



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS**  
Área de Concentração: Engenharia de Alimentos

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO CICLO DE VIDA DE**  
**PRODUTOS LÁCTEOS**

Autor: Hudson Carlos Maia Santos Júnior  
Orientador: Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Patrícia Milagres

ITAPETINGA  
BAHIA – BRASIL  
Abril de 2016

**HUDSON CARLOS MAIA SANTOS JÚNIOR**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO CICLO DE VIDA DE  
PRODUTOS LÁCTEOS**

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Brito Rodrigues

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Patrícia Milagres

ITAPETINGA  
BAHIA – BRASIL

Abril de 2016

637 S235a	<p>Santos Júnior, Hudson Carlos Maia.</p> <p>Avaliação dos impactos ambientais no ciclo de vida de produtos lácteos. – Hudson Carlos Maia Santos Júnior. – Itapetinga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2016. 78 fl.</p> <p>Dissertação do Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos. Sob a orientação do Prof. D. Sc. Luciano Brito Rodrigues e co-orientação da Prof<sup>a</sup>. D. Sc. Maria Patrícia Milagres.</p> <p>1. Produtos lácteos – Ciclo de vida dos produtos – Consumo de água. 2. Alimentos – Produção – Impactos ambientais. 3. Indústria de alimentos – Sustentabilidade. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. II. Rodrigues, Luciano Brito. III. Milagres, Maria Patrícia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;"><b>CDD(21): 637</b></p>
--------------	---

**Catálogo na Fonte:**

Cláudia Aparecida de Souza – CRB 1014-5ª Região  
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por assunto:

1. Produtos lácteos
2. Alimentos : Produção
3. Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)
4. hotspots : Pontos críticos ambientais



**Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**  
Programa de Pós-Graduação  
**Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos**



Áreas de Concentração: Engenharia de Alimentos  
Ciência de Alimentos

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

**Título:** AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS LÁCTEOS.


**Autor (a):** HUDSON CARLOS MAIA SANTOS JÚNIOR

**Orientador (a):** Prof.º Dr. Luciano Brito Rodrigues

**Co-orientador (a):** Prof.ª Dr.ª Maria Patrícia Milagres

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE ALIMENTOS**, pela Banca Examinadora.

  
Prof.º Dr. Luciano Brito Rodrigues (UESB)

  
Prof.º Dr. José Adolfo de Almeida Neto (UESC)

  
Prof.ª Dr.ª Sabine Robra (UESB-PNPD)

**Itapetinga-BA, 24 de fevereiro de 2016.**

“Há um tempo certo para cada coisa; há um tempo certo para cada propósito debaixo do céu: Tempo para nascer e tempo para morrer; tempo para plantar e tempo para colher; tempo para matar e tempo para curar; tempo para destruir e tempo para edificar; tempo para chorar e tempo para rir; tempo para ficar triste e tempo para dançar de alegria; tempo para espalhar pedras e tempo para ajuntar pedras; tempo para abraçar e tempo para deixar de abraçar; tempo para procurar e tempo para perder; tempo para guardar e tempo para jogar fora; tempo para rasgar e tempo para costurar; tempo para calar e tempo para falar; tempo para amar e tempo para deixar de amar; tempo para lutar e tempo para viver em paz.”

(Eclesiastes 3:1-8)

À minha mãe, pelo amor, dedicação, apoio e incentivo.

À minha avó materna (em memória), pelo auxílio e ensinamentos, sem os quais eu certamente não chegaria onde estou.

Ao meu irmão, pelos conselhos e por ser o meu maior exemplo profissional.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, minha fortaleza em todo o tempo.

À minha família (Mércia, Leonardo e Milene), por todo o apoio, conversas e momentos de descontração.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, por me disponibilizar os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Luciano Rodrigues e à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Patrícia pela orientação.

Aos colegas do Grupo de Estudos em Materiais e Meio Ambiente (*MSc.* Laurine Carvalho, *MSc.* Felipe Ungarato, Bruna Borges, Edmar Costa, Bianca Araújo, Andrêssa Pereira, Dimitre Moura, Gabriela Dias e Dr<sup>a</sup>. Sabine Robra), especialmente a Bianca Araújo, bolsista de iniciação científica vinculada a este trabalho.

Ao grupo Bioenergia e Meio Ambiente (BIOMA), da Universidade Estadual de Santa Cruz, especialmente ao prof. Dr. José Adolfo e o *MSc.* Henrique Maranduba por todo o auxílio prestado.

Ao Sr. Hudson Machado, Sr. Elias, Dona Nilzete e todos os colaboradores da fábrica de laticínios Pytty.

À Jamile Oliveira e Jaime, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos.

Ao Prof. *MSc.* William Soares, pelo apoio durante o estágio em docência.

À Dr<sup>a</sup>. Sabine Robra e Dr<sup>a</sup>. Sibelli Passini, pelas críticas e sugestões feitas durante a qualificação do trabalho.

Aos funcionários da UESB, especialmente aos do CEDETEC.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE QUADROS .....	ix
TABELAS DO APÊNDICE.....	x
RESUMO .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo geral .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3.1. A avaliação do ciclo de vida: conceito e histórico.....	4
3.2. Fases de uma ACV .....	5
3.3. A ACV na produção de alimentos .....	7
3.4. Aplicações da ACV sobre o leite .....	8
3.5. O processamento do leite e suas implicações ambientais.....	8
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
4.1. Revisão de literatura .....	17
4.2. Caracterização da fábrica de laticínios .....	17
4.3. Descrição das linhas de processo.....	20
4.3.1. <i>Fabricação do iogurte</i> .....	21
4.3.2. <i>Fabricação da manteiga</i> .....	22
4.3.3. <i>Fabricação do queijo</i> .....	22
4.3.4. <i>Fabricação do requeijão</i> .....	22
4.4. Definição do objetivo e escopo.....	26



4.5.	Análise do inventário .....	30
4.6.	Avaliação de impacto.....	30
4.6.1.	<i>Comparação entre diferentes combustíveis para a geração de energia térmica</i> 32	
4.6.2.	<i>Contribuição da fase de processamento sob a perspectiva do ciclo de vida dos produtos lácteos .....</i>	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
5.1.	Análise do inventário .....	36
5.2.	Avaliação de impacto.....	37
5.2.1.	<i>Comparação entre diferentes combustíveis para a geração de energia térmica</i> 44	
5.2.2.	<i>Contribuição da fase de processamento sob a perspectiva do ciclo de vida dos produtos lácteos .....</i>	46
6.	CONCLUSÕES.....	48
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
8.	APÊNDICES.....	55

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Fases de uma avaliação do ciclo de vida.....	6
Figura 2 – Esquema representativo da fábrica de laticínios avaliada.....	19
Figura 3 – Etapas de fabricação do iogurte. ....	21
Figura 4 – Etapas de fabricação da manteiga .....	23
Figura 5 – Etapas de fabricação do queijo.....	24
Figura 6 – Etapas de fabricação do requeijão.....	25
Figura 7 – Fronteiras do sistema. ....	27
Figura 8 – Consumo de leite cru bovino, água potável, eletricidade e madeira, necessários para a fabricação dos produtos. ....	36
Figura 9 – Resultado (em %) associado à fabricação do iogurte, manteiga, queijo e requeijão para cada categoria de impacto considerada no estudo. ....	39
Figura 10 – Comparação entre quatro diferentes tipos de combustíveis que podem ser utilizados na fabricação do iogurte, manteiga, queijo e requeijão para a geração de energia térmica. ....	44
Figura 11 – Contribuição da fase de processamento dos produtos lácteos, sob a perspectiva do ciclo de vida, em relação às categorias selecionadas para a avaliação ambiental. ....	46

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Fatores de alocação utilizados no estudo, obtidos a partir do método econômico. 28	
Tabela 2 – Avaliação dos impactos ambientais associados à fabricação do iogurte, manteiga, queijo e requeijão para cada categoria de impacto selecionada para o estudo. ....38	

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Estudos revisados sobre ACV do leite. ....	9
Quadro 2 – Descrição das categorias de impacto selecionadas para a avaliação ambiental da fabricação dos produtos lácteos. ....	28
Quadro 3 – Conjunto de processos selecionados no <i>software</i> SimaPro para a avaliação dos impactos ambientais associados à fabricação do iogurte, manteiga, queijo e requeijão. ....	31
Quadro 4 – Conjunto de processos selecionados no <i>software</i> SimaPro para a comparação do desempenho ambiental de diferentes combustíveis. ....	33
Quadro 5 – Conjunto de processos selecionados para avaliar a contribuição da fase de processamento sobre os impactos ambientais gerados no ciclo de vida do leite. ....	34

**TABELAS DO APÊNDICE**

Apêndice 1 – Dados do inventário para a fabricação de 1 kg de iogurte. ....	55
Apêndice 2 – Dados do inventário para a fabricação de 1 kg de manteiga. ....	56
Apêndice 3 – Dados do inventário para a fabricação de 1 kg de queijo.....	57
Apêndice 4 – Dados do inventário para a fabricação de 1 kg de requeijão.....	58
Apêndice 5 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado. ....	59
Apêndice 6 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado. ....	60
Apêndice 7 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado. ....	61
Apêndice 8 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado. ....	62
Apêndice 9 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.....	63
Apêndice 10 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira. ....	64
Apêndice 11 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha. ....	65
Apêndice 12 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira. ....	66
Apêndice 13 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.....	67

Apêndice 14 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira. ....	68
Apêndice 15 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha. ....	69
Apêndice 16 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira. ....	70
Apêndice 17 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.....	71
Apêndice 18 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira. ....	72
Apêndice 19 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha. ....	73
Apêndice 20 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira. ....	74
Apêndice 21 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.....	75
Apêndice 22 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira. ....	76
Apêndice 23 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha. ....	77

Apêndice 24 – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira. ....78

## RESUMO

SANTOS JÚNIOR, Hudson Carlos Maia. **Avaliação dos impactos ambientais no ciclo de vida de produtos lácteos**. Itapetinga, BA: UESB, 2016. 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de concentração em Engenharia de Alimentos)<sup>1</sup>.

A produção de alimentos é uma das atividades com maior potencial para a geração de impactos ao meio ambiente. Nas últimas duas décadas, pesquisadores em todo o mundo desenvolveram estudos que buscaram avaliar e estimar este grau de impacto. Das abordagens utilizadas nestas avaliações, a avaliação do ciclo de vida (ACV) possibilita uma visão mais ampla do objeto de estudo, tornando mais claro os pontos críticos que necessitam ser controlados. O objetivo deste trabalho foi identificar os pontos críticos ambientais (*hotspots*) associados à fabricação de alguns derivados lácteos sob a perspectiva do ciclo de vida dos produtos. A coleta de dados e desenvolvimento do inventário foi feita em uma fábrica de laticínios localizada no território de identidade do médio sudoeste da Bahia, Brasil. As fronteiras do sistema compreenderam todas as operações, entradas e saídas, desde a chegada do leite cru no portão da fábrica até a expedição dos produtos para os pontos de distribuição aos consumidores (*gate-to-gate*). O estudo das linhas de processo e quantificação das entradas e saídas foi desenvolvido com base nos registros de produção da fábrica, em informações obtidas durante reuniões com a gerência e colaboradores da empresa e medições feitas nas linhas de produção. Dentro da proposta desta pesquisa apenas o processamento do leite bovino foi considerado. A unidade funcional adotada foi um quilograma de produto pronto para consumo. O método econômico foi selecionado para a alocação de cargas entre os diferentes produtos. Para a análise de impactos foi utilizado o método ReCiPe Midpoint, versão 1.12, com modelo hierárquico. Os cálculos foram efetuados pelo programa computacional SimaPro, versão 8.0.5.13. Todos os procedimentos envolvidos na coleta, análise e interpretação dos dados foram feitos seguindo as orientações das normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. Entre os produtos avaliados, o iogurte apresentou o melhor desempenho ambiental nas categorias de impacto selecionadas. De forma geral, os principais *hotspots* da fabricação dos produtos lácteos foram: a geração das energias térmica e elétrica, a produção das embalagens de polietileno e polipropileno, o consumo de água para as atividades de processamento na fábrica e a produção do açúcar, ingrediente utilizado na fabricação do iogurte. Sob a perspectiva do ciclo de vida dos produtos, o principal ponto de controle da fase de processamento é o consumo de água.

Palavras-chave: portão ao portão, inventário do ciclo de vida, laticínio de pequeno porte, sustentabilidade, gestão ambiental, indústria de alimentos.

---

<sup>1</sup> Orientador: Luciano Brito Rodrigues, Dr. UESB e Coorientadora: Maria Patrícia Milagres, Dr<sup>a</sup>. UESB



## ABSTRACT

SANTOS JÚNIOR, Hudson Carlos Maia. **Environmental impact assessment in the life cycle of dairy products**. Itapetinga, BA: UESB, 2016. 78p. Dissertation (Master in Engineering and Food Science, Area of concentration in Food Engineering)<sup>2</sup>.

Food production is one of the activities with the highest potential for generating impacts to the environment. In the past two decades, researchers around the world have developed studies seeking to evaluate and estimate this degree of impact. Of the approaches used in these evaluations, the life cycle assessment (LCA) provides a broader view of the subject matter, making it clear the critical points that need to be controlled. The objective of this study was to identify environmental hotspots associated with the manufacture of some dairy products from the perspective of the life cycle. Data collection and development of the inventory was made in a dairy factory in the southwestern region of the state of Bahia, Brazil. The system boundaries include all operations, inputs and outputs, from the arrival of raw milk at the factory gate to the shipment of the products to the distribution points to consumers (gate-to-gate). The study of process lines and quantification of inputs and outputs was developed based on factory production records, information obtained during meetings with the management and employees of the company and measurements on production lines. Within the purpose of this research only the processing of cow's milk was considered. The functional unit adopted was one kilogram of product. The economic method was selected for the allocation of loads between different products. For the analysis of impacts, we have used ReCiPe Midpoint method, version 1.12, with the hierarchical model. The calculations were performed using the software SimaPro, version 8.0.5.13. All procedures for collecting, analyzing and interpreting the data were made following the guidelines of ISO 14040: 2006 and ISO 14044: 2006. Among the evaluated products, yogurt showed the best environmental performance in selected impact categories. In general, the main hotspots in the manufacture of dairy products have been the generation of thermal and electrical energy, the production of polyethylene and polypropylene containers, the consumption of water for processing activities in the factory and the production of sugar used an ingredient in the manufacture of yogurt. From the perspective of the life cycle of products, the main point of control of the processing phase is water consumption.

**Keywords:** gate-to-gate, inventory life cycle, a small dairy, sustainability, environmental management, food industry.

---

<sup>2</sup> Advisor: Luciano Brito Rodrigues, Dr. UESB, and Co-Advisor: Maria Patricia Milagres, Dr<sup>a</sup>. UESB.

## 1. INTRODUÇÃO

O leite bovino é um dos alimentos mais conhecidos e consumidos no Brasil. Constituído por uma gama de nutrientes, como proteínas, carboidratos, vitaminas, gordura e sais minerais, a sua presença na dieta alimentar contribui para o crescimento e manutenção das funções do corpo, fornecendo uma nutrição adequada.

No mercado, o leite bovino pode se apresentar na forma in natura ou como um derivado lácteo. No primeiro caso, durante as etapas de beneficiamento, o leite passa por um tratamento térmico que tem o objetivo de lhe fornecer uma maior vida útil. No segundo caso, o leite passa por transformações na sua estrutura e é utilizado como matéria prima para que, juntamente com outros ingredientes, possa dar origem a produtos como queijo, manteiga, iogurte, leite condensado, creme de leite, entre outros.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2014 foi registrada uma produção de 35,174 bilhões de litros de leite no Brasil; dados específicos da origem (leite bovino, bubalino, ovino ou outros) não foram apresentados nas estatísticas do relatório. No *ranking* mundial, a produção brasileira foi a quinta maior do mundo, ficando atrás da União Europeia, Índia, Estados Unidos e China. Estima-se ainda que, do total de leite produzido no país, cerca de 70% foi adquirido por estabelecimentos industriais sob inspeção sanitária, seja ele municipal, estadual ou federal (BRASIL, 2014).

Sob a perspectiva ambiental, a produção do leite tem sido apontada como uma importante fonte de impactos. Assim como qualquer outra atividade de produção, o uso de recursos (como água, energia e materiais) e as emissões para o ar, água e solo originadas contribuem para promover alterações no meio ambiente. A má gestão no uso dos recursos disponíveis e na disposição dos resíduos formados ainda pode agravar o nível destes impactos, afetando não apenas o local onde a atividade é desenvolvida, mas contribuindo para alterações em escala regional e global.

Dentro da cadeia de produção do leite e seus derivados, o processamento possui importantes fontes de impactos ambientais (BERLIN, 2002; EIDE, 2002; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013a, 2013b, 2013c, 2013d; DJEKIC et al., 2014). Entre os aspectos identificados, são citados como principais: a geração das energias térmica e elétrica, a geração de efluentes orgânicos e inorgânicos, a emissão de poluentes atmosféricos nos veículos de transporte da matéria prima, produtos e outros bens de entrada, e a produção das embalagens plásticas e cartonadas.

Das abordagens que podem ser tomadas para a identificação, avaliação e gerenciamento dos impactos ambientais, a metodologia de avaliação do ciclo de vida foi experimentada com sucesso em pesquisas desenvolvidas na Suécia (BERLIN, 2002), Noruega (EIDE, 2002), Espanha (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013a; HOSPIDO; MOREIRA; FEIJOO, 2003), Itália (FANTIN et al., 2012), Portugal (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013b, 2013c, 2013d), Sérvia (DJEKIC et al., 2014) e Estados Unidos (KIM et al., 2013). A sua principal vantagem em relação a outras metodologias, como a produção mais limpa, ecologia industrial e ecoeficiência, é a possibilidade de uma avaliação mais ampla, abordando tanto fontes diretas quanto indiretas de impacto. A frequência de utilização da metodologia ACV e as conclusões obtidas a partir da sua aplicação a têm apontado como viável para avaliação dos impactos gerados dentro do contexto de produção do leite e derivados.

No Brasil, as informações sobre o ciclo de vida ambiental da produção dos derivados lácteos ainda possui pontos que precisam de maiores esclarecimentos. Três publicações científicas foram desenvolvidas com esta proposta no país: De Léis et al. (2015), Nigri et al. (2014) e Ruviaro et al. (2012). Olszensvski (2011) citou como primeiros estudos de ACV de leite no país uma análise da produção de leite familiar (XAVIER et al., 2004), a construção de um inventário para a produção de leite em uma unidade experimental (WILLERS; RODRIGUES; SILVA, 2010) e a avaliação da produção de leite em mesorregiões do estado de Santa Catarina (OLSZENSVSKI et al., 2010). Nigri et al. (2014) foi o único que abordou de forma mais detalhada a etapa de processamento. Suas conclusões, contudo, têm limitações quanto ao número de produtos avaliados – tendo apenas a produção do queijo como objeto de estudo – e quanto à abrangência – sendo específica para o estado de Minas Gerais.

Recentemente, foi desenvolvido um estudo no território de identidade do médio sudoeste do estado da Bahia onde dezesseis dos vinte e cinco estabelecimentos aptos ao processamento do leite foram entrevistados. Entre as perguntas, a entrevista abordou questões como a presença e o tipo de sistema de tratamento de resíduos utilizado, assim como a posse de licenciamento ambiental. Os resultados revelaram que 81% dos estabelecimentos possuíam de forma parcial ou não possuíam um sistema para o tratamento de resíduos e 62% não possuíam licenciamento ambiental para exercer suas atividades (MADERI, 2014). Assim sendo, seria importante para a região o desenvolvimento de estudos que abordem as consequências das práticas adotadas no processamento do leite, contribuindo na obtenção de informações que orientem a tomada de decisão quanto aos seus produtos e processos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo geral**

Identificar os pontos críticos ambientais (*hotspots*) associados à fabricação de alguns derivados lácteos sob a perspectiva do ciclo de vida dos produtos.

### **2.2.Objetivos específicos**

- (a) Inventariar as matérias primas, produtos, coprodutos, ingredientes, recursos e resíduos associados aos produtos lácteos;
- (b) Avaliar os potenciais impactos ambientais relacionados aos produtos;
- (c) Comparar o desempenho ambiental de diferentes alternativas de combustíveis que podem ser utilizados na fábrica de laticínios para a geração de energia térmica;
- (d) Estimar a contribuição da fase de processamento sob a perspectiva do ciclo de vida dos produtos lácteos.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1.A avaliação do ciclo de vida: conceito e histórico

Segundo a ISO – *International Organization for Standardization*, a avaliação do ciclo de vida (ACV) é definida como a “compilação e avaliação de entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um sistema de produtos ao longo do seu ciclo de vida” (ISO, 2006a, p.2). Descrito como uma metodologia analítica, o objetivo da ACV é identificar e tentar descrever as consequências ambientais relacionadas a um produto, processo ou atividade, utilizando medidas quantitativas da necessidade de materiais, energia e emissões para a atmosfera, água e solo (FINNVEDEN et al., 2009; ROY et al., 2009; JOSHI, 2000; MIETTINEN; HÄMÄLÄINEN, 1997; OWENS, 1997; LAVE, 1995).

Dentro dos conceitos fundamentais da avaliação, o ciclo de vida do produto compreende o conjunto de etapas que compõe a sua cadeia produtiva, abrangendo desde fontes diretas de impacto, como uma etapa de fabricação do produto ou os padrões de consumo e descarte do mesmo, até fontes indiretas, como os impactos derivados da fabricação do combustível utilizado no transporte da matéria prima ou a energia consumida para a produção das embalagens (OWENS, 1997; KLÖPFFER, 1997). Isto estabelece uma rede de conexões que facilita a identificação de pontos críticos (*hotspots*) que precisam ser controlados. Os resultados obtidos podem contribuir para decisões relacionadas a produtos e processos dentro de uma organização industrial ou orientar oportunidades de *trade-off* para processos políticos (HUNKELER; REBITZER, 2005).

Klöpffer (2003) estabeleceu três princípios básicos para a ACV, que juntos distinguem esta metodologia de outras utilizadas para avaliações ambientais:

- 1) A avaliação é comumente feita do berço ao túmulo, isto é, explorando todas as etapas, desde a obtenção ou extração da matéria prima até a disposição final do produto.
- 2) Todos os fluxos de massa e energia, recursos e uso do solo, etc., assim como os potenciais impactos ambientais associados a estas intervenções são definidos em relação a uma unidade funcional, como uma medida quantitativa dos benefícios do sistema.
- 3) A ACV é essencialmente uma metodologia comparativa, seja entre produtos ou entre cenários para a melhoria do *status* do sistema.

Historicamente, os fundamentos da ACV foram desenvolvidos na década de 1960, nos Estados Unidos da América. Os primeiros estudos tinham como base a comparação do perfil ambiental de produtos, como fraldas para bebês (pano *versus* descartável), lâmpadas (comum *versus* fluorescente) e embalagens de leite (GUINEE et al., 2011). Contudo, foi em 1969 que um esquema analítico da avaliação foi concebido por Harry E. Teasley Jr., gerente do setor de embalagens da *The Coca-Cola Company*, ao comparar o desempenho ambiental de embalagens de plástico e vidro utilizadas na companhia (HUNT; FRANKLIN; HUNT, 1996).

Hoje, a ACV tornou-se uma metodologia reconhecida e o seu uso é incentivado por todo o mundo. Segundo Guineé et al. (2011), a ACV é um elemento central na política do meio ambiente ou em ações voluntárias na União Europeia, Estados Unidos, Japão, Coreia, Canadá, Austrália e em países de economia emergente, como a Índia e a China.

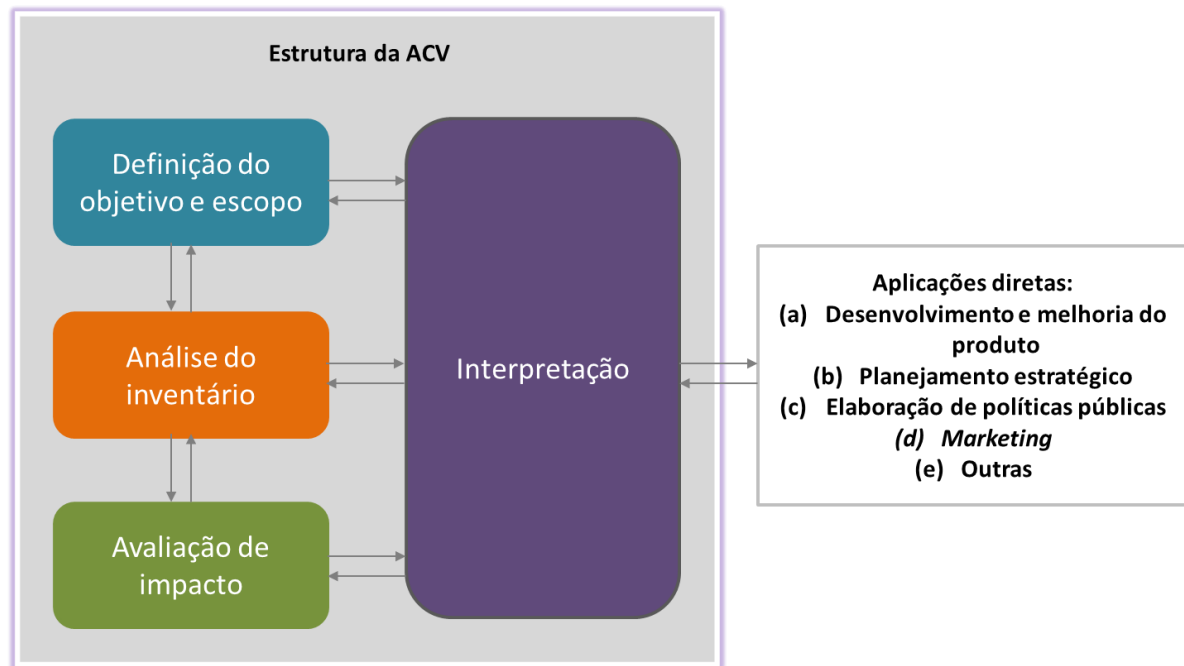
Um importante passo para a consolidação dos procedimentos utilizados na ACV foi a publicação pela ISO das normas internacionais relacionadas ao tema (ISO 14040:1997, ISO 14041:1999, ISO 14042:2000 e ISO 14043:2000), sendo considerada crucial para a aceitação geral por todas as partes interessadas e pela comunidade internacional (FINKBEINER et al., 2006). Atualmente, estão vigentes as normas ISO 14040:2006 (ISO, 2006a) e ISO 14044:2006 (ISO, 2006b), as quais apresentam uma proposta de padronização dos princípios, estrutura, requisitos e orientações para a aplicação da ACV. Ambos os documentos foram atualizados em 2006, trazendo consigo todo o conteúdo técnico das normas antigas, mas com correções de erros e inconsistências (FINKBEINER et al., 2006).

### **3.2.Fases de uma ACV**

Segundo as normas de padronização ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, os estudos de avaliação do ciclo de vida compreendem quatro fases, a saber: definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação (Figura 1).

Na primeira fase, denominada *definição do objetivo e escopo*, são descritas as características do sistema a ser estudado e os meios que serão utilizados para a coleta e avaliação dos dados. As normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 sugerem que nesta fase sejam apresentadas as razões para a realização do estudo, o público para o qual os resultados serão comunicados, a natureza da avaliação, as funções e as fronteiras do sistema, a unidade funcional, os métodos para alocação de cargas, as categorias e indicadores de impacto, as suposições, limitações e requisitos de qualidade dos dados (ISO, 2006a, 2006b).

**Figura 1** – Fases de uma avaliação do ciclo de vida



**Fonte:** Adaptado de ISO 14040 (2006a).

Na segunda fase, denominada *análise do inventário*, é feito o levantamento das medidas quantitativas que representam as entradas e saídas existentes dentro das fronteiras do sistema. São exemplos de entradas e saídas: o consumo de energia, materiais, a geração de emissões e resíduos (ISO, 2006a, 2006b; OWENS, 1997).

Na terceira fase, denominada *avaliação de impacto*, são feitas associações dos dados obtidos na análise do inventário com categorias de impacto ambiental e seus indicadores. O objetivo é procurar uma forma de entender estes impactos e o nível de suas consequências (ISO, 2006a, 2006b). Neste processo de avaliação são utilizados vários métodos, tanto qualitativos quanto quantitativos, cuja escolha dependerá do objetivo da avaliação (OWENS, 1997).

Na quarta fase, denominada *interpretação*, a consistência e sensibilidade dos dados são avaliadas, apresentam-se as conclusões do estudo, as limitações verificadas e as recomendações (ISO, 2006a, 2006b).

### 3.3.A ACV na produção de alimentos

A ACV contou na última década com importantes contribuições de diversas áreas do conhecimento, que lhe renderam um caráter multidisciplinar. A produção de alimentos é um exemplo, na qual a aplicação de abordagens baseadas no ciclo de vida ambiental pôde auxiliar desde organizações industriais e produtores envolvidos até os consumidores a identificar opções mais sustentáveis de produção e consumo (ROY et al., 2009; ANDERSSON; OHLSSON; OLSSON, 1994).

Dos trabalhos publicados com a proposta de aplicação da ACV sobre um sistema de produção de alimentos, Roy et al. (2009), ao fazer um levantamento de algumas das publicações desenvolvidas, identificou uma conclusão comum, independente do produto avaliado. As literaturas levantadas pelo autor indicaram que a produção agrícola/pecuária é o principal *hotspot* do ciclo de vida dos alimentos, fornecendo fortes indícios de que esta etapa do sistema produtivo é a mais impactante ao meio ambiente.

Recentemente, Vermeulen, Campbell e Ingram (2012) desenvolveram uma pesquisa para entender melhor o nível de impacto da produção de alimentos e a sua contribuição para as alterações climáticas na superfície do planeta. Seus resultados sugeriram que a produção de alimentos contribuiu em até 30% sobre o total das emissões de gases do efeito estufa, liberando entre 9.800 e 16.900 giga toneladas de dióxido de carbono equivalente, dos quais 80% a 86% foram originadas na produção agrícola e pecuária.

Como método de avaliação de impactos, a ACV mostrou-se eficaz na compreensão do perfil ambiental de várias categorias de produtos alimentícios. Estão inclusos nestas categorias: produtos agrícolas (BLENGINI; BUSTO, 2009; CONTRERAS et al., 2009; ROY et al., 2008; I CANALS; BURNIP; COWELL, 2006), produtos lácteos (DE VRIES; DE BOER, 2010; ROTZ; MONTES; CHIANESE, 2010; THOMASSEN et al., 2008; CEDERBERG; STADIG, 2003; CEDERBERG; MATTSSON, 2000), produtos cárneos (BEAUCHEMIN et al., 2010; DE VRIES; DE BOER, 2010; PELLETIER; PIROG; RASMUSSEN, 2010), pescados (PELLETIER et al., 2007; ZIEGLER et al., 2003) e ovos (DE VRIES; DE BOER, 2010), entre outras aplicações. Na maioria dos casos, o setor primário foi o principal foco dos estudos, por se tratar de uma reconhecida fonte de impactos na produção dos alimentos.



### **3.4. Aplicações da ACV sobre o leite**

A metodologia ACV foi experimentada sobre a produção do leite em estudos científicos desenvolvidos em várias partes do mundo, como Suécia (BERLIN, 2002), Noruega (EIDE, 2002), Espanha (HOSPIDO; MOREIRA; FEIJOO, 2003; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013a), Itália (FANTIN et al., 2012), Portugal (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013b, 2013c, 2013d), Sérvia (DJEKIC et al., 2014), Estados Unidos (THOMA et al., 2013) e Irã (DANESHI et al. 2014). Em todos os estudos revisados, um aspecto em comum é a identificação da etapa de obtenção do leite cru como o principal *hotspot* ambiental.

Os principais fatores citados que tornam a obtenção da matéria prima o procedimento mais impactante, são: as emissões de amoníaco, nitrato, metano e óxido nitroso, originadas da volatilização de esterco e urina, fermentação entérica do gado e da aplicação de fertilizantes; e as emissões de dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre, formadas a partir da combustão do diesel em máquinas agrícolas. Ambientalmente, estas emissões contribuem para o estabelecimento de impactos por eutrofização, acidificação, depleção do ozônio, formação de ozônio fotoquímico e aquecimento global (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013a, 2013b, 2013c, 2013d; FANTIN et al., 2012; ROTZ; MONTES; CHIANESE, 2010; HOSPIDO; MOREIRA; FEIJOO, 2003).

Nas operações que ocorrem no processamento do leite, seja no beneficiamento ou produção de derivados, o potencial para a geração de impactos ambientais é menor, quando comparado à etapa de obtenção do leite cru. Contudo, aspectos como o descarte de águas residuais, a produção de embalagens e a produção das energias térmica e elétrica a tornam um importante ponto de controle, com fontes notáveis de emissões poluidoras para o ar, água e solo (DJEKIC et al., 2014; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013a, 2013b, 2013c, 2013d; FANTIN et al., 2012; HOSPIDO; MOREIRA; FEIJOO, 2003; BERLIN, 2002; EIDE, 2002).

### **3.5. O processamento do leite e suas implicações ambientais**

O Quadro 1 apresenta uma lista com os trabalhos coletados na pesquisa, organizados segundo o ano de publicação, o produto avaliado, o país onde o estudo foi desenvolvido, o objetivo, alguns aspectos da metodologia (abordagem, unidade funcional, método de alocação e categorias de impacto) e as principais conclusões.

**Quadro 1** — Estudos revisados sobre ACV do leite.

<b>Autor</b>	<b>Produto avaliado</b>	<b>País</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Sistema</b>	<b>Unidade Funcional</b>	<b>Alocação</b>	<b>Categorias de impacto<sup>a</sup></b>	<b>Conclusões selecionadas</b>
Berlin (2002)	Queijo	Suécia	Avaliar os impactos ambientais gerados no ciclo de vida de uma variedade de queijo típica do país.	Berço ao túmulo	1 kg de queijo	Econômica	PAG, PA, PE, PFSF, PDOE e PECT.	1) A obtenção do leite nas fazendas é a maior fonte de impactos ambientais. 2) Os impactos gerados na fabricação e distribuição do queijo, assim como durante a produção da embalagem plástica, são significativos no contexto do ciclo de vida do produto.
Eide (2002)	Leite	Noruega	Identificar os <i>hotspots</i> do ciclo de vida do leite para determinar a influência do tamanho e do grau de automação de um laticínio sobre a geração de impactos ambientais.	Berço ao túmulo	1,033 kg de leite	Baseada na demanda bioquímica de oxigênio	PE, PA, PDOE, PAG, PFSF e PECT.	1) A obtenção do leite nas fazendas é o principal <i>hotspot</i> ambiental. 2) Etapas como o processamento, a produção das embalagens, o consumo e o descarte final do produto também geram impactos ambientais significativos. 3) Pequenas fábricas de laticínios têm maior potencial para a geração de impactos ambientais, quando comparadas às fábricas de médio e grande porte. (continua na próxima página)

<sup>a</sup>PAG = Potencial para aquecimento global, PA = Potencial para acidificação, PE = Potencial para eutrofização, PFSF = Potencial para formação de substâncias foto oxidantes, PDOE = Potencial para depleção do ozônio estratosférico, PECT = Potencial para ecotoxicidade.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Quadro 1 (continuação)

Autor	Produto avaliado	País	Objetivo	Sistema	Unidade Funcional	Alocação <sup>a</sup>	Categorias de impacto <sup>b</sup>	Conclusões selecionadas
Hospido, Moreira e Feijoo (2003)	Leite	Espanha	Utilizar uma metodologia simplificada da ACV para determinar os impactos ambientais gerados a partir da produção de leite na região da Galícia.	Berço ao portão da fábrica	1 litro de leite	NA	PAG, PDOE, PFSF, PA e PE.	1) A obtenção do leite nas fazendas e a fabricação das embalagens cartonadas foram identificados como os principais pontos críticos da avaliação. 2) As contribuições devido a produção de ração animal na fazenda e utilização da caldeira na fábrica de processamento também foram considerados importantes para a geração de impactos ambientais.
Fantin et al. (2012)	Leite	Itália	Analisar e comparar os resultados de uma avaliação de impactos ambientais utilizando o método de avaliação do ciclo de vida com as informações contidas no sistema internacional de declaração ambiental de produtos (EDP).	Berço ao portão da fábrica	1 kg de leite	NA	PAG, PDOE, PFSF, PA e PE	1) A obtenção de leite cru na fazenda é o principal <i>hotspot</i> do ciclo de vida do produto.

(continua na próxima página)

<sup>a</sup>NA = não aplicado<sup>b</sup>PAG = Potencial para aquecimento global, PA = Potencial para acidificação, PE = Potencial para eutrofização, PFSF = Potencial para formação de substâncias foto oxidantes, PDOE = Potencial para depleção do ozônio estratosférico.**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Quadro 1 (continuação)

Autor	Produto avaliado	País	Objetivo	Sistema	Unidade Funcional	Alocação <sup>a</sup>	Categorias de impacto <sup>b</sup>	Conclusões selecionadas
González-García et al. (2013a)	Queijo	Espanha	Identificar e quantificar os impactos ambientais gerados a partir da fabricação de um queijo tradicional do país com denominação de origem protegida.	Berço ao portão da fábrica	1 kg de queijo	NA	PDRA, PA, PE, PAG, PDOE e PFSF.	1) A obtenção do leite cru na fazenda é o principal <i>hotspot</i> do ciclo de vida do produto. 2) Os impactos gerados a partir da produção do queijo são significativos no contexto de ciclo de vida do produto.
González-García et al. (2013b)	Iogurte	Portugal	Avaliar os impactos ambientais gerados a partir da produção do iogurte.	Berço ao túmulo	1 tonelada de iogurte	Mássica	PDRA, PA, PE, PAG, PDOE, CT e PFSF.	1) A obtenção do leite cru na fazenda é o principal <i>hotspot</i> do ciclo de vida do produto. 2) Importantes melhorias podem ser propostas para a etapa de processamento do iogurte.
González-García et al. (2013c)	Leite	Portugal	Avaliar os impactos ambientais e identificar os <i>hotspots</i> da atividade de processamento do leite UHT.	Berço ao portão da fábrica	1,319 kg leite	Mássica	PDRA, PA, PE, PAG, PDOE, PFSF, TH e PECT.	1) A obtenção do leite cru na fazenda é uma importante fonte de impactos ambientais. 2) Na etapa de processamento, as emissões originadas da produção das embalagens cartonadas e da caldeira são uma importante fonte de impactos ambientais.

(continua na próxima página)

<sup>a</sup>NA = não aplicado<sup>b</sup>PAG = Potencial para aquecimento global, PA = Potencial para acidificação, PE = Potencial para eutrofização, PFSF = Potencial para formação de substâncias foto oxidantes, PDOE = Potencial para depleção do ozônio estratosférico, PDRA = Potencial para depleção dos recursos abióticos, CT = Competição pela terra, TH = Toxicidade humana, PECT = Potencial para Ecotoxicidade.**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Quadro 1** (continuação)

<b>Autor</b>	<b>Produto avaliado</b>	<b>País</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Sistema</b>	<b>Unidade Funcional</b>	<b>Alocação</b>	<b>Categorias de impacto<sup>a</sup></b>	<b>Conclusões selecionadas</b>
González-García et al. (2013d)	Queijo	Portugal	Quantificar as consequências ambientais da atividade de produção do queijo curado, fabricado em Portugal, e identificar os <i>hotspots</i> .	Berço ao portão da fábrica	1 kg de queijo	Econômica	PDRA, PAG, PA, PE, PDOE, CT e PFSF.	1) A obtenção do leite cru na fazenda é uma importante fonte de impactos ambientais. 2) As contribuições da etapa de processamento do produto também são notáveis, devido à demanda de energia e o transporte dos ingredientes utilizados.
Kim et al. (2013)	Queijo	EUA	Determinar uma linha de base sobre os impactos ambientais gerados a partir da produção e consumo do queijo mozzarella e cheddar.	Berço ao túmulo	1 tonelada de queijo	Econômica	PAG, PDAD, PE, PFSF, IE, TH e PECT	1) A obtenção do leite cru na fazenda é uma importante fonte de impactos ambientais. 2) Nas etapas que se sucedem após a produção de leite na fazenda os impactos estão associados à demanda de energia.

(continua na próxima página)

<sup>a</sup>PAG = Potencial para aquecimento global, PA = Potencial para acidificação, PE = Potencial para eutrofização, PFSF = Potencial para formação de substâncias foto oxidantes, PDOE = Potencial para depleção do ozônio estratosférico, PDRA = Potencial para depleção dos recursos abióticos, CT = Competição pela terra, TH = Toxicidade humana.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Quadro 1** (continuação)

<b>Autor</b>	<b>Produto avaliado</b>	<b>País</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Sistema</b>	<b>Unidade Funcional</b>	<b>Alocação<sup>a</sup></b>	<b>Categorias de impacto<sup>b</sup></b>	<b>Conclusões selecionadas</b>
Nigri et al. (2014)	Queijo	Brasil	Avaliar e comparar os impactos ambientais gerados na fabricação industrial e artesanal do queijo Minas.	Portão ao portão da fábrica	1 kg de queijo	NA	CR, RPI, RPO, PAG, RD, PDOE, PA, PE e US.	A produção artesanal exerce menores impactos ambientais, especialmente em termos de consumo de energia.
Djekic et al. (2014)	Leite, iogurte, creme, manteiga e queijo.	Sérvia	Avaliar o desempenho ambiental de seis produtos lácteos.	Berço ao portão da fábrica	1 kg de produto	Mássica e físico-química	PAG, PA, PE, PDOE, PFSF e TH.	1) A forma de obtenção do leite cru na fazenda é determinante para o perfil ambiental dos produtos. 2) A contribuição da etapa de processamento teve como principais fontes a demanda de energia e a entrada de materiais e ingredientes no portão da fábrica.

<sup>a</sup>NA = não aplicado

<sup>b</sup>PAG = Potencial para aquecimento global, PA = Potencial para acidificação, PE = Potencial para eutrofização, PFSF = Potencial para formação de substâncias foto oxidantes, PDOE = Potencial para depleção do ozônio estratosférico, PECT = Potencial para Ecotoxicidade, PDAD = Potencial para depleção de água doce, IE = Impacto aos ecossistemas, TH = Toxicidade humana, CR = Carcinogênicos, RPI = Respiração de partículas inorgânicas, RPO = Respiração de partículas orgânicas, US = uso e ocupação do solo. (competição pela terra).

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Dentro dos trabalhos revisados, Berlin (2002) concluiu que importantes impactos ambientais poderiam ser originados durante o processamento do queijo fabricado na Suécia. Os resultados obtidos a partir do seu estudo sugeriram como principais aspectos ambientais: o processo de combustão do gás natural para a geração de energia, que foi o maior contribuinte na categoria *potencial para aquecimento global*, e emissões originadas nas águas residuais de compostos em cuja composição se encontra o nitrogênio, contribuindo para gerar impactos por eutrofização. A produção do diesel utilizado no transporte do queijo até os pontos de venda também foi citado, tendo sido o maior contribuinte sobre os índices das categorias *potencial para acidificação* e *potencial para formação de substâncias foto oxidantes*.

Eide (2002) concluiu por meio de um estudo desenvolvido em três laticínios de diferentes portes da Noruega, que a indústria de menor porte expôs um maior potencial para a geração de impactos ambientais, quando comparado às indústrias de médio e grande porte. Na avaliação, a indústria de pequeno porte possuía um volume processado anual de sete milhões de litros de leite, a indústria de médio porte possuía um volume processado anual de vinte e cinco milhões de litros de leite e a indústria de grande porte possuía um volume processado anual de cinquenta milhões de litros de leite. A conclusão feita pelo autor se baseou no consumo de energia, para o qual os menores volumes de produção exigiam uma maior quantidade de energia por unidade de produto.

Hospido, Moreira e Feijoo (2003) citaram como principais aspectos ambientais do processamento de leite na Espanha: a produção das embalagens e a produção de energia na caldeira. Entre as categorias avaliadas, a queima de combustível na caldeira foi responsável por cerca de 60% das emissões de eteno equivalente, o que promove a formação de substâncias foto oxidantes, e a fabricação das embalagens cartonadas contribuiu para 84% das emissões de CFC-11 equivalente, promovendo a depleção do ozônio estratosférico.

Fantin et al. (2012) encontraram contribuições de 11% sobre a categoria *potencial para aquecimento global*, 27% sobre a categoria *potencial para depleção do ozônio estratosférico* e 12% sobre a categoria *potencial para formação de substâncias foto oxidantes* ao avaliar o processamento do leite na Itália. A normalização dos dados mostrou que, dentre as categorias de impacto avaliadas, as mais importantes foram: o *potencial para aquecimento global*, o *potencial para acidificação* e o *potencial para eutrofização*. Analisando individualmente as categorias, o processamento expôs um índice de 0,18 kg CO<sub>2eq</sub>/litro de leite, dos quais 97% foram emissões de dióxido de carbono, originadas na produção de energia e das embalagens cartonadas, e 3% foram emissões de óxido nitroso, originadas na produção do ácido nítrico utilizado na limpeza da fábrica. Na categoria *potencial para acidificação*, o processamento expôs um índice de  $4,2 \times 10^{-4}$  kg SO<sub>2eq</sub>/litro de leite, dos quais

57% foram emissões de dióxido de enxofre e 31% foram emissões de óxido de nitrogênio, ambas originadas na produção de energia térmica e elétrica, produção do papel utilizado nas embalagens cartonadas e do polietileno utilizado na paletização do produto. Na categoria *potencial para eutrofização*, o processamento contribuiu em 30% com emissões de dióxido de nitrogênio e 21% com emissões de nitrato, ambas originadas nas águas residuais levadas às estações de tratamento.

González-García et al. (2013a) encontraram importantes contribuições do procedimento de defumação, geração de energia e tratamento de águas residuais ao avaliar uma variedade de queijo produzida na Espanha. O procedimento de defumação, feito a partir da madeira de bétula, contribuiu com 21% do total de emissões de dióxido de carbono equivalente, 41% do total de emissões de dióxido de enxofre equivalente e 53% das emissões de eteno equivalente constatados na etapa de processamento do produto. Suas principais fontes foram: a utilização do diesel nas máquinas de extração da madeira e a combustão da madeira na indústria. Com relação à energia, a produção de energia elétrica na fábrica foi responsável por 20% das emissões que promovem o aquecimento global e 29% das emissões que promovem a acidificação da água e do solo, constatados na etapa de processamento; a produção de energia térmica, por sua vez, contribuiu em 25% para a categoria *potencial para aquecimento global*, 27% para a categoria *depleção dos recursos abióticos* e 39% na categoria *depleção do ozônio estratosférico*. O tratamento dos resíduos gerados pela fábrica foi responsável por 78% das emissões de fosfato equivalente, tendo como principal fonte a descarga direta dos resíduos líquidos formados durante a fabricação do queijo sobre o corpo receptor.

González-García et al. (2013b) citaram como principais aspectos ambientais do processamento do iogurte fabricado em Portugal a produção do leite em pó e leite concentrado, ambos utilizados como ingredientes para a fabricação do iogurte, e a produção dos materiais da embalagem. Ao excluir as contribuições da obtenção do leite cru, a produção do leite em pó e do leite concentrado teve contribuições significativas na categoria *potencial para acidificação* (86%), *potencial para eutrofização* (89%), *potencial para aquecimento global* (50%), *competição pela terra* (84%) e *potencial para formação de substâncias foto oxidantes* (58%). As principais fontes destes impactos estavam associadas à obtenção do leite cru, o consumo de energia requerido nos processos de fabricação de ambos os ingredientes e o transporte destes para a fábrica. Na produção das embalagens utilizadas no iogurte, as emissões originadas na fabricação do poliestireno e polietileno de alta densidade contribuíram em 41% sobre a categoria *depleção do ozônio*.



González-García et al. (2013c) descreveram o processamento do leite UHT fabricado em Portugal como uma importante fonte de impactos ambientais no ciclo de vida do produto. Entre os aspectos identificados, as emissões geradas diretamente na indústria, como as emissões de nitrogênio das águas residuais e a produção de energia térmica e elétrica, contribuíram em 57% sobre a categoria *potencial para eutrofização*, 72% sobre a categoria *potencial para acidificação*, 69% sobre a categoria *potencial para aquecimento global* e 83% sobre a categoria *potencial para formação de substâncias foto oxidantes*. Ao considerar as emissões indiretamente relacionadas ao processamento, a produção das embalagens cartonadas contribuiu em 20% sobre a categoria *depleção dos recursos abióticos*, em 67% sobre a categoria *toxicidade humana*, em 41% sobre a categoria *ecotoxicidade de água doce*, em 34% sobre a categoria *ecotoxicidade de água salgada* e em 50% sobre a categoria *ecotoxicidade terrestre*. As emissões de metal pesado foram suas principais fontes, derivadas da produção de alumínio e polietileno.

González-García et al. (2013d) encontraram um potencial significativo para a geração de impactos ambientais no processamento de queijo em Portugal devido a produção de energia e o transporte dos bens de entrada no portão da fábrica. Ao excluir as contribuições da obtenção do leite cru, a produção das energias térmica e elétrica contribuiu em 74% para a categoria *depleção dos recursos abióticos*, em 37% sobre a categoria *potencial para acidificação* e 49% sobre a categoria *potencial para aquecimento global*. A produção de energia térmica, feita a partir da combustão de óleo combustível na caldeira, contribuiu em 54% sobre a categoria *potencial para formação de substâncias foto oxidantes* e em 72% sobre a categoria *potencial para depleção do ozônio estratosférico*. Quanto ao transporte da matéria prima até a fábrica, a combustão do diesel foi o principal aspecto ambiental, contribuindo em 7% para a categoria *depleção dos recursos abióticos*, em 14% sobre a categoria *potencial para aquecimento global* e em 9% sobre a categoria *depleção do ozônio estratosférico*.

Djekic et al. (2014) encontraram como principais aspectos ambientais da produção do leite, iogurte, creme, manteiga e queijo fabricados na Sérvia: o consumo de energia e a entrada de bens no portão da fábrica. Um achado comum, independente do produto lácteo em questão, foi o estabelecimento da produção de energia como a principal fonte de impactos ambientais. Para cada produto avaliado um nível específico de energia foi requerido, dentre os quais a produção do queijo foi a que demandou a maior quantidade deste recurso. Quanto às entradas de bens na fábrica, foram citados como potenciais fontes de impacto: o transporte e a produção das embalagens.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho classifica-se como uma pesquisa descritiva com abordagem quantitativa (GRESSLER, 2003).

Todos os procedimentos envolvidos na coleta, análise e interpretação dos dados foram feitos com base nas orientações apresentadas nas normas ISO 14040:2006 (ISO, 2006a) e ISO 14044:2006 (ISO, 2006b).

### 4.1.Revisão de literatura

O levantamento dos trabalhos científicos utilizados na revisão de literatura foi feito no período de maio de 2014 a janeiro de 2016 utilizando o *site* para pesquisas Google Acadêmico (GOOGLE INC., 2016) e a base de dados *Web of Science* (THOMSON REUTERS, 2015).

No Google acadêmico foram pesquisados artigos que forneceram a base teórica sobre a metodologia ACV, sua estrutura e aplicações na produção de alimentos. As palavras-chave da pesquisa foram: “*life cycle assessment*” e “*food*”, utilizadas simultaneamente. A seleção dos trabalhos se baseou no conteúdo apresentado e na disponibilidade de acesso ao artigo. Nenhum filtro foi utilizado no que diz respeito ao período das publicações.

Já na base de dados *Web of Science* foi feita uma pesquisa orientada a estudos de caso que incluíram a etapa de processamento nas fronteiras do sistema. Todo o processo de seleção das literaturas se baseou nos resumos apresentados na própria base de dados, sem restrições quanto à localização geográfica do estudo ou ano de publicação. As palavras-chave utilizadas foram: “*LCA milk*” e “*LCA dairy*”. Dentro dos resultados obtidos, foram consideradas apenas as publicações disponíveis com texto completo para acesso e leitura por meio do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior ([/www.periodicos.capes.gov.br/](http://www.periodicos.capes.gov.br/)).

### 4.2.Caracterização da fábrica de laticínios

Para o estudo de caso foi selecionada uma fábrica de laticínios localizada no território de identidade do médio sudoeste do estado da Bahia. Essa seleção levou em conta fatores como a capacidade produtiva, a localização, o número de produtos fabricados, o nível de tecnologia envolvido nos processos e a disponibilidade para participação na pesquisa.

Em média, o volume de processamento da fábrica girou em torno de dois mil litros de leite por dia. Houve, contudo, períodos de menor disponibilidade do leite cru, geralmente no segundo semestre do ano, reflexo do período de estiagem que ocorreu na região entre os meses de junho a agosto.

Utilizando os padrões estabelecidos pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente, o porte da fábrica é classificado como “micro” e o seu potencial poluidor é considerado como “médio” (BAHIA, 2009).

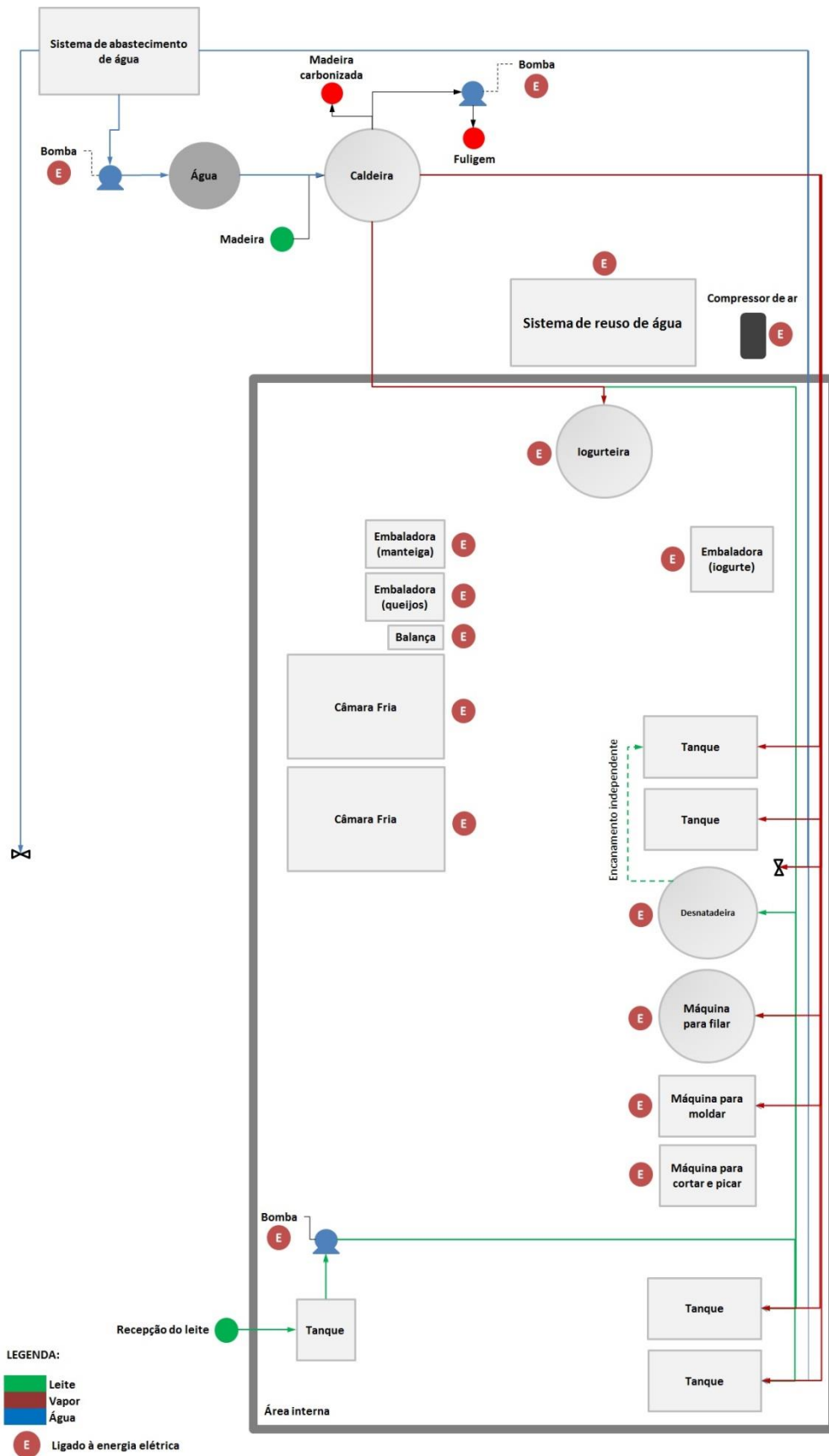
Como matérias primas, a fábrica utilizava o leite bovino e o leite bubalino. Ambos eram obtidos em fazendas cujas distâncias não excediam 65 quilômetros com relação à localização da fábrica. O leite bovino, que correspondeu a aproximadamente 90% da entrada de leite para processamento, era o principal ingrediente de todos os produtos, exceto do queijo da variedade *mozzarella*, fabricado exclusivamente com o leite bubalino.

Entre os produtos desenvolvidos, estavam inclusos: oito variedades de queijo (*mozzarella*, prato, cáccio cavallo, minas frescal, coalho, provolone, parmesão e reino), iogurte feito a partir de leite integral e desnatado, manteiga e requeijão. Para o aproveitamento de uma parcela do soro gerado durante a fabricação do queijo e do requeijão, a empresa também produzia a ricota, um derivado lácteo obtido a partir da albumina, uma proteína encontrada no soro.

A definição das atividades de produção na fábrica era regida segundo a demanda. Não havia um esquema constante de produção. Assim, os produtos que seriam fabricados a cada dia eram definidos segundo os pedidos feitos pelos clientes.

A área interna de produção era composta por cinco tanques de imersão, uma desnatadeira, duas câmaras frias, três embaladoras; máquinas utilizadas para filar, cortar e moldar os queijos e uma iogurteira industrial. Na área externa havia uma caixa d'água para o abastecimento da área de produção e uma caixa d'água para o abastecimento da caldeira; uma caldeira fogotubular vertical com capacidade para produzir 150 kg de vapor/hora e um sistema de reutilização da água ligado à câmara fria. Havia também um pasteurizador para o tratamento térmico do leite e um tanque de recepção com sistema de refrigeração, ambos na entrada da fábrica. No entanto, os dois equipamentos ficaram inativos durante todo o período de avaliação. Um esquema sobre a disposição do maquinário na fábrica, o fluxo do leite, vapor e água e os equipamentos que utilizam a energia elétrica é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema representativo da fábrica de laticínios avaliada.



Com relação ao mercado, os produtos desenvolvidos eram distribuídos no estado da Bahia, em um raio de até 600 quilômetros de distância da fábrica.

A água utilizada nas atividades de processamento era obtida a partir do serviço de abastecimento municipal e a energia elétrica a partir do serviço de fornecimento do estado.

A geração de energia térmica era feita na própria fábrica, por meio de uma caldeira. Majoritariamente, o combustível utilizado eram restos de madeira de palete doados por uma empresa de calçados; quando indisponível, era utilizada lenha comercial de eucalipto e/ou pinho.

Para reduzir a quantidade de fuligem no ar, produzida durante a queima da madeira para a geração de energia térmica, foi adaptado à caldeira um sistema de coleta. Este consiste de jatos de água que são expelidos sobre a chaminé da caldeira e que transportam a fuligem para um tanque de armazenamento com capacidade para 260 litros. Depois de concluída as atividades na fábrica, a fuligem é separada da água e exposta ao sol para secagem. Ao final do dia, a fuligem é depositada em alguns terrenos baldios. Segundo os dirigentes da fábrica, essa forma de disposição da fuligem é uma solução viável, pois fertiliza o solo.

Os resíduos de plástico são coletados por uma empresa de reciclagem. Outros resíduos, como o leitelho (ou *buttermilk*), produzido durante o processamento da manteiga, e a parcela do soro que não pôde ser reaproveitada para a fabricação da ricota, eram doados a criadores de animais para ser utilizado como suplemento para ração animal.

#### **4.3. Descrição das linhas de processo**

Após a entrada do leite nos portões da fábrica, o primeiro passo é a sua recepção. Nesta etapa é feito o teste de estabilidade ao alizarol, um indicador do nível de acidez e estabilidade térmica do leite, e as documentações de entrada da matéria prima na empresa.

Após a recepção, o leite passa por um processo de filtragem, fazendo-o escoar através de uma tela de metal com pequenos orifícios espalhados por toda a superfície. O objetivo é separar e retirar os resíduos mais grosseiros que estejam presentes.

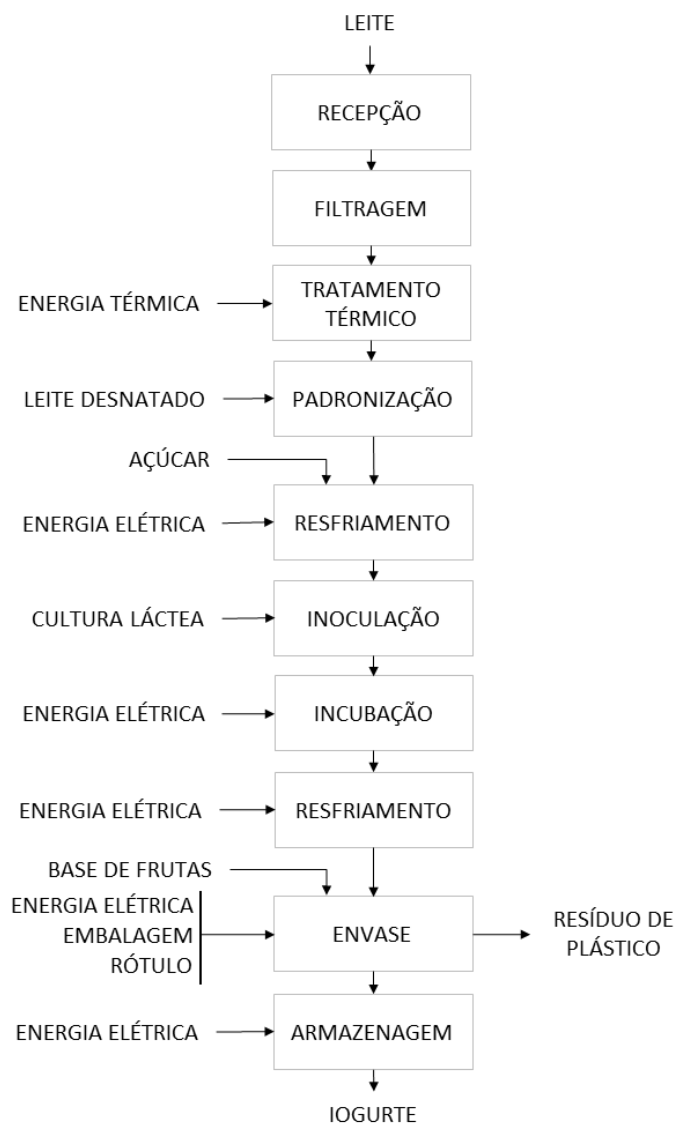
Dentro da área de produção, o leite é transportado para um tanque de imersão onde será feita a pasteurização. Sua finalidade é reduzir a população de microorganismos presentes, preservando as qualidades sensoriais da matéria prima e vida útil do produto final. Nessa etapa, o leite é submetido a temperaturas brandas, próximas de 65°C, por um tempo de 30 minutos.

As etapas que se sucedem após a pasteurização são determinadas de acordo com o produto – ou produtos – que se deseja fabricar.

#### 4.3.1. Fabricação do iogurte

Para a fabricação do iogurte o leite pasteurizado é, primeiramente, padronizado para um teor de gordura de 3% e resfriado até a temperatura de 45°C (Figura 3). Em seguida, é adicionada a cultura láctea para que seja iniciada a fermentação. O período de incubação é definido segundo a viscosidade desejada no produto final. O produto fermentado passa por um resfriamento até a temperatura de 8°C, é envasado, rotulado e armazenado sob refrigeração até a expedição.

**Figura 3** – Etapas de fabricação do iogurte.



#### 4.3.2. *Fabricação da manteiga*

Para a fabricação da manteiga o leite passa por um processo de desnatamento na qual ocorrerá a concentração da matéria gorda, formando o creme, o principal ingrediente da formulação (Figura 4). O creme passa por uma etapa de padronização, onde o teor de gordura será fixado em 37%, e deixado em repouso por um período de 2 a 4 horas a temperatura de 8°C. Após o período de maturação o creme é batido – havendo nesta etapa a liberação de um líquido, denominado leitelho ou *buttermilk* – e lavado com água a uma temperatura de 8°C.

Para modificar a textura granulosa por uma textura mais uniforme e elástica, é feita a malaxagem, procedendo a adição de sal à massa. O produto pronto para consumo é embalado, rotulado e armazenado sob refrigeração até a expedição.

#### 4.3.3. *Fabricação do queijo*

Para a fabricação do queijo é feita a padronização do nível de gordura do leite para um teor de 3,0% (Figura 5). Na sequência, o leite padronizado passa por uma etapa de coagulação. Nessa etapa, a caseína, uma fosfoproteína que compõe cerca de 80% do total de proteínas encontradas no leite bovino, sofre uma alteração na sua estrutura (coagulação) devido à ação do coalho, formando duas fases: uma sólida (massa do queijo) e uma líquida (soro).

A massa formada é cortada em pequenos cubos e aquecida junto ao soro até atingir a temperatura de 45°C. A massa é separada do soro e levada à máquina de filagem. A massa filada é acomodada em formas de plástico e prensada para a retirada do soro remanescente. Adiciona-se o sal e os queijos são levados para a maturação na câmara fria.

Os queijos prontos para consumo são embalados, rotulados e armazenados sob refrigeração até a expedição do produto.

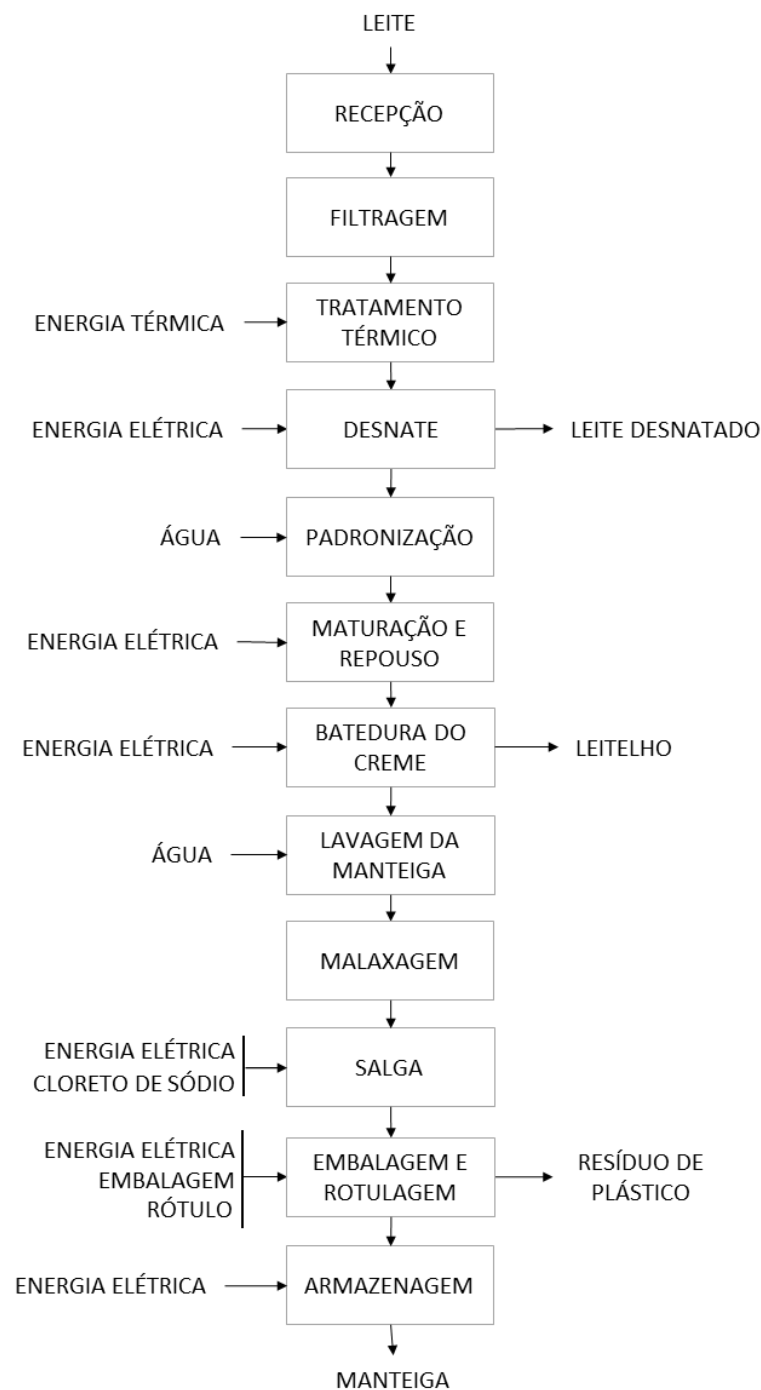
#### 4.3.4. *Fabricação do requeijão*

Para a fabricação do requeijão uma parte do leite passa por uma etapa de desnatamento, onde ocorrerá a concentração da matéria gorda, formando uma porção com alto percentual de gordura, denominada de creme, e uma porção com baixo percentual de gordura, denominado leite desnatado (Figura 6). O creme é reservado e o leite desnatado retorna ao processo para padronizar o nível de gordura do leite integral.

Na sequência, o leite padronizado passa por uma etapa de coagulação. A massa formada é cortada em pequenos cubos e aquecida junto ao soro. O creme do leite formado na etapa de desnate é inserido à mistura e aquecida até a temperatura de 90°C.

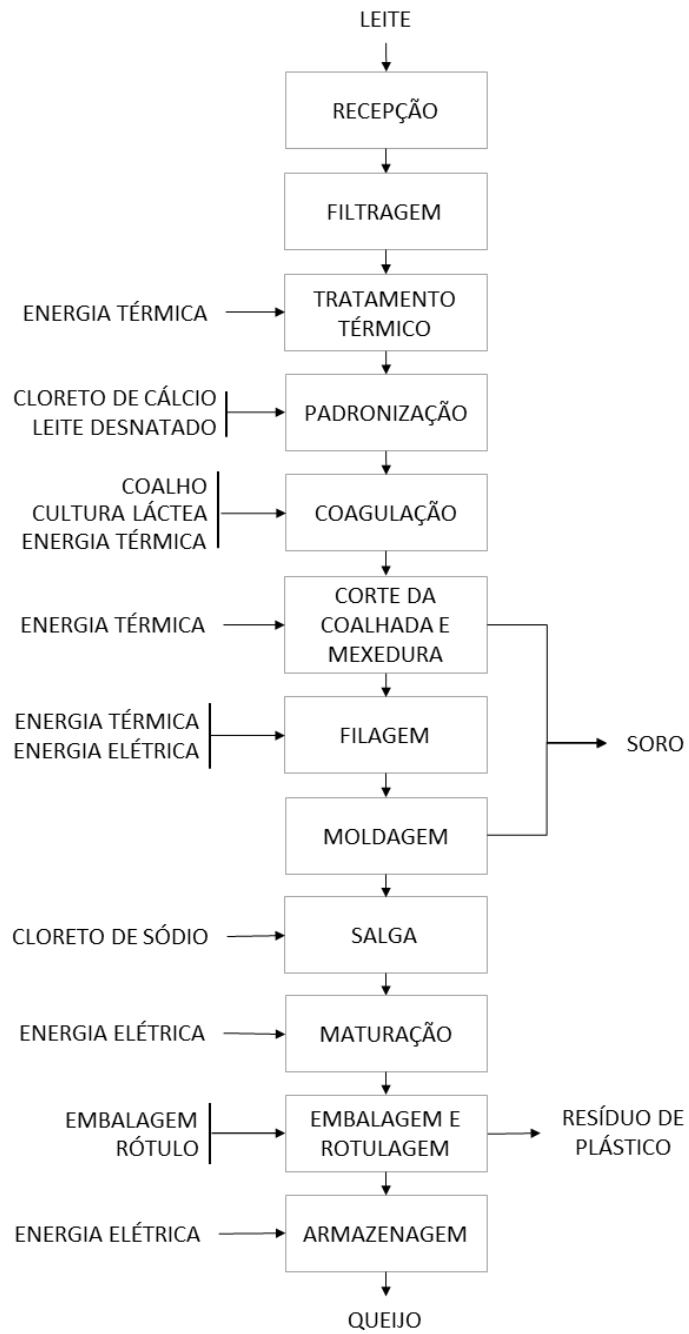
Posteriormente, é feita a salga da massa e a sua acomodação em formas de plástico. O requeijão pronto para consumo é embalado, rotulado e armazenado sob refrigeração até a expedição do produto.

**Figura 4** – Etapas de fabricação da manteiga

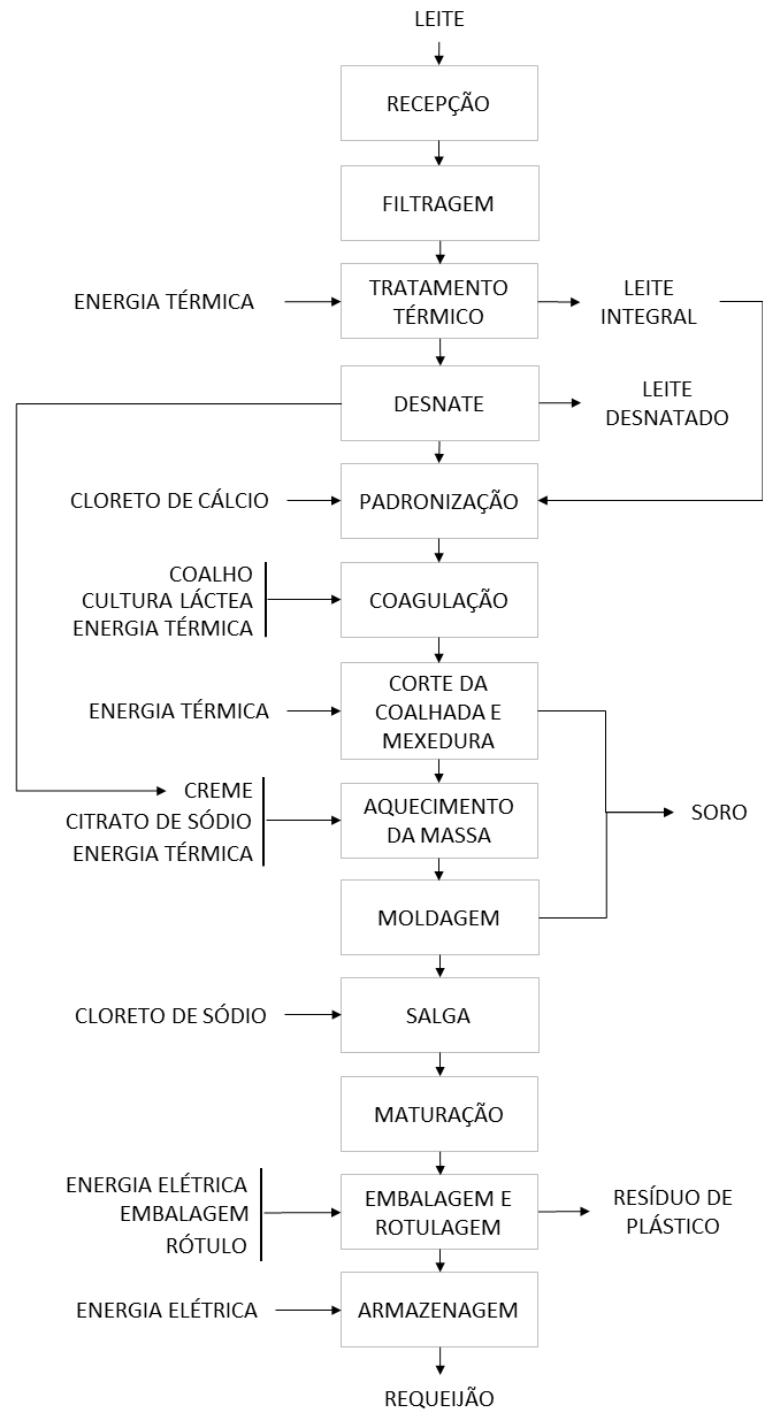




**Figura 5** – Etapas de fabricação do queijo.



**Figura 6** – Etapas de fabricação do requeijão.



#### 4.4. Definição do objetivo e escopo

O objetivo foi identificar e analisar potenciais fontes de impactos ambientais presentes na fabricação de alguns derivados lácteos. Esta proposta surgiu pela necessidade de abordar as consequências das atividades industriais ligadas ao setor de produção do leite e derivados, assim como para contribuir no desenvolvimento de um inventário de confiança sobre os seus aspectos e impactos ambientais. Nesse sentido, os resultados podem ser utilizados tanto pela comunidade acadêmica, ampliando os seus conhecimentos sobre a área, quanto por fabricantes e produtores do setor.

As fronteiras do sistema compreenderam todas as operações, entradas e saídas, desde a chegada do leite cru no portão da fábrica até a expedição dos produtos para os pontos de distribuição aos consumidores (Figura 7). Essa estrutura de análise é denominada “*gate-to-gate*”.

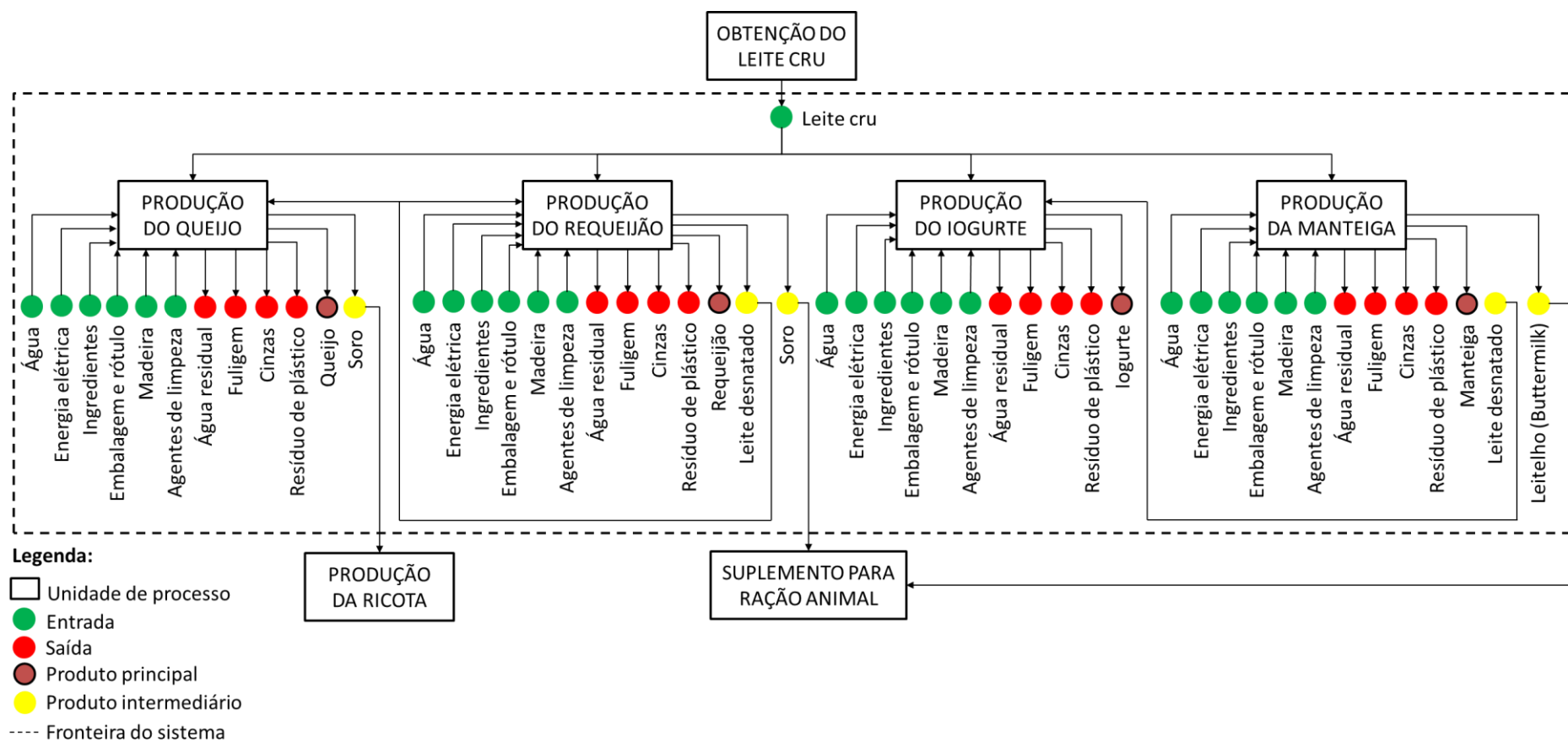
Como unidade funcional foi adotada um quilograma de produto pronto para consumo. Essa unidade expressa de melhor forma a informação dos impactos, tanto aos fabricantes dos produtos, quanto aos consumidores, caso esta informação seja incorporada ao rótulo, por exemplo.

Por se tratar de um sistema multifuncional, isto é, um sistema que possui mais de um produto que compartilha da mesma entrada de matéria prima, foi utilizado um método para a alocação das cargas referentes aos consumos de energia elétrica, água, detergentes, energia térmica e resíduos (fuligem, cinzas e plástico). O método selecionado foi o econômico. Essa escolha se baseou no frequente uso desse método em outros trabalhos com a mesma proposta (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013d; BERLIN, 2002). A equação 1 apresenta a fórmula matemática adotada para o cálculo dos fatores de alocação.

$$FA_{(econômico)} = \frac{[VE \times PR]_i}{\sum_{i=1}^n [VE \times PR]} \quad (1)$$

Para o qual: VE = valor econômico (R\$/kg), PR = produção (kg/ano), i = produto que se deseja obter o fator de alocação, n = número total de produtos fabricados.

**Figura 7** – Fronteiras do sistema.



Os fatores de alocação utilizados no estudo para cada um dos produtos avaliados são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Fatores de alocação utilizados no estudo, obtidos a partir do método econômico.

Produto	Produção <sup>a</sup> (kg/ano)	Valor econômico <sup>b</sup> (R\$/kg)	Fator de alocação
Manteiga	5556,16	14,00	4,58%
Iogurte	50301,00	3,50	10,37%
Requeijão	2084,86	20,00	2,46%
Queijo	66188,85	21,07	82,17%
Ricota <sup>c</sup>	875,98	8,00	0,41%
TOTAL	--	--	100%

<sup>a</sup>Valores referentes à produção na empresa durante o período de julho de 2014 à junho de 2015

<sup>b</sup>Baseado no valor médio de mercado do produto no período de março a setembro de 2015.

<sup>c</sup>Produto excluído da avaliação.

**Fonte:** Dados da pesquisa

Para a caracterização dos impactos ambientais foram selecionadas oito categorias de impacto, a saber: mudanças climáticas, depleção do ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de material particulado, depleção de água e depleção fóssil (Quadro 2).

**Quadro 2** – Descrição das categorias de impacto selecionadas para a avaliação ambiental da fabricação dos produtos lácteos.

Categoria de impacto	Descrição	Fator de caracterização
Mudanças climáticas	Modificações constatadas com o tempo sobre a temperatura dos oceanos e da camada de ar próxima à superfície da Terra, seu nível de precipitação, nebulosidade e outros fenômenos climáticos de causas antropogênicas.	kg CO <sub>2eq</sub>
Depleção do ozônio	Destruição catalítica do ozônio contido na estratosfera terrestre por meio da sua reação com cloro (Cl) e bromo (Br).	kg CFC-11 <sub>eq</sub>
Acidificação terrestre	Desequilíbrio químico, caracterizado pela redução do potencial hidrogeniônico (pH) do solo, devido à emissão de nitrogênio (N) e enxofre (S) para a atmosfera.	kg SO <sub>2eq</sub>
Eutrofização de água doce	Presença de excessiva quantidade de nutrientes, normalmente o fósforo (P), em massa de água doce, com consequente aumento da biomassa e redução do nível de oxigênio dissolvido.	kg P <sub>eq</sub>
Formação de oxidantes fotoquímicos	Poluentes secundários originados a partir da queima de combustíveis em presença de luz solar, que se concentram na troposfera terrestre, formando uma névoa ( <i>smog</i> ) fotoquímica.	kg NMVOC

(continua na próxima página)

**Quadro 2** (continuação)

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fator de caracterização</b>
Formação de material particulado	Formação de finas partículas sólidas, ou líquidos suspensos, dispersos no ar.	kg PM <sub>10eq</sub>
Depleção de água	Esgotamento dos recursos hídricos disponíveis.	m <sup>3</sup>
Depleção fóssil	Esgotamento de combustíveis fósseis que podem ser extraídos a partir de recursos convencionais.	kg oil <sub>eq</sub>

O cálculo das variâncias para cada um dos itens do inventário foi feito a partir da matriz de *pedigree*, conforme Weidema et al. (2013).

Dentro da proposta de avaliação foram admitidas cinco suposições:

- a) apenas o processamento do leite bovino foi considerado: produtos desenvolvidos a partir do leite bubalino foram excluídos da avaliação, assim como as suas respectivas entradas (matéria prima e ingredientes).
- b) a fabricação da ricota foi omitida da avaliação ambiental: houve dificuldades para mensurar e atribuir os recursos utilizados para a sua produção. Assim, optou-se por desconsiderar os impactos dele derivados.
- c) as oito variedades de queijo foram mescladas em uma única categoria: em razão da semelhança encontrada nas etapas de fabricação das diferentes variedades de queijo, todas as oito variedades produzidas na fábrica foram mescladas em um único produto a ser avaliado: queijo. Esta decisão traz algumas limitações ao estudo, como a anulação de possíveis variações no consumo de energia elétrica devido ao uso ou não da máquina de filagem e no tempo de maturação de algumas variedades de queijo que demandam um maior tempo de armazenamento na câmara fria antes da expedição, no entanto, foi uma consideração necessária pela inviabilidade de atribuir a cada variedade um consumo específico de recursos.
- d) os dois tipos de iogurte foram mesclados em uma única categoria: a mesma consideração descrita no item anterior foi feita na fabricação do iogurte integral e desnatado, formando o produto “iogurte”.
- e) não foram inclusos na avaliação os impactos devido à infraestrutura da fábrica, produção dos equipamentos e utensílios.

#### **4.5. Análise do inventário**

Entre os meses de fevereiro e setembro do ano de 2015 foi feito um levantamento quantitativo das entradas e saídas do sistema por meio de medições nas linhas de produção da fábrica, reuniões com a gerência e colaboradores e análise dos registros de produção (período de julho de 2014 a junho de 2015).

Quando necessário, as conversões de unidades tiveram como referência os valores de gravidade específica e massa específica, apresentados na base de dados para densidade FAO/Infoods (CHARRONDIERE; HAYTOWITZ; STADLMAYR, 2012).

A determinação do consumo de água e energia, relativos aos produtos avaliados, foi feita por meio dos talões de cobrança disponibilizados pela fábrica. Foram considerados os valores apresentados nestes talões, desde o mês de julho de 2014 a junho de 2015.

Para determinar a massa de madeira, primeiramente, foi calculada a sua densidade ( $274,35 \text{ kg/m}^3$ ). Posteriormente, foi feita a medição diária do volume de madeira no depósito da fábrica, estabelecendo a diferença entre o volume constatado no dia da aferição com o volume medido no dia anterior – ao todo foram feitas trinta medições em dias consecutivos. Os resultados foram convertidos em massa por meio da densidade.

O inventário da fabricação do iogurte, manteiga, queijo e requeijão são apresentados nos apêndices 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

#### **4.6. Avaliação de impacto**

As estimativas dos impactos ambientais foram feitas utilizando o *software* SimaPro, versão 8.0.5.13 (PRÉ CONSULTANTS, 2015). A partir deste *software*, as avaliações de impactos podem ser desenvolvidas de dois modos: no primeiro deles, o usuário alimenta o programa com dados onde são destacadas as emissões e suas quantificações, além das entradas e saídas identificadas na atividade avaliada; no segundo modo, a avaliação é desenvolvida a partir de algumas opções de inventários do ciclo de vida (ICV's) disponibilizadas pelo programa, denominadas de processos, baseadas em estudos de caso desenvolvidos em vários países. Nesses ICV's é apresentada a quantificação das possíveis emissões geradas a partir de uma determinada atividade, como a geração de energia elétrica ou produção de açúcar, por exemplo, separados em diversas bases de dados.

Para representar os itens quantificados na fabricação dos quatro produtos lácteos, treze processos foram selecionados (Quadro 3).

**Quadro 3** – Conjunto de processos selecionados no *software* SimaPro para a avaliação dos impactos ambientais associados à fabricação do iogurte, manteiga, queijo e requeijão.

Item	Processo	Base de dados <sup>a,b</sup>	
Energia térmica (madeira)	Wood waste, unspecified, combusted in industrial boiler/US	USLCI	
Energia elétrica	Electricity, medium voltage {BR}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3	
Detergente ácido	Nitric acid, without water, in 50% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3	
Agentes de limpeza	Detergente alcalino	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Hipoclorito de sódio	Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Embalagem e rótulo	Garrafas em PEAD	HDPE bottles E	Industry data 2.0
	Plástico leitoso	Packaging film, low density polyethylene {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Potes de polipropileno	Polypropylene injection moulding E	Industry data 2.0
	Filme BOPP	Oriented polypropylene film E	Industry data 2.0
	Filme termoencolhível	Packaging film, low density polyethylene {RoW}  production   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Ingredientes	Açúcar	Sugar, from sugarcane {BR}  cane sugar production with ethanol by-product   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Cloreto de sódio	Sodium chloride, powder {GLO}  market for   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Água	Tap water {RoW}  tap water production, conventional treatment   Alloc Def, U	Ecoinvent 3	

<sup>a</sup><http://www.ecoinvent.org/>

<sup>b</sup>U.S. Life Cycle Inventory Database (2012). National Renewable Energy Laboratory, 2012. Accessed March 07, 2016: <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>

Para a modelagem dos impactos ambientais foi selecionado o método ReCiPe Midpoint, versão 1.12, com modelo hierárquico (GOEDKOOPE et al., 2013). O objetivo deste método é associar as emissões e suas quantificações a indicadores específicos de impactos ambientais. Estes indicadores dividem os impactos em várias categorias a depender do método de modelagem utilizado, sendo que, para cada um deles, estará vinculado um fator de conversão que transforma os valores de emissões em potencial para a geração de determinado impacto ao meio ambiente.



O método ReCiPe Midpoint compreende dezoito categorias de impactos de ponto médio (*midpoint*), dos quais, neste estudo, foram consideradas oito: mudanças climáticas, depleção do ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de material particulado, depleção de água e depleção fóssil. As categorias de impacto excluídas foram: eutrofização marinha, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, radiação ionizante, ocupação da terra pela agricultura, ocupação do solo urbano, transformação natural da terra e depleção de metal.

Em toda a avaliação, os impactos derivados da infraestrutura (edificações, instalações, construção e manutenção de equipamentos e utensílios) não foram contabilizados. Para a apresentação dos resultados apenas a etapa de caracterização foi admitida. Etapas opcionais, como a normalização, não foram desenvolvidas. Admitiu-se um ponto de corte do nó (*cut-off*) de 1%, sendo que o efeito cumulativo das substâncias restantes não excedeu 6% de contribuição.

#### 4.6.1. Comparação entre diferentes combustíveis para a geração de energia térmica

Na fábrica de laticínios avaliada, o combustível majoritariamente utilizado na caldeira é o resíduo de madeira. Este resíduo é doado por uma empresa de calçados próxima à fábrica. Em situações pouco frequentes, quando há indisponibilidade desse tipo de combustível, utilizava-se a lenha de eucalipto ou pinho, ambos obtidos comercialmente.

Considerando as possíveis fontes de combustível que podem ser utilizadas em caldeiras para obtenção de energia térmica, o estudo buscou comparar o desempenho ambiental dos combustíveis utilizados na fábrica (lenha e resíduo de madeira) com outras fontes passíveis de serem utilizadas para a geração de energia (a saber: o óleo combustível e gás natural). Para isso, foi desenvolvido um estudo de sensibilidade no *software* SimaPro, versão 8.0.5.13 (PRé CONSULTANTS, 2015), considerando quatro avaliações de impacto, cada uma delas correspondente a um combustível. Em todas as avaliações, os processos e valores inerentes às demais entradas e saídas dos processos de fabricação, tais como, a energia elétrica, agentes de limpeza, embalagem e rótulo, ingredientes e água foram os mesmos; a única modificação encontra-se no processo utilizado para descrever a energia térmica (Quadro 4).

**Quadro 4** – Conjunto de processos selecionados no *software* SimaPro para a comparação do desempenho ambiental de diferentes combustíveis.

Item	Processo	Base de dados <sup>a,b</sup>
Resíduo de madeira (combustível padrão)	Wood waste, unspecified, combusted in industrial boiler/US	USLCI
Lenha	Heat, central or small-scale, other than natural gas {RoW}  heat production, mixed logs, at furnace 100kW   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Óleo combustível	Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW}  heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Gás natural	Heat, district or industrial, natural gas {RoW}  market for heat, district or industrial, natural gas   Alloc Def, U	Ecoinvent 3

<sup>a</sup><http://www.ecoinvent.org/>

<sup>b</sup>U.S. Life Cycle Inventory Database (2012). National Renewable Energy Laboratory, 2012. Accessed March 07, 2016: <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>

Nas quatro avaliações o método utilizado foi o ReCiPe Midpoint, versão 1.12, com modelo hierárquico (GOEDKOOPE et al., 2013). As categorias de impacto selecionadas foram: mudanças climáticas, depleção do ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de material particulado, depleção de água e depleção fóssil.

Em toda a avaliação foi admitido um ponto de corte do nó (*cut-off*) de 1%, sendo que o efeito cumulativo das substâncias restantes não excedeu 6% de contribuição.

#### 4.6.2. Contribuição da fase de processamento sob a perspectiva do ciclo de vida dos produtos lácteos

Tão importante quanto determinar os *hotspots* associados ao processamento é visualizar a sua representatividade diante das demais fases que compõem a cadeia produtiva do leite e derivados. Pensando nisso, foram simulados no *software* SimaPro, versão 8.0.5.13 (PRÉ CONSULTANTS, 2015), os impactos inerentes a cadeia de produção dos quatro derivados lácteos (iogurte, manteiga, queijo e requeijão). Nessa simulação foram utilizados os dados coletados na fábrica de laticínio e inventários do ciclo de vida (ICV's) da fase de obtenção do leite cru de outros estudos de caso contidos nas bases de dados do programa SimaPro.

As fases após o processamento, como a distribuição, consumo e disposição final não foram consideradas. Segundo Hospido, Moreira e Feijoo (2003), essas fase são normalmente omitidas nos estudos de impacto no ciclo de vida do leite, uma vez que possuem baixa representatividade diante das fases de obtenção da matéria prima e processamento.

Ao todo, quatro avaliações de impacto foram desenvolvidas, compostas por combinações entre dois diferentes tipos de solo onde o leite cru pode ser obtido (solo arenoso e solo argiloso) e dois tipos de combustíveis que podem ser utilizados na caldeira para a geração de energia térmica (resíduo de madeira e lenha):

- a) Fazenda de solo arenoso/lenha como combustível
- b) Fazenda com solo arenoso/resíduo de madeira como combustível
- c) Fazenda com solo argiloso/lenha como combustível
- d) Fazenda com solo argiloso/resíduo de madeira como combustível

Os processos e bases de dados selecionados no *software* para a avaliação de impacto são apresentadas no Quadro 5.

**Quadro 5** – Conjunto de processos selecionados para avaliar a contribuição da fase de processamento sobre os impactos ambientais gerados no ciclo de vida do leite.

	<b>Item</b>	<b>Processo</b>	<b>Biblioteca<sup>a,b,c</sup></b>
Obtenção do leite cru	fazenda com solo arenoso	Milk (farm type 16)	LCA Food DK
	fazenda com solo argiloso	Milk (farm type 4)	LCA Food DK
Geração de energia térmica	Lenha	Heat, central or small-scale, other than natural gas {RoW}  heat production, mixed logs, at furnace 100kW   Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Resíduo de madeira (combustível padrão)	Wood waste, unspecified, combusted in industrial boiler/US	USLCI

<sup>a</sup><http://www.ecoinvent.org/>

<sup>b</sup>U.S. Life Cycle Inventory Database (2012). National Renewable Energy Laboratory, 2012. Accessed March 07, 2016: <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>

<sup>c</sup>Nielsen, P.H., Nielsen, A.M., Weidema, B.P., Dalgaard, R. and Halberg, N. (2003). LCA food data base. [www.lcafood.dk](http://www.lcafood.dk).

Em todas as avaliações, os processos e valores inerentes às demais entradas e saídas dos processos de fabricação, tais como, energia elétrica, agentes de limpeza, embalagem e rótulo, ingredientes e água foram os mesmos.

O método utilizado para a avaliação de impactos foi o ReCiPe Midpoint, versão 1.12, com modelo hierárquico (GOEDKOOPE et al., 2013). As categorias de impacto selecionadas foram: mudanças climáticas, depleção do ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de material particulado, depleção de água e depleção fóssil.

Em todas as avaliações foi admitido um ponto de corte do nó (*cut-off*) de 1%, sendo que o efeito cumulativo das substâncias restantes não excedeu 6% de contribuição.

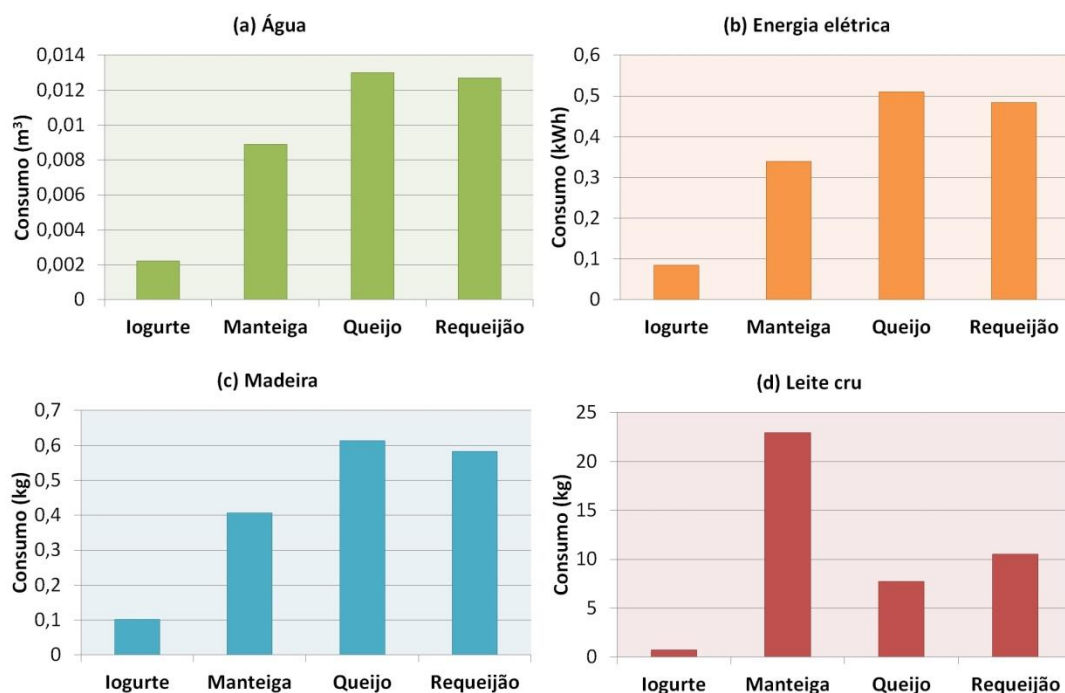
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise do inventário

Dos produtos avaliados, a manteiga é o produto que necessita da maior quantidade de leite para ser fabricado. Este fato se deve ao baixo rendimento de extração do creme, principal ingrediente utilizado na sua fabricação, que foi, em média, de 6% da massa do leite. Em contrapartida, o iogurte foi o processo que requisitou a menor quantidade de leite, pois, além de ter o próprio leite cru como principal ingrediente, a sua fabricação não fornece subprodutos.

Ao considerar itens comuns utilizados na fabricação dos quatro produtos, como a água, energia elétrica e madeira para a geração de energia térmica, houve uma tendência de variação uniforme entre os produtos (Figura 8). Por exemplo, independente do item analisado – água, energia elétrica ou madeira – a variação de consumo entre a manteiga e o requeijão foi de 30% e entre o queijo e o requeijão de 5%. Esta tendência se deve ao método utilizado para a alocação, isto porque, como o consumo relativo a cada produto é guiado por um fator constante, as variações de consumo em cada um dos itens se tornarão, por consequência, similares.

**Figura 8** – Consumo de leite cru bovino, água potável, eletricidade e madeira, necessários para a fabricação dos produtos.



A fabricação do queijo foi o maior consumidor de água, energia elétrica e madeira por quilograma de produto fabricado. De fato, pode haver uma forte influência do volume de produção anual e do valor de mercado do produto, maior em ambos os casos e determinante para o cálculo do fator de alocação, sobre estes resultados; no entanto, é importante observar alguns pontos do processo que podem justificar este nível de consumo.

O primeiro destes pontos diz respeito à exigência da geração de energia térmica em um maior número de etapas durante a fabricação do queijo, quando comparado aos demais produtos. Necessário em quatro das doze etapas de fabricação (tratamento térmico, coagulação, mexedura e filagem), esta demanda pode justificar o seu maior consumo de madeira para a geração de energia térmica e de água para a produção de vapor nas linhas de processo.

O segundo ponto tem como referência o volume de produção anual do queijo, que corresponde a mais de 50% do total de produtos fabricados no laticínio. Este alto volume de produção pode levar a um alto consumo médio de água para a limpeza dos equipamentos e utensílios utilizados, além de requisitar uma maior atividade das bombas de transporte do leite – equipamentos que necessitam de eletricidade para o funcionamento – e ocupar maiores volume na câmara fria durante a armazenagem do produto.

## **5.2. Avaliação de impacto**

Em termos de potencial para a geração de impactos ambientais, e levando em consideração as categorias de impacto selecionadas para este estudo, dentre os produtos avaliados, o queijo e a manteiga foram aqueles que expuseram o maior potencial impactante.

O queijo apresentou os maiores valores nas categorias *depleção do ozônio*, *eutrofização de água doce*, *formação de oxidantes fotoquímicos*, *formação de material particulado e depleção de água*; já a manteiga apresentou os maiores valores nas categorias de *mudanças climáticas*, *acidificação terrestre* e *depleção fóssil*, quando comparado aos demais derivados lácteos.

O iogurte, por outro lado, apresentou o menor potencial para a geração de impactos em cinco categorias de impacto, a saber: *mudanças climáticas*, *depleção do ozônio*, *eutrofização de água doce*, *formação de material particulado* e *depleção de água* (Tabela 2).

**Tabela 2** – Avaliação dos impactos ambientais associados à fabricação do iogurte, manteiga, queijo e requeijão para cada categoria de impacto selecionada para o estudo.

<b>Categorias de impacto*</b>	<b>Unidade</b>	<b>Iogurte</b>	<b>Manteiga</b>	<b>Queijo</b>	<b>Requeijão</b>
MC	kg CO <sub>2eq</sub>	0,150	0,243	0,172	0,165
DO	kg CFC-11 <sub>eq</sub>	1,76E-08	6,52E-08	9,94E-08	9,37E-08
AT	kg SO <sub>2eq</sub>	1,00E-03	1,14E-03	1,03E-03	9,62E-04
EAD	kg P <sub>eq</sub>	1,02E-05	2,14E-05	3,25E-05	2,83E-05
FOF	kg NMVOC	1,12E-03	1,05E-03	1,17E-03	1,11E-03
FMP	kg PM10 <sub>eq</sub>	5,80E-04	1,36E-03	1,79E-03	1,70E-03
DA	m <sup>3</sup>	0,013	0,020	0,027	0,026
DF	kg oil <sub>eq</sub>	0,081	0,094	0,038	0,040

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

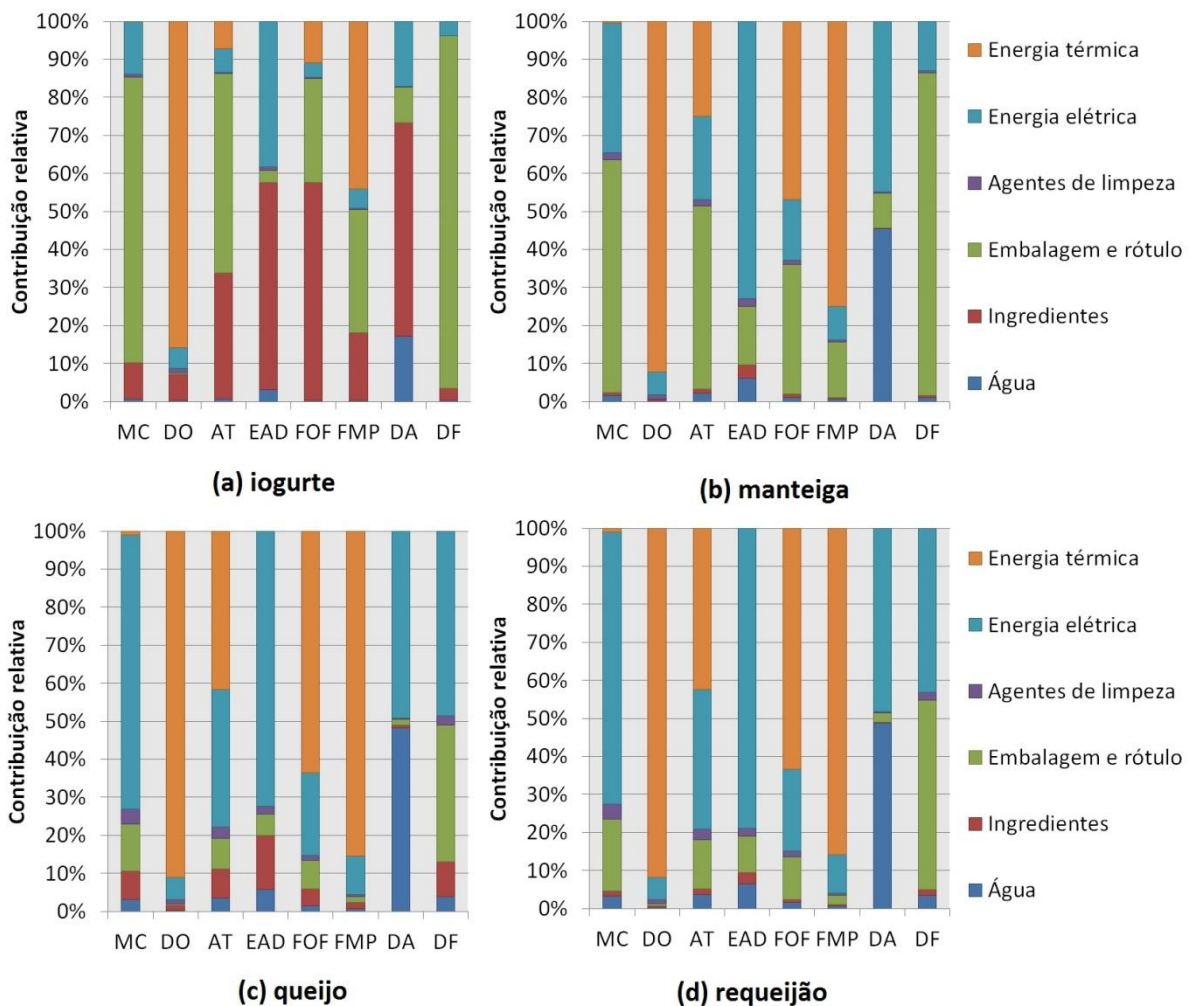
Ao avaliar as categorias de impacto individualmente, os maiores contribuintes para a categoria mudanças climáticas (MC) foram: a produção da embalagem e rótulo – em especial a garrafa de polietileno de alta densidade (PEAD), utilizada na fabricação do iogurte, o pote de polipropileno (PP), utilizado na fabricação da manteiga, e a embalagem de polietileno de baixa densidade (PEBD), utilizada na fabricação do queijo e requeijão –, a produção de ingredientes – com maior ênfase sobre a produção de açúcar, ingrediente usado na fabricação do iogurte – e a geração de energia elétrica. O nível de contribuição destes itens na categoria de impacto variou segundo o produto em questão (Figura 9).

Na produção das embalagens e rótulos, a fonte associada à sua contribuição encontra-se nas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). As emissões de CO<sub>2</sub> são liberadas durante a queima de combustíveis fósseis (óleo combustível, gás natural e carvão); já as emissões de CH<sub>4</sub> são exaladas naturalmente nas jazidas de carvão e regiões petrolíferas durante a extração dos combustíveis ou de suas matérias primas (petróleo, no caso do óleo combustível).

Na produção dos ingredientes e na geração de energia elétrica, a fonte associadas à sua contribuição é a mesma: a geração de energia elétrica. Tal geração de energia é necessária tanto na fabricação do produto lácteo, alimentando os equipamentos utilizados para o processamento do leite, quanto para alimentar o sistema de irrigação das plantações de cana-de-açúcar, matéria prima para a produção do açúcar. Na simulação desenvolvida a partir do *software* SimaPro, o inventário do ciclo de vida (ICV) selecionado para representar a geração de energia elétrica no Brasil é composto por um *mix* de combustíveis, onde estão inclusos: o

linhito, o carvão, a hulha, o coque, o bagaço de cana-de-açúcar, o gás natural e a energia hidráulica. Contudo, nesta categoria de impacto, a contribuição da geração de energia elétrica foi direcionada pelas emissões de CO<sub>2</sub> de fonte fóssil, o que faz deduzir que esta geração foi feita a partir de um combustível fóssil. No Brasil, contudo, a principal forma de geração de energia elétrica é a partir da energia hidráulica. Desse modo, esse resultado deve ser interpretado com cuidado, porque pode não refletir o cenário brasileiro.

**Figura 9** – Resultado (em %) associado à fabricação do iogurte, manteiga, queijo e requeijão para cada categoria de impacto considerada no estudo.



Significado dos acrônimos: MC = mudanças climáticas, DO = depleção do ozônio, AT = acidificação terrestre, EAD = eutrofização de água doce, FOF = formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = formação de material particulado, DA = depleção de água e DF = depleção fóssil.

Na categoria depleção do ozônio (DO), o maior contribuinte, independente do produto em questão, foi a geração de energia térmica. Este nível de contribuição está associado a



emissões de CFC-10 (tetracloroeto de carbono) para o ar, um composto normalmente utilizado como agente extintor. Assim, deduz-se que a contribuição para a categoria esteja no fato de a casa de caldeira exigir a aquisição de um extintor e sua recarga periódica, uma vez que esta é uma atividade perigosa e susceptível a incêndios e explosões.

Na categoria acidificação terrestre (AT), os maiores contribuintes foram: a produção da embalagem e rótulo – em especial a garrafa de polietileno de alta densidade (PEAD) e o pote de polipropileno (PP), – a produção dos ingredientes – com ênfase na produção do açúcar – e a geração das energias térmica e elétrica.

As fontes associadas à produção das embalagens e à geração de energia elétrica são as emissões de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) para o ar, produto da oxidação de impurezas sulfurosas existentes na maior parte dos carvões e petróleo, e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) para o ar, gerados na queima de combustíveis fósseis para a geração de energia. A presença de partículas ricas em enxofre e nitrogênio na atmosfera pode promover a formação de ácidos fortes que se depositarão no solo por meio das chuvas ácidas, alterando o pH natural do solo.

As fontes associadas à produção do açúcar são as emissões de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) para o ar. As emissões de  $\text{NH}_3$  estão associadas ao uso de fertilizantes nitrogenados, como sulfato de amônio, nitrato de amônio, ureia e fosfatos de amônio; já as emissões de  $\text{NO}_x$  podem estar associadas a queima da palha de cana-de-açúcar, uma prática comum nos canaviais para facilitar as operações de colheita e limpeza das folhas secas.

As fontes associadas à geração de energia térmica são as emissões de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e monóxido de carbono (CO) para o ar, provenientes da oxidação do nitrogênio presente no ar e do carbono presente na madeira a altas temperaturas.

As fontes associadas a geração de energia elétrica são as emissões de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ). As emissões de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$  são formadas a partir da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia; já as emissões de  $\text{NH}_3$  são formadas a partir da queima de bagaço de cana-de-açúcar, também utilizada na geração de eletricidade.

Na categoria eutrofização de água doce (EAD), os maiores contribuintes foram: a produção da embalagem de polipropileno (PP), a produção dos ingredientes – em especial a produção do açúcar – e a geração de energia elétrica.

As fontes associadas à produção do açúcar e à produção da embalagem de polipropileno são as emissões de fósforo (P) para a água, originada tanto através do uso de fertilizantes fosforados, quanto pelo descarte impróprio da vinhaça, um subproduto gerado na

produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, que contém altas doses de nitrogênio, fósforo, sulfatos e cloretos.

As fontes associadas à geração de energia elétrica são as emissões de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) para a água, provenientes da mineração do linhito, uma variedade de carvão utilizada como combustível para a geração de eletricidade. Possivelmente, estas emissões são originadas a partir dos rejeitos do processo de mineração que são depositados em locais inadequados e acabam sendo carregados pela água da chuva até os rios. Estes rejeitos possuem alto conteúdo de minério que, por sua vez, podem causar o assoreamento e o desequilíbrio do ecossistema aquático através do excesso de nutrientes na água.

Na categoria de impacto formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), os maiores contribuintes foram: a produção dos ingredientes – em especial a produção do açúcar –, a produção da embalagem e rótulo – em especial a garrafa de polietileno de alta densidade (PEAD) e o pote de polipropileno (PP) – e a geração das energias térmica e elétrica.

As fontes associadas à produção de açúcar são as emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ). Ambas são geradas na queima da palha de cana-de-açúcar, nas épocas de colheita. Na presença de luz, ambos os compostos, quando presentes na troposfera, formam o ozônio, gás que pode prejudicar tanto o ecossistema quanto à saúde humana (por estar associado a doenças respiratórias) devido à formação da névoa (*smog*) fotoquímica no ambiente.

As fontes associadas à produção das garrafas de PEAD são as emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), provenientes da queima de combustíveis fósseis para a obtenção de energia; na produção do pote de polipropileno, as fontes estão associadas às emissões de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), também provenientes da queima de combustíveis fósseis para a obtenção de energia.

As fontes associadas à geração de energia térmica são as emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), provenientes da queima de madeira na caldeira.

A fonte associada à geração de energia elétrica são as emissões de monóxido de carbono (CO), gerados durante a queima do bagaço de cana-de-açúcar e do gás natural para a geração de energia.

Na categoria de impacto formação de material particulado (FMP), os maiores contribuintes foram: a geração das energias térmica e elétrica, a produção das embalagens de polietileno de alta densidade (PEAD) e de polipropileno (PP) e a produção dos ingredientes – em especial o açúcar.

As fontes associadas à geração de energia térmica foram as emissões de partículas com diâmetro entre 2,5 µm e 10 µm (finas e inaláveis), provenientes da queima incompleta da madeira, e de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) para o ar.

As fontes associadas à geração de energia elétrica são as emissões de partículas com diâmetro menor que 2,5 µm e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), produto da oxidação de impurezas sulfurosas existentes na maior parte dos carvões e petróleo.

As fontes associadas à produção da embalagem de PEAD e de PP são as emissões de partículas com diâmetro menor que 10 µm e menor que 2,5 µm, além das emissões de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) relacionados à queima de combustível fóssil para a geração de energia.

As fontes associadas à produção de açúcar foram as emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), provenientes da queima da palha de cana-de-açúcar durante a colheita e do bagaço para a geração de energia elétrica.

Na categoria de impacto depleção de água (DA), os maiores contribuintes foram: a produção dos ingredientes – em especial o açúcar –, o consumo de água para uso nos processos de fabricação dos produtos lácteos e a geração de energia elétrica.

Na produção do açúcar, o esgotamento dos recursos hídricos ocorre pelo consumo de água (de rios e subterrâneo), necessário para a irrigação das plantações de cana-de-açúcar. A mesma fonte associa-se à geração de energia elétrica, que, nesse caso, é feita a partir da queima do bagaço da cana.

Na fábrica de laticínios, a demanda de água para as operações de limpeza e atividades relativas aos seus processos, como na lavagem da manteiga ou padronização do creme, por exemplo, requisita a captação e tratamento da água dos rios, contribuindo para o seu esgotamento.

Na categoria de impacto depleção fóssil (DF), os maiores contribuintes foram: a produção da embalagem de PEAD, PP e PEBD (filme termoencolhível) e a geração de energia elétrica.

A produção das embalagens de PEAD, PP e PEBD exigiram o consumo de energia proveniente de óleo combustível, gás natural e carvão, tanto para a produção do polietileno granulado (matéria prima da garrafa em PEAD e PEBD), quanto na extrusão das embalagens.

A geração da energia elétrica exigiu o consumo de combustíveis fósseis, como o gás natural, o óleo bruto e o carvão.

Diante de todas as categorias de impacto citadas, dois fatores devem ser pontuados. O primeiro deles, conforme já foi explicado anteriormente, é o cuidado na interpretação dos

impactos relativos ao consumo de energia elétrica. No *software* SimaPro, o processo selecionado, que simula a geração de energia elétrica no Brasil, estabelece um *mix* de combustíveis, onde estão inclusos: o linhito, o carvão, a hulha, o coque, o bagaço de cana-de-açúcar, o gás natural e a energia hidráulica. No entanto, a principal base de suprimento energético do Brasil é a energia hidráulica. Segundo o Balanço Energético Nacional, a oferta interna de energia elétrica no ano de 2014 foi composta por 65,2% de energia hidráulica, 13% pela energia proveniente do gás natural, 7,3% pela queima de biomassa, 6,9% por derivados do petróleo, 3,2% pelo carvão e derivados, 2,5% pela energia nuclear e 2,0% pela energia eólica (Empresa de Pesquisa Energética, 2015).

O segundo ponto é a existência, na fábrica, de um sistema para a coleta de fuligem (porção da madeira não queimada na caldeira). A presença desse sistema pode reduzir sobremaneira a formação de material particulado para o ar, reduzindo os impactos inerentes a esta categoria.

Ao verificar os resultados apresentados na literatura científica, González-García et al. (2013a) descreveu a geração de energia elétrica como um importante *hotspot* da fabricação de uma variedade de queijo DOP (com denominação de origem protegida) na Espanha. Segundo os autores, a geração de energia elétrica foi responsável por 20% das emissões que promovem o aquecimento global e 29% das emissões que promovem a acidificação da água e solo, constatados na fase de processamento do queijo.

Djekic et al. (2014), ao avaliarem sete indústrias de laticínios localizadas na Sérvia, também citaram o consumo de energia como principal aspecto ambiental da fabricação do leite (pasteurizado e UHT), iogurte, creme, manteiga e queijo. Entre os produtos considerados no estudo, o queijo foi o que demandou a maior quantidade de energia para ser fabricado.

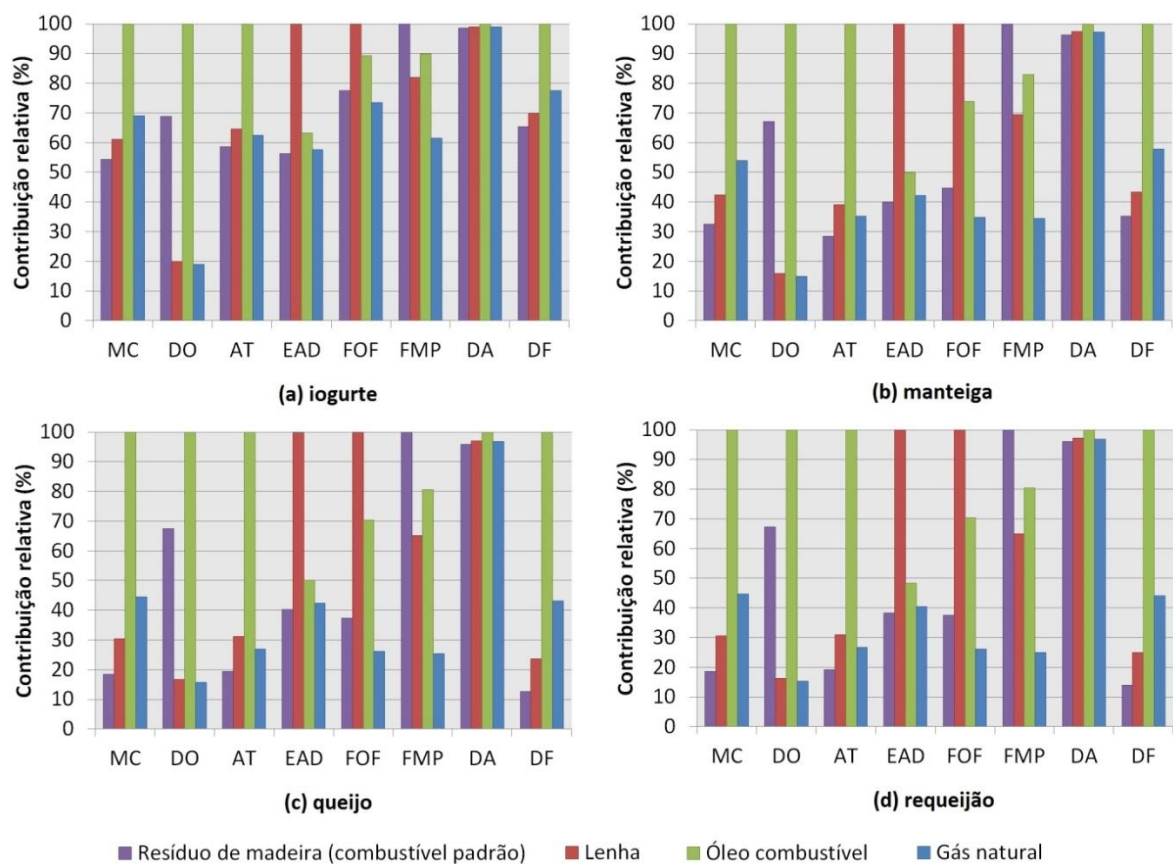
González-García et al (2013d), citaram como principal aspecto ambiental da fabricação de queijo em Portugal a geração das energias térmica e elétrica. Segundo os resultados obtidos pelos autores, os níveis de contribuição para ambos os processos contribuiu em 74% para a depleção dos recursos abióticos, em 37% para a acidificação da água e do solo e em 49% para promover o aquecimento global; na fábrica avaliada a energia térmica era obtida a partir do óleo combustível.

González-García et al. (2013b), ao avaliar a fabricação do iogurte fabricado em Portugal, citaram a produção da embalagem de polietileno de alta densidade (PEAD) como um dos principais *hotspots*. Segundo os autores, as emissões originadas na fabricação do poliestireno e polietileno de alta densidade contribuíram em até 41% para a depleção do ozônio estratosférico.

### 5.2.1. Comparação entre diferentes combustíveis para a geração de energia térmica

O uso do óleo combustível elevou de forma mais acentuada os valores das categorias de impacto mudanças climáticas (MC), depleção do ozônio (DO), acidificação terrestre (AT) e depleção fóssil (DF) quando comparado ao resíduo de madeira (Figura 10).

**Figura 10** – Comparação entre quatro diferentes tipos de combustíveis que podem ser utilizados na fabricação do iogurte, manteiga, queijo e requeijão para a geração de energia térmica.



Significado dos acrônimos: MC = mudanças climáticas, DO = depleção do ozônio, AT = acidificação terrestre, EAD = eutrofização de água doce, FOF = formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = formação de material particulado, DA = depleção de água e DF = depleção fóssil.

Na categoria MC, a substituição pelo óleo combustível elevou as emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de fonte fóssil, proveniente da oxidação do carbono presente na sua composição a altas temperaturas; na categoria DO, a substituição elevou as emissões de Halon 1301 (bromotrifluormetano) para o ar; na categoria AT, a utilização do óleo combustível elevou as emissões de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) para o ar, resultado da oxidação das pequenas

quantidades de enxofre presentes no óleo quando queimado; já na categoria DF, a utilização do óleo bruto elevou o potencial para depleção fóssil.

O uso do combustível lenha elevou, principalmente, os valores das categorias eutrofização de água doce (EAD) e formação de oxidantes fotoquímicos (FOF). No primeiro caso, a uso da lenha elevou os níveis de fósforo (P) para o solo, que pode ser explicada pelo uso das cinzas de madeira como fertilizante. Por carregar consigo compostos como o magnésio, potássio, fósforo e cálcio, a utilização de cinzas pode ser uma alternativa para nutrir o solo. No entanto, as cinzas podem ser carregadas por meio da chuva para corpos d'água tendo, desse modo, um potencial de eutrofização a ele associado. Na categoria FOF, a utilização de lenha elevou os níveis de compostos orgânicos voláteis não-metano de fonte não especificada para o ar. Este grupo de compostos é formado pelos hidrocarbonetos totais menos a parcela correspondente ao metano.

Na categoria formação de material particulado (FMP) todos os combustíveis alternativos (óleo combustível, gás natural e lenha) apresentaram reduções nas emissões de partículas para o ar quando comparado ao padrão (resíduo de madeira). É importante ressaltar, contudo, que na fábrica existe um sistema para coleta de fuligem, o que pode proporcionar reduções nos índices desta categoria de impacto no uso dos resíduos de madeira. Entre os combustíveis, o gás natural foi aquele que apresentou o menor índice, reflexo da sua composição. Por seu componente principal ser o metano, e não conter condensados ou partículas, o gás natural mistura-se facilmente com o ar e promove a sua total combustão.

Ainda a respeito do gás natural, exceto nas categorias mudanças climáticas (MC) e depleção fóssil (DF), o seu desempenho ambiental foi similar e, em alguns casos, melhor que o do combustível padrão, fornecendo indícios de que esta é uma opção viável do ponto de vista ambiental para substituir os resíduos de madeira. Em contrapartida, é preciso ter ciência dos benefícios econômicos e ambientais do uso dos resíduos de madeira.

O primeiro ponto que pode ser citado a favor do uso dos resíduos de madeira é a economia. Como a madeira é doada à fábrica, a sua viabilidade econômica é a maior entre os quatro combustíveis avaliados.

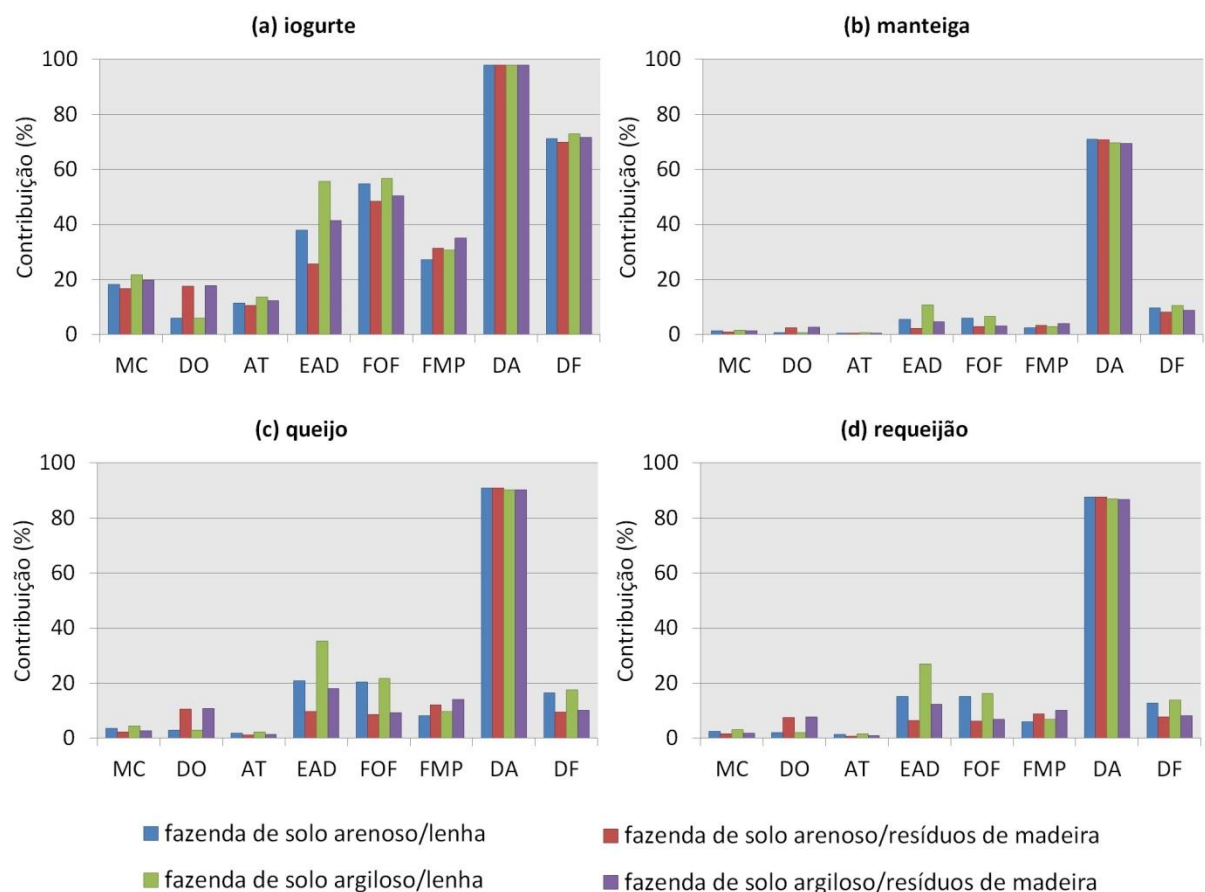
O segundo ponto é a reutilização dada pela fábrica a algo que antes era um resíduo industrial. Como a fonte de obtenção da madeira são restos de paletes doados por uma indústria de calçados, a sua incineração e disposição final aparenta ser um destino viável do ponto de vista ambiental. Mas, claro, essa é uma hipótese que necessita de confirmação, porque todo o processo de queima, os resíduos gerados e emissões podem proporcionar impactos semelhantes ou maiores que a disposição a céu aberto. Fato importante dentro desse

contexto é que a utilização dos resíduos reduz a quantidade de madeira que seria extraída das florestas caso fosse utilizada a lenha como combustível.

### 5.2.2. Contribuição da fase de processamento sob a perspectiva do ciclo de vida dos produtos lácteos

Entre as categorias de impacto avaliadas, aquela que teve maior contribuição da fase de processamento, independente do produto, foi a depleção de água (DA) (Figura 11). Na fabricação do iogurte, a contribuição sobre a categoria depleção fóssil (DF) também foi notável, com percentuais entre 60 e 80%.

**Figura 11** – Contribuição da fase de processamento dos produtos lácteos, sob a perspectiva do ciclo de vida, em relação às categorias selecionadas para a avaliação ambiental.



Significado dos acrônimos: MC = mudanças climáticas, DO = depleção do ozônio, AT = acidificação terrestre, EAD = eutrofização de água doce, FOF = formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = formação de material particulado, DA = depleção de água e DF = depleção fóssil.

Nas categorias mudanças climáticas (MC), depleção do ozônio (DO) e acidificação terrestre (AT) as contribuições da fase de processamento se apresentaram abaixo de 20% em todos os produtos. Nas demais categorias, a fabricação do iogurte atribuiu um maior potencial de impacto à fase de processamento, apresentando as maiores contribuições.

É importante notar que, dentre os produtos avaliados, o iogurte foi aquele que necessitou da menor quantidade de leite cru para ser fabricado (0,756 kg de leite/kg de iogurte), enquanto a manteiga foi o que necessitou das maiores quantidades (22,95 kg de leite/kg manteiga). Isto pode explicar o maior nível de contribuição da fase de processamento na fabricação do iogurte, pois, se os impactos do ciclo de vida dos produtos são orientados segundo a obtenção do leite cru e o iogurte demanda uma menor quantidade de leite no seu processo de fabricação quando comparado aos demais produtos, a contribuição da fase de extração da matéria prima (leite cru) será reduzida, proporcionando maior representatividade aos impactos derivados das demais fases do ciclo de vida.



## 6. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi identificar e avaliar os pontos críticos ambientais (*hotspots*) associados à fabricação de alguns derivados lácteos sob a perspectiva do ciclo de vida. As principais conclusões obtidas no estudo foram:

- a) A fabricação do iogurte apresentou o melhor desempenho ambiental nas categorias de impacto selecionadas quando comparado aos demais produtos lácteos.
- b) De forma geral, os principais *hotspots* da fabricação dos produtos lácteos foram: a geração das energias térmica e elétrica, a produção das embalagens (PEAD, PP e PEBD), o consumo de água na fábrica para as atividades de processamento e a produção do açúcar, ingrediente utilizado na fabricação do iogurte.
- c) Dos combustíveis que podem ser utilizados para a geração de energia térmica na fábrica de laticínio, os que apresentaram o melhor desempenho ambiental foram: o resíduo de madeira e o gás natural.
- d) Sob a perspectiva do ciclo de vida dos produtos lácteos, o principal ponto de controle da fase de processamento é o consumo de água.

O estudo demonstrou que, assim como descrito na literatura, a fase de processamento é um importante ponto crítico ambiental no ciclo de vida do leite. No entanto, a obtenção do leite cru (matéria prima de fabricação dos produtos) é a fase com o maior potencial de impactos ao meio ambiente. Assim, é necessário integrar estratégias que visem um menor desperdício do leite na fábrica, evitando perdas (por meio de derramamentos acidentais ou transbordamentos, por exemplo) durante a sua manipulação.

Programas de pré-requisito de qualidade adotados na indústria para a segurança do alimento (como as BPF's, POP, PPHO, etc) são alternativas que podem auxiliar no controle de perdas de leite e de alguns recursos, por padronizarem os procedimentos e evitar perdas de produto por contaminação. Outras opções podem, também, estar na pesquisa e desenvolvimento de novos ingredientes para substituir parcialmente a utilização do leite na fabricação de produtos lácteos ou mesmo priorizar a utilização de leite com alto teor de nutrientes.

É importante destacar algumas ações já estabelecidas na empresa para uma produção com menor agressão ao meio ambiente, tais como, o sistema acoplado à caldeira para a separação da fuligem, o que evita a emissão de partículas para o ar; a utilização de resíduos de madeiras de outras indústrias para a geração de energia térmica, o que evita a extração de

madeira para cumprir o mesmo objetivo; e a reciclagem dos resíduos de plástico produzidos durante as atividades de processamento.

Uma questão a se pensar é o destino do soro e do leiteiro, subprodutos da fabricação do queijo, requeijão e manteiga. No esquema de produção da fábrica, ambos os resíduos são destinados à alimentação animal. Do ponto de vista ambiental esta é uma rota viável, pois evita o seu descarte no meio ambiente sem um tratamento prévio, no entanto, esta forma de deposição não traz um benefício econômico para a empresa. Possíveis alternativas de reutilização seriam: a fabricação de bebidas lácteas fermentadas, produção de concentrados ou de produtos em pó. Contudo, é necessário, além de um estudo de viabilidade econômica, um estudo de viabilidade ambiental, pois em todos os casos seriam necessários o uso de recursos, como energia e embalagens.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSSON, K.; OHLSSON, T.; OLSSON, P. Life cycle assessment (LCA) of food products and production systems. **Trends in Food Science & Technology**, v. 5, n. 5, p. 134-138, 1994.
- BEAUCHEMIN, K. A.; JANZEN, H. H.; LITTLE, S. M.; MCALLISTER, T. A.; MCGINN, S. M. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 6, p. 371-379, 2010.
- BERLIN, J. Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. **International Dairy Journal**, v. 12, n. 11, p. 939-953, 2002.
- BLENGINI, G. A.; BUSTO, M. The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 3, p. 1512-1522, 2009.
- BAHIA. Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução CEFRAM n° 3.925, de 30 de janeiro de 2009. Dispõe sobre o Programa Estadual de Gestão Ambiental compartilhada com fins ao fortalecimento da gestão ambiental, mediante normas de cooperação entre os Sistemas Estadual e Municipal de meio ambiente, define as atividades de impacto ambiental local para fins de exercício da competência do licenciamento ambiental municipal e dá outras providências. Diário Oficial do Estado da Bahia, 04 de março de 2009.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal**, Rio de Janeiro, v.42, p.15-16, 2014. ISSN 0101-4234.
- CEDERBERG, C.; STADIG, M. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 8, n. 6, p. 350-356, 2003.
- CEDERBERG, C.; MATTSSON, B. Life cycle assessment of milk production—a comparison of conventional and organic farming. **Journal of Cleaner Production**, v. 8, n. 1, p. 49-60, 2000.
- CHARRONDIERE, U. R.; HAYTOWITZ, D. B.; STADLMAYR, B. Fao/infoods Density Database, Version 2.0 (2012). In: **Food and Agriculture Organization of the United Nations Technical Workshop Report**. 2012.
- CONTRERAS, A. M.; ROSA, E.; PÉREZ, M.; LANGENHOVE, H. V.; DEWULF, J. Comparative life cycle assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 8, p. 772-779, 2009.
- DANESHI, A.; ESMAILI-SARI, A.; DANESHI, M.; BAUMANN, H. Greenhouse gas emissions of packaged fluid milk production in Tehran. **Journal of Cleaner Production**, v. 80, p. 150-158, 2014.

DE LÉIS, C. M.; CHERUBINI, E.; RUVIARO, C. F.; DA SILVA, V. P.; LAMPERT, V. do N.; SPIES, A.; SOARES, S. R. Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 1, p. 46-60, 2015.

DE VRIES, M.; DE BOER, I. J. M. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. **Livestock Science**, v. 128, n. 1, p. 1-11, 2010.

DJEKIC, I.; MIOCINOVIC, J.; TOMASEVIC, I.; SMIGIC, N.; TOMIC, N. Environmental life-cycle assessment of various dairy products. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 64-72, 2014.

EIDE, M. H. Life cycle assessment (LCA) of industrial milk production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 7, n. 2, p. 115-126, 2002.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2015.

FANTIN, V.; BUTTOL, P.; PERGREFFI, R.; MASONI, P. Life cycle assessment of Italian high quality milk production. A comparison with an EPD study. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 150-159, 2012.

FINKBEINER, M.; INABA, A.; TAN, R.; CHRISTIANSEN, K.; KLÜPPEL, H-J. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 2, p. 80-85, 2006.

FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M. Z.; EKVALL, T.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A.; PENNINGTON, D.; SUH, S. Recent developments in life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 1, p. 1-21, 2009.

GOEDKOOPE, Mark et al. **ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.** VROM, The Hague, 2013.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; HOSPIDO, A.; MOREIRA, M. T.; FEIJOO, G.; ARROJA, L. Environmental life cycle assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 253-262, 2013a.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; CASTANHEIRA, É. G.; DIAS, A. C.; ARROJA, L. Environmental life cycle assessment of a dairy product: the yoghurt. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 4, p. 796-811, 2013b.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; CASTANHEIRA, É. G.; DIAS, A. C.; ARROJA, L. Using Life Cycle Assessment methodology to assess UHT milk production in Portugal. **Science of the Total Environment**, v. 442, p. 225-234, 2013c.

GONZALEZ-GARCIA, S.; CASTANHEIRA, É. G.; DIAS, A. C.; ARROJA, L. Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill. **Journal of Cleaner Production**, v. 41, p. 65-73, 2013d.

GOOGLE INC. **Google Acadêmico**. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2016.

GRESSLER, L. A. **Introdução à pesquisa**. Edições Loyola, 2003.

GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; BUONAMICI, R.; EKVALL, T.; RYDBERG, T. Life cycle assessment: past, present, and future†. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 90-96, 2011.

HOSPIDO, A.; MOREIRA, M. T.; FEIJOO, G. Simplified life cycle assessment of Galician milk production. **International Dairy Journal**, v. 13, n. 10, p. 783-796, 2003.

HUNKELER, D.; REBITZER, G. The future of life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 10, n. 5, p. 305-308, 2005.

HUNT, R. G.; FRANKLIN, W. E.; HUNT, R. G. LCA—How it came about. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 1, n. 1, p. 4-7, 1996.

I CANALS, L. M.; BURNIP, G. M.; COWELL, S. J. Evaluation of the environmental impacts of apple production using life cycle assessment (LCA): case study in New Zealand. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 114, n. 2, p. 226-238, 2006.

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

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

JOSHI, S. Product environmental life-cycle assessment using input-output techniques. **Journal of Industrial Ecology**, v. 3, n. 2-3, p. 95-120, 2000.

KIM, D.; THOMA, G.; NUTTER, D.; MILANI, F.; ULRICH, R.; NORRIS, G. Life cycle assessment of cheese and whey production in the USA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 5, p. 1019-1035, 2013.

KLÖPPFER, W. Life-cycle based methods for sustainable product development. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 8, n. 3, p. 157-159, 2003.

KLÖPPFER, W. Life cycle assessment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 4, n. 4, p. 223-228, 1997.

LAVE, L. B. Using input-output analysis to estimate economy-wide discharges. **Environmental Science & Technology**, v. 29, n. 9, p. 420A-426A, 1995.

MADERI, T. R. **Diagnóstico da gestão integrada em indústrias de laticínios do território de identidade do médio sudoeste**. 2014. 63f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos)-Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2014.

MIETTINEN, P.; HÄMÄLÄINEN, R. P. How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA). **European Journal of Operational Research**, v. 102, n. 2, p. 279-294, 1997.

NIGRI, E. M.; DE BARROS, A. C.; ROCHA, S. D. F.; FILHO, E. R. Assessing environmental impacts using a comparative LCA of industrial and artisanal production processes: " Minas Cheese" case. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 34, n. 3, p. 522-531, 2014.

OLSZENSVSKI, F. T. **Avaliação do ciclo de vida da produção de leite em sistema semi extensivo e intensivo: Estudo aplicado**. 2011. 198f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

OLZSENSVSKI, F. T.; DA SILVA JR., V. P.; MEIRELES, S.; DE LÉIS, C. M.; LENZI, F. S.; SOARES, S. R. **Avaliação do ciclo de vida da produção de leite em mesorregiões de Santa Catarina**. In: 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços, p 211-215, Florianópolis, 2010.

OWENS, J. W. Life cycle assessment. **Journal of Industrial Ecology**, v. 1, n. 1, p. 37-49, 1997.

PELLETIER, N.; PIROG, R.; RASMUSSEN, R. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 6, p. 380-389, 2010.

PELLETIER, N. L.; AYER, N. W.; TYEDMERS, P. H.; KRUSE, S. A.; FLYSJO, A.; ROBILLARD, G.; ZIEGLER, F.; SCHOLZ, A. J.; SONESSON, U. Impact categories for life cycle assessment research of seafood production systems: review and prospectus. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 6, p. 414-421, 2007.

PRé CONSULTANTS. **SimaPro**. Disponível em: <<https://www.presustainability.com/simapro>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2015

ROTZ, C. A.; MONTES, F.; CHIANESE, D. S. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 3, p. 1266-1282, 2010.

ROY, P.; NEI, D.; ORIKASA, T.; XU, Q.; OKADOME, H.; NAKAMURA, N.; SHIINA, T. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 1, p. 1-10, 2009.

ROY, P.; NEI, D.; OKADOME, H.; NAKAMURA, N.; ORIKASA, T.; SHIINA, T. Life cycle inventory analysis of fresh tomato distribution systems in Japan considering the quality aspect. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 2, p. 225-233, 2008.

RUVIARO, C. F.; GIANEZINI, M.; BRANDÃO, F. S.; WINCK, C. A.; DEWES, H. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 9-24, 2012.

- THOMA, G.; POPP, J.; NUTTER, D.; SHONNARD, D.; ULRICH, R.; MATLOCK, M.; KIM, D. S.; NEIDERMAN, Z.; KEMPER, N.; EAST, C.; ADOM, F. Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. **International Dairy Journal**, v. 31, p. S3-S14, 2013.
- THOMASSEN, M. A.; VAN CALKER, K. J.; SMITS, M. C. J.; IEPEMA, G. L.; DE BOER, I. J. M. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. **Agricultural systems**, v. 96, n. 1, p. 95-107, 2008.
- THOMSON REUTERS. **Web of Science**. Disponível em: <<http://wokinfo.com/>>. Acesso em: 17 de setembro de 2015.
- VERMEULEN, S. J.; CAMPBELL, B. M.; INGRAM, J. S. I. Climate change and food systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, n. 1, p. 195, 2012.
- WEIDEMA, B. P. et al. **Overview and methodology**. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1 (v3). St. Gallen: The ecoinvent Centre. 2013.
- WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, N. de L. **Inventário de Ciclo de Vida da Produção de Leite em uma unidade experimental em Itapetinga-BA**. In: 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços, p 179-184, Florianópolis, 2010.
- XAVIER, J. H. V. et al. **Caracterização dos impactos ambientais na agricultura: II – Análise de Ciclo de Vida (ACV) de Sistemas de Produção da Agricultura Familiar em Unaí-MG**. Cadernos de Ciências e Tecnologia, 2004.
- ZIEGLER, F.; NILSSON, P.; MATTSSON, B.; WALTHER, Y. Life cycle assessment of frozen cod fillets including fishery-specific environmental impacts. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 8, n. 1, p. 39-47, 2003.

## 8. APÊNDICES

### Apêndice 1 – Dados do inventário para a fabricação de 1 kg de iogurte.

<b>ENTRADAS</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Leite cru	0,756 kg	Verificado	0,0032
Leite desnatado	0,16 kg	Verificado	0,0032
Água	0,00222 m <sup>3</sup>	Medido	0,0026
Energia elétrica	0,085 kWh	Medido	0,0026
Ingredientes			
<i>Açúcar</i>	0,0585 kg	Verificado	0,0046
<i>Cultura láctea</i>	$8,85 \times 10^{-6}$ kg	Verificado	0,0046
<i>Base de frutas</i>	0,04 kg	Verificado	0,0046
Embalagem e rótulo			
<i>Garrafas de PEAD<sup>a</sup> (embalagem)</i>	0,0360 kg	Medido	0,0026
<i>Plástico leitoso (rótulo)</i>	0,0008518 kg	Medido	0,0026
Madeira	0,102 kg	Estimado	0,0032
Agentes de limpeza			
<i>Detergente ácido</i>	$4,29 \times 10^{-7}$ m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<i>Detergente alcalino</i>	$1,61 \times 10^{-7}$ m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<i>Hipoclorito de sódio</i>	$7,53 \times 10^{-7}$ m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<b>SAÍDAS</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Iogurte	1,00 kg	--	--
Água residual	0,00222 m <sup>3</sup>	Estimado	0,0046
Fuligem	0,00264 kg	Estimado	0,0026
Cinzas	0,0992 kg	Calculado	0,0032
Resíduo de plástico (polietileno)	0,000492 kg	Estimado	0,0046
<b>TRANSPORTES</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Transporte do leite cru (da fazenda para a fábrica)	49,14 kg.km	Estimado	0,162
Transporte dos bens de entrada para a fábrica <sup>b</sup>	43,08 kg.km	Verificado	0,123

<sup>a</sup>PEAD: polietileno de alta densidade

<sup>b</sup>Bens de entrada: açúcar, cultura láctea, base de frutas, garrafas de PEAD, plástico leitoso, madeira, detergente ácido, detergente alcalino e hipoclorito de sódio.

<sup>c</sup>Dados medidos: valores de alta confiança. Feito a partir de levantamentos ou medidas diretas, que refletem o horizonte de um ano de produção na fábrica. Dados verificados: não foram medidos diretamente, mas são valores que fazem parte dos registros de produção da fábrica. Dados estimados: medidos em um horizonte de tempo menor que um ano de produção e que foram extrapolados, ou valores obtidos por estimativas dos colaboradores da fábrica.

<sup>d</sup>WEIDEMA, B. P. et al. Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1 (v3). St. Gallen: The ecoinvent Centre. 2013.



**Apêndice 2 – Dados do inventário para a fabricação de 1 kg de manteiga.**

<b>ENTRADAS</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Leite cru	22,95 kg	Calculado	0,0032
Água	0,0089 m <sup>3</sup>	Medido	0,0026
Energia elétrica	0,339 kWh	Medido	0,0026
Ingredientes			
<i>Cloreto de sódio (sal)</i>	0,011 kg	Verificado	0,0026
Embalagem e rótulo			
<i>Potes de polipropileno (embalagem)</i>	0,033 kg	Medido	0,0026
<i>Filme BOPP<sup>a</sup> (rótulo)</i>	0,0009 kg	Medido	0,0026
Madeira	0,407 kg	Estimado	0,0032
Agentes de limpeza			
<i>Detergente ácido</i>	$1,72 \times 10^{-6}$ m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<i>Detergente alcalino</i>	$6,43 \times 10^{-7}$ m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<i>Hipoclorito de sódio</i>	$3,01 \times 10^{-6}$ m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<b>SAÍDAS</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Manteiga	1,00 kg	--	--
Leitelho ( <i>buttermilk</i> )	1,15 kg	Calculado	0,0032
Leite desnatado	21,51 kg	Calculado	0,0032
Água residual	0,0082 m <sup>3</sup>	Estimado	0,0046
Fuligem	0,0106 kg	Estimado	0,0026
Cinzas	0,3967 kg	Calculado	0,0032
Resíduo de plástico (polipropileno)	0,0020 kg	Estimado	0,0046
<b>TRANSPORTES</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Transporte do leite cru (da fazenda para a fábrica)	1491,48 kg.km	Estimado	0,162
Transporte dos bens de entrada para a fábrica <sup>b</sup>	28,53 kg.km	Verificado	0,124
Transporte dos resíduos de produção (leitelho)	5,40 kg.km	Estimado	0,162

<sup>a</sup>BOPP: bi-axial polipropileno orientado.

<sup>b</sup>Bens de entrada: cloreto de sódio, potes de polipropileno, filme BOPP, madeira, detergente ácido, detergente alcalino e hipoclorito de sódio.

<sup>c</sup>Dados medidos: valores de alta confiança. Feito a partir de levantamentos ou medidas diretas, que refletem o horizonte de um ano de produção na fábrica. Dados verificados: não foram medidos diretamente, mas são valores que fazem parte dos registros de produção da fábrica. Dados estimados: medidos em um horizonte de tempo menor que um ano de produção e que foram extrapolados, ou valores obtidos por estimativas dos colaboradores da fábrica.

<sup>d</sup>WEIDEMA, B. P. et al. Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1 (v3). St. Gallen: The ecoinvent Centre. 2013.

**Apêndice 3 – Dados do inventário para a fabricação de 1 kg de queijo.**

<b>ENTRADAS</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Leite cru	7,74 kg	Verificado	0,0013
Leite desnatado	1,64 kg	Calculado	0,0046
Água	0,013 m <sup>3</sup>	Medido	0,0026
Energia elétrica	0,510 kWh	Medido	0,0026
<b>Ingredientes</b>			
<i>Cloreto de cálcio</i>	0,00201 kg	Verificado	0,0046
<i>Cloreto de sódio (sal)</i>	0,0655 kg	Verificado	0,0046
<i>Cultura láctea</i>	$9,07 \times 10^{-5}$ kg	Verificado	0,0046
<i>Coalho</i>	$3,63 \times 10^{-6}$ m <sup>3</sup>	Verificado	0,0046
<b>Embalagem e rótulo</b>			
<i>Filme termoencolhível (embalagem)</i>	0,00698 kg	Medido	0,0026
<i>Filme BOPP<sup>a</sup> (rótulo)</i>	0,000566 kg	Medido	0,0026
Madeira	0,613 kg	Estimado	0,0032
<b>Agentes de limpeza</b>			
<i>Detergente ácido</i>	$2,58 \times 10^{-6}$ m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<i>Detergente alcalino</i>	$9,68 \times 10^{-7}$ m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<i>Hipoclorito de sódio</i>	$4,53 \times 10^{-6}$ m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<b>SAÍDAS</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Queijo	1,00 kg	--	--
Soro	8,46 kg	Calculado	0,0013
Água residual	0,013 m <sup>3</sup>	Estimado	0,0046
Fuligem	0,016 kg	Medido	0,0026
Cinzas	0,597 kg	Calculado	0,0032
Resíduo de plástico (polietileno e polipropileno)	0,0030 kg	Verificado	0,0046
<b>TRANSPORTES</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Transporte do leite cru (da fazenda para a fábrica)	492,83 kg.km	Estimado	0,162
Transporte dos bens de entrada para a fábrica <sup>b</sup>	162,17 kg.km	Verificado	0,124
Transporte dos resíduos de produção (soro)	38,35 kg.km	Estimado	0,162

<sup>a</sup>BOPP: Bi-axial polipropileno orientado

<sup>b</sup>Bens de entrada: cloreto de cálcio, cloreto de sódio, cultura láctea, coalho, filme termoencolhível, filme BOPP, madeira, detergente ácido, detergente alcalino e hipoclorito de sódio.

<sup>c</sup>Dados medidos: valores de alta confiança. Feito a partir de levantamentos ou medidas diretas, que refletem o horizonte de um ano de produção na fábrica. Dados verificados: não foram medidos diretamente, mas são valores que fazem parte dos registros de produção da fábrica. Dados estimados: medidos em um horizonte de tempo menor que um ano de produção e que foram extrapolados, ou valores obtidos por estimativas dos colaboradores da fábrica.

<sup>d</sup>WEIDEMA, B. P. et al. Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1 (v3). St. Gallen: The ecoinvent Centre. 2013.

#### Apêndice 4 – Dados do inventário para a fabricação de 1 kg de requeijão.

<b>ENTRADAS</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Leite cru	10,50 kg	Verificado	0,0032
Leite desnatado	1,13 kg	Verificado	0,0046
Água	0,0127 m <sup>3</sup>	Medido	0,0026
Energia elétrica	0,484 kWh	Medido	0,0026
<b>Ingredientes</b>			
<i>Cloreto de cálcio</i>	0,00127 kg	Verificado	0,0046
<i>Cloreto de sódio (sal)</i>	0,0117 kg	Verificado	0,0046
<i>Citrato de sódio</i>	0,03 kg	Verificado	0,0046
<i>Cultura láctea</i>	6,23 × 10 <sup>-3</sup> kg	Verificado	0,0046
<i>Coalho</i>	2,49 × 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>	Verificado	0,0046
<b>Embalagem e rótulo</b>			
<i>Filme termoencolhível (embalagem)</i>	0,010 kg	Medido	0,0026
<i>Filme BOPP<sup>a</sup> (rótulo)</i>	0,00107 kg	Medido	0,0026
Madeira	0,582 kg	Estimado	0,0032
<b>Agentes de limpeza</b>			
<i>Detergente ácido</i>	2,45 × 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<i>Detergente alcalino</i>	9,19 × 10 <sup>-7</sup> m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<i>Hipoclorito de sódio</i>	4,30 × 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>	Estimado	0,0106
<b>SAÍDAS</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Requeijão	1,00 kg	--	--
Soro	5,82 kg	Calculado	0,0046
Leite desnatado	3,72 kg	Calculado	0,0046
Água residual	0,0127 m <sup>3</sup>	Estimado	0,0046
Fuligem	0,0151 kg	Estimado	0,0026
Cinzas	0,567 kg	Calculado	0,0032
Resíduo de plástico (polietileno e polipropileno)	0,00281 kg	Estimado	0,0046
<b>TRANSPORTES</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Qualidade<sup>c</sup></b>	<b>Variância (<math>\sigma^2</math>)<sup>d</sup></b>
Transporte do leite cru (da fazenda para a fábrica)	820,11 kg.km	Estimado	0,162
Transporte dos bens de entrada para a fábrica <sup>b</sup>	48,63 kg.km	Verificado	0,124
Transporte dos resíduos de produção (soro)	18,76 kg.km	Estimado	0,162

<sup>a</sup>BOPP: Bi-axial polipropileno orientado

<sup>b</sup>Bens de entrada: cloreto de cálcio, cloreto de sódio, citrato de sódio, cultura láctea, coalho, filme termoencolhível, filme BOPP, madeira, detergente ácido, detergente alcalino e hipoclorito de sódio.

<sup>c</sup>Dados medidos: valores de alta confiança. Feito a partir de levantamentos ou medidas diretas, que refletem o horizonte de um ano de produção na fábrica. Dados verificados: não foram medidos diretamente, mas são valores que fazem parte dos registros de produção da fábrica. Dados estimados: medidos em um horizonte de tempo menor que um ano de produção e que foram extrapolados, ou valores obtidos por estimativas dos colaboradores da fábrica.

<sup>d</sup>WEIDEMA, B. P. et al. Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1 (v3). St. Gallen: The ecoinvent Centre. 2013.

**Apêndice 5** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	9,35E-04 (0,62%)	6,38E-11 (0,36%)	6,22E-06 (0,62%)	3,24E-07 (3,16%)	3,01E-06 (0,27%)	2,29E-06 (0,39%)	2,25E-03 (17,25%)	2,49E-04 (0,31%)
Produção dos ingredientes	0,014 (9,57%)	1,21E-09 (6,92%)	3,33E-04 (33,27%)	5,57E-06 (54,43%)	6,42E-04 (57,32%)	1,02E-04 (17,64%)	7,32E-03 (56,03%)	2,57E-03 (3,15%)
Produção da embalagem e rótulo	0,113 (75,10%)	5,54E-11 (0,32%)	5,24E-04 (52,31%)	3,19E-07 (3,11%)	3,07E-04 (27,39%)	1,89E-04 (32,54%)	1,24E-03 (9,48%)	0,075 (92,61%)
Produção dos agentes de limpeza	1,10E-03 (0,73%)	1,90E-10 (1,08%)	4,92E-06 (0,49%)	1,06E-07 (1,03%)	2,56E-06 (0,23%)	1,40E-06 (0,24%)	1,25E-05 (0,10%)	1,48E-04 (0,18%)
Geração de energia elétrica	0,021 (13,79%)	9,56E-10 (5,44%)	6,21E-05 (6,19%)	3,92E-06 (38,26%)	4,22E-05 (3,77%)	3,01E-05 (5,19%)	2,24E-03 (17,15%)	3,05E-03 (3,75%)
Geração de energia térmica	2,71E-04 (0,18%)	1,51E-08 (85,87%)	7,14E-05 (7,12%)	0,0 (0,00%)	1,23E-04 (11,02%)	2,55E-04 (43,99%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Total	0,150 (100%)	1,76E-08 (100%)	1,00E-03 (100%)	1,02E-05 (100%)	1,12E-03 (100%)	5,80E-04 (100%)	0,013 (100%)	0,081 (100%)

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 6** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	3,75E-03 (1,54%)	2,56E-10 (0,39%)	2,49E-05 (2,19%)	1,30E-06 (6,06%)	1,21E-05 (1,15%)	9,18E-06 (0,68%)	9,03E-03 (45,41%)	9,98E-04 (1,07%)
Produção dos ingredientes	2,18E-03 (0,90%)	1,96E-10 (0,30%)	1,31E-05 (1,15%)	7,66E-07 (3,58%)	8,72E-06 (0,83%)	4,80E-06 (0,35%)	3,58E-05 (0,18%)	5,75E-04 (0,61%)
Produção da embalagem e rótulo	0,149 (61,19%)	3,07E-13 (< 0,01%)	5,46E-04 (48,05%)	3,29E-06 (15,38%)	3,59E-04 (34,17%)	2,00E-04 (14,71%)	1,84E-03 (9,24%)	0,079 (84,69%)
Produção dos agentes de limpeza	4,42E-03 (1,82%)	7,62E-10 (1,17%)	1,97E-05 (1,74%)	4,23E-07 (1,98%)	1,03E-05 (0,98%)	5,60E-06 (0,41%)	5,02E-05 (0,25%)	5,92E-04 (0,63%)
Geração de energia elétrica	0,083 (34,10%)	3,81E-09 (5,85%)	2,48E-04 (21,80%)	1,56E-05 (73,00%)	1,68E-04 (16,02%)	1,20E-04 (8,85%)	8,93E-03 (44,92%)	0,012 (12,99%)
Geração de energia térmica	1,08E-03 (0,45%)	6,02E-08 (92,29%)	2,85E-04 (25,07%)	0,0 (0,00%)	4,93E-04 (46,86%)	1,02E-03 (75,00%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Total	0,243 (100%)	6,52E-08 (100%)	1,14E-03 (100%)	2,14E-05 (100%)	1,05E-03 (100%)	1,36E-03 (100%)	1,99E-02 (100%)	0,094 (100%)

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 7** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,48E-03 (3,18%)	3,74E-10 (0,38%)	3,64E-05 (3,54%)	1,90E-06 (5,84%)	1,76E-05 (1,51%)	1,34E-05 (0,75%)	0,013 (48,24%)	1,46E-03 (3,87%)
Produção dos ingredientes	0,013 (7,53%)	1,17E-09 (1,17%)	7,79E-05 (7,57%)	4,56E-06 (14,05%)	5,20E-05 (4,45%)	2,86E-05 (1,59%)	2,13E-04 (0,78%)	3,42E-03 (9,10%)
Produção da embalagem e rótulo	0,021 (12,29%)	3,75E-10 (0,38%)	8,40E-05 (8,16%)	1,87E-06 (5,77%)	8,63E-05 (7,40%)	2,86E-05 (1,60%)	4,23E-04 (1,55%)	0,014 (36,05%)
Produção dos agentes de limpeza	6,64E-03 (3,85%)	1,15E-09 (1,15%)	2,96E-05 (2,88%)	6,36E-07 (1,96%)	1,54E-05 (1,32%)	8,41E-06 (0,47%)	7,54E-05 (0,28%)	8,90E-04 (2,36%)
Geração de energia elétrica	0,125 (72,21%)	5,74E-09 (5,77%)	3,72E-04 (36,19%)	2,35E-05 (72,39%)	2,53E-04 (21,71%)	1,81E-04 (10,08%)	0,013 (49,16%)	0,018 (48,62%)
Geração de energia térmica	1,63E-03 (0,94%)	9,06E-08 (91,15%)	4,29E-04 (41,67%)	0,0 (0,00%)	7,42E-04 (63,60%)	1,53E-03 (85,52%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Total	0,172 (100%)	9,94E-08 (100%)	1,03E-03 (100%)	3,25E-05 (100%)	1,17E-03 (100%)	1,79E-03 (100%)	0,027 (100%)	0,038 (100%)

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 8** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado.

Item	Categoria de impacto							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,35E-03 (3,25%)	3,65E-10 (0,39%)	3,56E-05 (3,70%)	1,85E-06 (6,54%)	1,72E-05 (1,55%)	1,31E-05 (0,77%)	0,013 (48,77%)	1,42E-03 (3,54%)
Produção dos ingredientes	2,32E-03 (1,41%)	2,09E-10 (0,22%)	1,39E-05 (1,45%)	8,15E-07 (2,88%)	9,28E-06 (0,83%)	5,10E-06 (0,30%)	3,80E-05 (0,14%)	6,12E-04 (1,52%)
Produção da embalagem e rótulo	0,031 (18,92%)	5,37E-10 (0,57%)	1,24E-04 (12,88%)	2,71E-06 (9,58%)	1,26E-04 (11,31%)	4,23E-05 (2,49%)	6,74E-04 (2,55%)	0,020 (49,64%)
Produção dos agentes de limpeza	6,30E-03 (3,82%)	1,09E-09 (1,16%)	2,81E-05 (2,92%)	6,04E-07 (2,14%)	1,46E-05 (1,32%)	7,98E-06 (0,47%)	7,16E-05 (0,27%)	8,44E-04 (2,10%)
Geração de energia elétrica	0,118 (71,67%)	5,44E-09 (5,81%)	3,53E-04 (36,74%)	2,23E-05 (78,86%)	2,40E-04 (21,62%)	1,72E-04 (10,11%)	0,013 (48,27%)	0,017 (43,19%)
Geração de energia térmica	1,55E-03 (0,94%)	8,60E-08 (91,84%)	4,07E-04 (42,32%)	0,0 (0,00%)	7,04E-04 (63,36%)	1,46E-03 (85,85%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Total	0,165 (100%)	9,37E-08 (100%)	9,62E-04 (100%)	2,83E-05 (100%)	1,11E-03 (100%)	1,70E-03 (100%)	0,026 (100%)	0,040 (100%)

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 9** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.

Item	Categorias de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	9,35E-04 (0,10%)	6,38E-11 (0,07%)	6,22E-06 (0,06%)	3,24E-07 (0,67%)	3,01E-06 (0,11%)	2,29E-06 (0,13%)	2,25E-03 (16,83%)	2,49E-04 (0,20%)
Produção dos ingredientes	0,014 (1,56%)	1,21E-09 (1,40%)	3,33E-04 (3,48%)	5,57E-06 (11,61%)	6,42E-04 (24,35%)	1,02E-04 (5,87%)	7,32E-03 (54,66%)	2,57E-03 (2,11%)
Produção da embalagem e rótulo	0,113 (12,22%)	5,54E-11 (0,06%)	5,24E-04 (5,46%)	3,19E-07 (0,66%)	3,07E-04 (11,63%)	1,89E-04 (10,83%)	1,24E-03 (9,24%)	0,075 (61,86%)
Produção dos agentes de limpeza	1,10E-03 (0,12%)	1,90E-10 (0,22%)	4,92E-06 (0,05%)	1,06E-07 (0,22%)	2,56E-06 (0,10%)	1,40E-06 (0,08%)	1,25E-05 (0,09%)	1,48E-04 (0,12%)
Geração de energia térmica	0,019 (2,03%)	2,62E-09 (3,02%)	1,76E-04 (1,83%)	7,98E-06 (16,63%)	4,47E-04 (16,95%)	1,51E-04 (8,65%)	5,68E-05 (0,42%)	5,47E-03 (4,48%)
Geração de energia elétrica	0,021 (2,24%)	9,56E-10 (1,10%)	6,21E-05 (0,65%)	3,92E-06 (8,16%)	4,22E-05 (1,60%)	3,01E-05 (1,73%)	2,24E-03 (16,73%)	3,05E-03 (2,50%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,169 (18,27%)</b>	<b>5,10E-09 (5,87%)</b>	<b>1,51E-03 (11,53%)</b>	<b>1,82E-05 (37,97%)</b>	<b>1,45E-03 (54,74%)</b>	<b>4,70E-04 (27,28%)</b>	<b>0,013 (97,98%)</b>	<b>0,087 (71,28%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>0,756 (81,73%)</b>	<b>8,18E-08 (94,13%)</b>	<b>8,49E-03 (88,47%)</b>	<b>2,98E-05 (62,03%)</b>	<b>1,19E-03 (45,26%)</b>	<b>1,27E-03 (72,72%)</b>	<b>2,71E-04 (2,02%)</b>	<b>0,035 (28,72%)</b>
<b>Total</b>	<b>0,925 (100%)</b>	<b>8,69E-08 (100%)</b>	<b>0,010 (100%)</b>	<b>4,80E-05 (100%)</b>	<b>2,64E-03 (100%)</b>	<b>1,74E-03 (100%)</b>	<b>0,013 (100%)</b>	<b>0,122 (100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.



**Apêndice 10** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	9,35E-04 (0,10%)	6,38E-11 (0,06%)	6,22E-06 (0,07%)	3,24E-07 (0,81%)	3,01E-06 (0,13%)	2,29E-06 (0,12%)	2,25E-03 (16,90%)	2,49E-04 (0,21%)
Produção dos ingredientes	0,014 (1,59%)	1,21E-09 (1,22%)	3,33E-04 (3,51%)	5,57E-06 (13,93%)	6,42E-04 (27,75%)	1,02E-04 (5,54%)	7,32E-03 (54,89%)	2,57E-03 (2,21%)
Produção da embalagem e rótulo	0,113 (12,47%)	5,54E-11 (0,06%)	5,24E-04 (5,52%)	3,19E-07 (0,80%)	3,07E-04 (13,26%)	1,89E-04 (10,21%)	1,24E-03 (9,28%)	0,075 (64,77%)
Produção dos agentes de limpeza	1,10E-03 (0,12%)	1,90E-10 (0,19%)	4,92E-06 (0,05%)	1,06E-07 (0,26%)	2,56E-06 (0,11%)	1,40E-06 (0,08%)	1,25E-05 (0,09%)	1,48E-04 (0,13%)
Geração de energia térmica	2,71E-04 (0,03%)	1,51E-08 (15,18%)	7,14E-05 (0,75%)	0,0 (0,00%)	1,23E-04 (5,33%)	2,55E-04 (13,81%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Geração de energia elétrica	0,021 (2,29%)	9,56E-10 (0,96%)	6,21E-05 (0,65%)	3,92E-06 (9,79%)	4,22E-05 (1,82%)	3,01E-05 (1,63%)	2,24E-03 (16,80%)	3,05E-03 (2,62%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,150 (16,60%)</b>	<b>1,75E-08 (17,68%)</b>	<b>1,00E-03 (10,56%)</b>	<b>1,02E-05 (25,59%)</b>	<b>1,12E-03 (48,41%)</b>	<b>5,80E-04 (31,39%)</b>	<b>0,013 (97,97%)</b>	<b>0,081 (69,93%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>0,756 (83,40%)</b>	<b>8,18E-08 (82,32%)</b>	<b>8,49E-03 (89,44%)</b>	<b>2,98E-05 (74,41%)</b>	<b>1,19E-03 (51,59%)</b>	<b>1,27E-03 (68,61%)</b>	<b>2,71E-04 (2,03%)</b>	<b>0,035 (30,07%)</b>
<b>Total</b>	<b>0,906 (100%)</b>	<b>9,93E-08 (100%)</b>	<b>9,49E-03 (100%)</b>	<b>4,00E-05 (100%)</b>	<b>2,31E-03 (100%)</b>	<b>1,85E-03 (100%)</b>	<b>0,013 (100%)</b>	<b>0,116 (100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 11** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	9,35E-04 (0,12%)	6,38E-11 (0,07%)	6,22E-06 (0,08%)	3,24E-07 (0,99%)	3,01E-06 (0,12%)	2,29E-06 (0,15%)	2,25E-03 (16,80%)	2,49E-04 (0,21%)
Produção dos ingredientes	0,014 (1,85%)	1,21E-09 (1,42%)	3,33E-04 (4,08%)	5,57E-06 (17,04%)	6,42E-04 (25,22%)	1,02E-04 (6,61%)	7,32E-03 (54,58%)	2,57E-03 (2,16%)
Produção da embalagem e rótulo	0,113 (14,48%)	5,54E-11 (0,06%)	5,24E-04 (6,42%)	3,19E-07 (0,98%)	3,07E-04 (12,05%)	1,89E-04 (12,20%)	1,24E-03 (9,23%)	0,075 (63,28%)
Produção dos agentes de limpeza	1,10E-03 (0,14%)	1,90E-10 (0,22%)	4,92E-06 (0,06%)	1,06E-07 (0,32%)	2,56E-06 (0,10%)	1,40E-06 (0,09%)	1,25E-05 (0,09%)	1,48E-04 (0,12%)
Geração de energia térmica	0,019 (2,41%)	2,62E-09 (3,06%)	1,76E-04 (2,15%)	7,98E-06 (24,42%)	4,47E-04 (17,56%)	1,51E-04 (9,75%)	5,68E-05 (0,42%)	5,47E-03 (4,59%)
Geração de energia elétrica	0,021 (2,66%)	9,56E-10 (1,11%)	6,21E-05 (0,76%)	3,92E-06 (11,98%)	4,22E-05 (1,66%)	3,01E-05 (1,95%)	2,24E-03 (16,71%)	3,05E-03 (2,56%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,169</b> <b>(21,65%)</b>	<b>5,10E-09</b> <b>(5,95%)</b>	<b>1,10E-03</b> <b>(13,54%)</b>	<b>1,82E-05</b> <b>(55,74%)</b>	<b>1,45E-03</b> <b>(56,70%)</b>	<b>4,80E-04</b> <b>(30,75%)</b>	<b>0,013</b> <b>(97,84%)</b>	<b>0,087</b> <b>(72,92%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>0,611</b> <b>(78,35%)</b>	<b>8,07E-08</b> <b>(94,05%)</b>	<b>7,07E-03</b> <b>(86,46%)</b>	<b>1,45E-05</b> <b>(44,26%)</b>	<b>1,10E-03</b> <b>(43,30%)</b>	<b>1,07E-03</b> <b>(69,25%)</b>	<b>2,89E-04</b> <b>(2,16%)</b>	<b>0,032</b> <b>(27,08%)</b>
<b>Total</b>	<b>0,780</b> <b>(100%)</b>	<b>8,58E-08</b> <b>(100%)</b>	<b>8,17E-03</b> <b>(100%)</b>	<b>3,27E-05</b> <b>(100%)</b>	<b>2,55E-03</b> <b>(100%)</b>	<b>1,55E-03</b> <b>(100%)</b>	<b>1,34E-02</b> <b>(100%)</b>	<b>0,119</b> <b>(100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 12** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do iogurte, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	9,35E-04 (0,12%)	6,38E-11 (0,06%)	6,22E-06 (0,08%)	3,24E-07 (1,31%)	3,01E-06 (0,14%)	2,29E-06 (0,14%)	2,25E-03 (16,87%)	2,49E-04 (0,22%)
Produção dos ingredientes	0,014 (1,89%)	1,21E-09 (1,24%)	3,33E-04 (4,13%)	5,57E-06 (22,55%)	6,42E-04 (28,89%)	1,02E-04 (6,20%)	7,32E-03 (54,82%)	2,57E-03 (2,26%)
Produção da embalagem e rótulo	0,113 (14,83%)	5,54E-11 (0,06%)	5,24E-04 (6,50%)	3,19E-07 (1,29%)	3,07E-04 (13,80%)	1,89E-04 (11,43%)	1,24E-03 (9,27%)	0,075 (66,32%)
Produção dos agentes de limpeza	1,10E-03 (0,14%)	1,90E-10 (0,19%)	4,92E-06 (0,06%)	1,06E-07 (0,43%)	2,56E-06 (0,12%)	1,40E-06 (0,08%)	1,25E-05 (0,09%)	1,48E-04 (0,13%)
Geração de energia térmica	2,71E-04 (0,04%)	1,51E-08 (15,35%)	7,14E-05 (0,88%)	0,0 (0,00%)	1,23E-04 (5,55%)	2,55E-04 (15,45%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Geração de energia elétrica	0,021 (2,72%)	9,56E-10 (0,97%)	6,21E-05 (0,77%)	3,92E-06 (15,86%)	4,22E-05 (1,90%)	3,01E-05 (1,82%)	2,24E-03 (16,78%)	3,05E-03 (2,68%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,151 (19,75%)</b>	<b>1,76E-08 (17,87%)</b>	<b>1,00E-03 (12,42%)</b>	<b>1,02E-05 (41,44%)</b>	<b>1,12E-03 (50,39%)</b>	<b>5,80E-04 (35,13%)</b>	<b>0,013 (97,83%)</b>	<b>0,082 (71,62%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>0,611 (80,25%)</b>	<b>8,07E-08 (82,13%)</b>	<b>7,07E-03 (87,58%)</b>	<b>1,45E-05 (58,56%)</b>	<b>1,10E-03 (49,61%)</b>	<b>1,07E-03 (64,87%)</b>	<b>2,89E-04 (2,17%)</b>	<b>0,032 (28,38%)</b>
<b>Total</b>	<b>0,762 (100%)</b>	<b>9,83E-08 (100%)</b>	<b>8,07E-03 (100%)</b>	<b>2,47E-05 (100%)</b>	<b>2,22E-03 (100%)</b>	<b>1,65E-03 (100%)</b>	<b>0,013 (100%)</b>	<b>0,114 (100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 13** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	3,75E-03 (0,02%)	2,56E-10 (0,01%)	2,49E-05 (0,01%)	1,30E-06 (0,14%)	1,21E-05 (0,03%)	9,18E-06 (0,02%)	9,03E-03 (31,88%)	9,98E-04 (0,08%)
Produção dos ingredientes	2,18E-03 (0,01%)	1,96E-10 (0,01%)	1,31E-05 (0,01%)	7,66E-07 (0,08%)	8,72E-06 (0,02%)	4,80E-06 (0,01%)	3,58E-05 (0,13%)	5,75E-04 (0,05%)
Produção da embalagem e rótulo	0,149 (0,64%)	3,07E-13 (< 0,01%)	5,46E-04 (0,21%)	3,29E-06 (0,34%)	3,59E-04 (0,93%)	2,00E-04 (0,51%)	1,84E-03 (6,48%)	0,079 (6,73%)
Produção dos agentes de limpeza	4,42E-03 (0,02%)	7,62E-10 (0,03%)	1,97E-05 (0,01%)	4,23E-07 (0,04%)	1,03E-05 (0,03%)	5,60E-06 (0,01%)	5,02E-05 (0,18%)	5,92E-04 (0,05%)
Geração de energia térmica	0,075 (0,32%)	1,05E-08 (0,42%)	7,03E-04 (0,27%)	3,20E-05 (3,34%)	1,79E-03 (4,64%)	6,04E-04 (1,53%)	2,27E-04 (0,80%)	0,022 (1,86%)
Geração de energia elétrica	0,083 (0,36%)	3,81E-09 (0,15%)	2,48E-04 (0,10%)	1,56E-05 (1,63%)	1,68E-04 (0,44%)	1,20E-04 (0,30%)	8,93E-03 (31,54%)	0,012 (1,03%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,317</b> <b>(1,36%)</b>	<b>2,00E-08</b> <b>(0,62%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(0,60%)</b>	<b>5,30E-05</b> <b>(5,57%)</b>	<b>3,00E-03</b> <b>(6,08%)</b>	<b>0,0</b> <b>(2,39%)</b>	<b>0,020</b> <b>(71,00%)</b>	<b>0,115</b> <b>(9,80%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>22,946</b> <b>(98,64%)</b>	<b>2,48E-06</b> <b>(99,38%)</b>	<b>0,258</b> <b>(99,40%)</b>	<b>9,04E-04</b> <b>(94,43%)</b>	<b>0,036</b> <b>(93,92%)</b>	<b>0,039</b> <b>(97,61%)</b>	<b>8,21E-03</b> <b>(29,00%)</b>	<b>1,063</b> <b>(90,20%)</b>
<b>Total</b>	<b>23,263</b> <b>(100%)</b>	<b>2,50E-06</b> <b>(100%)</b>	<b>0,259</b> <b>(100%)</b>	<b>9,57E-04</b> <b>(100%)</b>	<b>0,039</b> <b>(100%)</b>	<b>0,039</b> <b>(100%)</b>	<b>0,028</b> <b>(100%)</b>	<b>1,178</b> <b>(100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 14** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	3,75E-03 (0,02%)	2,56E-10 (0,01%)	2,49E-05 (0,01%)	1,30E-06 (0,14%)	1,21E-05 (0,03%)	9,18E-06 (0,02%)	9,03E-03 (32,14%)	9,98E-04 (0,09%)
Produção dos ingredientes	2,18E-03 (0,01%)	1,96E-10 (0,01%)	1,31E-05 (0,01%)	7,66E-07 (0,08%)	8,72E-06 (0,02%)	4,80E-06 (0,01%)	3,58E-05 (0,13%)	5,75E-04 (0,05%)
Produção da embalagem e rótulo	0,149 (0,64%)	3,07E-13 (< 0,01%)	5,46E-04 (0,21%)	3,29E-06 (0,36%)	3,59E-04 (0,96%)	2,00E-04 (0,50%)	1,84E-03 (6,54%)	0,079 (6,86%)
Produção dos agentes de limpeza	4,42E-03 (0,02%)	7,62E-10 (0,03%)	1,97E-05 (0,01%)	4,23E-07 (0,05%)	1,03E-05 (0,03%)	5,60E-06 (0,01%)	5,02E-05 (0,18%)	5,92E-04 (0,05%)
Geração de energia térmica	1,08E-03 (< 0,01%)	6,02E-08 (2,36%)	2,85E-04 (0,11%)	0,0 (0,00%)	4,93E-04 (1,32%)	1,02E-03 (2,56%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Geração de energia elétrica	0,083 (0,36%)	3,81E-09 (0,15%)	2,48E-04 (0,10%)	1,56E-05 (1,69%)	1,68E-04 (0,45%)	1,20E-04 (0,30%)	8,93E-03 (31,79%)	1,22E-02 (1,05%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,243</b> <b>(1,05%)</b>	<b>7,00E-08</b> <b>(2,56%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(0,44%)</b>	<b>2,10E-05</b> <b>(2,31%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(2,82%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(3,41%)</b>	<b>0,020</b> <b>(70,77%)</b>	<b>0,093</b> <b>(8,10%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>22,946</b> <b>(98,95%)</b>	<b>2,48E-06</b> <b>(97,44%)</b>	<b>0,258</b> <b>(99,56%)</b>	<b>9,04E-04</b> <b>(97,69%)</b>	<b>0,036</b> <b>(97,18%)</b>	<b>0,039</b> <b>(96,59%)</b>	<b>8,21E-03</b> <b>(29,23%)</b>	<b>1,063</b> <b>(91,90%)</b>
<b>Total</b>	<b>23,189</b> <b>(100%)</b>	<b>2,55E-06</b> <b>(100%)</b>	<b>0,259</b> <b>(100%)</b>	<b>9,25E-04</b> <b>(100%)</b>	<b>0,037</b> <b>(100%)</b>	<b>0,040</b> <b>(100%)</b>	<b>0,028</b> <b>(100%)</b>	<b>1,156</b> <b>(100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 15** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	3,75E-03 (0,02%)	2,56E-10 (0,01%)	2,49E-05 (0,01%)	1,30E-06 (0,26%)	1,21E-05 (0,03%)	9,18E-06 (0,03%)	9,03E-03 (31,25%)	9,98E-04 (0,09%)
Produção dos ingredientes	2,18E-03 (0,01%)	1,96E-10 (0,01%)	1,31E-05 (0,01%)	7,66E-07 (0,16%)	8,72E-06 (0,02%)	4,80E-06 (0,01%)	3,58E-05 (0,12%)	5,75E-04 (0,05%)
Produção da embalagem e rótulo	0,149 (0,79%)	3,07E-13 (< 0,01%)	5,46E-04 (0,25%)	3,29E-06 (0,67%)	3,59E-04 (1,00%)	2,00E-04 (0,60%)	1,84E-03 (6,36%)	0,079 (7,24%)
Produção dos agentes de limpeza	4,42E-03 (0,02%)	7,62E-10 (0,03%)	1,97E-05 (0,01%)	4,23E-07 (0,09%)	1,03E-05 (0,03%)	5,60E-06 (0,02%)	5,02E-05 (0,17%)	5,92E-04 (0,05%)
Geração de energia térmica	0,075 (0,40%)	1,05E-08 (0,43%)	7,03E-04 (0,33%)	3,20E-05 (6,49%)	1,79E-03 (4,99%)	6,04E-04 (1,80%)	2,27E-04 (0,79%)	0,022 (2,00%)
Geração de energia elétrica	0,083 (0,44%)	3,81E-09 (0,15%)	2,48E-04 (0,11%)	1,56E-05 (3,17%)	1,68E-04 (0,47%)	1,20E-04 (0,36%)	8,93E-03 (30,92%)	0,012 (1,11%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,317</b> <b>(1,68%)</b>	<b>2,00E-08</b> <b>(0,63%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(0,72%)</b>	<b>5,40E-05</b> <b>(10,83%)</b>	<b>3,00E-03</b> <b>(6,55%)</b>	<b>0,0</b> <b>(2,82%)</b>	<b>0,020</b> <b>(69,62%)</b>	<b>0,115</b> <b>(10,55%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>18,563</b> <b>(98,32%)</b>	<b>2,45E-06</b> <b>(99,37%)</b>	<b>0,215</b> <b>(99,28%)</b>	<b>4,39E-04</b> <b>(89,17%)</b>	<b>0,033</b> <b>(93,45%)</b>	<b>0,033</b> <b>(97,18%)</b>	<b>8,78E-03</b> <b>(30,38%)</b>	<b>0,980</b> <b>(89,45%)</b>
<b>Total</b>	<b>18,880</b> <b>(100%)</b>	<b>2,47E-06</b> <b>(100%)</b>	<b>0,216</b> <b>(100%)</b>	<b>4,93E-04</b> <b>(100%)</b>	<b>0,036</b> <b>(100%)</b>	<b>0,033</b> <b>(100%)</b>	<b>0,029</b> <b>(100%)</b>	<b>1,095</b> <b>(100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 16** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação da manteiga, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	3,75E-03 (0,02%)	2,56E-10 (0,01%)	2,49E-05 (0,01%)	1,30E-06 (0,28%)	1,21E-05 (0,03%)	9,18E-06 (0,03%)	9,03E-03 (31,50%)	9,98E-04 (0,09%)
Produção dos ingredientes	2,18E-03 (0,01%)	1,96E-10 (0,01%)	1,31E-05 (0,01%)	7,66E-07 (0,17%)	8,72E-06 (0,03%)	4,80E-06 (0,01%)	3,58E-05 (0,12%)	5,75E-04 (0,05%)
Produção da embalagem e rótulo	0,149 (0,79%)	3,07E-13 (< 0,01%)	5,46E-04 (0,25%)	3,29E-06 (0,71%)	3,59E-04 (1,04%)	2,00E-04 (0,59%)	1,84E-03 (6,41%)	0,079 (7,39%)
Produção dos agentes de limpeza	4,42E-03 (0,02%)	7,62E-10 (0,03%)	1,97E-05 (0,01%)	4,23E-07 (0,09%)	1,03E-05 (0,03%)	5,60E-06 (0,02%)	5,02E-05 (0,18%)	5,92E-04 (0,06%)
Geração de energia térmica	1,08E-03 (0,01%)	6,02E-08 (2,39%)	2,85E-04 (0,13%)	0,0 (0,00%)	4,93E-04 (1,43%)	1,02E-03 (3,01%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Geração de energia elétrica	0,083 (0,44%)	3,81E-09 (0,15%)	2,48E-04 (0,11%)	1,56E-05 (3,39%)	1,68E-04 (0,49%)	1,20E-04 (0,35%)	8,93E-03 (31,17%)	0,012 (1,13%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,243</b> <b>(1,29%)</b>	<b>6,00E-08</b> <b>(2,59%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(0,53%)</b>	<b>2,20E-05</b> <b>(4,65%)</b>	<b>2,00E-03</b> <b>(3,04%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(4,01%)</b>	<b>0,020</b> <b>(69,38%)</b>	<b>0,093</b> <b>(8,72%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>18,563</b> <b>(98,71%)</b>	<b>2,45E-06</b> <b>(97,41%)</b>	<b>0,215</b> <b>(99,47%)</b>	<b>4,39E-04</b> <b>(95,35%)</b>	<b>0,033</b> <b>(96,96%)</b>	<b>0,033</b> <b>(95,99%)</b>	<b>8,78E-03</b> <b>(30,62%)</b>	<b>0,980</b> <b>(91,28%)</b>
<b>Total</b>	<b>18,806</b> <b>(100%)</b>	<b>2,51E-06</b> <b>(100%)</b>	<b>0,216</b> <b>(100%)</b>	<b>4,61E-04</b> <b>(100%)</b>	<b>0,035</b> <b>(100%)</b>	<b>0,034</b> <b>(100%)</b>	<b>0,029</b> <b>(100%)</b>	<b>1,073</b> <b>(100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 17** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,48E-03 (0,07%)	3,74E-10 (0,04%)	3,64E-05 (0,04%)	1,90E-06 (0,49%)	1,76E-05 (0,12%)	1,34E-05 (0,09%)	0,013 (43,31%)	1,46E-03 (0,34%)
Produção dos ingredientes	0,013 (0,16%)	1,17E-09 (0,14%)	7,79E-05 (0,09%)	4,56E-06 (1,18%)	5,20E-05 (0,34%)	2,86E-05 (0,20%)	2,13E-04 (0,70%)	3,42E-03 (0,80%)
Produção da embalagem e rótulo	0,021 (0,26%)	3,75E-10 (0,04%)	8,40E-05 (0,09%)	1,87E-06 (0,49%)	8,63E-05 (0,56%)	2,86E-05 (0,20%)	4,23E-04 (1,39%)	0,014 (3,16%)
Produção dos agentes de limpeza	6,64E-03 (0,08%)	1,15E-09 (0,13%)	2,96E-05 (0,03%)	6,36E-07 (0,17%)	1,54E-05 (0,10%)	8,41E-06 (0,06%)	7,54E-05 (0,25%)	8,90E-04 (0,21%)
Geração de energia térmica	0,113 (1,41%)	1,58E-08 (1,83%)	1,06E-03 (1,19%)	4,81E-05 (12,48%)	2,69E-03 (17,55%)	9,09E-04 (6,42%)	3,42E-04 (1,12%)	0,033 (7,67%)
Geração de energia elétrica	0,125 (1,55%)	5,74E-09 (0,67%)	3,72E-04 (0,42%)	2,35E-05 (6,10%)	2,53E-04 (1,65%)	1,81E-04 (1,28%)	0,013 (44,13%)	0,018 (4,27%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,284</b> <b>(3,54%)</b>	<b>2,50E-08</b> <b>(2,85%)</b>	<b>2,00E-03</b> <b>(1,87%)</b>	<b>8,00E-05</b> <b>(20,90%)</b>	<b>3,00E-03</b> <b>(20,32%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(8,26%)</b>	<b>0,027</b> <b>(90,90%)</b>	<b>0,071</b> <b>(16,45%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>7,739</b> <b>(96,46%)</b>	<b>8,37E-07</b> <b>(97,15%)</b>	<b>0,087</b> <b>(98,13%)</b>	<b>3,05E-04</b> <b>(79,10%)</b>	<b>0,012</b> <b>(79,68%)</b>	<b>0,013</b> <b>(91,74%)</b>	<b>2,77E-03</b> <b>(9,10%)</b>	<b>0,358</b> <b>(83,55%)</b>
<b>Total</b>	<b>8,023</b> <b>(100%)</b>	<b>8,62E-07</b> <b>(100%)</b>	<b>0,089</b> <b>(100%)</b>	<b>3,85E-04</b> <b>(100%)</b>	<b>0,015</b> <b>(100%)</b>	<b>0,014</b> <b>(100%)</b>	<b>0,030</b> <b>(100%)</b>	<b>0,429</b> <b>(100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.



**Apêndice 18** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,48E-03 (0,07%)	3,74E-10 (0,04%)	3,64E-05 (0,04%)	1,90E-06 (0,56%)	1,76E-05 (0,13%)	1,34E-05 (0,09%)	0,013 (43,80%)	1,46E-03 (0,37%)
Produção dos ingredientes	0,013 (0,16%)	1,17E-09 (0,12%)	7,79E-05 (0,09%)	4,56E-06 (1,35%)	5,20E-05 (0,39%)	2,86E-05 (0,19%)	2,13E-04 (0,71%)	3,42E-03 (0,86%)
Produção da embalagem e rótulo	0,021 (0,27%)	3,75E-10 (0,04%)	8,40E-05 (0,10%)	1,87E-06 (0,56%)	8,63E-05 (0,64%)	2,86E-05 (0,19%)	4,23E-04 (1,40%)	0,014 (3,43%)
Produção dos agentes de limpeza	6,64E-03 (0,08%)	1,15E-09 (0,12%)	2,96E-05 (0,03%)	6,36E-07 (0,19%)	1,54E-05 (0,12%)	8,41E-06 (0,06%)	7,54E-05 (0,25%)	8,90E-04 (0,22%)
Geração de energia térmica	1,63E-03 (0,02%)	9,06E-08 (9,67%)	4,29E-04 (0,49%)	0,0 (0,00%)	7,42E-04 (5,54%)	1,53E-03 (10,38%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Geração de energia elétrica	0,125 (1,57%)	5,74E-09 (0,61%)	3,72E-04 (0,42%)	2,35E-05 (6,97%)	2,53E-04 (1,89%)	1,81E-04 (1,22%)	0,013 (44,63%)	0,018 (4,62%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,172 (2,18%)</b>	<b>1,00E-07 (10,61%)</b>	<b>1,00E-03 (1,17%)</b>	<b>3,20E-05 (9,63%)</b>	<b>1,00E-03 (8,71%)</b>	<b>2,00E-03 (12,14%)</b>	<b>0,027 (90,80%)</b>	<b>0,038 (9,51%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>7,739 (97,82%)</b>	<b>8,37E-07 (89,39%)</b>	<b>0,087 (98,83%)</b>	<b>3,05E-04 (90,37%)</b>	<b>0,012 (91,29%)</b>	<b>0,013 (87,86%)</b>	<b>2,77E-03 (9,20%)</b>	<b>0,358 (90,49%)</b>
<b>Total</b>	<b>7,911 (100%)</b>	<b>9,37E-07 (100%)</b>	<b>0,088 (100%)</b>	<b>3,37E-04 (100%)</b>	<b>0,013 (100%)</b>	<b>0,015 (100%)</b>	<b>0,030 (100%)</b>	<b>0,396 (100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 19** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.

Item	Categoria de impacto							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,48E-03 (0,08%)	3,74E-10 (0,04%)	3,64E-05 (0,05%)	1,90E-06 (0,83%)	1,76E-05 (0,12%)	1,34E-05 (0,11%)	0,013 (43,04%)	1,46E-03 (0,36%)
Produção dos ingredientes	0,013 (0,20%)	1,17E-09 (0,14%)	7,79E-05 (0,11%)	4,56E-06 (1,99%)	5,20E-05 (0,36%)	2,86E-05 (0,24%)	2,13E-04 (0,69%)	3,42E-03 (0,85%)
Produção da embalagem e rótulo	0,021 (0,32%)	3,75E-10 (0,04%)	8,40E-05 (0,11%)	1,87E-06 (0,82%)	8,63E-05 (0,60%)	2,86E-05 (0,24%)	4,23E-04 (1,38%)	0,014 (3,38%)
Produção dos agentes de limpeza	6,64E-03 (0,10%)	1,15E-09 (0,13%)	2,96E-05 (0,04%)	6,36E-07 (0,28%)	1,54E-05 (0,11%)	8,41E-06 (0,07%)	7,54E-05 (0,25%)	8,90E-04 (0,22%)
Geração de energia térmica	0,113 (1,73%)	1,58E-08 (1,86%)	1,06E-03 (1,43%)	4,81E-05 (21,02%)	2,69E-03 (18,69%)	9,09E-04 (7,49%)	3,42E-04 (1,12%)	0,033 (8,21%)
Geração de energia elétrica	0,125 (1,90%)	5,74E-09 (0,67%)	3,72E-04 (0,50%)	2,35E-05 (10,28%)	2,53E-04 (1,76%)	1,81E-04 (1,49%)	0,013 (43,86%)	0,018 (4,57%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,285</b> <b>(4,34%)</b>	<b>2,50E-08</b> <b>(2,89%)</b>	<b>2,00E-03</b> <b>(2,24%)</b>	<b>8,10E-05</b> <b>(35,22%)</b>	<b>3,00E-03</b> <b>(21,63%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(9,63%)</b>	<b>0,028</b> <b>(90,34%)</b>	<b>0,071</b> <b>(17,60%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>6,260</b> <b>(95,66%)</b>	<b>8,26E-07</b> <b>(97,11%)</b>	<b>0,072</b> <b>(97,76%)</b>	<b>1,48E-04</b> <b>(64,78%)</b>	<b>0,011</b> <b>(78,37%)</b>	<b>0,011</b> <b>(90,37%)</b>	<b>2,96E-03</b> <b>(9,66%)</b>	<b>0,330</b> <b>(82,40%)</b>
<b>Total</b>	<b>6,545</b> <b>(100%)</b>	<b>8,51E-07</b> <b>(100%)</b>	<b>0,074</b> <b>(100%)</b>	<b>2,29E-04</b> <b>(100%)</b>	<b>0,014</b> <b>(100%)</b>	<b>0,012</b> <b>(100%)</b>	<b>0,031</b> <b>(100%)</b>	<b>0,401</b> <b>(100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 20** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do queijo, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,48E-03 (0,09%)	3,74E-10 (0,04%)	3,64E-05 (0,05%)	1,90E-06 (1,05%)	1,76E-05 (0,14%)	1,34E-05 (0,10%)	0,013 (43,53%)	1,46E-03 (0,40%)
Produção dos ingredientes	0,013 (0,20%)	1,17E-09 (0,13%)	7,79E-05 (0,11%)	4,56E-06 (2,53%)	5,20E-05 (0,42%)	2,86E-05 (0,22%)	2,13E-04 (0,70%)	3,42E-03 (0,93%)
Produção da embalagem e rótulo	0,021 (0,33%)	3,75E-10 (0,04%)	8,40E-05 (0,11%)	1,87E-06 (1,04%)	8,63E-05 (0,69%)	2,86E-05 (0,22%)	4,23E-04 (1,40%)	0,014 (3,69%)
Produção dos agentes de limpeza	6,64E-03 (0,10%)	1,15E-09 (0,12%)	2,96E-05 (0,04%)	6,36E-07 (0,35%)	1,54E-05 (0,12%)	8,41E-06 (0,07%)	7,54E-05 (0,25%)	8,90E-04 (0,24%)
Geração de energia térmica	1,63E-03 (0,03%)	9,06E-08 (9,79%)	4,29E-04 (0,58%)	0,0 (0,00%)	7,42E-04 (5,95%)	1,53E-03 (12,02%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Geração de energia elétrica	0,125 (1,94%)	5,74E-09 (0,62%)	3,72E-04 (0,51%)	2,35E-05 (13,01%)	2,53E-04 (2,03%)	1,81E-04 (1,42%)	0,013 (44,35%)	0,018 (4,97%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,173 (2,68%)</b>	<b>1,00E-07 (10,74%)</b>	<b>1,00E-03 (1,40%)</b>	<b>3,30E-05 (17,98%)</b>	<b>1,00E-03 (9,36%)</b>	<b>2,00E-03 (14,05%)</b>	<b>0,027 (90,23%)</b>	<b>0,038 (10,23%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>6,260 (97,32%)</b>	<b>8,26E-07 (89,26%)</b>	<b>0,072 (98,60%)</b>	<b>1,48E-04 (82,02%)</b>	<b>0,011 (90,64%)</b>	<b>0,011 (85,95%)</b>	<b>2,96E-03 (9,77%)</b>	<b>0,330 (89,77%)</b>
<b>Total</b>	<b>6,433 (100%)</b>	<b>9,26E-07 (100%)</b>	<b>0,073 (100%)</b>	<b>1,81E-04 (100%)</b>	<b>0,012 (100%)</b>	<b>0,013 (100%)</b>	<b>0,030 (100%)</b>	<b>0,368 (100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 21** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,35E-03 (0,05%)	3,65E-10 (0,03%)	3,56E-05 (0,03%)	1,85E-06 (0,38%)	1,72E-05 (0,09%)	1,31E-05 (0,07%)	0,013 (42,24%)	1,42E-03 (0,26%)
Produção dos ingredientes	2,32E-03 (0,02%)	2,09E-10 (0,02%)	1,39E-05 (0,01%)	8,15E-07 (0,17%)	9,28E-06 (0,05%)	5,10E-06 (0,03%)	3,80E-05 (0,12%)	6,12E-04 (0,11%)
Produção da embalagem e rótulo	0,031 (0,29%)	5,37E-10 (0,05%)	1,24E-04 (0,10%)	2,71E-06 (0,56%)	1,26E-04 (0,64%)	4,23E-05 (0,23%)	6,74E-04 (2,21%)	0,020 (3,58%)
Produção dos agentes de limpeza	6,30E-03 (0,06%)	1,09E-09 (0,09%)	2,81E-05 (0,02%)	6,04E-07 (0,12%)	1,46E-05 (0,07%)	7,98E-06 (0,04%)	7,16E-05 (0,23%)	8,44E-04 (0,15%)
Geração de energia térmica	0,108 (1,00%)	1,50E-08 (1,29%)	1,00E-03 (0,84%)	4,56E-05 (9,36%)	2,56E-03 (13,08%)	8,63E-04 (4,61%)	3,25E-04 (1,06%)	0,031 (5,60%)
Geração de energia elétrica	0,118 (1,10%)	5,44E-09 (0,47%)	3,53E-04 (0,30%)	2,23E-05 (4,58%)	2,40E-04 (1,23%)	1,72E-04 (0,92%)	0,013 (41,81%)	0,017 (3,12%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,271</b> <b>(2,52%)</b>	<b>2,00E-08</b> <b>(1,95%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(1,31%)</b>	<b>7,40E-05</b> <b>(15,17%)</b>	<b>3,00E-03</b> <b>(15,16%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(5,89%)</b>	<b>0,027</b> <b>(87,68%)</b>	<b>0,072</b> <b>(12,81%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>10,498</b> <b>(97,48%)</b>	<b>1,14E-06</b> <b>(98,05%)</b>	<b>0,118</b> <b>(98,69%)</b>	<b>4,14E-04</b> <b>(84,83%)</b>	<b>0,017</b> <b>(84,84%)</b>	<b>0,018</b> <b>(94,11%)</b>	<b>3,76E-03</b> <b>(12,32%)</b>	<b>0,486</b> <b>(87,19%)</b>
<b>Total</b>	<b>10,769</b> <b>(100%)</b>	<b>1,16E-06</b> <b>(100%)</b>	<b>0,119</b> <b>(100%)</b>	<b>4,88E-04</b> <b>(100%)</b>	<b>0,020</b> <b>(100%)</b>	<b>0,019</b> <b>(100%)</b>	<b>0,031</b> <b>(100%)</b>	<b>0,558</b> <b>(100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 22** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo arenoso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,35E-03 (0,05%)	3,65E-10 (0,03%)	3,56E-05 (0,03%)	1,85E-06 (0,42%)	1,72E-05 (0,10%)	1,31E-05 (0,07%)	0,013 (42,69%)	1,42E-03 (0,27%)
Produção dos ingredientes	2,32E-03 (0,02%)	2,09E-10 (0,02%)	1,39E-05 (0,01%)	8,15E-07 (0,18%)	9,28E-06 (0,05%)	5,10E-06 (0,03%)	3,80E-05 (0,13%)	6,12E-04 (0,12%)
Produção da embalagem e rótulo	0,031 (0,29%)	5,37E-10 (0,04%)	1,24E-04 (0,10%)	2,71E-06 (0,61%)	1,26E-04 (0,71%)	4,23E-05 (0,22%)	6,74E-04 (2,23%)	0,020 (3,79%)
Produção dos agentes de limpeza	6,30E-03 (0,06%)	1,09E-09 (0,09%)	2,81E-05 (0,02%)	6,04E-07 (0,14%)	1,46E-05 (0,08%)	7,98E-06 (0,04%)	7,16E-05 (0,24%)	8,44E-04 (0,16%)
Geração de energia térmica	1,55E-03 (0,01%)	8,60E-08 (7,00%)	4,07E-04 (0,34%)	0,0 (0,00%)	7,04E-04 (3,98%)	1,46E-03 (7,54%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Geração de energia elétrica	0,118 (1,11%)	5,44E-09 (0,44%)	3,53E-04 (0,30%)	2,23E-05 (5,05%)	2,40E-04 (1,36%)	1,72E-04 (0,89%)	0,013 (42,26%)	0,017 (3,30%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,165</b> <b>(1,55%)</b>	<b>9,00E-08</b> <b>(7,62%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(0,81%)</b>	<b>2,80E-05</b> <b>(6,40%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(6,28%)</b>	<b>1,00E-03</b> <b>(8,79%)</b>	<b>0,026</b> <b>(87,55%)</b>	<b>0,040</b> <b>(7,64%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>10,498</b> <b>(98,45%)</b>	<b>1,14E-06</b> <b>(92,38%)</b>	<b>0,118</b> <b>(99,19%)</b>	<b>4,14E-04</b> <b>(93,60%)</b>	<b>0,017</b> <b>(93,72%)</b>	<b>0,018</b> <b>(91,21%)</b>	<b>3,76E-03</b> <b>(12,45%)</b>	<b>0,486</b> <b>(92,36%)</b>
<b>Total</b>	<b>10,663</b> <b>(100%)</b>	<b>1,23E-06</b> <b>(100%)</b>	<b>0,119</b> <b>(100%)</b>	<b>4,42E-04</b> <b>(100%)</b>	<b>0,018</b> <b>(100%)</b>	<b>0,019</b> <b>(100%)</b>	<b>0,030</b> <b>(100%)</b>	<b>0,526</b> <b>(100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 23** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de lenha.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,35E-03 (0,06%)	3,65E-10 (0,03%)	3,56E-05 (0,04%)	1,85E-06 (0,67%)	1,72E-05 (0,09%)	1,31E-05 (0,08%)	0,013 (41,88%)	1,42E-03 (0,27%)
Produção de ingredientes	2,32E-03 (0,03%)	2,09E-10 (0,02%)	1,39E-05 (0,01%)	8,15E-07 (0,30%)	9,28E-06 (0,05%)	5,10E-06 (0,03%)	3,80E-05 (0,12%)	6,12E-04 (0,12%)
Produção da embalagem e rótulo	0,031 (0,36%)	5,37E-10 (0,05%)	1,24E-04 (0,12%)	2,71E-06 (0,99%)	1,26E-04 (0,69%)	4,23E-05 (0,26%)	6,74E-04 (2,19%)	0,020 (3,84%)
Produção dos agentes de limpeza	6,30E-03 (0,07%)	1,09E-09 (0,10%)	2,81E-05 (0,03%)	6,04E-07 (0,22%)	1,46E-05 (0,08%)	7,98E-06 (0,05%)	7,16E-05 (0,23%)	8,44E-04 (0,16%)
Geração de energia térmica	0,108 (1,23%)	1,50E-08 (1,31%)	1,00E-03 (1,01%)	4,56E-05 (16,60%)	2,56E-03 (13,98%)	8,63E-04 (5,40%)	3,25E-04 (1,06%)	0,031 (6,01%)
Geração de energia elétrica	0,118 (1,35%)	5,44E-09 (0,48%)	3,53E-04 (0,35%)	2,23E-05 (8,11%)	2,40E-04 (1,31%)	1,72E-04 (1,07%)	0,013 (41,46%)	0,017 (3,34%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,271 (3,09%)</b>	<b>2,00E-08 (1,98%)</b>	<b>2,00E-03 (1,56%)</b>	<b>7,40E-05 (26,89%)</b>	<b>3,00E-03 (16,21%)</b>	<b>1,00E-03 (6,90%)</b>	<b>0,027 (86,95%)</b>	<b>0,072 (13,75%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>8,493 (96,91%)</b>	<b>1,12E-06 (98,02%)</b>	<b>0,098 (98,44%)</b>	<b>2,01E-04 (73,11%)</b>	<b>0,015 (83,79%)</b>	<b>0,015 (93,10%)</b>	<b>4,02E-03 (13,05%)</b>	<b>0,448 (86,25%)</b>
<b>Total</b>	<b>8,764 (100%)</b>	<b>1,14E-06 (100%)</b>	<b>0,100 (100%)</b>	<b>2,75E-04 (100%)</b>	<b>0,018 (100%)</b>	<b>0,016 (100%)</b>	<b>0,031 (100%)</b>	<b>0,520 (100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.

**Apêndice 24** – Resultado da avaliação de impactos ambientais na fabricação do requeijão, por item inventariado, considerando que o leite cru foi obtido em uma fazenda com solo argiloso e a energia térmica utilizada no processamento foi gerada a partir da queima de resíduos de madeira.

Item	Categoria de impacto*							
	MC (kg CO <sub>2eq</sub> )	DO (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	AT (kg SO <sub>2eq</sub> )	EAD (kg P <sub>eq</sub> )	FOF (kg NMVOC)	FMP (kg PM <sub>10eq</sub> )	DA (m <sup>3</sup> )	DF (kg oil <sub>eq</sub> )
Captação e tratamento de água	5,35E-03 (0,06%)	3,65E-10 (0,03%)	3,56E-05 (0,04%)	1,85E-06 (0,81%)	1,72E-05 (0,10%)	1,31E-05 (0,08%)	0,013 (42,33%)	1,42E-03 (0,29%)
Produção dos ingredientes	2,32E-03 (0,03%)	2,09E-10 (0,02%)	1,39E-05 (0,01%)	8,15E-07 (0,36%)	9,28E-06 (0,06%)	5,10E-06 (0,03%)	3,80E-05 (0,12%)	6,12E-04 (0,13%)
Produção da embalagem e rótulo	0,031 (0,36%)	5,37E-10 (0,04%)	1,24E-04 (0,13%)	2,71E-06 (1,18%)	1,26E-04 (0,77%)	4,23E-05 (0,25%)	6,74E-04 (2,21%)	0,020 (4,09%)
Produção dos agentes de limpeza	6,30E-03 (0,07%)	1,09E-09 (0,09%)	2,81E-05 (0,03%)	6,04E-07 (0,26%)	1,46E-05 (0,09%)	7,98E-06 (0,05%)	7,16E-05 (0,24%)	8,44E-04 (0,17%)
Geração de energia térmica	1,55E-03 (0,02%)	8,60E-08 (7,08%)	4,07E-04 (0,41%)	0,0 (0,00%)	7,04E-04 (4,29%)	1,46E-03 (8,79%)	0,0 (0,00%)	0,0 (0,00%)
Geração de energia elétrica	0,118 (1,36%)	5,44E-09 (0,45%)	3,53E-04 (0,36%)	2,23E-05 (9,73%)	2,40E-04 (1,46%)	1,72E-04 (1,03%)	0,013 (41,90%)	0,017 (3,56%)
<b>Fase de processamento</b>	<b>0,165 (1,90%)</b>	<b>9,00E-08 (7,71%)</b>	<b>1,00E-03 (0,97%)</b>	<b>2,80E-05 (12,34%)</b>	<b>1,00E-03 (6,77%)</b>	<b>2,00E-03 (10,23%)</b>	<b>0,026 (86,81%)</b>	<b>0,040 (8,23%)</b>
<b>Fase de obtenção do leite cru</b>	<b>8,493 (98,10%)</b>	<b>1,12E-06 (92,29%)</b>	<b>0,098 (99,03%)</b>	<b>2,01E-04 (87,66%)</b>	<b>0,015 (93,23%)</b>	<b>0,015 (89,77%)</b>	<b>4,02E-03 (13,19%)</b>	<b>0,448 (91,77%)</b>
<b>Total</b>	<b>8,658 (100%)</b>	<b>1,21E-06 (100%)</b>	<b>0,099 (100%)</b>	<b>2,29E-04 (100%)</b>	<b>0,016 (100%)</b>	<b>0,017 (100%)</b>	<b>0,030 (100%)</b>	<b>0,488 (100%)</b>

\*MC = Mudanças climáticas, DO = Depleção do ozônio, AT = Acidificação terrestre, EAD = Eutrofização de água doce, FOF = Formação de oxidantes fotoquímicos, FMP = Formação de material particulado, DA = Depleção de água, DF = Depleção fóssil.