

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO QUEIJO MUÇARELA DE UM LATICÍNIO NA REGIÃO NORTE DO BRASIL

EVALUATION OF THE LIVING CYCLE OF THE MOZZARELLA CHEESE OF A DAIRY IN THE NORTHERN REGION OF BRAZIL

Geraldo Francisco de Almeida Filho* E-mail: geralldoalmeida@hotmail.com
Emanoelen Bitencourt e Bitencourt* E-mail: manuhbitencourt13@outlook.com
Eduarda Costa Ferreira* E-mail: eduardacostaferreira5@gmail.com
Vanessa Silva Oliveira* E-mail: voliveiraambiental@gmail.com
Glauber Epifânio Loureiro* E-mail: epfanio@uepa.br
Universidade do Estado do Pará (UEPA), Marabá-PA

Resumo: O presente trabalho utilizou da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para avaliar os impactos ambientais da produção de queijo Muçarela nos recursos naturais. A unidade funcional determinada foi 1 kg de queijo Muçarela, em que os aspectos ambientais foram considerados desde o recebimento do leite no portão da indústria até a expedição do produto final, fronteira de estudo conhecida como gate-to-gate. Em acordo com o determinado pelas normas ISO 14040 (2006) e 14044 (2006), os cálculos de impactos foram realizados pelo software SimaPro®, com aplicação do método ReCiPe Midpoint H. As categorias de impacto avaliadas foram: Depleção Fóssil, Depleção de Água, Formação de Material Particulado, Formação de Oxidantes Fotoquímicos, Eutrofização de Água Doce, Acidificação Terrestre, Depleção de Ozônio e Mudanças Climáticas. Foi observado que a produção de leite consistiu o principal responsável pelos impactos gerados no ciclo de vida avaliado, com contribuições em todas as categorias avaliadas, variando de 3% para depleção de ozônio a 99,5% para eutrofização de água doce. Logo, é de suma importância a adoção de alternativas sustentáveis pelo Laticínio, de modo a mitigar os impactos ambientais gerados no processo produtivo, a despeito do reaproveitamento do soro já realizado na empresa.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Impactos Ambientais. *Gate-to-gate*. SimaPro. Queijo.

Abstract: This work used the Life Cycle Assessment (LCA) technique to assess the environmental impacts of the production of Mozzarella cheese in natural resources. The given functional unit was 1 kg of Mozzarella cheese, where environmental aspects were taken into consideration since the reception of the milk at the gate of the industry until the expedition of the final product, system boundary known as gate-to-gate. According to the ISO 14040 (2006) and 14044 (2006) standards, the impact calculations were conducted through the software SimaPro®, with the application of the ReCiPe Midpoint H method. The impact categories assessed were: Fossil Depletion, Water Depletion, Particulate Matter Formation, Photochemical Oxidants Formation, Freshwater Eutrophication, Terrestrial Acidification, Ozone Depletion and Climate Change. It was observed that the production of milk consisted of the main responsible for the impacts generated in the life cycle assessed, with contributions in all categories assessed, ranging from 3% for ozone depletion to 99.5% for freshwater eutrophication. Therefore, it is of paramount importance to adopt sustainable alternatives by the dairy to mitigate the environmental impacts generated in its productive process, despite the reuse of the whey already carried out in the company.

Keywords: Evaluation of Life Cycle. Environmental impacts. *Gate-to-gate*. SimaPro. Cheese.

1 INTRODUÇÃO

As discussões políticas, sociais e econômicas, em especial sobre agricultura e alimentos, possuem cada vez mais enfoque na vertente ambiental, porque toda produção de alimentos gera impactos ambientais. Portanto, à medida que a população mundial cresce, é imprescindível produzir alimentos suficientes e de alta qualidade, a partir de um suprimento finito de recursos, minimizando os efeitos sobre o meio ambiente (SALA et al., 2017).

Nessa perspectiva, o setor de Laticínios no Brasil cresceu significativamente nas últimas décadas, devido principalmente aos diversificados produtos, como queijos, manteiga, iogurte e bebidas lácteas, os quais têm grande aceitação no mercado. Sendo que, na região Norte do país destaca-se o queijo Muçarela como forte representante do setor, em função da anuência comercial (CARVALHO, 2010; SATO, 1997).

Esses produtos, não raras vezes, causam impactos ambientais menos relacionados aos usos, e mais à fabricação, deslocamento e/ou disposição final. Na indústria de laticínios, por exemplo, há grande consumo de água e produção de efluentes com alto teor de carga orgânica e elevado potencial de degradação, principalmente nas fases de limpeza, pasteurização e homogeneização (GONÇALVES; MADERI; SANTOS, 2017; GUINÉE et al., 2011).

Portanto, os impactos advindos de laticínios podem ser relacionados tanto as mudanças climáticas quanto à indisponibilidade quantitativa/qualitativa dos recursos, então é evidente que o setor necessita minimizar tais impactos negativos e fazer uso eficiente de matéria e energia, no intuito de tornar mais sustentável este sistema produtivo (FORLEO; PALMIERI; SALIMEI, 2018).

Em decorrência disso, surgiu a necessidade de estudar todas as fases do ciclo de vida de um produto, serviço ou processo. Isto abrange desde o recebimento da matéria-prima até a produção, uso, disposição final e possibilidade de reciclo, para conhecimento de potencialidades e fragilidades da cadeia, de modo a assegurar o máximo rendimento do processo e, conseqüentemente, evitar desperdícios e possíveis encargos ambientais. Portanto, estes estudos são usados

na tomada de decisão, pois buscam soluções para problemas ambientais globais (FINNVEDEN et al., 2009; HINZ; VALENTINA; FRANCO, 2007).

Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV aborda os aspectos e impactos ambientais do produto. Para tanto, é preciso coletar e tratar muitos dados, por meio de cálculos como balanço de massa e energia, e existem softwares para auxiliar nesses procedimentos. O SimaPro® é o software mais utilizado para a análise ambiental dos produtos, com vistas a proporcionar uma melhor tomada de decisão (CAMPOLINA; SIGRIST; MORIS, 2015; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013a; HERRMANN; MOLTESEN, 2015; ISO, 2006a).

Dessa forma, os impactos ambientais resultantes da geração de produtos lácteos é fato no Brasil, em função disso esta pesquisa é justificada e relevante, já que objetiva avaliar o ciclo de vida do queijo Muçarela em um laticínio, localizado na região norte do Brasil, região sobre a qual são poucos os dados neste setor produtivo, os quais podem contribuir para a sustentabilidade desse sistema alimentício.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico da Avaliação do Ciclo de Vida

Em meados das décadas de 60 e 70 o mercado consumidor passou a questionar o consumo de produtos manufaturados e o fornecimento de serviços que afetavam adversamente o suprimento de recursos naturais e a qualidade do meio ambiente. Somados a isso, as pressões políticas e o surgimento de ONGs ambientais, o meio empresarial se viu obrigado a tentar minimizar efeitos ambientais danosos, oriundos das atividades desenvolvidas por estes (SEO; KULAY, 2006).

Nesse âmbito, o primeiro estudo considerado Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi efetuado em 1965, nos Estados Unidos, pelo Midwest Research Institute (MRI), para a Coca-Cola. No estudo foi feito um inventário das matérias-primas, combustíveis utilizados e cargas ambientais do processo produtivo de cada embalagem, com a quantificação dos recursos consumidos, emissões e resíduos gerados (CURRAN, 2006).

Posteriormente, segundo Chehebe (1997), a partir do aprimoramento do estudo pelo MRI, na realização de outro para a Environmental Protection Agency (EPA), este se tornou um modelo ponto de partida do que viria a se chamar Avaliação do Ciclo de Vida, o que culminou no surgimento de diversos outros estudos no ramo.

Quanto à metodologia, Guinée (2002) aponta que, no intuito de sistematizar as diversas frentes de pesquisa voltadas à ACV, a Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) organizou o primeiro evento científico sobre o tema, em 1989. Em seguida, houve encontros anuais na América do Norte e Europa, para o desenvolvimento de procedimentos padrões de ACV.

Todavia, apenas em 1997 a normalização foi alcançada, quando a International Organization for Standardization (ISO), lançou a ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Desde então, uma série de outras normas foram publicadas até a ISO 14044:2006, com os requisitos e orientações para a execução de um estudo ACV (IBICT, 2017).

Ademais, os métodos de avaliação do impacto de ciclo de vida também são de suma importância, pois, são ferramentas usadas na materialização de resultados, com destaque para Eco-indicator 99, CML2002 e o ReCiPe, sendo este último bastante reconhecido por ser um aprimoramento dos dois primeiros. Estes podem ser selecionados de acordo com as demandas do estudo, a partir de características como a abrangência geográfica e as categorias de impacto que englobam (MENDES; BUENO; OMETTO, 2016).

Entretanto, no Brasil, o reconhecimento da relevância da ACV propiciou o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental da Associação Brasileira de Normas Técnicas/CB38 a iniciar, somente em 2000, a tradução das normas da série NBR ISO 14040, além de apoiar a criação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV). Assim, finalmente foi lançada a ABNT NBR ISO 14040, em 2001, versão traduzida da norma internacional (LOVÓN-CANCHUMANI; LIMA; OLIVEIRA, 2015).

Outrossim, no país, a agroindústria passou a utilizar a ACV para a análise das questões ecológicas relacionadas as etapas de produção, consumo e destino final de produtos ou serviços industriais e agrícolas, com o objetivo de aprimorar a eficiência da produção, contribuir para o desenvolvimento socioeconômico e

conservação ambiental. Essas medidas podem auxiliar o empresário, por exemplo, quanto à definição dos insumos e investimentos em novas tecnologias direcionadas à preservação ambiental (BARBOSA JÚNIOR et al., 2008).

2.2 Avaliação do Ciclo de Vida de Queijos

As primeiras Avaliações de Ciclo de Vida de produtos lácteos são datadas no início da década 2000. E quanto à aplicação do método, a unidade funcional recomendada pela International Dairy Federation (IDF) é de 1 kg de produto, quantidade adotada pela maioria dos estudos de ACV sobre queijos, na qual normalmente são detalhadas informações sobre teor de umidade, gordura e proteína, devido à diversidade de queijos existentes (FINNEGAN et al., 2017).

Em relação à abrangência das pesquisas de ACV de queijos muçarela, diversos estudos indicaram que o uso de matérias e energias geram impactos significativos, especialmente relacionados à energia térmica (toxicidade humana, eutrofização e depleção de ozônio), eletricidade e gás natural (mudanças climáticas e ecotoxicidade), e transporte (oxidantes fotoquímicos). Esta avaliação considera várias variáveis porque pode ser usada para obtenção de rótulos ecológicos (DALLA RIVA et al., 2017).

Além disso, um dos efeitos mais relevantes na produção de queijo é atrelado ao soro de leite gerado, portanto, este deve, indispensavelmente, receber algum tipo de tratamento antes do destino final. Todavia, o soro pode ser utilizado na alimentação animal ou como subproduto, com vistas à economia, pois neste caso há redução do uso de recursos e tratamento/destinação de efluentes, ainda que a produção de leite cru seja uma das fases apontadas como mais impactantes no processo (CANELLADA et al., 2018; PALMIERI; FORLEO; SALIMEI, 2017).

3 METODOLOGIA

O método utilizado foi o dedutivo, e a pesquisa foi de abrangência quantitativa e natureza aplicada. Esta foi de cunho exploratório, no intuito de proporcionar mais contato com os processos relativos à produção do queijo na área de estudo, em que

a coleta de dados seguiu uma padronização, observação sistemática e listagem de entradas e saídas nas etapas de produção, o que configura um estudo de caso. Além disso, a pesquisa foi atrelada ao levantamento bibliográfico (GIL, 2018; MARCONI; LAKATOS, 2017; SEVERINO, 2017).

3.1 Caracterização da Empresa

A empresa analisada ocupa 2.300 m², com um quantitativo de 31 funcionários, distribuídos nas atividades relacionadas à produção, serviços gerais, condução e administração. Os principais produtos gerados, para atendimento da demanda local e regional, são queijo muçarela, manteiga e ricota, em que no processo produtivo são consumidos 48 m³ de água/dia e gerados mais de 1000 m³ de efluente/mês, o qual é tratado em lagoa anaeróbica e de maturação.

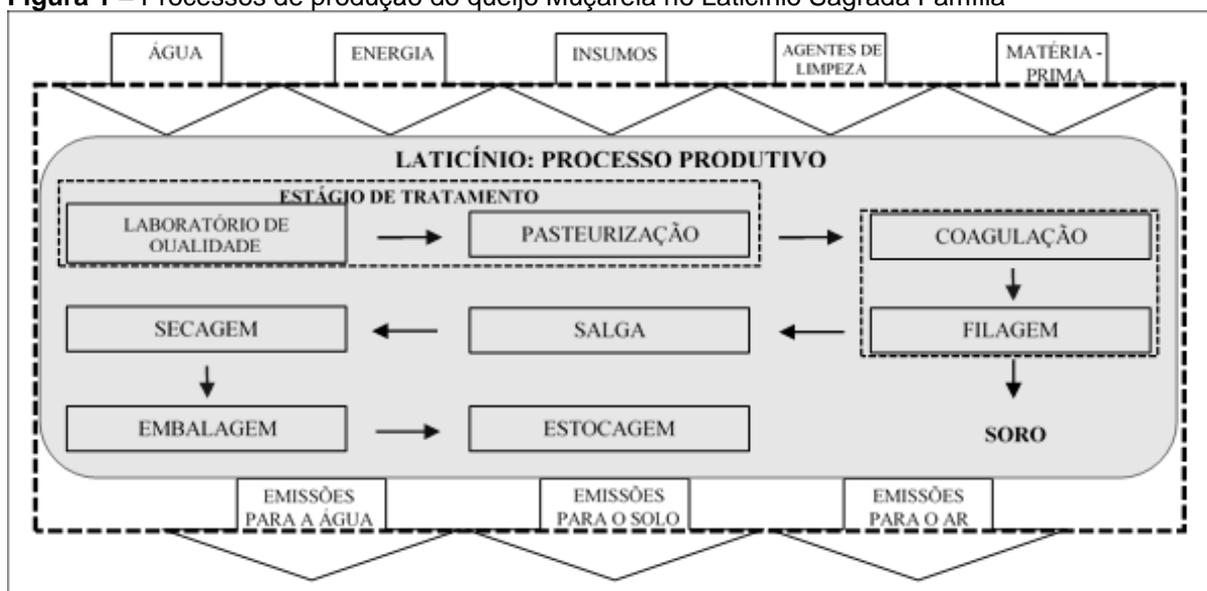
3.2 Determinação da Unidade Funcional

A unidade funcional definida para este estudo foi 1 kg de queijo Muçarela, ao ponto de consumo, haja vista que os trabalhos acerca da ACV, majoritariamente, adotam esta unidade em função da representatividade para com os aspectos e impactos ambientais (BERLIN, 2002; NIELSEN; HØIER, 2008).

3.3 Descrição do Sistema de Estudo

Os dados relacionados a todos os processos da produção do queijo Muçarela no Laticínio, desde a recepção do leite até a estocagem do produto final, desconsiderando a obtenção do leite e a destinação do produto final, foram fornecidos pela própria gerência da empresa, e representam oito etapas: laboratório de qualidade, pasteurização, coagulação, filagem, salga, secagem, embalagem e estocagem (Figura 1).

Figura 1 – Processos de produção do queijo Muçarela no Laticínio Sagrada Família



Fonte: Autores (2017)

Na primeira etapa, o leite precisa ser aprovado no controle de qualidade, para uma produção de 3.000 litros. Posteriormente, este é direcionado para o processo de pasteurização, responsável pela eliminação das bactérias nocivas à saúde humana, onde será submetido a uma temperatura de 72 °C a 75 °C (durante 15 segundos) por uma caldeira movida a combustível vegetal. Logo após, o leite pasteurizado é enviado para o tanque de fabricação, ocorre adição de insumos: cloreto de cálcio, fermento láctico e coagulante.

Feito isso, ocorre a coagulação durante 30 minutos, e a coalhada é fracionada em grãos número quatro (como um grão de ervilha), e assim, submetida a agitação lenta por um tempo aproximado de 10 minutos. Em seguida, a massa fracionada é aquecida a 43°C e agitada durante 15 minutos, e desta forma, mantida em repouso por 5 minutos.

Na sequência, é realizada a drenagem do soro, o qual é reaproveitado pela empresa para fabricação de outros produtos (manteiga, queijo ricota e consumo animal), e depois é realizada a prensagem da massa de fundo, a fim de efetivar a separação sólido-líquido, então a massa é fracionada em blocos e estes são postos em uma mesa para fermentação por aproximadamente duas horas, até atingir pH 5,1.

Em seguida, verificado o pH adequado, imediatamente é iniciado o processo de filagem e moldagem, em que a massa é fracionada novamente e pré-aquecida a

70 °C no monobloco, e ao fim do processo a massa é padronizada por equipamento, em formas de 4 Kg, e transportada para a câmara de salga, onde é colocada em salmoura 22 a 24 Bé (Baumé) durante 10 horas, a uma temperatura de 8 °C a 12 °C.

Por fim, os queijos são dispostos em prateleiras na câmara de secagem por 18 a 24 horas, a uma temperatura de 3 °C a 8 °C. Atestada a secagem dos queijos, estes são embalados a vácuo, em embalagens termoencolhíveis, e colocados na câmara de estocagem para armazenamento e maturação por pelo menos 10 dias corridos, e depois disso são liberados para distribuição, em fardos de quatro peças de queijo.

3.4 Geração do Inventário de Ciclo de Vida

A compilação e quantificação de entradas e saídas foi realizada por dados primários e secundários. Os dados primários foram coletados a partir de visitas e entrevistas ao local de estudo, obtidos a partir de levantamentos ou medições diretas e valores que fazem parte dos registros de produção da fábrica (dados medidos e verificados).

Em relação aos dados secundários, diesel e água foram estimados de Cruvinel, Pinto e Granemann (2012) e Saraiva et al. (2009), respectivamente. O fator transporte também foi levado em consideração através da identificação do desígnio (matéria-prima ou insumo) e das distâncias médias percorridas, englobados no inventário detalhado de dados coletados no Laticínio durante o período de 30 dias.

3.5 Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

A AICV é dirigida à compreensão e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto, de acordo com a estruturação disposta pelas normas ISO (2006a, b). Neste estudo, os cálculos para avaliação do impacto de ciclo de vida foram realizados por intermédio do *software* SimaPro®, versão 8.3.0 (PRÉ CONSULTANTS, 2017), com os elementos de classificação e caracterização contemplados pelo método *ReCiPe Midpoint H* (GOEDKOOOP et al., 2013).

Esse método consiste na associação de emissões e suas respectivas quantificações a indicadores ambientais específicos, em que esses indicadores dividem os impactos em várias categorias, sendo que, para cada um deles, os valores das emissões são convertidos para o potencial de geração de determinado impacto ao meio ambiente.

Neste estudo, as categorias selecionadas para avaliação dos impactos nos recursos naturais foram: Depleção Fóssil; Depleção de Água; Formação de Material Particulado; Formação de Oxidantes Fotoquímicos; Eutrofização de Água Doce; Acidificação Terrestre; Depleção de Ozônio e Mudanças Climáticas, as quais também foram verificadas nos trabalhos de Eide (2002), Fantin et al. (2012) e Santos et al. (2016).

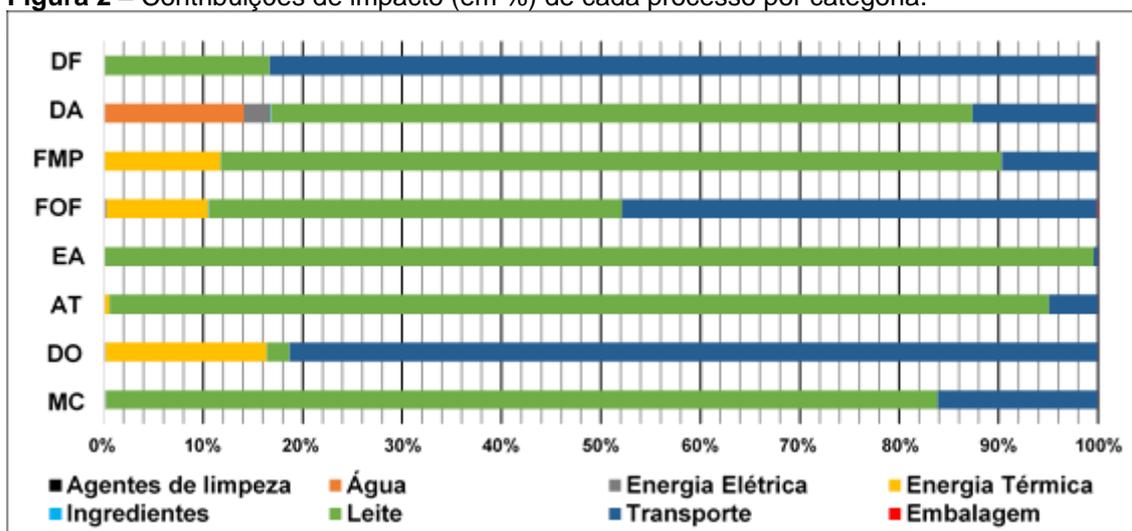
Logo após a obtenção e discussão dos dados, uma etapa alternativa na metodologia ACV, e que foi realizada nesta pesquisa, é a comparação com outros estudos, conforme preconiza a ISO (2006b), em que os sistemas devem ser comparados com base na mesma unidade funcional, bem como as mesmas considerações metodológicas aplicadas à ACV em relação à produção de queijo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Inventário de Ciclo de Vida

Os dados obtidos para o inventário podem ser visualizados na Tabela 1.

Figura 2 – Contribuições de impacto (em %) de cada processo por categoria.



Legendas: DF: Depleção Fóssil; DA: Depleção de Água; FMP: Formação de Material Particulado; FOF: Formação de Oxidantes Fotoquímicos; EA: Eutrofização de Água Doce; AT: Acidificação Terrestre; DO: Depleção de Ozônio; MC: Mudanças Climáticas.

Fonte: Autores (2017)

Nesse sentido, as maiores contribuições de impactos ambientais decorrem da produção leiteira e do transporte, os quais contribuem em todas as categorias avaliadas, com níveis variando de 3% (depleção de ozônio) a 99,5% (eutrofização de água doce) e de 0,5% (eutrofização de água doce) a 83% (depleção fóssil), respectivamente.

Quanto aos valores dos cálculos de impacto ambiental realizados através da relação entre processos e categorias, para a categoria mudanças climáticas as significativas contribuições estão divididas entre os processos leite, com 17,92 kg CO₂ eq (83%), e transporte, com 3,45 kg CO₂ eq (17%) (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores para impactos ambientais associados a produção de 1 kg de queijo Muçarela

Categoria de impacto	Unidade	Ingredientes	Leite	Transporte	Embalagem
Mudanças Climáticas	kg CO ₂ eq	0.00402	17.92265	3.45738	0.00708
Depleção de Ozônio	kg CFC ⁻¹¹ eq	2.04E ⁻¹⁰	6.67E ⁻⁰⁸	2.38E ⁻⁰⁶	1.47E ⁻¹⁰
Acidificação Terrestre	kg SO ₂ eq	3.93E ⁻⁰⁵	0.39236	0.02045	2.65E ⁻⁰⁵
Eutrofização de Água Doce	kg P eq	3.26E ⁻⁰⁷	0.00343	1.53E ⁻⁰⁵	8.73E ⁻⁰⁸
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	kg NMVOC	1.33E ⁻⁰⁵	0.01573	0.01809	2.99E ⁻⁰⁵
Formação de Material Particulado	kg PM10 eq	1.14E ⁻⁰⁵	0.05409	0.00666	1.07E ⁻⁰⁵
Depleção de Água	m ³	0.00016	0.10603	0.01889	0.00010
Depleção Fóssil	kg oil eq	0.00090	0.87735	4.41942	0.00449

Legendas: CFC: Clorofluorcarboneto; NMVOC: Composto Orgânico Volátil Não Metano.

Fonte: Autores (2017)

Em relação à produção leiteira, o gás metano (CH₄), originado da fermentação entérica e do manejo de dejetos animais, é o principal responsável do potencial de impacto ambiental, seguido pelo óxido nitroso (N₂O), oriundo da aplicação de fertilizantes sintéticos e esterco nas pastagens, bem como, a urina. Todos estes foram observados por Basset-Mens, Ledgard e Boyes (2009), Flysjö et al. (2011) e Gohari et al. (2013).

Já no processo de transporte, como discutem Martins, Fortes e Lessa (2015) e Silva, Alonso e Oliveira (2016), as contribuições são derivadas das emissões de gases, principalmente dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos, pelos motores a combustão interna, movidos por combustíveis fósseis dos veículos responsáveis pelo transporte do leite, de insumos e do soro.

No que diz respeito à depleção de ozônio, as contribuições relevantes estão divididas entre os processos transporte, com 2,38E⁻⁰⁶ kg CFC⁻¹¹ eq (81%); leite, com 6,67E⁻⁰⁸ kg CFC⁻¹¹ eq (3%) (Tabela 2); e energia térmica, com 4,73E⁻⁰⁷ kg CFC⁻¹¹ eq (16%) (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores para impactos ambientais associados a produção de 1 kg de queijo Muçarela

Categoria de impacto	Unidade	Agentes de Limpeza	Água	Energia Elétrica	Energia Térmica
Mudanças Climáticas	kg CO ₂ eq	0.01218	0	0.02896	0.00850
Depleção de Ozônio	kg CFC ⁻¹¹ eq	3.53E ⁻⁰⁹	0	2.09E ⁻⁰⁹	4.73E ⁻⁰⁷
Acidificação Terrestre	kg SO ₂ eq	5.12E ⁻⁰⁵	0	0.00011	0.00224
Eutrofização de água doce	kg P eq	3.26E ⁻⁰⁷	0	1.22E ⁻⁰⁶	0
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	kg NMVOC	2.89E ⁻⁰⁵	0	7.80E ⁻⁰⁵	0.00387
Formação de Material Particulado	kg PM10 eq	2.29E ⁻⁰⁵	0	5.76E ⁻⁰⁵	0.00801
Depleção de Água	m ³	0.00021	0.02	0.00399	0
Depleção Fóssil	kg oil eq	0,00199	0	0,00600	0

Legendas: CFC: Clorofluorcarboneto; NMVOC: Composto Orgânico Volátil Não Metano.

Fonte: Autores (2017)

A significativa contribuição do transporte para a deterioração da camada de ozônio está voltada à queima do diesel como combustível, assim como a pequena participação do leite nesta categoria relaciona-se às emissões de combustão pelas atividades agrícolas, envolvendo a produção da alimentação animal. Vale ressaltar que os equipamentos de resfriamento do leite nas fazendas podem representar parcela da contribuição de emissão dos gases responsáveis por este impacto (BERLIN, 2002; CEDERBERG; MATTSSON, 2000; EIDE, 2002).

Quanto ao processo de energia térmica, a contribuição resulta da queima de biomassa, que em função da composição, a combustão incompleta deste material na caldeira geradora de vapor libera gases como CO e CO₂, os quais representam papel considerável na depleção de ozônio (ARBEX et al., 2004).

Ademais, com relação à categoria acidificação terrestre, as contribuições estão divididas entre os processos leite, com 0,39 kg SO₂ eq (94,5%); transporte, com 0,02 kg SO₂ eq (5%) (Tabela 2) e energia térmica, com um ínfimo quantitativo de 0,002 kg SO₂ eq (0,5%) (Tabela 3).

A grande relevância do potencial de acidificação da produção leiteira está relacionada principalmente à amônia (NH₄) perdida do estrume, assim à utilização de fertilizantes nitrogenados amoniacais, fatores também apontados nos trabalhos de Boer (2003), Cederberg e Mattsson (2000), Eide (2002) e Thomassen et al. (2008).

Já as pequenas contribuições dos processos transporte e geração de energia térmica estão atreladas às emissões de gases para a atmosfera, oriundos da queima de diesel e biomassa, respectivamente, os quais, através dos mecanismos de deposições úmida e seca, contribuem para a acidificação dos recursos hídricos (ARANA; ARTAXO, 2014; CUI et al., 2014; SHEN et al., 2013).

Na categoria eutrofização de água doce percebe-se a maior contribuição de um único processo, para apenas uma categoria entre todos os avaliados, em que o leite é apresentado com 0,003 kg P eq (99,5%) e o restante dessa contribuição é de responsabilidade do fator transporte, com um ínfimo quantitativo de 1,53E⁻⁰⁵ kg P eq (0,5%) (Tabela 2).

No que se refere a pequena contribuição do fator transporte para esta categoria, esta ocorre em função do processo de acidificação dos corpos hídricos, sendo que a diminuição do pH da água é condição determinante para sua eutrofização, condição que foi observada por Yang et al. (2008).

O significativo potencial de eutrofização do processo leiteiro está voltado às atividades agrícolas, em função das emissões de amônia (NH₃) e, principalmente, da expressiva presença de nutrientes no estrume e da aplicação de fertilizantes, sendo que a notável contribuição de ambos também foi identificada nos trabalhos de Bartl,

Gómez e Nemecek (2011), Castanheira et al. (2010) e González-García et al. (2013b).

Outrossim, na categoria de impacto formação de oxidantes fotoquímicos, as contribuições estão divididas entre os processos transporte, com 0,018 kg NMVOC (48%); leite, com 0,015 kg NMVOC (42%) (Tabela 2); e energia térmica, com 0,003 kg NMVOC (10%) (Tabela 3).

O processo de transporte é o principal contribuinte desta categoria, em função da queima do diesel como combustível, visto que a combustão libera gases (poluentes primários) altamente reativos com outros compostos na atmosfera e na presença de luz solar, originando oxidantes fotoquímicos – poluentes secundários (BERLIN, 2002; DRUMM et al., 2014; GENTNER et al., 2012).

Quanto ao leite, a formação de oxidantes fotoquímicos está relacionada à emissão de CH₄ (poluente primário), gerado na fermentação entérica no manejo do gado e do estrume, como explicita Hospido, Moreira e Feijoo (2003). Não obstante, a queima incompleta de biomassa, para produção de energia térmica, também gera poluentes primários, e conseqüentemente, secundários na atmosfera, processo observado por Gentner et al. (2012).

No que concerne à categoria formação de material particulado, o processo do leite destaca-se como sendo o principal contribuinte, com 0,054 kg PM₁₀ eq (78,5%) (Tabela 2); seguido dos fatores energia térmica, com 0,008 kg PM₁₀ eq (11,5%) (Tabela 3); e transporte, com 0,006 kg PM₁₀ eq (10%) (Tabela 2).

Nesta categoria, a relevante contribuição do processo do leite está atrelada às atividades agrícolas, pelo uso de veículos e maquinário pesado no desenvolvimento da atividade e, conseqüentemente, geração expressiva de material particulado. Isto ocorre também nos processos de energia térmica e transporte, ou seja, combustão incompleta dos combustíveis e emissão de partículas sólidas finas (material particulado) (GENTNER et al., 2012).

Em relação à categoria depleção de água, esta reflete a de maior quantidade de processos contribuintes para impacto, os quais se dividem entre leite, com 0,10 m³ (70,5%) (Tabela 2); consumo de água no Laticínio, com 0,02 m³ (14%) (Tabela 3); transporte, com 0,018 m³ (12,5%) (Tabela 2); e produção de energia elétrica, com 0,0039 m³ (3%) (Tabela 3).

A elevada contribuição da produção de leite para esta categoria ocorre em consequência do alto consumo de água, principalmente na irrigação, para produção agrícola, fator responsável por significativo esgotamento dos recursos hídricos disponíveis, como observado por Fereres e Soriano (2006). Entretanto, a utilização de água no Laticínio acontece, sobretudo, na lavagem de equipamentos, chão de fábrica e de veículos correlatos ao transporte do leite, queijo e soro, tal como para a geração de vapor na caldeira, do mesmo modo verificado por Vourch et al. (2008).

No tocante ao processo de transporte, a utilização de água está ligada a lavagem dos veículos. Já em relação ao fator energia elétrica, a contribuição é concernente ao aproveitamento hidráulico da água na geração de energia em hidrelétrica, visto que a maior parte da energia produzida no Brasil é fruto do setor (HESS; RIBEIRO; WIEPRECHT, 2016; LEITE; SOUZA, 2015).

Por fim, a última categoria analisada é a depleção fóssil, na qual os processos contribuintes estão divididos em transporte, com 4,41 kg *oil* eq (83%); leite, com 0,87 kg *oil* eq (16%); e as embalagens utilizadas no Laticínio, com uma pequena contribuição de 0,0044 kg *oil* eq (1%) (Tabela 2).

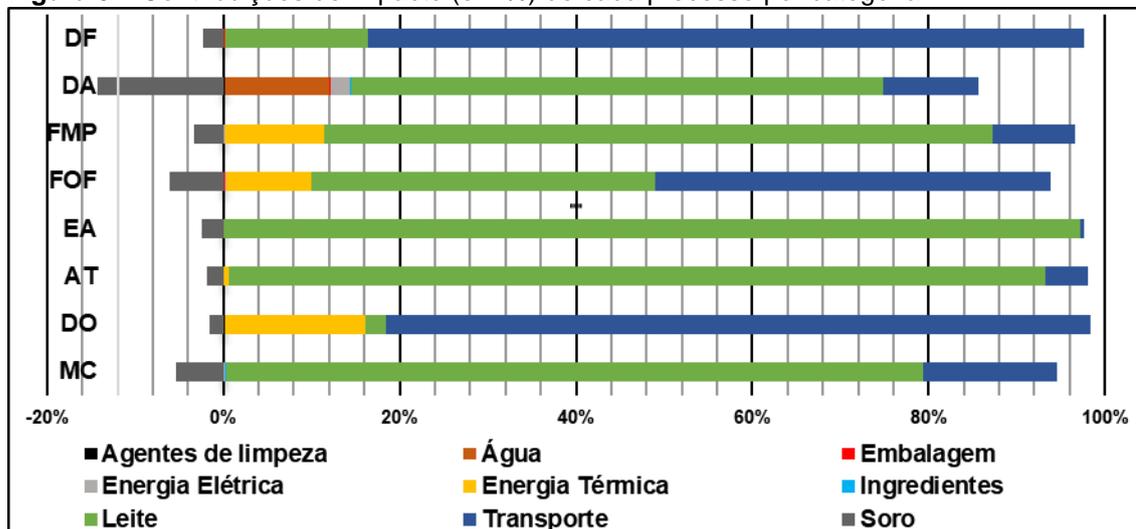
Nesta esfera, a contribuição do processo transporte está associada ao uso do diesel como combustível dos veículos, sendo que, para o fator leite também é destacável esta utilização na produção agrícola, fatores semelhantemente observados por Gentner et al. (2012) e Santos et al. (2016). Vale ressaltar que, a pequena contribuição de impacto das embalagens é resultante da composição – polietileno, pois trata-se de ser também um derivado do petróleo (MENESES; PASQUALINO; CASTELLS, 2012; WILLIAMS; WIKSTRÖM; LÖFGREN, 2008; XIE et al., 2011).

4.2.1 Quanto aos impactos do soro gerado na produção de queijo

Esses dados, contudo, são apresentados de forma diferente ao se incluir na análise o processo do soro do leite, resíduo líquido que em função das características é nocivo ao meio ambiente, conforme descrevem Teixeira e Fonseca (2008), Cortez et al. (2010) e Mantovani et al. (2015). Portanto, o soro possui contribuição em impactos para todas as categorias, porém, à esquerda da origem,

de forma negativa (Figura 3), visto que o Laticínio reaproveita o efluente/subproduto para produção de outros e como complemento alimentar de suínos.

Figura 3 – Contribuições de impacto (em %) de cada processo por categoria



Legendas: DF: Depleção Fóssil; DA: Depleção de Água; FMP: Formação de Material Particulado; FOF: Formação de Oxidantes Fotoquímicos; EA: Eutrofização de Água Doce; AT: Acidificação Terrestre; DO: Depleção de Ozônio; MC: Mudanças Climáticas.

Fonte: Autores (2017)

Nesse sentido, as contribuições de impacto do soro variaram de 1,5% (Depleção de Ozônio) a 16,5% (Depleção de Água), semelhante ao processo de transporte em algumas categorias (Acidificação Terrestre e Formação de Material Particulado), e até mesmo superando em outras (Eutrofização de Água Doce e Depleção de Água).

Diferentemente de alguns estudos sobre ACV de queijos, em que os impactos relacionados ao soro não foram contemplados (BERLIN, 2002; SANTOS et al., 2016), e sim sugeridos como alternativa de aprimoramento ambiental e econômico, de acordo com González-García et al. (2013a), vale ressaltar a importância de avaliar este processo, em virtude da expressiva relevância ambiental.

4.3 Comparação dos Dados Obtidos com Outros Estudos

Dentre as categorias existentes para ACV, Mudanças Climáticas é geralmente analisada em grande parte dos trabalhos. Nos estudos realizados na Europa por Berlin (2002) (Suécia) e González-García et al. (2013a) (Portugal), os resultados

obtidos foram cerca de 59% e 53% menores que os desta pesquisa (Tabela 2 e 3), respectivamente. Já sobre o continente americano, nos trabalhos de Kim et al. (2013) (EUA) e Santos et al. (2016) (Brasil), o potencial de Mudanças Climáticas encontrado em ambos foi aproximadamente 33% menor em relação a este.

É notório que, em relação aos resultados no continente Europeu, as contribuições de ambos não atingiram metade do potencial de aquecimento global alcançado neste trabalho, o que pode ser justificado em função de fatores físicos como clima e temperatura, os quais influenciam significativamente na dispersão dos poluentes na atmosfera. Já a proximidade nos demais valores pode decorrer, além de fatores climáticos, da similaridade do processo produtivo empregado, bem como as tecnologias utilizadas, de acordo com o observado em ambos estudos.

Em relação à categoria Acidificação Terrestre, tanto Berlin (2002) quanto González-García et al. (2013a) obtiveram resultado 76% menor, contra 51% de Santos et al. (2016). Estas contribuições também estão 50% abaixo do potencial encontrado neste estudo, isto ocorre devido ao Laticínio avaliado localizar-se na região Amazônica, de solos relativamente pobres em nutrientes e com características de baixo pH, fator que influencia diretamente no aumento da acidez, e contribui para valores mais elevados na Acidificação Terrestre (CRAVO; SMYTH; BRASIL, 2012; FREITAS et al., 2013).

No que concerne a Eutrofização de Água Doce, González-García et al. (2013a) e Santos et al. (2016) encontraram valores de impacto 95% e 85% maiores, respectivamente, que o potencial apresentado nesta pesquisa. Esta disparidade dos resultados ocorre principalmente por conta da falta de reaproveitamento do soro, o qual apesar de ser considerado resíduo, ainda contém quantidade significativa de nutrientes.

Quanto a Depleção de Ozônio, González-García et al. (2013a) e Santos et al. (2016) obtiveram para a categoria resultados 85% e 80% menores, respectivamente, que o potencial de impacto do queijo Muçarela do Laticínio analisado. Esta diferença está relacionada com as grandes distâncias percorridas pelos veículos no ciclo de vida avaliado. O laticínio, objeto de estudo, localiza-se na zona rural municipal (100 km de distância) e alguns fornecedores de leite são próximos à zona urbana.

No que diz respeito à Formação de Oxidantes Fotoquímicos, Santos et al. (2016) encontraram o mesmo resultado obtido no presente estudo, já Kim et al. (2013) obtiveram um valor apenas 20% inferior. Esta discrepância pode estar associada ao fato de os Estados Unidos estarem entre os países que mais emanam poluentes primários no mundo, logo, possui relação com a geração de poluentes secundários (MATUS et al., 2007; GENTNER et al., 2012).

Já sobre a categoria Depleção de Água, Santos et al. (2016) obtiveram um valor similar ao desta pesquisa, apenas 7% menor, e Kim et al. (2013) apresentaram resultados de uma contribuição 89% superior. Este significativo desvio ocorre em razão de 95% da água utilizada nos processos agrícolas ser de irrigação, uma colaboração considerável para o esgotamento dos recursos hídricos, como menciona o próprio autor.

Enquanto na Formação de Material Particulado e Depleção Fóssil, os resultados encontrados no presente estudo, em relação aos de Santos et al. (2016) foram aproximadamente 45% e 75% maiores, respectivamente. Esta dessemelhança está mais uma vez relacionada com as grandes distâncias percorridas pelos veículos de transporte, com interferência direta nos potenciais de impactos alcançados nestas categorias.

5 CONCLUSÕES

O queijo é um dos produtos mais vendidos e apreciados da indústria de laticínios. Em especial, o queijo muçarela, o qual é muito popular no Brasil, com mercado em crescimento não somente na região norte do país, mas também em outros países. No entanto, a produção de queijo apresenta impactos ambientais que devem ser avaliados e monitorados.

Neste estudo, as atividades de processamento do leite e transporte são as fontes mais relevantes de impactos ambientais. Entretanto, diferentemente de outras empresas, esta apresenta como fator positivo o sistema de recuperação do soro do leite, que contribui para menor depleção de água.

Em adição a isto, é possível obter reduções importantes em impactos ambientais pela adoção de estratégia gerencial em alternativas mais sustentáveis,

como uso de fertilizantes orgânicos naturais, combustíveis verdes e biodigestor, visando mitigação dos principais efeitos dos processos.

Essa definição e implementação de ações, para o produtor de queijo, objetiva orientar esforços de melhoria contínua, que podem ser usados para outras indústrias de alimentos, como uma referência para aprimorar seus sistemas de produção. Portanto, considera-se que a avaliação ambiental deste estudo é válida para fomentar a discussão dos impactos ambientais do setor produtivo de laticínios na adoção estratégias gerenciais adequadas na produção de queijo muçarela para região norte do país.

REFERÊNCIAS

ARANA, A.; ARTAXO, P. Elemental composition of the atmospheric aerosol in the central amazon basin. **Química Nova**, [S.l.], v. 37, n. 2, p. 268-276, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140046>

ARBEX, M. A. et al. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, p. 158-175. mar. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v30n2/v30n2a15.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2017.

BARTL, K.; GÓMEZ, C. A.; NEMECEK, T. Life cycle assessment of milk produced in two smallholder dairy systems in the highlands and the coast of Peru. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 19, n. 13, p. 1494-1505, set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.010>

BARBOSA JÚNIOR, A. F. et al. Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil. **Gerenciais**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 39-44, 2008. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/3312/331227111005/>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

BASSET-MENS, C.; LEDGARD, S.; BOYES, M. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. **Ecological Economics**, [S.l.], v. 68, n. 6, p. 1615-1625, abr. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.11.017>

BERLIN, J. Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. **International Dairy Journal**, [S.l.], v. 12, n. 11, p. 939-953, jan. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0958-6946\(02\)00112-7](https://doi.org/10.1016/s0958-6946(02)00112-7)

BOER, I. J. M. Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. **Livestock Production Science**, [S.l.], v. 80, n. 1-2, p. 69-77, mar. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(02\)00322-6](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(02)00322-6)

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. S. Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 735-750, mai. 2015. DOI: [105902/2236117015494](https://doi.org/10.1016/2236117015494)

CANELLADA, F. et al. Environmental impact of cheese production: A case study of a small-scale factory in southern Europe and global overview of carbon footprint. **Science of The Total Environment**, v. 635, p. 167–177, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.045>

CARVALHO, G. R. **A Indústria de laticínios no Brasil: passado, presente e futuro**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010. 12 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/24349/1/CT-102.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2017.

CASTANHEIRA, É.G. et al. The environmental performance of milk production on a typical Portuguese dairy farm. **Agricultural Systems**, [S.l.], v. 103, n. 7, p. 498-507, set. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2010.05.004>

CEDERBERG, C.; MATTSSON, B. Life cycle assessment of milk production — a comparison of conventional and organic farming. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 49-60, fev. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0959-6526\(99\)00311-x](https://doi.org/10.1016/s0959-6526(99)00311-x)

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997. 104 p.

CORTEZ, M. A. S. et al. Características físico-químicas e análise sensorial do leite pasteurizado adicionado de água, soro de queijo, soro fisiológico e soro glicosado. **Journal Of Candido Tostes Dairy Institute**, [S.l.], v. 65, n. 376, p. 18-25, 2010. Disponível em: <https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/138/143>. Acesso em: 28 jul. 2017.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; BRASIL, E. C. Calagem em Latossolo Amarelo Distrófico da Amazônia e sua Influência em Atributos Químicos do Solo e na Produtividade de Culturas Anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 36, n. 3, p. 895-907, mai. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n3/20.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2017.

CRUVINEL, R. R. S.; PINTO, P. V. H.; GRANEMANN, S. R. Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. **Journal Of Transport Literature**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 234-252, abr. 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275343025>. Acesso em: 28 jul. 2017.

CUI, J. et al. Atmospheric wet deposition of nitrogen and sulfur to a typical red soil agroecosystem in Southeast China during the ten-year monsoon seasons (2003–2012). **Atmospheric Environment**, [S.l.], v. 82, p. 121-129, jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.023>

CURRAN, M. A. **Life cycle assessment: principles and practice**. Cincinnati: EPA, 2006. 88 p. Disponível em: <https://nepis.epa.gov>. Acesso em: 03 nov. 2017.

DALLA RIVA, A. et al. Environmental life cycle assessment of Italian mozzarella cheese: Hotspots and improvement opportunities. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 10, p. 7933–7952, out. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12396>

DRUMM, F. C. et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 66-78, abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236117010537>

EIDE, M. H. Life cycle assessment (LCA) of industrial milk production. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 115-126, mar. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf02978855>

FANTIN, V. et al. Life cycle assessment of Italian high quality milk production. A comparison with an EPD study. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 28, p.150-159, jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.017>

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal Of Experimental Botany**, [S.l.], v. 58, n. 2, p. 147-159, nov. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>

FINNEGAN, W. et al. A review of environmental life cycle assessment studies examining cheese production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 9, p. 1773–1787, nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1407-7>

FINNVEDEN, G. et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. **Journal Of Environmental Management**, [S.l.], v. 91, n. 1, p.1-21, out. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>

FLYSJÖ, A. et al. How does co-product handling affect the carbon footprint of milk? Case study of milk production in New Zealand and Sweden. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.l.], v. 16, n. 5, p. 420-430, abr. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0283-9>

FORLEO, M. B.; PALMIERI, N.; SALIMEI, E. The eco-efficiency of the dairy cheese chain: an italian case study. **Italian Journal of Food Science**, v. 30, n. 2, p. 362-380, mai. 2018. DOI: <https://doi.org/10.14674/IJFS-1077>

FREITAS, I. C. et al. Agroecossistemas de produção familiar da Amazônia e seus impactos nos atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 17, n. 12, p. 1310-1317, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662013001200009>

GENTNER, D. R. et al. Elucidating secondary organic aerosol from diesel and gasoline vehicles through detailed characterization of organic carbon emissions. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.l.], v. 109, n. 45, p. 18318-18323, out. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1212272109>

GIL, C. A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

GOEDKOOPE, M. J. et al. **ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**. Netherlands: Ministry Of Housing, Spatial Planning And Environment, 2013. 126 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/302559709>. Acesso em: 28 jul. 2017.

GOHARI, A. et al. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. **Science Of The Total Environment**, [S.l.], v. 442, p. 405-419, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.029>

GONÇALVES, N. P.; MADERI, T. R.; SANTOS, P. F. Avaliação das práticas ambientais em indústrias de laticínios – estudo de caso. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 13, n. 2, 2017. Disponível em: http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1553. Acesso em: 15 abr. 2019.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S. et al. Environmental Life Cycle Assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 52, p. 253-262, ago. 2013a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.006>

GONZÁLEZ-GARCÍA, S. et al. Using Life Cycle Assessment methodology to assess UHT milk production in Portugal. **Science Of The Total Environment**, [S.l.], v. 442, p. 225-234, jan. 2013b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.035>

GUINÉE, J. B. et al. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. **Environmental Science & Technology**, [S.l.], v. 45, n. 1, p. 90-96, jan. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/es101316v>

GUINÉE, J. H. **Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. Netherlands: Springer Netherlands, 2002. v. 7. 692 p.

HERRMANN, I. T.; MOLTESEN, A. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 86, p. 163-169, jan. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>

HESS, C. E. E.; RIBEIRO, W. C.; WIEPRECHT, S. Assessing Environmental Justice in Large Hydropower Projects: The Case of São Luiz do Tapajós in Brazil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S.l.], v. 37, p. 91-109, mai. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v37i0.45273>

HINZ, R. T. P.; VALENTINA, L. V. D.; FRANCO, A. C. Monitorando o desempenho ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela avaliação do ciclo de vida. **Produção**, Florianópolis, v. 7, n. 3, p. 1-13, nov. 2007. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/download/66/66>. Acesso em: 03 nov. 2017.

HOSPIDO, A.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G. Simplified life cycle assessment of galician milk production. **International Dairy Journal**, [S.l.], v. 13, n. 10, p. 783-796, jan. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0958-6946\(03\)00100-6](https://doi.org/10.1016/s0958-6946(03)00100-6)

IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **Histórico da ACV**. Disponível em: <http://acv.ibict.br/acv/historico-da-acv/>. Acesso em: 03 nov. 2017.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **14040: Environmental management** — Life cycle assessment — Principles and framework. 2. ed. Switzerland, 2006a. 20 p.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **14044: Environmental management** - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. 1. ed. Switzerland, 2006b. 46 p.

KIM, D. et al. Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.l.], v. 18, n. 5, p.1019-1035, fev. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0553-9>

LEITE, D. B.; SOUZA, Ê. P. Tendências do cenário energético brasileiro: a energia de fonte eólica e o “olhar” dos atingidos. **Ciência e Natura**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 243-250, set. 2015. DOI: <https://doi.org/105902/2179460X17322>

LOVÓN-CANCHUMANI, G. A.; LIMA, F. M. R. S.; OLIVEIRA, P. P. **Avaliação do Ciclo de Vida na Mineração: Estudo da produção de minério de ferro**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015. 80 p.

MANTOVANI, J. R. et al. Soro ácido de leite como fonte de nutrientes para o milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 19, n. 4, p. 324-329, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p324-329>

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; LESSA, R. A. Modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos: avaliação de modelos de dispersão de poluentes emitidos por veículos. **Revista Internacional de Ciências**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 1-18, jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2015.14498>

MATUS, K. et al. Toward integrated assessment of environmental change: air pollution health effects in the USA. **Climatic Change**, [S.l.], v. 88, n. 1, p. 59-92, mar. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9185-4>

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, [S.l.], v. 26, n. 1, p. 160-175, mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/01036513.153213>

MENESES, M.; PASQUALINO, J.; CASTELLS, F. Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data. **Journal Of Environmental Management**, [S.l.], v. 107, p. 76-83, set. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.019>

NIELSEN, P. H.; HØIER, E. Environmental assessment of yield improvements obtained by the use of the enzyme phospholipase in mozzarella cheese production. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.l.], v. 14, n. 2, p. 137-143, dez. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0048-2>

PALMIERI, N.; FORLEO, M. B.; SALIMEI, E. Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, n. 2, p. 881–889, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.185>

PRÉ CONSULTANTS, SimaPro Faculty. Inc. **Netherlands, p. PRé Consultants**. Versão 8.3.0.0, *Software*, FFL UEPA, 2017.

SALA, S. et al. In quest of reducing the environmental impacts of food production and consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, n. 2, p. 387–398, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.054>

SANTOS, H. C. M. et al. Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.l.], v. 24, n. 4, p. 3470-3482, nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8084-0>

SARAIVA, C. B. et al. Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. **Journal Of Candido Tostes Dairy Institute**, [S.l.], v. 64, n. 367, p. 10-18, 2009. Disponível em: <https://www.revista.doilct.com.br/rilct/article/view/75/81>. Acesso em: 28 jul. 2017.

SATO, G. S. Perfil da indústria de alimentos no Brasil: 1990-97. **Revista de Administração de Empresas**, [S.l.], v. 37, n. 3, p. 56-67, set. 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0034-75901997000300007>

SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-23, ago. 2006. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/2006-v1-art4-portugues.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2017.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2017.

SHEN, J. et al. Atmospheric dry and wet nitrogen deposition on three contrasting land use types of an agricultural catchment in subtropical central China. **Atmospheric Environment**, [S.l.], v. 67, p. 415-424, mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.068>

SILVA, K. L. Á.; ALONSO, M. F.; OLIVEIRA, L. P. Análise das emissões atmosféricas de fontes móveis para a Cidade Pelotas – RS. **Ciência e Natura**, [S.l.], v. 38, p. 347-353, jul. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x20256>

TEIXEIRA, L.V.; FONSECA, L.M. Perfil físico-químico do soro de queijos mozzarella e minas-padrão produzidos em várias regiões do estado de Minas Gerais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [S.l.], v. 60, n. 1, p. 243-250, fev. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-09352008000100033>

THOMASSEN, M.A. et al. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. **Agricultural Systems**, [S.l.], v. 96, n. 1-3, p. 95-107, mar. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.06.001>

VOURCH, M. et al. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, [S.l.], v. 219, n. 1-3, p. 190-202, jan. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.013>

WILLIAMS, H.; WIKSTRÖM, F.; LÖFGREN, M. A life cycle perspective on environmental effects of customer focused packaging development. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 16, n. 7, p. 853-859, mai. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.05.006>

XIE, M. et al. A comparative study on milk packaging using life cycle assessment: from PA-PE-Al laminate and polyethylene in China. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 19, n. 17-18, p. 2100-2106, nov. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.06.022>

YANG, X. et al. Mechanisms and assessment of water eutrophication. **Journal Of Zhejiang University Science B**, [S.l.], v. 9, n. 3, p. 197-209, mar. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1631/jzus.b0710626>



Artigo recebido em: 15/04/2019 e aceito para publicação em: 03/03/2020
DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v20i1.3614>