar no setor industrial brasileiro é um ponto chave para contribuir com o desenvolvimento sustentável do país, uma vez que o Brasil possui uma localização privilegiada em relação a irradiação solar e sua aplicação pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa (KABIR *et al.*, 2018).

Na indústria de alimentos e bebidas, existem processos térmicos de baixas e médias temperaturas onde o emprego de tecnologias de energia solar, já bem consolidadas são capazes de atender a essas demandas (SCHWEIGER, 2001). Na produção de cerveja, a utilização de energia térmica representa cerca de 77% do total da energia utilizada (SCHWEIGER, 2001) e as temperaturas necessárias a estes processos variam entre 60°C a 120°C (ORTIZ, 2014).

OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi aplicar a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas a geração e consumo de calor de processo em cervejarias. Foram comparadas as formas de energia comumente utilizadas em cervejarias brasileiras, eletricidade e o óleo diesel, com uma fonte renovável de energia térmica, a energia solar.

METODOLOGIA

Foi utilizada a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), a qual consegue quantificar os potenciais impactos ambientais associados a um produto, processo ou serviço ao longo do seu ciclo de vida (ou de parte dele) (GUINEE, 2001; GUINEE, 2002). O ciclo de vida pode incluir as etapas de extração de matérias-primas, processamento, fabricação, transporte, uso, manutenção, e descarte final. A ACV é internacionalmente validada e consolidada, sendo padronizada pela *International Organization for Standardization* (ISO) em suas normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006) que no Brasil foram traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A ACV possui quatro etapas interrelacionadas (ABNT, 2014a; ABNT 2014b): i) definição do objeto e escopo, onde se definem as fronteiras da análise e o objetivo do estudo, além da unidade funcional; ii) construção do inventário, que é um levantamento quantificado de dados de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões) associadas a unidade funcional; iii) identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados levantados no inventário (em outras palavras, esta etapa aplica um método de avaliação de impacto ambiental para expressar os resultados), e finalmente iv) interpretação dos resultados.

Utilizou-se o software Simapro 9.0.0.35 ,com a base de dados Ecoinvent (2019) para o desenvolvimento da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

O método de avaliação de impacto ambiental aplicado foi o IPCC 2013 GWP 100a (IPCC, 2013), que agrupa os GEE emitidos num horizonte de 100 anos, expressando os resultados em termos de kg CO₂-eq. A unidade funcional aqui considerada foi o consumo de 1 kWh de calor de processo.

Para o consumo de eletricidade, utilizou-se como base o trabalho de Carvalho e Delgado (2017) para estimar as emissões de GEE associadas ao consumo de 1 kWh de eletricidade no Brasil em 2018 (que são os dados mais recentes disponíveis: hidrelétrica 71,80%, térmica 16,70%, eólica 8,30%, nuclear 2,70% e solar 0,50%)¹. Considerou-se uma caldeira elétrica com eficiência de 90% (Ecoinvent, 2018).

¹ Dados obtidos do Informativo Preliminar Diário da Operação do Operador Nacional do Sistema.

Para diesel, utilizou-se o processo *Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW}/ heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace IMW / APOS, S* para o fornecimento de 1 kWh de calor, considerando uma eficiência de 95% nesta caldeira (Ecoinvent, 2018).

Para a utilização de coletores solares, utilizou-se o processo *Heat, central or small-scale, other than natural gas {RoW}/ operation, solar collector system, Cu flat plate collector, for hot water / APOS, S*, que possui uma eficiência de 85% (Ecoinvent, 2018).

A partir da análise da viabilidade econômica e dimensionamento de um sistema de aquecimento solar de água para uma microcervejaria (SOUZA; GEREMIA; RODRIGUES, 2018) como fonte de dados secundária, uma ACV simplificada foi desenvolvida para verificar o potencial de mitigação de mudanças climáticas. De acordo com Souza, Geremia e Rodrigues (2018), a demanda de calor para uma microcervejaria que consome diariamente 950 L de água é aproximadamente 44,23 kWh/dia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após introdução dos processos especificados no Simapro (PRÉ CONSULTANTS, 2018), utilizando-se a base de dados Ecoinvent (2018), selecionou-se o método IPCC 2013 GWP 100a (IPCC, 2013). Os resultados para a obtenção de 1 kWh de calor de processo estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Emissões de GEE associadas ao fornecimento de 1 kWh de calor.

Fonte de energia	Emissões de GEE
Coletores Solares	0,0144 kg CO ₂ -eq
Diesel	0,3490 kg CO ₂ -eq
Eletricidade	0,2878 kg CO ₂ -eq*

* a pegada de carbono associada ao consumo de 1 kwh da rede elétrica brasileira é de 0,259 kg CO₂-eq, mas aqui trata-se de 1 kwh de calor (considerando a eficiência da caldeira)

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Considerando que a demanda anual de calor para a microcervejaria é de 11.500 kWh (funcionamento 252 dias por ano), a Tabela 4.2 apresenta os resultados das emissões

de GEE associadas às substituições parciais e total da energia térmica, utilizando como base essa microcervejaria.

Tabela 4.2. Emissões de GEE associadas ao fornecimento de 11.500 kWh de energia térmica, com substituições totais e parciais utilizando energia solar para uma microcervejaria.

	Substituição por energia solar (kg CO ₂ -eq)					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Diesel + Solar	4013	3244	2474	1705	935	165
Eletricidade+ Solar	3309	2680	2052	1423	794	165

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Com a substituição total da fonte energética, utilizando coletores solares para aquecimento de água, a microcervejaria descrita por Souza, Geremia e Rodrigues (2018) emite para a atmosfera 165 kg CO₂-eq/ano, valor bem menor que se utilizado apenas diesel para alimentar a caldeira geradora de calor, o que eleva o valor da pegada de carbono para 4013 kg CO₂-eq/ano, e se no caso for utilizada eletricidade, emite 3309 kg CO₂-eq/ano.

Em um caso mais realista, a substituição parcial já se mostra bem eficaz, representando -770 kg CO₂-eq/ano a cada 20% de substituição no caso do diesel e de -629 kg CO₂-eq/ano no caso da eletricidade. É importante destacar que estas emissões são associadas ao consumo de 1 kWh de calor. Verifica-se que há importante potencial de mitigação de mudanças climáticas associado à substituição energética.

O trabalho de Lima e Walter (2017) buscou compreender o contexto ambiental da empresa “Alfa”, uma cervejaria de grande porte localizada no estado da Paraíba. Os autores mencionam que a indústria de cerveja já começa a introduzir o conceito da sustentabilidade e da produção mais limpa em suas atividades, repensando o impacto de suas atividades no meio ambiente e buscando estratégias para minimizar a geração de resíduos sólidos e emissões.

A ACV já vem sendo aplicada à produção de cerveja, mas os objetivos das análises são diferentes, e assim dificultam a comparação dos resultados. Talve (2001) desenvolveu uma ACV voltada à cerveja do tipo *lager* (baixa fermentação), com o objetivo de avaliar os potenciais efeitos ambientais associados às diferentes etapas do ciclo de vida da

produção de cerveja e obter dados atualizados para a construção de uma fábrica nova. Verificou-se que as etapas que mais contribuíram para as emissões finais de carbono foram a energia consumida no processo produtivo e o transporte.

O estudo de Kløverpris *et al.* (2009) desenvolveu ACVs para cerveja puro malte e cerveja de trigo produzidas na Dinamarca, verificando que para cada tonelada de malte substituída por cevada, deixa-se de emitir 174 kg CO₂-eq. Koroneos *et al.* (2005) desenvolveram uma ACV para o processo produtivo da cerveja na Grécia, engarrafada em garrafas de vidro verde de 0,5 L, resultando em 392,46 g CO₂-eq/garrafa. Cordella *et al.* (2008) estudaram o processo produtivo de uma cervejaria *lager* na Itália (1.880.000 litros por ano), e concluíram que o consumo de cerveja em barris era menos poluente que em garrafas de vidro. O método de avaliação de impacto ambiental empregado foi o Eco Indicator-99, que não permite comparação com os valores aqui obtidos. Melon *et al.* (2012) aplicaram o método ReCiPe, também diferente do aqui aplicado, à produção artesanal de cerveja na Bélgica. Porém a unidade funcional não é diretamente comparável, pois os autores avaliaram um barril de aço de 20 litros e garrafas de vidro marrom de 0,5 litro, com a conclusão esperada de que o barril emite mais. A embalagem foi o fator que mais impactou nas emissões de carbono. Muñoz, Riquelme e Cardenas (2012) aplicaram a ACV a uma microcervejaria no Chile, onde a unidade funcional foi uma garrafa de 0,33 litro de cerveja. As emissões associadas às cervejas *ale*, *bock*, *lager* e *weizen* foram 585, 605, 572 e 593 g CO₂-eq por garrafa, onde a maioria das emissões esteve associada a produção das garrafas de vidro (35%), transporte/distribuição (26%) e produção do malte (17%).

Amienyo e Azapagic (2016) avaliaram os custos e impactos ambientais associados à produção e consumo de cerveja no Reino Unido, verificando que, dependendo do tipo de embalagem, a produção de 1 litro de cerveja emite 510–842 g CO₂-eq. Marco *et al.* (2016) desenvolveram ACVs para cervejas dos tipos *Ale* (alta fermentação) e *Lager*, verificando que para minimizar os impactos associados à produção de *lager*, as temperaturas de fermentação deveriam ser as mais altas possíveis (dentro dos limites que possibilitem classificar a cerveja como *lager*). O Centro de Estudos Sustentáveis (*Center for Sustainable Systems*, 2017) da Universidade de Michigan publicou uma compilação de 15 estudos de ACV em cervejarias, concluindo que as emissões de carbono associadas à produção de cerveja são principalmente relacionadas ao consumo de energia, podendo corresponder entre 2 e 28% do impacto final. Porém o informe destaca a falta de padronização nos estudos e consequente dificuldade de comparar resultados. Shin e

Searcy (2018) estudaram a produção de cerveja na província de Ontario, no Canadá, e seu caso de estudo verificou que os três maiores contribuintes para as emissões de carbono foram o uso de vapor (21,0%), cultivo da cevada (10,4%) e consumo de eletricidade (9,5%). Já o caso de estudo de Masoti, Campisi e Bogon (2016) na Itália verificou que uma microcervejaria italiana emitiu 58,2 t CO₂-eq/ano para produzir 579.5 hl, obtendo aproximadamente 1 kg CO₂-eq por litro. Os autores comentam que o valor é alto em comparação a outros estudos. Cimini e Moresi (2016) estimaram as emissões de carbono para cerveja *lager* embalada em garrafas de vidro de 0,66 litro, garrafas de vidro de 0,33 litro, latas de alumínio de 0,33 litro, e em barris de aço de 30 litros, obtendo, respectivamente 570, 670, 740, 690 e 250 kg CO₂-eq/l.

Como mencionado por Carvalho e Delgado (2017), desde uma perspectiva de ACV, os aspectos mais críticos que afetaram a comparação de resultados (coerência e transparência) foram a definição da unidade funcional (fronteiras do objeto de estudo), o método de ACV empregado e o tipo de alocação de impactos. Esta grande variação nos resultados de emissões de GEE deve-se a falta do uso padronizado de uma mesma metodologia na modelagem de cada inventário. Quanto aos métodos de avaliação de impacto dos GEE, alguns dos estudos seguem as recomendações do IPCC à risca enquanto outros incluem o CO₂ de fonte renovável ou usa algum outro critério de inclusão ou exclusão de emissões de GEE que causa diferenças nos resultados.

Observa-se que a produção de cerveja pode se beneficiar dos resultados de pesquisas científicas e tecnológicas, onde experiências de sucesso podem ser estendidas e adaptadas para diferentes casos de estudo. Evidencia-se que é possível implementar melhorias e fazer com que o desenvolvimento sustentável ocorra em sintonia com as avançadas tecnologias da atualidade e com a globalização. A análise dos resultados obtidos permite concluir que há potencial de mitigação de mudanças climáticas associado à substituição energética da fonte de calor utilizada nos processos produtivos da cerveja.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de conceitos de ACV pode informar o benefício ambiental associado à substituição da fonte energética, demonstrando que a introdução de energia solar térmica é uma alternativa viável ambientalmente.

Com a substituição total da fonte energética, utilizando coletores solares para aquecimento de água, a microcervejaria emite para a atmosfera 165 kg CO₂-eq/ano, valor

bem menor que se utilizado apenas diesel para alimentar a caldeira geradora de calor, o que eleva o valor da pegada de carbono para 4013 kg CO₂-eq/ano, e se no caso for utilizada eletricidade, emite 3309 kg CO₂-eq/ano. Em um caso mais realista, a substituição parcial já se mostra bem eficaz, representando -770 kg CO₂-eq/ano a cada 20% de substituição no caso do diesel e de -629 kg CO₂-eq/ano no caso da eletricidade. É importante destacar que estas emissões são associadas ao consumo de 1 kWh de calor.

Os resultados obtidos neste trabalho, somados a futuras pesquisas em outros setores, poderão diminuir os efeitos negativos das atividades industriais. A aplicação de pesquisas semelhantes em instituições diversas poderá mitigar a intensificação do efeito estufa uma vez que o somatório das emissões evitadas poderá ser elevado. Por meio destas mudanças em diferentes setores, será possível, em um futuro próximo, estabelecer uma economia de baixo carbono.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Bolsa de Produtividade em Pesquisa, nº 307394/2018-2) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT –Associação Brasileira de Normas Técnicas.(2014a) **NBR ISO 14040/2014 - Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, ABNT.

ABNT –Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014b) **NBR ISO 14044/2014 - Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, ABNT.

AMIENYO, D.; AZAPAGIC, A. **Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK**. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 21, n. 4, p. 492-509, 2016.

BARBOSA, Rafaela Ramos; CARVALHO, Monica. **Dimensionamento de um sistema de aquecimento solar de água para aplicações industriais**. Engevista, v. 20, n. 2, p. 214-238, 2018.

BRASIL. MME. **Balanco Energético Nacional 2018: Ano base 2017**. Rio de Janeiro, EPE, 2018. 294 f. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf. Acesso em: 02 abr.2019.

CARVALHO, M.; DELGADO, D. **Potential of photovoltaic solar energy to reduce the carbon footprint of the Brazilian electricity matrix.** LALCA-Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida, v. 1, n. 1, p. 64-85, 2017.

CENTER FOR SUSTAINABLE SYSTEMS, University of Michigan. **Food Product Environmental Footprint Literature Summary, Beer.** 2017. Disponível em: <https://www.oregon.gov/deq/FilterDocs/PEF-Beer-FullReport.pdf> Acesso em 03 abr.2019.

CIMINI, A.; MORESI, M.; **Carbon footprint of a pale lager packed in different formats: assessment and sensitivity analysis based on transparent data.** Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 4196-4213, 2016.

CORDELLA, M. **LCA of an Italian lager beer.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 13, n. 2, p. 133, 2008.

ECOINVENT, **Base de dados,** 2015. Disponível em: <http://www.ecoinvent.ch> Acesso em 22 mar.2019.

GUINÉE, J.B. (ed) **Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide.** Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.

GUINÉE, J.B. **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards.** Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, **ISO 14040:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework,** Genebra, ISO 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, **ISO 14044:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines,** Genebra, ISO 2006.

IPCC, **Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto protocol,** 2013. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/> Acesso em 23 mar.2019.

KABIR, E.; KUMAR, P.; KUMAR, S.; ADELODUN, A.; KIM, K-H.; **Solar energy: Potential and future prospects.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 82, p. 894-900, 2018.

KORONEOS, C. **Life cycle assessment of beer production in Greece.** Journal of Cleaner Production, v. 13, n. 4, p. 433-439, 2005.

KLØVERPRIS, J. H. et al. **Comparative life cycle assessment of malt-based beer and 100% barley beer.** Novozymes A/S, 2009.

LIMA, D.A.P.; WALTER, F. **Produção mais limpa e sustentabilidade na indústria de cerveja.** In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente (ENGEMA), 19., 2017, São Paulo. Anais. São Paulo, [s.n.], 2017.

MARCO, I. **Life cycle assessment of ale and lager beers production.** Chemical Engineering Transactions, v. 49, p. 337-342, 2016.

MASOTTI, P.; CAMPISI, B.; BOGON, P. **Carbon footprint evaluation of an Italian micro-brewery.** Procedia Environmental Science, Engineering and Management, v. 3, n. 3, p. 119-127, 2016.

MELON, R. et al. **Life Cycle Assessment of an artisanal Belgian blond beer.** In: Proceedings of the 2nd International Conference on life cycle approaches. Lille, 2012.

MUÑOZ, E.; RIQUELME, C.; CARDENAS, J.P. **Carbon footprint of beer – analysis of a small scale processing plant in Chile.** In: Proceedings of the 2nd International Conference on life cycle approaches. Lille, 2012.

ORTIZ, P. R. B., **Análise do Consumo Energético do Processo de Produção de Cerveja Artesanal por Bateladas.** 2014. 20 p. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PRÉ CONSULTANTS, **SimaPro website**, 2019. Disponível em: <http://www.simapro.nl> Acesso em 23 mar.2019.

SHIN, R.; SEARCY, C. **Evaluating the Greenhouse Gas Emissions in the Craft Beer Industry: An Assessment of Challenges and Benefits of Greenhouse Gas Accounting.** Sustainability, v. 10, n. 11, p. 4191, 2018.

SCHWEIGER, Hans et al. **Poship—the potential of solar heat for industrial processes. Final Report.** EU-Project No NNE-1999, v. 308, 2001.

SILVA, J. A. C. da, **Potenciais aplicações de tecnologias solares em processos industriais como fonte de energia: uma revisão bibliográfica.** 2014. 80p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)- Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

SOUSA, M.N.; GEREMIA, A.R.; RODRIGUES, L.J. **Análise da viabilidade econômica e dimensionamento de sistemas de aquecimento solar de água para o processo de mosturação de cerveja.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., Gramado, 2018. Anais do ABENS. Gramado, ABENS, 2018.

TALVE, S. **Life cycle assessment of a basic lager beer.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 6, n. 5, p. 293, 2001.

CAPÍTULO 5 ARTIGO:

COMPARAÇÃO AMBIENTAL DA ORIGEM DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA EM CERVEJARIAS

RESUMO

A produção de cerveja no Brasil vem crescendo nos últimos anos, e um dos motivos desse crescimento é o grande número de micro e pequenas cervejarias inauguradas no país, principalmente na região Nordeste. O processo de produção de cerveja é grande consumidor de energia elétrica, principalmente em etapas em que a refrigeração é requerida. Este estudo comparou as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas ao consumo de eletricidade da rede elétrica (mix elétrico brasileiro) com a eletricidade solar fotovoltaica, aplicando a um caso real de uma cervejaria localizada em João Pessoa, Paraíba. A metodologia utilizada foi a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), com o software SimaPro v.9.0.0.35 e base de dados Ecoinvent. O método de avaliação de impacto ambiental foi o IPCC 2013 GWP100a, que representa os valores em termos de GEE (kg CO₂-eq). A substituição parcial do mix elétrico pela energia solar fotovoltaica se mostrou bastante benéfica desde um ponto de vista ambiental, representando -180 kg CO₂-eq a cada 20% de substituição no caso do mix brasileiro. Esses valores são associados ao consumo de 1 kWh de energia elétrica, sendo que uma pequena cervejaria consome cerca de 113,88 kWh por hectolitro de cerveja produzidos. Conclui-se que há potencial de mitigação de mudanças climáticas associado à transição energética em cervejarias.

Palavras-chave: Cerveja. Avaliação de Ciclo de Vida. Eletricidade. Energia Solar Fotovoltaica. Emissões de Gases de Efeito Estufa.

INTRODUÇÃO

Cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no mundo e seu consumo global alcançou a marca de 2,5 bilhões de hectolitros (hL) em 2016 (STATISTA, 2018). O Brasil possui uma grande fatia desse mercado, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja – CervBrasil, recentemente o país alcançou o patamar de 140 x 10⁶ hL de cerveja produzidos, colocando o país na terceira posição no ranking mundial, atrás apenas de China (460 x 10⁶ hL) e dos Estados Unidos (221 x 10⁶ hL), mas na frente de países tradicionais do ramo cervejeiro, como a Alemanha (95 x 10⁶ hL) e da Rússia (78 x 10⁶ hL) (CERVBRASIL, 2016).

Porém, a grande escala de produção de cerveja resultou em impactos ambientais substanciais devido ao uso intensivo de recursos. Estima-se que as bebidas alcoólicas, incluindo cerveja, sejam responsáveis por 0,7% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) quando o ciclo de vida é considerado (CIMINI *et al.*, 2016). A maior parte destas emissões está associada ao consumo de energia necessário para a produção,

transporte e distribuição das bebidas (RUSSELL *et al.*, 2008; BAI *et al.*, 2011; BREWERS ASSOCIATION, 2012; OLAJIRE, 2012; STROBL, 2019).

A descarbonização energética emprega combustíveis ou vetores energéticos que possuem uma baixa emissão de carbono, procurando assim diversificar a matriz energética, diminuir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as mudanças climáticas (SMIL, 2015; KAHN, 2016; SMIL, 2016). Uma forma eficiente de descarbonizar a energia é a inclusão de energias renováveis em substituição total ou parcial sobre os combustíveis fósseis.

No Brasil, foi comprovado o benefício ambiental da introdução da geração de energia com fontes renováveis, a exemplo da energia solar fotovoltaica no mix elétrico brasileiro (CARVALHO; DELGADO, 2017). Segundo as autoras, apesar de estar em pleno crescimento, a energia solar fotovoltaica ainda é inexpressiva na matriz energética brasileira.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2019), ano base 2018, a geração de energia elétrica no Brasil atingiu o patamar de 636,4 TWh por ano, sendo que a fonte hidráulica representa 66,6% desse montante enquanto a energia solar apenas 0,5%. Somando outras fontes renováveis, como a eólica e biomassa, 83,3% da geração total de energia elétrica no Brasil advém de fontes renováveis. Na região Nordeste, as fontes de geração de energia elétrica compõem uma matriz um pouco distinta do cenário nacional, com destaque para a fonte eólica. De acordo com os dados dos Informativos Preliminares Diários de Operação (IPDO) do Operador Nacional do Sistema (ONS), a fonte eólica, no ano de 2018, foi responsável por mais da metade da geração de energia elétrica do Nordeste, atingindo um percentual de 50,36% da matriz dessa região (ONS, 2019).

O consumo de eletricidade pelo setor industrial representa 37,7% de toda energia elétrica gerada no país, sendo que 9,2% desse consumo é referente à indústria de alimentos e bebidas tornando assim esse ramo industrial o maior consumidor de energia elétrica no país (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2018).

A fabricação de cerveja é um processo de uso intensivo de energia, e seu impacto ambiental tem sido objeto de vários estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) (AMIENYO *et al.*, 2016; BIER, 2012; CIMINI *et al.*, 2018; CIMINI *et al.*, 2016; CLIMATE CONSERVANCY, 2008; CHICAGO MANUFACTURING CENTER, 2009; EPD, 2010, 2011a, 2011b, 2013, 2014a, 2014b; KORONEOS *et al.*, 2005; LALONDE *et al.*, 2013; MUNOZ *et al.*, 2012; NARAYANASWAMY *et al.*, 2005; TALVE, 2001; WILLIAMS *et al.*, 2014).

Trommer (2013) realizou um estudo em uma planta piloto cervejeira, onde o consumo total de energia elétrica para a produção de 72 litros de cerveja foi de 82 kWh (31,7% para acionamento de equipamentos e acessórios, 20,7% para aquecimento e 47,6% para resfriamento durante a fabricação da cerveja), totalizando 113,88 kWh/hL. Como a produção de cerveja no país chegou no patamar de 140 milhões de hectolitros (CERVBRASIL, 2016), a quantidade requerida de energia para sustentar esta produção pode alcançar $1,59 \times 10^7$ MWh. Esse montante demonstra a importância da inserção de energias renováveis no setor cervejeiro.

A região Nordeste vem se destacando como uma das maiores produtoras de cerveja do país. Nos últimos cinco anos a participação da região na produção do país cresceu 1,2%. No total, foi registrado um aumento de 26,2% na região nos últimos cinco anos, enquanto a média nacional foi um crescimento de 14,3%. O aumento do consumo foi impulsionado principalmente pelo interior do Nordeste, com aumento de 40,6% (CERVBRASIL, 2019).

Como o crescimento econômico está relacionado ao consumo de energia e consequentemente às emissões de gases de efeito estufa (GEE), indicadores ambientais e energéticos podem ser empregados para a avaliação de processos. A pegada de carbono é um indicador importante para analisar interações entre atividade econômica e humana, o consumo de energia e as emissões de GEE.

A pegada de carbono de um produto é uma quantificação das emissões de GEE ao longo do seu ciclo de vida. Todas emissões dentro do limite da cadeia de valor de um produto específico são contabilizadas e atribuídas a uma unidade funcional, que pode ser bem específica quanto a natureza do produto. Emissões agregadas de GEE de todas as atividades relacionadas a um produto a partir da extração da matéria-prima, passando pela fabricação e distribuição e incluindo o uso pelo consumidor e o fim da vida útil (reciclagem/descarte), estão incluídos na pegada de carbono do produto.

OBJETIVO

O objetivo desse estudo foi aplicar a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para quantificar a pegada de carbono associada ao consumo de energia elétrica no ramo cervejeiro, utilizando como estudo de caso uma cervejaria instalada na cidade de João Pessoa, Paraíba, região Nordeste brasileira.

METODOLOGIA

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma das metodologias mais difundidas, utilizadas e consolidadas para o cálculo de impactos ambientais, compreendendo desde a extração de matéria-prima, fabricação, transporte ou distribuição, utilização e disposição final de resíduos de produtos ou serviços e está internacionalmente normatizada pela *International Organization for Standardization* (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006), que no Brasil foi traduzida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b).

A ACV possui quatro fases inter-relacionadas (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b): i) definição do objetivo e escopo, nessa fase se definem as fronteiras da análise e o objetivo do estudo e a unidade funcional que será utilizada; ii) formulação do inventário, que será um levantamento quantificado dos dados de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e as saídas (produtos, subprodutos e emissões) todos associadas a unidade funcional previamente estabelecida; iii) identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados levantados no inventário, esta etapa aplica um método de avaliação de impacto ambiental para expressar os resultados; iv) interpretação dos resultados.

Para o desenvolvimento da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi utilizado o *software Simapro 9.0.0.35* (Pré Consultants, 2019) com base de dados *Ecoinvent* (2018). O método de avaliação de impacto ambiental aplicado foi o IPCC 2013 GWP 100a (IPCC, 2013), o qual agrupa os gases do efeito estufa (GEE) emitidos em um horizonte de 100 anos, expressando os resultados alcançados em termos de kg CO₂-eq. A unidade funcional aqui considerada foi o consumo de 1 kWh de energia elétrica.

Para o consumo de eletricidade da rede elétrica nacional, foi utilizado como base o trabalho de Carvalho e Delgado (2017) para estimar as emissões de GEE associadas ao consumo de 1kWh de energia elétrica da rede elétrica no Brasil no ano de 2018, que utilizou os dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2019) mais recentes no período, dividindo as fontes de geração de energia em: hidrelétricas 71,80%, térmica 16,70%, eólica 8,30%, nuclear 2,70% e solar 0,50%.

Para o consumo de eletricidade oriunda de painéis fotovoltaicos, selecionou-se o processo *Electricity, low voltage {BR}| electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted | APOS, S* da base de dados *Ecoinvent*.

APOS refere-se a “*At Point Of Substitution*”, que é a abordagem atribucional, onde as cargas ambientais são alocadas proporcionalmente aos processos causadores. S corresponde a “*System*”. O processo brasileiro compreende a geração de eletricidade (baixa tensão) em um sistema de 3 kW_p instalado em um telhado inclinado, com vida útil de 30 anos. Inclui a fabricação e instalação do painel de silício multi-cristalino (mc-Si, com eficiência de 13.5% e espessura da célula 270-300µm), equipamentos auxiliares, cabeamento, e água utilizada na manutenção (limpeza).

No caso da cervejaria instalada na cidade de João Pessoa – Paraíba, o desenvolvimento de uma pesquisa quantitativa por meio de visitas técnicas na planta fabril obteve os consumos de energia elétrica nos seis meses antecedentes, período entre dezembro de 2018 a maio de 2019, mostrados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Consumo de energia elétrica em uma pequena cervejaria.

Período	Consumo (kWh)
Dezembro	4519
Janeiro	6218
Fevereiro	5860
Março	6350
Abril	5857
Maio	6252

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao mix elétrico nacional, a pegada de carbono associada ao consumo de energia elétrica da rede elétrica nacional no ano de 2018 foi de 0,259 kg CO₂-eq/kWh. Para a eletricidade obtida dos painéis fotovoltaicos, a pegada de carbono foi de 0,0766 kg CO₂-eq/kWh (Carvalho e Delgado, 2017).

A produção da fábrica tem uma média de 50 hl/mês, o que corresponde a 116,85 kWh/hl de cerveja produzidos, valor muito próximo do encontrado por Trommer (2013), que encontrou o valor de 113,88 kWh/hl em escala piloto.

A tabela 5.2 apresenta os resultados das emissões de GEE associadas às substituições parciais e totais da energia elétrica, do mix elétrico brasileiro por energia solar fotovoltaica, utilizando como base a cervejaria instalada em João Pessoa – PB.

Tabela 5.2. Emissões de gases de efeito estufa para fornecimento de 5.842 kWh de energia elétrica, com diferentes participações da energia fotovoltaica em uma cervejaria.

	Substituição por energia solar fotovoltaica (kg CO ₂ -eq)					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Mix Brasil	1513	1300	1087	874	661	448

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Com a substituição total da fonte energética, utilizando painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica, uma cervejaria de pequeno porte emite para a atmosfera cerca de 448 kg CO₂-eq/mês, valor bem menor se comparado com o mix elétrico brasileiro, que emite 1513 kg CO₂-eq/mês.

Em um caso mais realista, a substituição parcial já se mostra muito eficaz, representando cerca de -213 kg CO₂-eq/mês a cada 20% de substituição no caso do mix brasileiro. Ao longo do ano, considerando os 12 meses de operação, estes valores se mostram bastante expressivos: 2.556 kg CO₂-eq/ano para cada substituição de 20% nos casos do mix elétrico brasileiro.

Apesar do mix elétrico brasileiro ser considerado um mix *verde*, em termos da maior contribuição hidrelétrica, possui ainda grande participação de combustíveis fósseis. A utilização (mesmo que parcial) de eletricidade solar fotovoltaica é bastante benéfica em termos de GEE, como visto aqui. A introdução de fontes renováveis em geral sempre é benéfica. Estas foram as mesmas conclusões de Melo, Silvestre e Carvalho (2019), que compararam as emissões de GEE associadas à geração de eletricidade com diesel e depois gás de biomassa, de Melquíades *et al.* (2019) que verificaram a pegada de carbono associada ao processo de pasteurização de sorvetes, onde substituíram óleo combustível por energia solar térmica, Carvalho *et al.* (2019) que calcularam as emissões de GEE associadas à geração de eletricidade com bagaço de cana-de-açúcar e compararam com a geração à diesel, e finalmente de Grilo *et al.* (2018) que estudaram o fornecimento de eletricidade a uma bomba de calor, comparando o mix elétrico com a eletricidade solar fotovoltaica.

Os resultados encontrados neste estudo são extrapoláveis, pois foi utilizado para base de cálculo uma cervejaria de pequeno porte, que produz cerca de 50 hl mensais. Quando se leva para a realidade brasileira, com sua produção de cerca de 140 x 10⁶ hl por ano, alcança-se um potencial de emissões evitadas da ordem de 613 x 10³ t CO₂-eq por ano com apenas 20% de substituição de energia. Apresenta-se aqui a confirmação que a substituição, mesmo que parcial, da eletricidade oriunda da rede elétrica brasileira por

energia solar fotovoltaica possui significativo potencial para mitigação de mudanças climáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho quantificou a pegada de carbono associada ao consumo de 1 kWh de eletricidade a uma cervejaria, utilizando eletricidade do mix elétrico nacional (rede elétrica) e depois comparou com a geração fotovoltaica de eletricidade.

Verificou-se que a pegada de carbono que a substituição da fonte energética proporciona, demonstra que a introdução, mesmo que parcial, de energia solar fotovoltaica é uma alternativa viável ambientalmente.

Os resultados encontrados nesse trabalho poderão diminuir os efeitos negativos das atividades das cervejarias. A aplicação de pesquisas semelhantes em empresas do setor de alimentos e bebidas poderá mitigar a intensificação do efeito estufa, uma vez que o somatório das emissões evitadas em diferentes setores poderá ser elevado.

Por meio dessas pesquisas e mudanças de paradigmas, será possível, em um futuro próximo, o estabelecimento de uma economia de baixo carbono.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Bolsa de Produtividade em Pesquisa, nº 307394/2018-2) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura: NBR ISO 14040**, Rio de Janeiro, versão corrigida 2014a, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044**, Rio de Janeiro, ABNT – versão corrigida 2014b, 2009.

AMIENYO, D.; A. AZAPAGIC. Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK. **The International Journal of Life Cycle Assessment** 21(4): 492–509, 2016.

BAI, J.; PU, T; XING, J.; NIU, G.; ZHANG, S.; LIU, Q. **Research on energy consumption analysis of beer brewing process**. Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology. IEEE, p. 182-185, 2011.

BIER - Beverage Industry Environmental Roundtable, 2012. **Research on the carbon footprint of beer**. **Beverage Industry Environmental Roundtable**, Disponível em: http://media.wix.com/ugd/49d7a0_70726e8dc94c456caf8a10771fc31625.pdf. Acessado em: 02 Ago 2019.

BEN **Balanco Energético Nacional 2019: Ano base 2018**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf> Acesso em: 22 ago.2019.

BREWERS ASSOCIATION. **Energy Usage, GHG Reduction, Efficiency and Load Management Manual**. Boulder, Colorado: Brewers Association, 2012.

CARVALHO, M. et al. **Carbon footprint of the generation of bioelectricity from sugarcane bagasse in a sugar and ethanol industry**. International Journal of Global Warming, v. 17, n. 3, p. 235-251, 2019.

CARVALHO, M.; DELGADO, D. **Potential of photovoltaic solar energy to reduce the carbon footprint of the Brazilian electricity matrix**. LALCA - Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida, v. 1, n. 1, p. 64-85, 2017.

CERVBRASIL – Associação Brasileira da Indústria da Cerveja **Participação do nordeste na produção nacional de cerveja cresce 1,2% nos últimos cinco anos**. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/participacao-do-nordeste-na-producao-nacional-de-cerveja-cresce-12-nos-ultimos-cinco-anos/ acessado em 12 Jul 2019.

CERVBRASIL Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **Anuário. 2016**. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/CervBrasil-Anuario2016_WEB.pdf. Acesso em: 27 jun. 2019.

CHICAGO MANUFACTURING CENTER, 2009. **Product carbon footprint of Goose Island brewery 312 beer keg**. Disponível em: www.glproject.com/filebin/pdf/312_Keg_Footprint_Report.pdf. Acessado em 31 Jul 2019.

CIMINI, A.; MORESI, M. **Carbon footprint of a pale lager packed in different formats: Assessment and sensitivity analysis based on transparent data**. *Journal of Clean Production*, 112, 4196–4213, 2016.

CIMINI, A.; MORESI, M. Carbon footprint of a pale lager packed in different formats: Assessment and sensitivity analysis based on transparent data. **Journal of Cleaner Production** 112(pt 5): 4196–4213, 2016.

CIMINI, Alessio; MORESI, Mauro. **Mitigation measures to minimize the cradle-to-grave beer carbon footprint as related to the brewery size and primary packaging materials** Journal of Food Engineering n. 236, 2018.

CLIMATE CONSERVANCY, 2008. **The carbon footprint of Fat TireR amber ale.** Disponível em: www.newbelgium.com/Files/the-carbon-footprint-offat-tire-amber-ale-2008-public-fist-rfs.pdf. Acessado em 10 Ago 2019.

ECOINVENT, **Base de dados**, 2018. Disponível em: <http://www.ecoinvent.ch> Acesso em 22 mar.2019.

EPD, 2010. **EPDR Carlsberg and Tuborg beer. Reg. no S-EP-00264.** Disponível em: <http://www.environdec.com/Detail/?Epd=7819>. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2011a. **EPDR Tuborg beer. Reg. no S-P-00311.** Disponível em: <http://environdec.com/en/Detail/epd311>. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2011b. **EPDR BAP Bock chiara and BAP Bock rossa Beer. Reg. no. S-P-00314.** Disponível em: <http://www.environdec.com/en/Detail/epd314>. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2013. **UN CPC 2431 Beer made from malt. Version 1.01**, The International EPDR System. Disponível em: http://www.environdec.com/en/PCR/Detail/?show_login=true&error=failure&Pcr=7934. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2014a. **EPDR Birrificio Angelo Poretti luppoli bockchiara and Birrificio Angelo Poretti luppoli bock rossa Beer. Reg. no. S-P-00314.** Disponível em: http://gryphon.environdec.com/data/files/6/9938/epd314en_v4.pdf. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2014b. **EPDR Kronenbourg 1664R Beer. Reg. no. S-P-00533.** Disponível em: <http://www.environdec.com/en/Detail/?Epd=9931>. Acessado em 02 Jul 2019.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA **Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados – alimentos e bebidas (2018)** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/projeto-de-assistencia-tecnica-dos-setores-de-energia-e-mineral-projeto-meta> acessado em 22 Ago 2019.

GRILO, M. M. S. et al. **Carbon footprints for the supply of electricity to a heat pump: Solar energy vs. electric grid.** Journal of Renewable and Sustainable Energy, v. 10, n. 2, p. 023701, 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, **ISO 14040:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework**, Geneva, ISO 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, **ISO 14044:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines**, Genebra, ISO 2006.

IPCC, **Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto protocol**, 2013. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/> Acesso em 23 mar.2019.

KAHN, S. **Caminhos da oferta e demanda de energia ao longo do século XXI**. Boletim de Conjuntura, No.10, pp. 8-10, 2016.

KORONEOS, C.; ROUMBAS, G.; GABARI, Z.; PAPAGIANNIDOU, E.; MOUSSIOPOULOS, N. Life cycle assessment of beer production in Greece. **Journal of Cleaner Production** 13(4): 433–439, 2005.

LALONDE, S.; NICHOLSON, A.; SCHENCK, R. (2013). **Life cycle assessment of beer in support of an environmental product declaration**. Institute for Environmental Research and Education (IERE). Disponível em: http://iere.org/wp-content/uploads/2013/10/IERE_Beer_LCA_Final.pdf. Acessado em 28 Jun 2019.

MELO, F. M.; SILVESTRE, A. D.; CARVALHO, M. **Carbon footprints associated with electricity generation from biomass syngas and diesel**. Environmental Engineering and Management Journal, Vol. 18, No.7, 1391-1397, 2019.

MELQUÍADES, T.F. et al. **Pegada de carbono associada ao processo de pasteurização de sorvetes**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 12, n. 2, p. 609-629, 2019.

MUNOZ, E.; RIQUELME, C.; CARDENAS, J.P. **Carbon Footprint of beer—Analysis of a small scale processing plant in Chile**. Proceedings of the 2nd LCA Conference, 6–7 November, Lille, France, 2012.

NARAYANASWAMY, V.; VAN BERKEL, R.; ALTHAM, J.; MCGREGOR, M. **Application of life cycle assessment to enhance eco-efficiency of grains supply chains**. Proceedings of the 4th Australian LCA Conference, 23–25 February, Sydney, NSW, Australia, 2005.

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

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, **Carga e Geração**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao> Acessado em 11 jul 2019.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, **IPDO Informativo Preliminar Diário de Operação** Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/conhecimento/acervo-digital/documentos-e-publicacoes?categoria=IPDO> Acesso em 04 ago 2019.

PRÉ CONSULTANTS, **SimaPro website**, 2019. Disponível em: <http://www.simapro.nl> Acesso em 23 mar.2019.

RUSSELL, S.T.; SINGH, R.P.; BAMFORTH, C.W. **Alternative paradigms for the production of beer.** Journal of the Institute of Brewing, 114(4), 349-356, 2008.

SMIL, V. **Examining energy transitions: a dozen insights based on performance.** Energy Research & Social Science, No.22, pp.194-197, 2016.

SMIL, V. **Energy transitions, renewables and rational energy use: A reality check.** Organisation for Economic Cooperation and Development. The OECD Observer, No. 36, 2015

STATISTA, 2018. **Consumption of alcoholic beverages worldwide from 2016 to 2020 (in billion liters).** Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/726990/alcoholic-beverage-consumption-worldwide/> Acessado em 11 mar. 2018

STROBL, M. **Continuous Beer Production.** Beer and Brewing. IntechOpen, 2019.

TALVE, S. Life cycle assessment of a basic lager beer. **The International Journal of Life Cycle Assessment** 6(5): 293–298, 2001.

TROMMER, M. W.; COUTINHO, A.R. **ACV do processo de produção da cerveja.***In:* Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 33., Salvador, 2013. Anais do ENEGEP.Salvador, ENEGEP, 2013.

WILLIAMS, A.G.; MEKONEN, S. Environmental performance of traditional beer production in a micro-brewery. **Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector**, 8–10 October, edited by R. Schenck and D. Huizenga, 1535–1540. Vashon, WA, USA: American Center for Life Cycle Assessment, 2014.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu estudos ambientais, baseados na metodologia da avaliação do ciclo de vida para quantificar a pegada de carbono associada a três processos da fabricação de cerveja no Brasil.

A primeira parte envolveu a etapa de transporte de malte para duas cervejarias de diferentes portes instaladas no Nordeste brasileiro. Atualmente existe uma grande importância no controle de emissões de gases do efeito estufa pelo ramo cervejeiro, e foi verificado que a etapa de transporte do malte representa uma grande parcela dessas emissões. Apesar da cervejaria de grande porte utilizar uma quantidade superior de malte por mês, possui uma pegada de carbono por hl de cerveja produzido na etapa de transporte cerca de 8 vezes menor que uma cervejaria de pequeno porte, pois utiliza o meio marítimo para o transporte do mesmo. Nessa parte se conclui que pequenas e micro cervejarias devem se organizar em associações para fomentar a compra de grandes quantidades de matéria-prima, como o malte, para viabilizar o custo econômico do transporte aquaviário, diminuindo assim parte das emissões de gases do efeito estufa.

Na segunda parte do trabalho foi discutida a substituição total e parcial da geração de energia térmica de fontes tradicionais pela fonte solar térmica. No caso de uma substituição total da fonte energética, utilizando coletores solares para aquecimento de água, uma microcervejaria emite para a atmosfera 165 kg CO₂-eq/ano. Na opção de utilizar diesel para alimentar a caldeira geradora de calor, o valor da pegada de carbono sobe para 4013 kg CO₂-eq/ano, e se no caso for utilizada eletricidade, o valor é de 3309 kg CO₂-eq/ano. A substituição parcial já se mostra bem eficaz, representando -770 kg CO₂-eq/ano a cada 20% de substituição no caso do diesel e de -629 kg CO₂-eq/ano no caso da eletricidade. Esses valores de emissões são associados ao consumo de 1 kWh de calor.

A terceira parte do trabalho quantificou a pegada de carbono associada ao consumo de eletricidade em uma cervejaria, utilizando eletricidade do mix elétrico nacional (rede elétrica) e depois comparou com a geração fotovoltaica de eletricidade. Com a substituição total da fonte energética, utilizando painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica, uma cervejaria de pequeno porte emite para a atmosfera cerca de 448 kg CO₂-eq/mês, valor bem menor se comparado com o mix elétrico brasileiro, que emite 1513 kg CO₂-eq/mês. A substituição parcial representa cerca de -213 kg CO₂-eq/mês a

cada 20% de substituição. Ao longo do ano, considerando os 12 meses de operação, estes valores se mostram bastante expressivos: -2.556 kg CO₂-eq/ano para cada substituição de 20%.

Os resultados obtidos neste trabalho, somados a futuras pesquisas em outros setores, poderão diminuir os efeitos negativos das atividades industriais. A aplicação de pesquisas semelhantes em instituições diversas poderá mitigar a intensificação do efeito estufa, uma vez que o somatório das emissões evitadas poderá ser elevado. Por meio destas mudanças em diferentes setores, será possível, em um futuro próximo, estabelecer uma economia de baixo carbono.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA DISSERTAÇÃO

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura: NBR ISO 14040**, Rio de Janeiro, versão corrigida 2014a, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão ambiental -Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044**, Rio de Janeiro, ABNT – versão corrigida 2014b, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Anuário estatístico de transportes terrestres**. Vários anos. Disponível em: www.antt.gov.br. Acesso em: 25jun 2019.

AGRÁRIA – Relatório Anual 2018 (2019) Disponível em: http://www.agraria.com.br/arquivos/agraria_relatorio_anual_2018.pdf Acesso em: 30 Ago 2019.

AMIENYO, D.; AZAPAGIC, A. **Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK**. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 21, n. 4, p. 492-509, 2016.

ANDRADE, A. L. C.; MATTEI, L. **Consumo energético e emissões de CO2: Uma análise do setor de transportes brasileiro** 39º Encontro Nacional de Economia, Foz do Iguaçu, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CERVEJA. **CERVBRASIL Anuário. 2016.** Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/CervBrasil-Anuario2016_WEB.pdf. Acesso em: 27 jun. 2019.

BAI, J.; PU, T; XING, J.; NIU, G.; ZHANG, S.; LIU, Q. **Research on energy consumption analysis of beer brewing process**. Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology. IEEE, p. 182-185, 2011.

BARBOSA, R. R.; CARVALHO, M. **Dimensionamento de um sistema de aquecimento solar de água para aplicações industriais**. Engevista, v. 20, n. 2, p. 214-238, 2018.

BARTH, R. **The chemistry of beer: the science in the suds**. Hoboken, John Wiley & Sons, 2013.

BEN **Balanco Energético Nacional 2019: Ano base 2018**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%20C3%B3rio%20S%20C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf> Acesso em: 22 ago.2019.

BENETTO, E.; NGUYEN, D.; LOHMANN, T.; SCHMITT, B.; SCHOSSELER, P. Life cycle assessment of ecological sanitation system for small-scale wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, v. 407, n. 5, p. 1506-1516, 2009.

BIER - Beverage Industry Environmental Roundtable, 2012. Research on the carbon footprint of beer. Beverage Industry Environmental Roundtable, Disponível em: http://media.wix.com/ugd/49d7a0_70726e8dc94c456caf8a10771fc31625.pdf. Acessado em: 02 Ago 2019.

BOULLAY, A. Categorizing water for LCA inventory. *Internicinal Journal of Life Cycle Assesment*, v. 16, n. 7, p. 639 – 651, Aug. 2011.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; STANK, T. P. **21st century logistics: making supply chain integration a reality**. Oak Brooks, Council of Logistics Management, 1999.

BRASIL GLOBAL. **O mercado brasileiro para malte não torrado uruguaio**. 2005. Disponível em: <http://www.brasilglobalnet.gov.br/ARQUIVOS/PSCI/PSCIUruguaiMalteNaoTorrado.pdf>. Acesso em: 23 jan 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **MAPA Informa: As Cervejarias Continuam a Crescer – Relatórios de Referência**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/as-cervejas-continuam-a-crescer-pdf.pdf/view> Acesso em 23 jan 2019.

BRASIL. MME. **Balanco Energético Nacional 2018: Ano base 2017**. Rio de Janeiro, EPE, 2018. 294 f. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf. Acesso em: 02 abr.2019.

BREWERS ASSOCIATION. **Energy Usage, GHG Reduction, Efficiency and Load Management Manual**. Boulder, Colorado: Brewers Association, 2012.

BRIGGS, D. E. *et al.* **Brewing: science and practice**. Amsterdam, Elsevier, 2004.

CARVALHO, L. G. **Dossiê Técnico. Produção de cerveja**. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, mar. 2007. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc=>. Acesso em: 23 jan 2019.

CARVALHO, M. **Carbon footprint of the generation of bioelectricity from sugarcane bagasse in a sugar and ethanol industry**. *International Journal of Global Warming*, v. 17, n. 3, p. 235-251, 2019.

CARVALHO, M.; DELGADO, D. **Potential of photovoltaic solar energy to reduce the carbon footprint of the Brazilian electricity matrix**. *LALCA-Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, v. 1, n. 1, p. 64-85, 2017.

CENTER FOR SUSTAINABLE SYSTEMS, University of Michigan. **Food Product Environmental Footprint Literature Summary, Beer**. 2017. Disponível em: <https://www.oregon.gov/deq/FilterDocs/PEF-Beer-FullReport.pdf> Acesso em 03 abr.2019.

CERVBRASIL – Associação Brasileira da Indústria da Cerveja **Participação do nordeste na produção nacional de cerveja cresce 1,2% nos últimos cinco anos**. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/participacao-do-nordeste-na-producao-nacional-de-cerveja-cresce-12-nos-ultimos-cinco-anos/ acessado em 12 Jul 2019.

CERVBRASIL Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **Anuário. 2016**. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/CervBrasil-Anuario2016_WEB.pdf. Acesso em: 27 jun. 2019.

CHICAGO MANUFACTURING CENTER, 2009. **Product carbon footprint of Goose Island brewery 312 beer keg**. Disponível em: www.glproject.com/filebin/pdf/312_Keg_Footprint_Report.pdf. Acessado em 31 Jul 2019.

CIMINI, A.; MORESI, M. **Carbon footprint of a pale lager packed in different formats: Assessment and sensitivity analysis based on transparent data**. *Journal of Clean Production*, 112, 4196–4213, 2016.

CIMINI, A.; MORESI, M. **Mitigation measures to minimize the cradle-to-grave beer carbon footprint as related to the brewery size and primary packaging materials** *Journal of Food Engineering* n. 236, 2018.

CLIMATE CONSERVANCY, 2008. **The carbon footprint of Fat TireR amber ale**. Disponível em: www.newbelgium.com/Files/the-carbon-footprint-offat-tire-amber-ale-2008-public-fist-rfs.pdf. Acessado em 10 Ago 2019.

COLEN, L.; SWINNEN, J. Economic growth, globalisation and beer consumption. **Journal of Agricultural Economics**, v. 67, n. 1, p. 186-207, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT.– **Relatório Gerencial**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte. Disponível em:<www.cnt.gov.br>. Acesso em: 15 dez. 2018.

CONSELHO EUROPEU. **Diretiva 98/69/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa às medidas a tomar contra a poluição do ar pelas emissões provenientes dos veículos a motor e que altera a Diretiva 70/220/CEE do Conselho**. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias L*, v. 350, 1998.

CORDELLA, M. **LCA of an Italian lager beer**. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 13, n. 2, p. 133, 2008.

ECOINVENT, **Base de dados**, 2018. Disponível em: <http://www.ecoinvent.ch> Acesso em 22 mar.2019.

Ecoinvent. **The ecoinvent database 3.4.** (2018). Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/>. Acesso em 23 mar. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balço Energético Nacional 2018: Ano base 2017.** Rio de Janeiro, EPE, 2018. 294 f. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf. Acesso em: 02 abr.2019.

ENGSTRÖM, R. **The Swedish green corridor initiative – history, current situation and thoughts about the future. Development Strategist - Freight and Logistics - The Swedish Transport Administration - Strategic Development,** 2012.

EPD, 2010. **EPDR Carlsberg and Tuborg beer. Reg. no S-EP-00264.** Disponível em: <http://www.environdec.com/Detail/?Epd=7819>. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2011a. **EPDR Tuborg beer. Reg. no S-P-00311.** Disponível em: <http://environdec.com/en/Detail/epd311>. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2011b. **EPDR BAP Bock chiara and BAP Bock rossa Beer. Reg. no. S-P-00314.** Disponível em: <http://www.environdec.com/en/Detail/epd314>. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2013. **UN CPC 2431 Beer made from malt. Version 1.01,** The International EPDR System. Disponível em: http://www.environdec.com/en/PCR/Detail/?show_login=true&error=failure&Pcr=7934. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2014a. **EPDR Birrificio Angelo Poretti luppoli bockchiara and Birrificio Angelo Poretti luppoli bock rossa Beer. Reg. no. S-P-00314.** Disponível em: http://gryphon.environdec.com/data/files/6/9938/epd314en_v4.pdf. Acessado em 02 Jul 2019.

EPD, 2014b. **EPDR Kronenbourg 1664R Beer. Reg. no. S-P-00533.** Disponível em: <http://www.environdec.com/en/Detail/?Epd=9931>. Acessado em 02 Jul 2019.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA **Análise da eficiência energética em segmentos industriais selecionados – alimentos e bebidas (2018)** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/projeto-de-assistencia-tecnica-dos-setores-de-energia-e-mineral-projeto-meta> acessado em 22 Ago 2019.

FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos.** São Paulo, Editora Atlas, 2003.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira.** São Paulo, Editora Atlas, 2000.

FOZZA, S.; RECAGNO, V. **Sustainable Technologies and Innovation for Green Corridors: Survey and Application.** Science Direct, p. 1-11, 2012.

GEORGOPOULOU, C.; KAKALIS, N. **Assessing the Sustainability Potential of European Union Transport Networks**. Association for European Transport and Contributors, p. 1-17, 2012.

GRILO, M. M. S. et al. **Carbon footprints for the supply of electricity to a heat pump: Solar energy vs. electric grid**. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 10, n. 2, p. 023701, 2018.

GUINÉE, J. B. (Ed). **Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISSO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide**. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.

GUINÉE, J. B. **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards**. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, **ISO 14040:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework**, Genebra, ISO 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, **ISO 14044:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines**, Genebra, ISO 2006.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). **Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol**. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/>. Acesso em 27 jun. 2019.

KABIR, E.; KUMAR, P.; KUMAR, S.; ADELODUN, A.; KIM, K-H.; **Solar energy: Potential and future prospects**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 894-900, 2018.

KAHN, S. **Caminhos da oferta e demanda de energia ao longo do século XXI**. Boletim de Conjuntura, No.10, pp. 8-10, 2016.

KALOGIROU, S. A. **Engenharia de Energia Solar – Processos e Sistemas**, Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 2.ed.

KLØVERPRIS, J. H. et al. **Comparative life cycle assessment of malt-based beer and 100% barley beer**. *Novozymes A/S*, 2009.

KORONEOS C; ROUMBAS G; GABARI Z; MOUSSIOPOULOS N.; **Life Cycle Assessment of Beer Productions in Greece**. *Journal of Cleaner Production*, 13, 433-439, 2008.

KORONEOS, C. **Life cycle assessment of beer production in Greece**. *Journal of Cleaner Production*, v. 13, n. 4, p. 433-439, 2005.

KUNZE, W. **Tecnologia para Cerveceros y Malteros**, VBL, Berlin Germany, 2006.

LALONDE, S.; NICHOLSON, A.; SCHENCK, R. (2013). Life cycle assessment of beer in support of an environmental product declaration. Institute for Environmental Research and Education (IERE). Disponível em: http://iere.org/wp-content/uploads/2013/10/IERE_Beer_LCA_Final.pdf. Acessado em 28 Jun 2019.

LIMA, D.A.P.; WALTER, F. **Produção mais limpa e sustentabilidade na indústria de cerveja**. In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente (ENGEMA), 19., 2017, São Paulo. Anais... São Paulo, [s.n.], 2017.

LIMA, M. **Custeio do transporte rodoviário de cargas**. In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE P. (Eds.). Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e de recursos. São Paulo, Editora Atlas, 2003.

LOZHKINA, O. V., LOZHKIN, V. N. **Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models**. Transportation Research Part D 36, 178-189, 2015.

MARCO, I. **Life cycle assessment of ale and lager beers production**. Chemical Engineering Transactions, v. 49, p. 337-342, 2016.

MARCUSSO, E. F.; **As Microcervejarias no Brasil Atual: Sustentabilidade e Territorialidade**. Dissertação (Mestrado) Programa de PósGraduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

MASOTTI, P.; CAMPISI, B.; BOGON, P. **Carbon footprint evaluation of an Italian micro-brewery**. Procedia Environmental Science, Engineering and Management, v. 3, n. 3, p. 119-127, 2016.

MATTOS, L. B. R. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa: O caso do município do Rio de Janeiro**. 2001. 179 f. Dissertação (Mestrado) –COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

MAUTHNER, F. et al. **Manufacture of malt and beer with low temperature solar process heat**. Energy Procedia, v. 48, p. 1188-1193, 2014.

MELO, F. M.; SILVESTRE, A. D.; CARVALHO, M. **Carbon footprints associated with electricity generation from biomass syngas and diesel**. Environmental Engineering and Management Journal, Vol. 18, No.7, 1391-1397, 2019.

MELON, R. et al. **Life Cycle Assessment of an artisanal Belgian blond beer**. In: Proceedings of the 2nd International Conference on life cycle approaches. Lille, 2012.

MELQUÍADES, T.F. et al. **Pegada de carbono associada ao processo de pasteurização de sorvetes**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 12, n. 2, p. 609-629, 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **SDA/MAA 54**, 2001. Disponível em: www.sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis. Acessado em 25 Ago 2019.

MONTEIRO, M. F. **Avaliação do ciclo de vida do fertilizante superfosfato simples**. Tese (Mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo), Departamento de engenharia ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008, 194 p.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**. São Paulo, Larousse do Brasil, 2009.

MOSHER, M.; TRANTHAM, K. **Brewing Science: A Multidisciplinary Approach**. Berlin, Springer, 2017.

MUNOZ, E.; RIQUELME, C.; CARDENAS, J.P. **Carbon Footprint of beer—Analysis of a small scale processing plant in Chile**. Proceedings of the 2nd LCA Conference, 6–7 November, Lille, France, 2012.

NARAYANASWAMY, V.; VAN BERKEL, R.; ALTHAM, J.; MCGREGOR, M. **Application of life cycle assessment to enhance eco-efficiency of grains supply chains**. Proceedings of the 4th Australian LCA Conference, 23–25 February, Sydney, NSW, Australia, 2005.

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

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, **Carga e Geração**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao> Acessado em 11 jul 2019.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, **IPDO Informativo Preliminar Diário de Operação** Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/conhecimento/acervo-digital/documentos-e-publicacoes?categoria=IPDO> Acesso em 04 ago 2019.

ORTIZ, P. R. B., **Análise do Consumo Energético do Processo de Produção de Cerveja Artesanal por Bateladas**. 2014. 20 p. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PRÉ CONSULTANTS, **SimaPro website**, 2019. Disponível em: <http://www.simapro.nl> Acesso em 23 mar.2019.

RUSSELL, S.T.; SINGH, R.P.; BAMFORTH, C.W. **Alternative paradigms for the production of beer**. Journal of the Institute of Brewing, 114(4), 349-356, 2008.

SCHWEIGER, Hans et al. **Poship—the potential of solar heat for industrial processes. Final Report**. EU-Project No NNE-1999, v. 308, 2001.

SERRA, L.M.; LOZANO, M.A., RAMOS, J.; ENSINAS, A.V.; NEBRA, S.A. **Polygeneration and efficient use of natural resources**. Energy, 575-586. 2009.

SHIN, R.; SEARCY, C. **Evaluating the Greenhouse Gas Emissions in the Craft Beer Industry: An Assessment of Challenges and Benefits of Greenhouse Gas Accounting**. Sustainability, v. 10, n. 11, p. 4191, 2018.

SILVA, J. A. C. **Potenciais aplicações de tecnologias solares em processos industriais como fonte de energia: uma revisão bibliográfica.** 2014. 80p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)- Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

SIMAPRO Software. 2018. Disponível em: www.simapro.nl Acesso em 10 set 2018.

SIRET, T.. Life Cycle Assessment of a Basic Lager Beer (LCA). *International Journal of LCA*, 6, 293-298, 2001.

SMIL, V. **Examining energy transitions: a dozen insights based on performance.** Energy Research & Social Science, No.22, pp.194-197, 2016.

SMIL, V. **Energy transitions, renewables and rational energy use: A reality check.** Organisation for Economic Cooperation and Development. The OECD Observer, No. 36, 2015

SORRELL, S. **Barriers to Energy Efficiency in the UK Brewing Sector.** Science and Technology Policy Research (SPRU). Un. of Sussex. 2000.

SOUSA, M.N.; GEREMIA, A.R.; RODRIGUES, L.J. **Análise da viabilidade econômica e dimensionamento de sistemas de aquecimento solar de água para o processo de mosturação de cerveja.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., Gramado, 2018. Anais do ABENS. Gramado, ABENS, 2018.

SOUSA, S. R. **Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida.** Dissertação (Mestrado), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008, 87 p.

STATISTA, 2018. **Consumption of alcoholic beverages worldwide from 2016 to 2020 (in billion liters).** Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/726990/alcoholic-beverage-consumption-worldwide/> Acessado em 11 mar. 2018

STROBL, M. **Continuous Beer Production.** Beer and Brewing. IntechOpen, 2019.

SWINNEN, J. Beer Consumption and Trade in an Era of Economic Growth and Globalization. **Choices**, v. 32, n. 3, p. 1-6, 2017.

TALVE, S. **Life cycle assessment of a basic lager beer.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 6, n. 5, p. 293, 2001.

TROMMER, M. W., **Brasilien – Bier markt mit Potenzial. Brauwelt.** Hans Carl Fachverlag. Germany, 2011

TROMMER, M. W.; COUTINHO, A.R. **ACV do processo de produção da cerveja.** In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 33., Salvador, 2013. Anais do ENEGEP. Salvador, ENEGEP, 2013.

TSOCHPE, E. C., **Microcervejarias e Cervejarias: A História, a Arte e a Tecnologia.** São Paulo. Ed. Aden, 223p., 2001.

WILLIAMS, A.G.; MEKONEN, S. Environmental performance of traditional beer production in a micro-brewery. **Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector**, 8–10 October, edited by R. Schenck and D. Huizenga, 1535–1540. Vashon, WA, USA: American Center for Life Cycle Assessment, 2014.

WORLD KANTA. **Consumo de cerveja cresce no Brasil. 2018.** Disponível em: <https://www.kantarworldpanel.com/br/Releases/Consumo-de-cerveja-cresce-no-Brasil-categoria-ganha-mais-de-500-mil-lares-no-ltimo-ano-> Acesso em 27 jun. 2019.

WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI. **Climate Analysis Indicators Tool (CAIT)** Version 8.0, 2011.

ZAMBOBI, G., ROVEDA, M., CAPOBIANCO, A. **Experimental evaluation of heavy duty vehicle speed patterns in urban and port areas and estimation of their fuel consumption and exhaust emissions.** Transportation Research Part D 35, 1-10, 2015.