

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

MICHELLE STEFANIU NASCIMENTO

**COMPARAÇÃO DE COAGULANTES UTILIZADOS NO TRATAMENTO
DE EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL POR
MEIO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2014**

MICHELLE STEFANIU NASCIMENTO

**COMPARAÇÃO DE COAGULANTES UTILIZADOS NO TRATAMENTO
DE EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL POR
MEIO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADA**

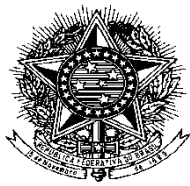
Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Câmpus* Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Edilaine Regina Pereira

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sabrina Rodrigues Sousa

LONDRINA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

COMPARAÇÃO DE COAGULANTES UTILIZADOS NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL POR MEIO DA AVALIAÇÃO
DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADA

por

MICHELLE STEFANIU NASCIMENTO

Monografia apresentada no dia 09 de dezembro de 2014 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli
(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Joseane Debora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientador

Prof^a. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

Dedico este trabalho à memória de José Stefaniu, exemplo de pai e avô, dono de uma imensa sabedoria, que sempre incentivou, apoiou e me deu suporte aos estudos.

AGRADECIMENTOS

O meu maior agradecimento é à Deus que me deu saúde, força e coragem durante esta caminhada, que abençoa a minha vida e me ampara nas dificuldades.

À todos os meus professores que transmitiram seu conhecimento e me ajudaram no crescimento profissional e pessoal, e que com grande afetividade incentivaram a seguir minha carreira. Aos funcionários da UTFPR que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Às minhas orientadoras, Edilaine e Sabrina, que mesmo em meio às dificuldades se dedicaram e apoiaram a elaboração deste trabalho, também pela amizade e grande carinho.

Sou imensamente grata aos meus pais e irmã, Olga, Luiz e Gabrielle, que são a base de tudo e minha maior motivação, aqueles que estiveram ao meu lado, me apoiando incondicionalmente em todos os momentos, sempre me guiando para o melhor caminho. À minha avó Célia, meus tios e primos que mesmo de longe torceram por mim e me enviaram energias positivas.

Ao meu namorado, Hélio, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem neste período, obrigada pela paciência e incentivo não apenas nas horas difíceis de desânimo e cansaço, mas em toda caminhada.

Aos colegas do estágio, que contribuíram para que eu conseguisse finalizar com êxito este estudo, principalmente ao Geraldo, pela transmissão de sua grande sabedoria.

Agradeço à minha eterna turma 5 e aos agregados, com os quais pude aprender muito e que me proporcionaram momentos adoráveis, fazendo valer a pena a dificuldade de cada semestre. Em especial às minhas amigas de curso que levarei por toda a vida, Jessica, Verônica, Rafaella, Thaís, Paula, Marília, Camila's Amanda, Isabela e Luciana, principalmente à Talita e Soraya que muito me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, obrigada pela preciosa amizade e por estarem sempre ao meu lado, me dando suporte nesta temporada.

Às minhas amigas de Cornélio, aquelas que desde sempre me deram todo apoio e cumplicidade e que mesmo distantes, estavam presentes em minha vida. Obrigada a todos que, mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito
debaixo do céu.”
Eclesiastes 3:1

RESUMO

NASCIMENTO, Michelle S. **Comparação de coagulantes utilizados no tratamento de efluentes de uma indústria de café solúvel por meio da avaliação do ciclo de vida simplificada.** 2014. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica do Paraná. Londrina, 2014.

O café produzido no Brasil representa um terço da produção mundial, originando efluentes de elevada concentração de material orgânico que, se lançados nos corpos hídricos sem o devido tratamento, podem provocar expressivos impactos ambientais. As estações de tratamento de efluentes fazem uso de agentes coagulantes, que promovem a aglutinação de partículas em suspensão ou dissolvidas, tornando-as maiores, facilitando sua remoção por filtração e decantação. Tais coagulantes podem ser de origem inorgânica ou orgânica, e sua escolha por parte das indústrias depende do desempenho técnico por eles apresentados. No entanto, buscando fornecer subsídios aos processos decisórios de escolha de coagulantes do ponto de vista ambiental, este trabalho se compõe de duas etapas. A primeira apresenta o levantamento do estado da arte sobre a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em processos de tratamento de efluentes industriais, em especial na indústria de café solúvel. Desta forma, uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) foi conduzida, permitindo a coleta e avaliação dos estudos disponíveis sobre o assunto por meio de uma sequência de passos preestabelecidos. Os resultados apontam que a ferramenta é eficiente no processo decisório, porém no Brasil os estudos acerca do assunto ainda são escassos. A segunda etapa promove a identificação dos aspectos ambientais e impactos potenciais dos coagulantes, Cloreto Férrico e Tanino, em cada fase de seu ciclo de vida valendo-se da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada (ACVS). O desenvolvimento da ACVS baseou-se na escolha de um método semi-quantitativo, Matriz *DfE* onde o resultado obtido em um questionário feito para cada produto analisado é calculado em uma matriz com pontuação máxima de 125 pontos. O tanino foi a alternativa preferível com eficiência de 84% contra 68,8% do Cloreto Férrico. Quanto à etapa do ciclo de vida mais impactante, a pré-manufatura foi destacada para ambos os coagulantes, o aspecto ambiental mais relevante para o cloreto férrico foi efluentes líquidos e para o tanino foi consumo de energia.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de vida. Revisão Bibliográfica Sistemática. Tratamento de Efluentes. Coagulantes. Matriz *DfE*.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Michelle S. **Comparison of coagulants used in wastewater treatment in a soluble coffee industry through of simplified life cycle assessment.** 2014. 97 f. Course Completion Assignment (Environmental Engineering) – Universidade Tecnológica do Paraná. Londrina, 2014.

The coffee produced in Brazil represents one-third of the world output, generating effluent with high concentration of organic material and it can cause significant environmental impacts, if released into water bodies without proper treatment. The sewage treatment plants are using coagulating agents which promote clumping of particles in suspension or dissolved, making them larger, and facilitating its removal by filtration and decantation. These coagulants can have inorganic or organic origin which are chosen by industries depending on the technical performance of them. However, seeking to provide support to decision-making processes on the choice of coagulants from the environmental point of view, this paper consists of two stages. The first one presents the survey of the state of the art on the application of Life Cycle Assessment (LCA) in industrial effluents treatment processes, particularly in soluble coffee industry. Thus, a systematic literature review (SLR) was conducted, allowing the collection and evaluation of available studies based on the subject through a sequence of predetermined steps. The results indicate that the tool is effective in decision-making, but in Brazil the studies on the subject are scarce. The second stage promotes the identification of environmental aspects and potential impacts of coagulants, Ferric Chloride and Tannin, in each stage of their life cycle, making use of the Simplified Life Cycle Assessment methodology (SLCA). The development of SLCA was based on the choice of a semi-quantitative method, DfE Matrix, where the obtained result in a survey carried out for each analyzed product is calculated in an array with a maximum score of 125 points. Tannin was the suitable alternative with efficiency of 84% against 68.8% from Ferric Chloride. Regarding the most stunning life cycle stage, the pre-manufacturing was emphasized to both coagulants. As for the environmental aspect more relevant, to the Ferric Chloride was liquid waste, while to the Tannin was the energy consumption.

Keywords: Life Cycle Assessment. Systematic Literature Review. Wastewater Treatment. Coagulants. DfE matrix

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Fluxograma das etapas do tratamento de efluentes da indústria de café solúvel | 17 |
| Figura 2 – Agente coagulante inorgânico: cloreto férrico | 22 |
| Figura 3 – Agente coagulante orgânico: tanino | 24 |
| Figura 4 - Estrutura da avaliação do ciclo de vida | 26 |
| Figura 5 - Imagem de satélite da localização da Indústria de Café Solúvel | 36 |
| Figura 6 – Etapas para a condução de uma RBS | 38 |
| Figura 7 – Representação gráfica da seleção de estudos por meio da RBS | 47 |
| Figura 8 – Representação gráfica da quantidade total de estudos por idioma e por base de dados..... | 47 |
| Figura 9 – Representação gráfica da base de dados dos estudos incluídos | 49 |
| Figura 10 – Representação gráfica dos tipos de estudos incluídos | 49 |
| Figura 11 – Representação gráfica das fontes de periódicos e congressos de fornecimento de artigos..... | 50 |
| Figura 12 – Representação gráfica das unidades funcionais definidas nos estudos de ACV..... | 57 |
| Figura 13 – Representação gráfica dos limites do sistema definidos nos estudos de ACV..... | 58 |
| Figura 14 – Representação gráfica dos softwares para a confecção do inventário definidos nos estudos de ACV | 59 |
| Figura 15 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Pré-Manufatura do cloreto férrico..... | 65 |
| Figura 16 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Pré-Manufatura do tanino | 66 |
| Figura 17 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Manufatura do cloreto férrico..... | 68 |
| Figura 18 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Manufatura do tanino | 68 |
| Figura 19 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Distribuição e Embalagem do cloreto férrico..... | 70 |
| Figura 20 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Distribuição e Embalagem do tanino | 71 |
| Figura 21 – Representação gráfica dos aspectos ambientais do Uso do Produto e Manutenção do cloreto férrico | 72 |
| Figura 22 – Representação gráfica dos aspectos ambientais do Uso do Produto e Manutenção do tanino..... | 73 |
| Figura 23 – Representação gráfica dos aspectos ambientais do Fim de Vida do cloreto férrico..... | 74 |
| Figura 24 – Representação gráfica dos aspectos ambientais do Fim de Vida do tanino | 75 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Matriz <i>DfE</i> | 43 |
| Quadro 2 - Elementos modificados na Matriz <i>DfE</i> | 61 |
| Quadro 3 - Questões modificadas do elemento D1..... | 62 |
| Quadro 4 - Questão modificada do elemento D3 | 62 |
| Quadro 5 - Questões modificadas do elemento E1 | 63 |
| Quadro 6 - Questões modificadas do elemento E2..... | 63 |
| Quadro 7 - Questão modificada do elemento E3 | 64 |
| Quadro 8 - Cálculo da Matriz <i>DfE</i> para o cloreto férrico | 76 |
| Quadro 9 - Cálculo da Matriz <i>DfE</i> para o tanino..... | 77 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Condições de Lançamento de Efluentes – Resolução CONAMA nº430 .. | 19 |
| Tabela 2– Padrões de Lançamento de Efluentes – Resolução CONAMA nº 430..... | 20 |
| Tabela 3 - Padrões para o Lançamento de Efluentes – Resolução CEMA nº 70..... | 21 |
| Tabela 4 – Métodos e Ferramentas de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada..... | 40 |
| Tabela 5 – <i>Strings</i> de busca com o maior número de publicações | 48 |
| Tabela 6 – Síntese dos artigos analisados na RBS | 51 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 3.1 | TRATAMENTO DO EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL | 15 |
| 3.1.1 | Tratamento Primário | 17 |
| 3.1.2 | Tratamento Secundário | 18 |
| 3.1.3 | Tratamento Terciário | 18 |
| 3.1.4 | Legislação | 19 |
| 3.2 | USO DO COAGULANTE | 21 |
| 3.2.1 | Cloreto Férrico | 22 |
| 3.2.2 | Tanino de Acácia Negra | 23 |
| 3.3 | TÉCNICAS E FERRAMENTAS DE GESTÃO AMBIENTAL | 25 |
| 3.3.1 | Avaliação do Ciclo de Vida | 25 |
| 3.3.2 | Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada | 28 |
| 3.3.3 | Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) Aplicada ao Tratamento de Efluentes | 30 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 35 |
| 4.1 | PESQUISA BIBLIOGRÁFICA | 35 |
| 4.1.1 | Tratamento de Efluentes na Indústria de Café Solúvel | 35 |
| 4.1.2 | Revisão Bibliográfica Sistemática | 37 |
| 4.2 | PESQUISA DE CAMPO | 40 |
| 4.2.1 | Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada | 40 |
| 5 | RESULTADOS | 46 |
| 5.1 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA | 46 |
| 5.1.1 | Coleta de Dados | 46 |
| 5.1.2 | Estudos Incluídos | 48 |
| 5.1.3 | Análise e Interpretação de dados | 50 |
| 5.2 | PESQUISA DE CAMPO | 60 |
| 5.2.1 | Análise do Questionário da Matriz <i>DfE</i> | 60 |
| 5.2.2 | Pré-Manufatura | 64 |
| 5.2.3 | Manufatura | 67 |
| 5.2.4 | Distribuição e Embalagem | 69 |
| 5.2.5 | Uso do Produto e Manutenção | 71 |
| 5.2.6 | Fim de Vida | 73 |
| 5.2.7 | Comparação Geral entre Produtos | 75 |
| 6 | CONCLUSÃO | 79 |
| 6.1 | RECOMENDAÇÕES | 80 |
| | REFERÊNCIAS | 81 |
| | APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO ADAPTADO PARA A MATRIZ <i>DfE</i> | 89 |

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de conter a exploração irracional dos recursos naturais surge devido aos inúmeros impactos ambientais provocados por atividades realizadas de maneira descontrolada, fatores que vem sendo agravados pelo crescimento industrial. O redimensionamento destas atividades deve ser feito, para eliminar o lançamento de poluentes no meio ambiente, advindos de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas.

A poluição é qualquer alteração que acontece no meio ambiente, a poluição atmosférica, por exemplo, contribui para o aumento da inversão térmica, ilhas de calor, efeito estufa e chuvas ácidas.

No caso dos resíduos sólidos, o grande problema está na elevada geração e manejo inadequado, os resíduos são enviados para aterros sanitários e industriais, aumentando o risco de contaminação do solo e água subterrânea com o passar do tempo, assim como lançamento de efluentes industriais sem o devido tratamento gera a poluição e contaminação dos corpos receptores (ANDRADE, 2008).

Desta forma a gestão ambiental surge, trazendo programas de prevenção à poluição e adoção de tecnologias limpas, com o objetivo de evitar que os aspectos ambientais virem impactos potenciais em todos os tipos de organizações, incluindo a indústria de café.

Segundo o Conselho Nacional de Abastecimento – CONAB (2014), o Brasil é responsável por aproximadamente um terço da produção mundial de café, sendo o maior produtor e exportador deste grão e o segundo maior consumidor. A primeira estimativa para a produção da safra cafeeira indica que o país deverá colher entre 46 e 50 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado no ano de 2014.

O processo industrial do café produz alta concentração de material orgânico lançado nos corpos hídricos, assim como, um elevado volume de águas limpas empregado no processamento do grão, devolvidas para o meio ambiente com baixa qualidade, provocando um expressivo impacto ambiental se o tratamento e disposição final deste resíduo não forem realizados de maneira apropriada (MATOS et al., 2005).

As tecnologias utilizadas nas estações de tratamento de efluentes visam à diminuição da carga orgânica, para que seja lançado ao corpo hídrico um efluente

final dentro dos padrões estabelecidos pela resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que institui aos responsáveis pela fonte potencial ou efetivamente poluidora, a realização de práticas para o gerenciamento de efluentes e a aplicação de métodos de redução da geração, buscando a melhoria da qualidade de efluentes gerados, possibilitando sua reutilização (BRASIL, 2011).

Em uma Estação de Tratamento de Efluentes - ETE, um dos processos fundamentais de tratamento é a coagulação/floculação, que promove a aglutinação das partículas em suspensão ou dissolvidas, tornando-as maiores para que possam sedimentar rapidamente e serem removidas por filtração e decantação (FRANCO, 2009).

Os coagulantes utilizados nesta etapa do processo de tratamento podem ser de origem inorgânica ou orgânica. Segundo Vaz (2009), os coagulantes de origem química apresentam em sua composição metais pesados, podendo comprometer o efluente final a ser lançado no corpo receptor.

Um exemplo de coagulante orgânico é obtido à base de Tanino. Por se tratar de um produto de origem natural e, segundo a Tanac (2008), não consumir a alcalinidade do meio, não alterando o pH da água tratada, pressupõe-se que este tipo de coagulante seja o mais indicado para o uso das Estações de Tratamento de Efluentes, porém esta suposição só será comprovada a partir de uma avaliação ambiental, que tem como uma de suas técnicas a interpretação dos dados baseados em diferentes indicadores e parâmetros obtidos por meio da Avaliação do Ciclo de Vida - ACV.

A ACV é uma técnica de gestão com foco na avaliação dos aspectos ambientais e impactos potenciais associados ao produto, utilizada para a melhoria da gestão ambiental, ajuda a selecionar indicadores de desempenho ambiental e serve de subsídio às estratégias de marketing e elaboração de políticas públicas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2009).

Esta técnica institui uma sistemática confiável, permitindo a tomada de decisão de uma atividade que apresente dentre várias, o menor impacto ambiental. Assim, é possível realizar uma comparação com base numa avaliação quantitativa e qualitativa dos aspectos gerados no ciclo de vida de cada coagulante, o que permitiria afirmar qual deles é melhor, do ponto de vista ambiental, para ser

empregado no o tratamento de efluentes industriais do café (HINZ; VALENTINA; FRANCO, 2006).

O presente trabalho de conclusão curso tem como uma de suas finalidades o fornecimento de informações referentes à aplicação de ACV aos coagulantes no processo de tratamento de efluentes, um tema que apresenta carência de informações na literatura.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é comparar, por meio da avaliação do ciclo de vida simplificada, dois agentes coagulantes (tanino e cloreto férrico) utilizados no tratamento de efluentes de indústria de café solúvel para a aglutinação de partículas, a fim de determinar qual destes produtos apresenta um perfil ambiental mais favorável.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral acima descrito, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Adquirir conhecimentos sobre a técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada (ACVS), bem como suas metodologias;
- Realizar uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) sobre a aplicação de ACV em sistemas de tratamento de efluentes;
- Definir base de dados e *strings* de busca mais eficazes para a identificação de estudos no tema;
- Definir ferramenta de ACV simplificada para o caso estudado;
- Comparar o desempenho ambiental dos coagulantes abordados;
- Identificar as fases do ciclo de vida e aspectos ambientais mais relevantes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

De forma a contextualizar o estudo, este capítulo apresenta a importância do tratamento do efluente da indústria de café solúvel (3.1), bem como as etapas deste tratamento e a legislação vigente sobre o tema (3.1.1 a 3.1.4), o uso do coagulante neste tratamento (3.2) e os agentes coagulantes estudados (3.2.1 e 3.2.2). São abordadas também as técnicas e ferramentas da gestão ambiental (3.3), a definição de ACV (3.3.1), ACV Simplificada (3.3.2) e os estudos envolvendo a avaliação do ciclo de vida e os sistemas de tratamento de efluentes (3.3.3).

3.1 TRATAMENTO DO EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL

A água é um elemento indispensável para a sobrevivência da espécie humana, fazendo necessária a sua preservação. Devido a esta escassez dos recursos naturais, o setor industrial vem buscando alternativas que visam reduzir os impactos ambientais potenciais. As indústrias fazem uso da água em diversos processos, seja como matéria prima, solvente, agente de limpeza, fonte de vapor, entre outras, e comumente parte do total utilizado deste recurso natural é devolvido à natureza na forma de efluente, muitas vezes com alto poder contaminante, ocasionando grandes impactos aos corpos hídricos.

De acordo com o Ministério da Agricultura (2013), o Brasil é o maior produtor e exportador mundial e segundo maior consumidor de café, possuindo um parque cafeeiro de aproximadamente 2,3 milhões de hectares, contabilizando 5,67 bilhões de pés do produto, chegando a exportar 32,01 milhões de sacas em 2013.

O lançamento de cargas orgânicas em excesso nos rios reduz consideravelmente as condições de sobrevivência das comunidades aquáticas, e torna a água imprópria para o consumo humano. No processo industrial do café, a carga orgânica gerada pode atingir valores de até 20.000 mgDBO_{5,20}/L, um valor muito maior que o gerado pelo esgotamento doméstico, de aproximadamente 300 mgDBO_{5,20}/L (SILVA, 2007).

No processo de lavagem do café são gerados entre 0,1 e 0,2 L de efluente para cada litro do fruto processado, e de 3 a 5 L no processo de descascamento/despolpa e desmucilagem, porém esta faixa de valor pode ser reduzido para 1 L, caso haja reuso de água no processo. Além do alto consumo de água, o efluente advindo do processo de descascamento do fruto do café apresenta elevada carga orgânica, com alta concentração de DBO, DQO e sólidos totais, sendo estes em sua maioria compostos por sólidos voláteis totais podendo acarretar danos ao corpo receptor se não for realizado o tratamento adequado (MATOS, 2011).

O tratamento de efluentes líquidos, além de proteger os mananciais de água, é capaz de satisfazer as necessidades da geração atual, não comprometendo o cenário futuro, de forma a promover o desenvolvimento sustentável.

Uma das formas de tratamento utilizadas pelas estações se dá por meio do emprego de coagulantes, eficientes na redução de até 75% da demanda bioquímica de oxigênio – DBO e quase totalidade de sólidos suspensos (SILVA et al., 2007).

Buscando maneiras de minimizar os aspectos ambientais gerados com a produção das águas residuárias do café, as empresas podem realizar o tratamento deste efluente a partir do uso de sedimentadores, filtros orgânicos, lagoas anaeróbicas e biodigestores. Também podem ser destinadas a fertirrigação e disposição no solo se esta for feita de maneira apropriada, além disso, pode-se minimizar seu consumo promovendo a recirculação da água no processamento pós-colheita (MELO, 2009).

O modelo do sistema de tratamento de efluentes utilizado na indústria de café solúvel que foi desenvolvida a pesquisa de campo é apresentado na Figura 1, sendo que este consiste de diferentes etapas, divididas em tratamento primário, secundário e terciário.

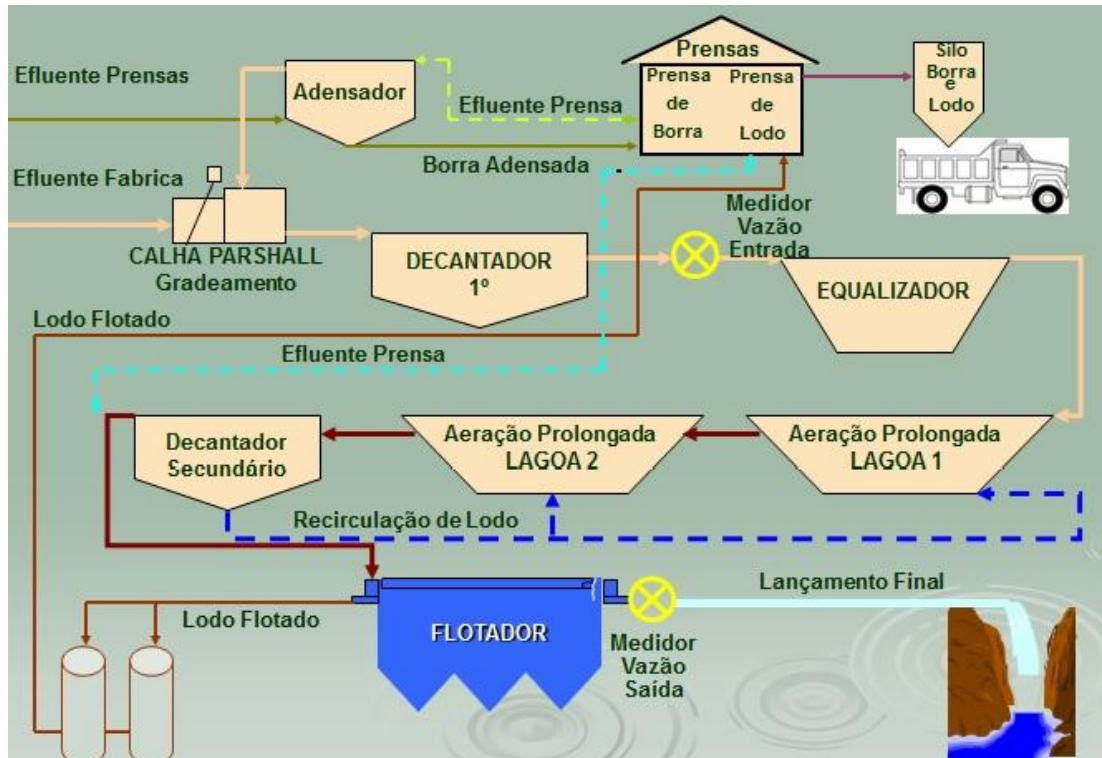


Figura 1 – Fluxograma das etapas do tratamento de efluentes da indústria de café solúvel

Fonte: Indústria de café solúvel do norte do Paraná.

3.1.1 Tratamento Primário

A primeira etapa do processo de tratamento primário consiste no *gradeamento*, que é a entrada principal do efluente vindo da empresa, onde ocorre a remoção dos sólidos grosseiros, fazendo com que as partículas maiores fiquem retidas. Após esta etapa, o efluente segue para o *decantador primário*, onde os sólidos em suspensão de maior densidade são sedimentados gradualmente juntamente com o efluente advindo da prensa da borra. No fundo do *decantador* existem raspadores submersos que promovem a retirada dos sólidos, bombeando-os para o *adensador*, e o efluente que já sofreu sedimentação é enviado para o *equalizador*.

No *adensador* é utilizado o método gravimétrico, onde o lodo que apresenta grandes quantidades de água é submetido a uma redução de volume devido ao aumento no teor destes sólidos. O lodo adensado é retirado do fundo do tanque e

bombeado para a *prensagem*, onde o lodo é prensado, produzindo uma torta com característica mais seca.

No *equalizador*, o efluente advindo do *decantador primário* tem um tempo de detenção de 2 a 4 horas antes de seguir para a próxima etapa, minimizando as variações de pH, vazão, DQO, DBO e temperatura, ou seja, nesta etapa o efluente se equaliza, gerando uma mistura homogênea com uma quantidade de poluentes bem distribuída, diminuindo o impacto na etapa seguinte. O *equalizador* também pode ser usado como um tanque reserva de efluente caso seja preciso parar alguma etapa do processo.

3.1.2 Tratamento Secundário

No tratamento secundário, o efluente segue para o reator biológico, composto por duas *lagoas de aeração prolongada*, onde ocorre o desenvolvimento de bactérias aeróbias que irão digerir a matéria orgânica carbonácea e a nitrificação do nitrogênio orgânico total remanescente do afluente bruto. A quantidade de oxigênio necessária para a manutenção da vida das bactérias é introduzida na mistura através de aeradores mecânicos de superfície e submersos. Assim, os microrganismos convertem a matéria orgânica formando os *lodos ativados*. Em seguida, o efluente segue para o *tanque de decantação secundário*, onde o lodo ativado que se deposita no fundo é separado, 90% deste lodo retornam às lagoas e os outros 10% são descartados.

3.1.3 Tratamento Terciário

Nesta etapa, coleta-se o efluente final secundário para o *clareamento* e, em seguida, é bombeado para o *flotador* com dosagens de ácido sulfúrico para correção de pH, cloreto férrico para a *coagulação*, polímero para a *floculação*, ao mesmo tempo em que são adicionadas microbolhas de ar para auxiliar na flotação. Depois

disso, o lodo gerado no clareamento vai para a *prensagem de lodo*, e o efluente clarificado é lançado no corpo hídrico.

3.1.4 Legislação

Tratando-se da importância da preservação da qualidade da água e manutenção da saúde pública a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, institui condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece limites para os parâmetros em relação às condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos.

Neste âmbito, há também a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CEMA nº 70, de 01 de outubro de 2009, complementada e alterada pela Resolução CEMA nº 72, de 22 de outubro de 2009, estabelecidas pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), que dispõe sobre o licenciamento ambiental e estabelece condições e critérios para Empreendimentos Industriais. São apresentados nesta resolução, padrões para o lançamento de efluentes líquidos industriais em corpos hídricos. As Tabelas 1, 2 e 3 são referentes às condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores segundo as legislações vigentes.

Tabela 1 - Condições de Lançamento de Efluentes – Resolução CONAMA nº430
Condições de Lançamento de Efluentes

| PARÂMETROS | VALORES MÁXIMOS |
|-----------------------------------|------------------------------|
| pH | 6 a 9 |
| Temperatura | < 40 °C |
| Materiais Sedimentáveis | Até 1 mg/L |
| Vazão Máxima Permitida | Até 1,5 vez a vazão média |
| Óleos Minerais | Até 20 mg/L |
| Óleos Vegetais e Gorduras Animais | Até 50 mg/L |
| Materiais Flutuantes | Ausentes |
| DBO _{5,20} | Remoção mínima de 60% de DBO |

Fonte: Adaptado de Brasil (2011).

Tabela 2– Padrões de Lançamento de Efluentes – Resolução CONAMA nº 430

| Padrões de lançamento de efluentes | |
|------------------------------------|---|
| PARÂMETROS INORGÂNICOS | VALORES MÁXIMOS |
| Arsênio total | 0,5 mg/L As |
| Bário total | 5,0 mg/L Ba |
| Boro total | 5,0 mg/L B |
| Cádmio total | 0,2 mg/L Cd |
| Chumbo total | 0,5 mg/L Pb |
| Cianeto total | 1,0 mg/L CN |
| Cianeto livre | 0,2 mg/L CN |
| Cobre dissolvido | 1,0 mg/L Cu |
| Cromo hexavalente | 0,1 mg/L Cr ⁺⁶ |
| Cromo hexavalente | 0,1 mg/L Cr ⁺³ |
| Estanho total | 4,0 mg/L Sn |
| Ferro dissolvido | 15,0 mg/L Fe |
| Fluoreto total | 10,0 mg/L F |
| Manganês dissolvido | 1,0 mg/L Mn |
| Mercurio total | 0,01 mg/L Hg |
| Níquel total | 2,0 mg/L Ni |
| Nitrogênio amoniacal total | 20,0 mg/L N |
| Prata total | 0,1 mg/L Ag |
| Selênio total | 0,30 mg/L Se |
| Sulfeto | 1,0 mg/L S |
| Zinco total | 5,0 mg/L Zn |
| PARÂMETROS ORGÂNICOS | VALORES MÁXIMOS |
| Benzeno | 1,2 mg/L |
| Clorofórmio | 1,0 mg/L |
| Dicloroetano | 1,0 mg/L |
| Estireno | 0,07 mg/L |
| Etilbenzeno | 0,84 mg/L |
| Fenóis totais | 0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH |
| Tetracloroeto de carbono | 1,0 mg/L |
| Tricloroetano | 1,0 mg/L |
| Tolueno | 1,2 mg/L |
| Xileno | 1,6 mg/L |

Fonte: Brasil (2011).

Tabela 3 - Padrões para o Lançamento de Efluentes – Resolução CEMA nº 70

| Padrões para o Lançamento de Efluentes | |
|--|-----------------|
| PARÂMETROS | VALORES MÁXIMOS |
| DBO ₅ | 50 mg/L |
| DQO | 200 mg/L |
| FTd para <i>Daphnia magna</i> | 8 |
| FTbl para <i>Vibrio fischeri</i> | 8 |

Fonte: Adaptado de Paraná (2009).

3.2 USO DO COAGULANTE

A etapa de *coagulação* tem por finalidade a retirada de material sólido em suspensão ou dissolvido. Para isso, os agentes coagulantes atuam anulando as forças de repulsão entre as partículas, por meio da ligação e absorção nas superfícies das partículas coloidais, fazendo com que estas partículas neutralizadas se agreguem umas às outras formando flocos, esta ação ocorre devido às diferentes cargas elétricas entre os materiais (PIANTÁ, 2008).

Para Di Bernardo e Dantas (2005¹ *apud* VAZ et al., 2010) a eficácia desta etapa depende da realização de uma agitação intensa, chamada *mistura rápida*, fazendo ocorrer interações entre o coagulante e o efluente em questão, sendo a velocidade de formação dos flocos condicionada a partir do movimento Browniano, que após atingir cerca de 0,1 mm, necessita de agitação mecânica (mistura lenta) para evitar a separação dos flocos já agregados. Existem também muitas variáveis capazes de interferir na coagulação, entre elas estão a dosagem utilizada de coagulantes, propriedades da água ou efluente e os valores de pH.

Dentre as diversas alternativas de agentes coagulantes que podem ser empregados no tratamento de água e efluentes, estão os de origem inorgânica como o sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃), sulfato ferroso (FeSO₄), cloreto férrico (FeCl₃), sulfato férrico (Fe₂(SO₄)₃), hidroxocloreto de alumínio (Al(OH)Cl₂), e os de origem orgânica como moringa (*Moringa oleífera* Lam), quitosana (*Chitosane*), cactos (*Opuntia cochenillifera*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e taninos (*tanin*).

¹L. Di Bernardo, A. D. B. Dantas, Métodos e Técnicas de Tratamento de Água, 2ª ed., v. 1. São Carlos: Rima. (2005)

3.2.1 Cloreto Férrico

O Cloreto Férrico (FeCl_3) é um reagente químico de simples constituição, apresenta solução aquosa de característica ácida e cor escura, com concentração de 40% em peso de FeCl_3 , de forma a garantir a manutenção de suas características físicas (DIPA QUÍMICA, 2011). O uso deste coagulante inorgânico promove uma redução expressiva dos índices de turbidez e DBO, bem como a eliminação de fosfatos e boa parte dos metais pesados (mercúrio, chumbo) ou venenosos (arsênio, selênio, bário) quando estes estão em presença de altos valores de pH (PAVANELLI, 2001). A Figura 2 mostra o coagulante com 40% de ativo diluído em ácido clorídrico utilizado para o tratamento de efluente.

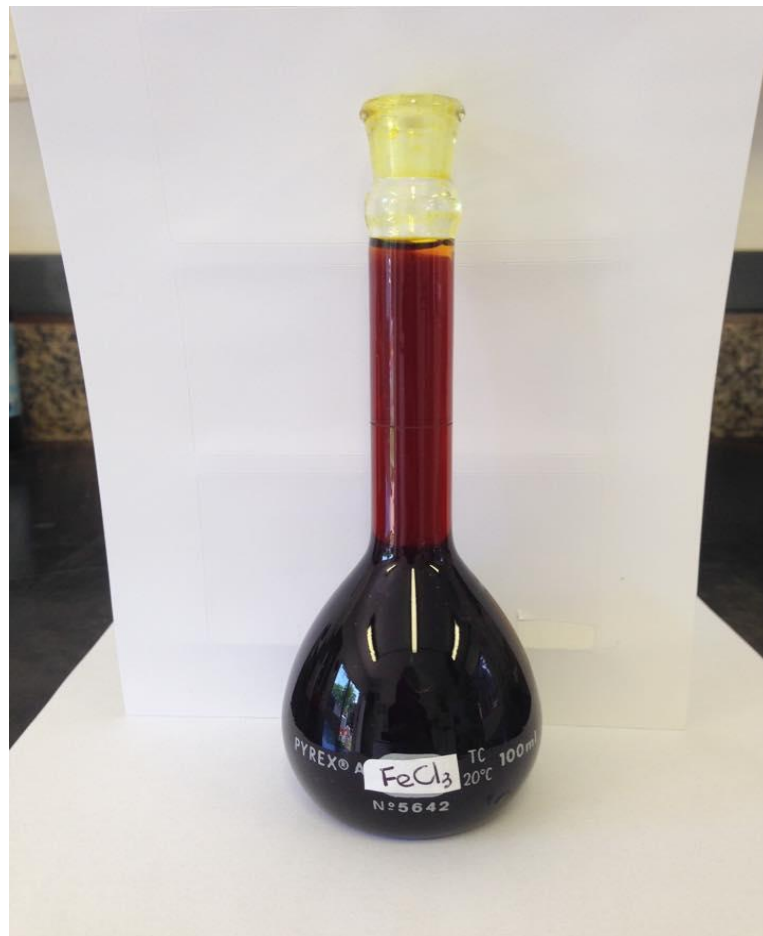


Figura 2 – Agente coagulante inorgânico: cloreto férrico
Fonte: Autoria Própria.

Dentre os coagulantes de origem química, os sais de ferro são utilizados em abundância no tratamento de efluentes domésticos e industriais, especialmente pelo baixo custo, porém, apresentam características corrosivas fazendo-se necessária a associação de um alcalinizante, a fim de restaurar o equilíbrio dos parâmetros fora dos padrões e evitar a corrosão de equipamentos.

Além do consumo do alcalinizante do meio, que acrescenta custos ao processo, os coagulantes químicos são ambientalmente indesejáveis, pois, produzem um grande volume de lodo químico não biodegradável, podendo disponibilizar íons solúveis que comprometem a saúde humana, além da liberação de ácido clorídrico, em temperaturas elevadas (VAZ, 2009).

3.2.2 Tanino de Acácia Negra

Este produto natural é extraído da casca da Acácia Negra (*Acacia mearnsii* De Wild), uma espécie leguminosa eficiente na restauração de ambientes degradados, fixação de nitrogênio, produção de tanino e de energia. Teve seu primeiro plantio em 1918, no Rio Grande do Sul, com sementes importadas da África do Sul. Possui uma alta produtividade, sendo a produção média de sua casca em torno de 15 t/ha (EMBRAPA, 2003).

Os taninos são retirados da madeira e competem ao grupo de compostos polihidroxidofenólicos, encontrando-se misturados, integrados por polifenóis simples, carboidratos, aminoácidos e gomas hidroxidolodais, com poder de transformar a pele de animais em couro, produção de plásticos, anticorrosivos, cola, floculante, etc. (SILVA, 1999). O tanino em seu estado bruto pode ser visto na Figura 3, entretanto para o tratamento de efluentes é preciso diluí-lo em solução aquosa em concentração de 100 g/L.



Figura 3 – Agente coagulante orgânico: tanino
Fonte: Autoria Própria.

O tanino é comumente empregado no tratamento de efluentes, sendo um polímero orgânico-catiônico, de baixa massa molecular, não tóxico, constituído basicamente por tanato quaternário de amônio (TANAC S.A., 2008).

Comparado com os agentes inorgânicos, os taninos apresentam vantagens como: menor custo, utilização de matéria prima renovável, menor contribuição de ânions sulfatos e cloretos ao efluente final, menor volume de lodo produzido, resultando em um lodo orgânico com maior facilidade de eliminação (CRUZ, 2004).

Porém, tais dados, por si só, não são suficientes para comprovar qual agente coagulante é ambientalmente preferível, o que só é possível por meio do uso de técnicas e ferramentas de gestão ambiental, pois o aspecto ambiental não é determinado apenas por um produto, e sim pelo conjunto de etapas que consistem o seu ciclo de vida.

3.3 TÉCNICAS E FERRAMENTAS DE GESTÃO AMBIENTAL

O desenvolvimento de alternativas sustentáveis capazes de reverter o atual quadro de aspectos ambientais gerados pelos efluentes industriais lançados aos corpos hídricos, comprometendo a qualidade do mesmo, deve ser incluído no processo decisório da empresa.

Em face à crescente degradação ambiental, é extremamente necessária a posição e o comportamento das organizações para a preservação e minimização dos aspectos, de modo que a proteção ao meio ambiente deixe de ser apenas um custo adicional e se torne lucrativa, a partir criação de produtos e processos ambientalmente corretos. Tal atitude acrescenta credibilidade à empresa, uma vez que a inserção destas ações gera aumento da competitividade no mercado e promove a satisfação dos clientes.

Frente ao desafio para aperfeiçoar o desempenho ambiental, as empresas devem buscar oportunidades de melhoria, fazendo uso de técnicas efetivas e, se possível, integradas que permitam o estudo de suas combinações e concedam informações substanciais para o direcionamento do processo de tomada de decisão (SOUSA et al., 2010).

Para tanto, é preciso que a empresa tenha conhecimento de ferramentas que auxiliem neste processo, no que diz respeito aos quesitos ambientais, tais como Sistema de Gestão Ambiental (SGA), Estudo de Impacto Ambiental (EIA), Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), Análise de Fluxo de Materiais (AFM) e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), dentre as quais se destaca, na atualidade, esta última.

3.3.1 Avaliação do Ciclo de Vida

Segundo o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT (2006), a Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta que promove o levantamento de impactos potenciais relacionados ao ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, abrangendo todas as suas etapas, desde a extração e processamento de materiais, transporte, produção, distribuição, uso e reemprego,

reciclagem ou reutilização, até sua disposição final. Esta metodologia objetiva a busca pela melhoria do desempenho ambiental, e consequentemente da sustentabilidade, dos sistemas de produção, por meio de uma perspectiva mais completa.

Um estudo de ACV é realizado seguindo quatro fases, de acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), sendo elas: definição de objetivos e escopo do trabalho, análise de inventário, avaliação do impacto do ciclo de vida e interpretação dos resultados, como demonstra a Figura 4.

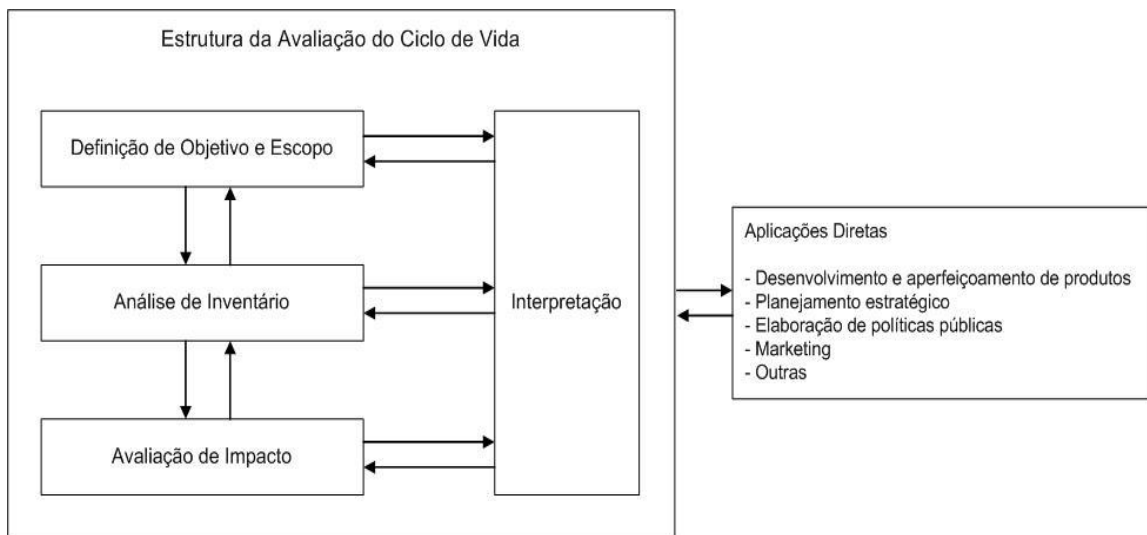


Figura 4 - Estrutura da avaliação do ciclo de vida
Fonte: ABNT (2009).

a) Definição do Objetivo e do Escopo:

De acordo com a norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), na definição dos objetivos devem-se indicar as aplicações pretendidas, as razões para a execução do estudo, o público a quem será declarado os resultados do estudo e se estes resultados serão utilizados de forma comparativa, divulgados publicamente.

O escopo de uma ACV deve conter uma forma bem definida, que atende ao objetivo declarado do estudo, apresentando em seu conteúdo o sistema de produto a ser estudado, unidade funcional, fronteiras do sistema, procedimentos de alocação, fluxo de referência, produtos alternativos, categorias de impactos selecionadas e metodologia para sua aplicação, limitações, entre outras informações (ABNT, 2009).

b) Análise do inventário do ciclo de vida:

Esta fase contempla coleta de dados e cálculos para quantificar entradas e saídas relevantes de um sistema de produto, no caso de novos requisitos ou limitações deve-se mudar o método de coleta de dados para o contínuo atendimento dos objetivos do estudo (ABNT, 2009).

A coleta e quantificação abrangem todas as variáveis dentro do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade, tais quais matéria prima, energia, transporte, emissões, entre outras. Estabelece ainda a checagem de todos os procedimentos a fim satisfazer aos requisitos de qualidade estabelecidos na fase anterior (CHEHEBE, 1998).

c) Avaliação de Impacto:

Esta fase busca entender os impactos potenciais do sistema de produto em estudo, unindo os dados da fase de inventário do ciclo de vida com as categorias de impacto específicas juntamente com seus indicadores, fornecendo informações para a sua interpretação (ABNT, 2009).

Apresenta um entendimento qualitativo e quantitativo dos impactos ambientais, considerando sua amplitude e relevância de acordo com os resultados alcançados na fase anterior. Os impactos a serem avaliados são definidos de acordo com o objetivo e escopo do trabalho (CHEHEBE, 1998).

d) Interpretação do Ciclo de Vida:

A interpretação do ciclo de vida tem como função esclarecer os resultados completos e consistentes de uma ACV, seguindo o objetivo e escopo do estudo e ajudar na tomada de decisão. Nesta fase são consideradas as constatações da análise do inventário concomitante à avaliação do impacto, apresentando resultados que levem a conclusões, porém exibindo suas limitações e dispondendo recomendações (ABNT, 2009).

Com o crescente interesse em questões sustentáveis, a sociedade vem buscando produtos e serviços com maior desempenho ambiental, a fim de minimizar seus aspectos.

De acordo com Ferreira (2004), a ACV auxilia os tomadores de decisão promovendo estudos comparativos entre produtos e processos, sendo capaz de

caracterizar a transferência de aspectos ambientais de um meio para outro, ou de um estágio do ciclo de vida para outro, detectando fatos nem sempre visíveis entre as opções em questão.

Uma opção pode ser favorita por requerer menor quantidade de matéria prima em relação à outra, porém, ao final do estudo constata-se que a opção de menores insumos pode causar maiores aspectos pelo elevado consumo energético em sua utilização, dados estes que não seriam detectados sem a elaboração de uma ACV.

3.3.2 Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada

Inúmeros estudos confirmam que a ACV é uma excelente ferramenta para tornar ambientalmente conscientes as decisões das engenharias de produto, também é sabido que para um sistema produtivo complexo, a melhor aplicação se dá quando realizada de forma qualitativa e de maneira simplificada. O desenvolvimento de matrizes simplificadas de ACV facilita a comunicação dos resultados e o entendimento das análises, bem como a identificação da melhor escolha entre produtos (JACOVELLI; FIGUEIREDO, 2003).

Segundo Jacovelli e Figueiredo (2003) há grande dificuldade na realização detalhada do inventário de uma ACV, além do alto custo é necessária uma demanda intensiva de recursos humanos e tempo para a aquisição de informações. Sendo assim, foram desenvolvidos procedimentos simplificados para a avaliação do ciclo de vida, onde somente os principais impactos ambientais são identificados.

A avaliação do ciclo de vida simplificada - ACVS é uma versão sintetizada de uma ACV completa, muito rentável para estudos em que o tempo e custo da análise são limitados, desde que não comprometa os resultados da pesquisa. As ACVS não seguem absoluto consenso com os padrões das normas da série ISO referente à condução de ACV (HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003).

Hunt et al. (1998) recomendam que a ACVS seja conduzida seguindo procedimentos de execução em três fases: (i) identificação, (ii) simplificação e (iii) avaliação de confiabilidade. A primeira fase compreende a identificação de quais

estágios do ciclo de vida devem ser avaliados. A segunda tem como finalidade trabalhar apenas nos fluxos elementares referentes aos estágios apontados na etapa anterior. Por fim, a última consiste na análise dos resultados finais com o objetivo de verificar se o método utilizado não reduziu o grau de confiança das conclusões do estudo.

O uso da forma reduzida da ACV não oferece perdas de informações significativas se os fatores visarem o alcance dos objetivos propostos pelo estudo, além de que, esta ferramenta auxilia apenas a tomada de decisão em questões referentes ao desempenho ambiental de produtos, sem determinar os problemas sociais e econômicos associados (HOSPIDO; MOREIRA; FEIOJOO, 2003).

Segundo Alvarenga (2012), grande parte das metodologias de ACVS são realizadas pelo desenvolvimento de matrizes, cuja confecção depende da análise dos diversos aspectos relacionados à área ambiental. Os métodos utilizados para este estudo são qualitativos ou semi-quantitativos e podem não incluir todo o ciclo de vida do produto ou processo (NIGRI, 2012).

Para Todd e Curran (1999), as simplificações da ACV são objeto do processo de definição de meta e escopo da ACV, e seguem duas principais categorias:

a) Simplificação dentro de uma estrutura existente de ACV

Utilizar no processo, bases de dados de inventários de ACV em *softwares* de apoio. Na metodologia, o escopo é limitado ou os procedimentos de modelagem simplificados, de forma a reduzir a quantidade de dados e informações;

b) Propostas alternativas de simplificação baseada em conceitos de ciclo de vida

Eliminar ou limitar estágios no ciclo de vida antes da manufatura do produto final estudado (*upstream*), a não utilização dos dados dos fornecedores pode acarretar na exclusão de informações importantes referentes à extração ou preparação de matéria prima.

Eliminar ou limitar os estágios finais do ciclo de vida (*downstream*), ou seja, após a manufatura do produto. Esta etapa não utiliza os dados do consumidor e tem como desvantagem a exclusão dos impactos de utilização e disposição final do produto.

Eliminar ou limitar ambos os estágios (*upstream* e *downstream*), porém, nesta fase é perdida a análise de ciclo de vida (holística) dos materiais.

Métodos e ferramentas de ACV simplificada, tais como listas de verificação e matrizes, são essenciais para a obtenção de bons resultados e, a escolha destas ferramentas no desenvolvimento de produtos depende da natureza e complexidade do sistema de produto, ciclo de desenvolvimento do produto, disponibilidade de recursos técnicos e financeiros, e abordagem de projeto (KEOLEIAN, 1993).

3.3.3 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) Aplicada ao Tratamento de Efluentes

A ACV, utilizada como ferramenta para a tomada de decisão, é largamente empregada nos diversos estudos que envolvem o tratamento de efluentes, servindo de base para a escolha de técnicas e produtos com melhor perfil ambiental.

O emprego da ACV com o objetivo de comparar diferentes alternativas do tratamento de efluente, buscando as melhores soluções ambientais foi o mais encontrado.

Tilman, Svingby e Lundstr (1998) aplicam a ACV para auxiliar no planejamento municipal de tratamento de efluentes em Bergsjön e Hamburgsund na Suécia, a fim de conhecer as consequências ambientais que poderiam ser geradas ao mudar o atual sistema de tratamento, que envolve processos mecânicos, biológicos e químicos por sistemas alternativos que visam um aumento da extensão da reciclagem de nutrientes de plantas, sendo estes realizados em leitos filtrantes de areia e sistema de separação de urina.

Após a realização do cálculo do inventário e interpretação dos resultados, Tilman, Svingby e Lundstr concluíram que na maior parte dos aspectos ambientais, a alternativa que estava sendo proposta com a separação de urina seria preferível ambientalmente ao tratamento em leitos filtrantes de areia, que por sua vez, seria melhor do que o sistema existente.

Dixon et al. (2003) utilizaram a ACV para comparar um sistema convencional de filtro biológico aerado e um sistema incorporando canavial e fossa séptica.

Vlasopoulos et al. (2006) compararam processos de hidrociclones e flotação por ar dissolvido, processos biológicos e tratamentos físicos, tecnologias de carvão ativado e tecnologias de membrana, e osmose reversa para o tratamento de efluentes contaminados por petróleo.

Benetto et al. (2009) compararam um sistema de saneamento ecológico de um prédio com sistemas convencionais e Sanches (2009) fez uso desta metodologia para analisar reatores anaeróbios, lagoas de estabilização e sistemas de lodo ativado seguidos por etapas de desinfecção.

O trabalho de Pasqualino et al. (2011) avaliou os impactos ambientais potenciais de quatro alternativas de recuperação/reutilização das águas, sendo elas: não reutilização, diluição de solução salina, substituição de água potável e substituição de água dessalinizada a partir de águas residuais.

Godskesen et al. (2013) avaliaram o impacto potencial do ciclo de vida da retirada de água doce a partir de quatro tecnologias de abastecimento da água, comparando as alternativas de coleta de águas pluviais, captação de águas subterrâneas, estabelecimento de campos longe da cidade e dessalinização.

Corominas et al. (2013) analisaram com o auxílio da ACV os cenários dependentes da limitação de nitrogênio, fósforo e ambos de modo a avaliar o impacto do enriquecimento de nutrientes em corpos d'água. Ontiveros e Campanella (2013) compararam uma planta convencional sem remoção de nutrientes a três sistemas de tratamento com capacidade de remoção biológica, diferenciando-os pelo tratamento final do lodo produzido, a fim de detectar o que apresentasse o melhor desempenho ambiental.

Niero et al. (2014) conduziram uma ACV comparativa do tratamento convencional por processos aeróbios, anaeróbios, químicos e químicos e biológicos combinados, juntamente com os tratamentos de lamas a partir da combustão para produção de energia e aplicação agrícola.

Já Thibodeau et al. (2014) compararam os sistemas de separação de águas negras e sistemas convencionais com remoção de nutrientes prolongados.

Quatro estudos envolveram alternativas de tratamento a partir de sistemas de membrana, Bonton et al. (2012) e Ribera et al. (2014), conduziram estudos de ACV comparando sistemas de tratamento convencionais e sistemas de membranas de nanofiltração, sendo que em ambos a segunda alternativa foi tida como preferível.

Manda et al. (2014) compararam dois sistemas de membrana, com base na membrana de revestimento de ligação covalente e de adsorção com o sistema convencional a partir do carbono ativado, obtendo o mesmo resultado. Ortiz et al. (2007) compararam o sistema convencional de lodo ativado com reatores biológicos de membrana imersa e externa, concluindo que o sistema de membrana externa possui menor carga ambiental, seguido do sistema de membrana imersa.

Outra temática muito abordada refere-se à utilização de estudos de ACV comparativa entre estações de tratamento de efluentes, sendo encontradas seis publicações sobre o assunto.

O primeiro artigo encontrado foi o dos autores Barrios et al. (2008), que promoveram a avaliação ambiental e econômica do impacto potencial do ciclo de vida da produção de água potável em Waternet, a organização de abastecimento de água do Oeste da Holanda, comparando a estação de Loenderveen, onde a água é bruta e pré tratada, com a estação de produção de água potável Weesperkarspel, para onde a água bruta é bombeada.

Sousa (2009) desenvolveu um estudo de ACV em duas estações de tratamento de água, Queimadela e Areias de Vilar, situadas na região Norte de Portugal, com o objetivo de avaliar os impactos ambientais de suas fases de operação.

No ano de 2010, duas pesquisas foram desenvolvidas, sendo que Muñoz et al. (2010) compararam o atual plano de abastecimento de água nas regiões Mediterrâneas da Espanha, Programa ÁGUA, e o seu antecessor, a transferência de água do rio Ebro (ERWT), e Zhang et al. (2010) utilizaram a ACV para comparar uma unidade de tratamento de efluentes secundária, um processo de lodos ativados, e uma unidade de tratamento de efluentes terciária, com processo de coagulação química convencional e filtração por leito de areia.

Os dois últimos estudos encontrados foram dos autores Luo et al. (2013), que avaliaram os benefícios ambientais e desvantagens de uma estação convencional de tratamento de efluentes municipais na China utilizando a ACV, comparando-a com uma zona úmida construída e um simulador de sistemas de tratamento de água, e de Igos et al. (2014), que compararam duas ETE na França, destacando a importância da infraestrutura e a contribuição efetiva de seus resíduos gerados.

Outros dois estudos foram elaborados utilizando a ACV para comparar dois agentes coagulantes no processo de tratamento de efluentes visando à alternativa ambientalmente preferível. Beach et al. (2012) testaram cinco cenários que envolviam a coagulação de algas verdes *Neochloris oleoabundans*, com quitosana, sulfato de ferro e alumínio, centrifugação e filtro prensa para determinar as condições ótimas de remoção de algas no meio aquoso.

Já Mouria et al. (2013), avaliaram a energia de aeração e as emissões de dióxido de carbono utilizando um polímero coagulante inorgânico de polisilicato de ferro (PSI) como uma alternativa de pré tratamento de um coagulante de alumínio.

As demais pesquisas de aplicação da ACV em ETE's relacionam-se aos possíveis impactos gerados na operação de um sistema de tratamento de efluentes, a escolha de alternativas a partir destes indicadores de impactos e a influência dos métodos utilizados, da coleta de dados e dos limites do sistema para o cálculo do inventário.

Lundin et al. (2000) conduziram um estudo sobre as diferentes cargas ambientais impostas pelos processos convencionais de tratamento de efluentes de acordo com os limites do sistema e a escala física destes, chegando a conclusão que alguns resultados apresentam cargas ambientais consideravelmente menores para sistemas de larga escala do que para os sistemas de pequena escala, tornando algumas soluções muitas vezes ineficientes neste segundo sistema.

O mesmo ocorre quando se trata dos limites do sistema avaliados nos estudos, os autores comprovam que ao serem alargados os limites, incluindo todas as fases do processo de tratamento de efluentes o resultado torna-se mais fiável.

Renou et al. (2008) desenvolveram uma comparação de cinco métodos, disponíveis no software SimaPro 5.0 a fim de avaliar, qual destas alternativas apresenta resultados mais significativos para o sistema de tratamento de efluentes. O estudo de caso foi realizado em uma planta de larga escala comparando os métodos CML 2000, Eco-Indicator 99, Ecopontos 97, EDIP 96 e EPS, considerando as categorias de impacto ambiental: acidificação, eutrofização, efeito estufa, esgotamento dos recursos e toxicidade humana.

Os autores concluíram que para o indicador de toxicidade humana, os métodos de avaliação de impacto não convergiram para resultados semelhantes, sendo necessária a combinação de outras ferramentas junto à ACV para que seja fornecida uma avaliação integrada confiável de sustentabilidade.

Muñoz et al. (2008) avaliaram o impacto do ciclo de vida como meio de quantificar os potenciais impactos ambientais sobre ecotoxicidade e toxicidade humana de águas residuais poluídas, a partir dos métodos: EDIP 97 e USES –LCA. O potencial impacto ambiental global do efluente é significativamente reduzido em relação ao afluente, sendo maior em potencial de toxicidade humana de acordo com o EDIP 97 e menor na ecotoxicidade terrestre para ambos os modelos utilizados.

Fanyu et al. (2010) Avaliaram a carga ambiental de uma ETE, a partir da ACV em relação ao consumo de energia e as descargas ambientais do processo de ciclo de vida na operação, concluindo que o tratamento de lamas, consumo de energia, efeitos na saúde humana e eutrofização são os principais fatores a serem considerados para a gestão operacional de estações de ETE, porém a falta de alguns dados limita a precisão da avaliação.

Yoshida et al. (2014) elaboraram um estudo em uma estação de tratamento de efluentes na Dinamarca, que avaliava a influência que a base de dados de um inventário possui sobre os resultados de uma avaliação de impacto ambiental, mostrando que uma das fontes de dados coletadas não apresenta resultados para o consumo de energia, sendo, desta forma, insuficiente para o fornecimento de resultados confiáveis.

Por fim, Baserba et al. (2014) conduziram uma ACV em conjunto com um sistema de suporte de decisão baseado no conhecimento (*Decision Support System - DSS*), incluindo indicadores ambientais para o processo decisório, selecionando os diagramas de fluxo de processo mais adequado para cenários específicos. O estudo foi desenvolvido na Espanha, sendo aplicado a um grupo de amostras de 22 instalações operacionais condizentes a cinco tipologias diferentes, que foram avaliados pelas categorias de impacto potencial eutrofização e aquecimento global.

Por meio deste, os autores mostraram que a ferramenta ACV combinada com a DSS identifica as melhores alternativas de instalações das ETE, sendo adequadas para a avaliação de projetos de ETE durante o processo de tomada de decisão.

Em suma, foi possível observar que a ACV auxilia no processo decisório, com informações acerca dos perfis ambientais dos produtos, e grande parte das limitações se deve a indisponibilidade de alguns dados, causando má interpretação e uso indevido dos resultados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Silva e Menezes (2005), as pesquisas podem ser classificadas de diversas formas, considerando sua natureza, a forma como aborda o problema e seus objetivos. Do ponto de vista de sua natureza, esta é uma pesquisa aplicada, pois tem como finalidade gerar conhecimentos para aplicação prática, voltada a solucionar problemas específicos abrangendo verdades e interesses locais.

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, esta se enquadra em uma pesquisa semi-quantitativa, onde são envolvidos aspectos de abordagem qualitativa e quantitativa, fazendo uso da maioria dos dados utilizados em pesquisas quantitativas a partir de recursos e técnicas estatísticas, porém com menor rigor.

De acordo com seus objetivos, caracteriza-se como pesquisa exploratória, concedendo maior conhecimento do problema, tornando-o explícito ou construindo hipóteses, de forma a promover pesquisas bibliográficas (4.1) e aplicação em casos (4.2), como detalhado a seguir.

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A realização deste estudo fundamentou-se inicialmente em uma revisão bibliográfica, o que permitiu o contato direto com o tema, objetivando reunir informações da literatura e explorar áreas relacionadas ao tratamento de efluentes na indústria de café solúvel (4.1.1) e promoveu uma revisão bibliográfica sistemática sobre a aplicação da ACV em tratamento de efluentes (4.1.2).

4.1.1 Tratamento de Efluentes na Indústria de Café Solúvel

Por meio de buscas sobre a safra do café no site da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB pretendeu-se conhecer a caracterização do efluente

cafeeiro, o histórico de sua produção e exportação no país, bem como a necessidade do processo de tratamento de efluentes de uma indústria de café solúvel. Para entender cada etapa deste processo, desde a chegada do efluente na estação até seu lançamento no corpo receptor foi realizada uma visita à Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de Café Solúvel em que foi realizado o estudo de campo deste trabalho, além disso, buscou-se informações a respeito dos padrões e condições de lançamento de efluentes em corpos receptores nas legislações vigentes.

A indústria de Café Solúvel foi fundada em 1967, Sua matriz está localizada na região norte do Paraná, ocupando uma área de terreno de 121.000 m², conforme mostra a figura 5, e tem empresas subsidiárias em São Paulo, Londres e Bucarest.



Figura 5 - Imagem de satélite da localização da Indústria de Café Solúvel
Fonte: Google (2014).

Com vistas ao perfeito entendimento da ferramenta da gestão ambiental, Avaliação do Ciclo de Vida, utilizada no presente estudo, foram pesquisados

diversos autores que desenvolveram estudos tocantes ao tema para tomar conhecimento e levantar informações.

4.1.2 Revisão Bibliográfica Sistemática

Nesta etapa de estudo foi apresentado o levantamento do estado da arte referente ao uso da ACV aplicada ao tratamento de efluentes líquidos, compondo uma pesquisa com base na Revisão Bibliográfica Sistemática - RBS. A RBS é um processo metodológico que promove uma síntese precisa, envolvendo todos os trabalhos relacionados ao tema em questão, por meio da busca, seleção, avaliação da relevância e validade dos estudos encontrados, coleta, síntese e interpretação das informações provenientes desta pesquisa (SOUZA et al., 2010).

O objetivo desta RBS foi identificar a utilização da ferramenta da ACV em sistemas de tratamento de efluentes, avaliar se esta auxilia nas questões ambientais, identificando o produto de melhor desempenho ambiental e tomada de decisão voltada ao desenvolvimento sustentável, bem como verificar as técnicas utilizadas para sua condução, como os métodos de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) e *softwares*.

Para tal, uma sequência de etapas foi seguida, definida com base em Cobra (2012), como apresentado na Figura 6:

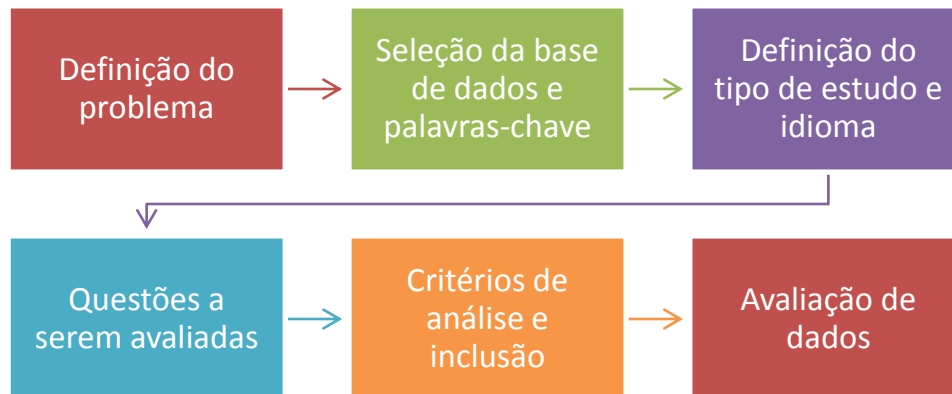


Figura 6 – Etapas para a condução de uma RBS
Fonte: Autoria Própria.

- Definição do problema:

Este estudo se concentrou no levantamento de estudos de ACV realizados em sistemas de tratamento de efluentes líquidos industriais, principalmente na etapa de coagulação, a fim de avaliar a eficácia da metodologia para a tomada de decisão, identificar os aspectos e impactos ambientais gerados em cada etapa do processo, bem como os objetivos, unidades funcionais, fronteiras do sistema, métodos de avaliação do impacto do ciclo de vida e utilização ou não de *softwares* para a condução da ACV.

- Seleção da base de dados e palavras chave:

Foram consultadas as bases de dados: Scholar Google (<http://scholar.google.com.br>), Science Direct (<http://www.sciencedirect.com>), Ieee Xplore (<http://ieeexplore.ieee.org>) e Scielo (<http://www.scielo.org>), utilizando as seguintes palavras-chave: *life cycle assessment, life cycle analysis, LCA, eco-balance*, avaliação do ciclo de vida, análise do ciclo de vida, ACV, ecobalanço, combinadas à *wastewater treatment, coffee wastewater treatment, coagulant, ferric chloride, tannin*, tratamento de efluentes, tratamento de efluentes do café, coagulantes, cloreto férrico e tanino, totalizando 40 combinações.

- Definição do tipo de estudo e idioma:

Foram pesquisados apenas artigos de periódicos e congressos, monografias, dissertações e teses do ano de 1998 até 2014, na língua inglesa e portuguesa, devido à alta demanda de tempo que a inserção de outros estudos e idiomas iria acarretar.

- Questões a serem avaliadas:

As principais perguntas que nortearam esta revisão foram: “Existem trabalhos que envolvem a ACV ao tratamento de efluentes?”, “Esta ferramenta oferece resultados significativos para este tema?” e “Como a ACV foi utilizada nos estudos encontrados?”.

- Critérios de análise e inclusão:

Foram aplicados filtros a partir da análise das publicações. Primeiramente fez-se a leitura dos títulos dos estudos, incluindo em um cadastro aqueles pertinentes à pesquisa; o segundo filtro se deu por meio da leitura de resumos e palavras chave, extraindo apenas estudos relevantes ao tema proposto, formando um novo cadastro. Por fim, foram lidos os trabalhos, e selecionados pelos critérios de inclusão, como: o desenvolvimento de metodologias coerentes à busca proposta, existência de relação entre as palavras-chave e data de publicação.

A inclusão dos estudos baseou-se em alguns critérios, sendo eles: (i) estudos com arquivo completo para download, (ii) estudos coerentes com as *strings* de busca, (iii) estudos cujo tema principal estava relacionado com o tratamento de efluentes e áreas equivalentes, como o tratamento de água e, (iv) o conteúdo apresentar a aplicação completa do método da ACV.

- Avaliação de dados:

Os estudos considerados foram catalogados em uma planilha do Microsoft Excel, tabulados de acordo com: autor(es), título, palavras-chave, ano e tipo de publicação, fonte, origem, banco de dado, idioma e resumo, para facilitar a confecção de um fichamento dos dados coletados e avaliação e interpretação das informações contidas em cada estudo. Ao todo, foram identificadas 43 publicações, sendo elas duas teses e 41 artigos de periódicos e congresso. No entanto, considerando os critérios de inclusão, apenas 29 foram considerados pertinentes aos objetivos da RBS.

4.2 PESQUISA DE CAMPO

A pesquisa de campo objetivou a coleta de informações e conhecimento amplo e detalhado acerca do problema, a partir de um estudo aprofundado, para posterior aplicação na metodologia de ACV. Porém com a limitação de tempo para a conclusão do estudo, buscou-se a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada (4.2.1), identificando os principais impactos das fases de vida do produto.

4.2.1 Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada

Para a escolha da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida simplificada utilizada no estudo, foi consultado o trabalho de Sousa e Pigosso (2011), que identificaram por meio de uma revisão bibliográfica sistemática, os principais métodos e ferramentas de ACVS, descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Métodos e Ferramentas de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada (continua)

| MÉTODO | ABRANGÊNCIA | ANÁLISE |
|--------------------------|---|-------------------|
| <i>ABC Analysis</i> | Ferramenta utilizada para avaliar os impactos ambientais de um produto em 11 critérios diferentes e classificados como: (A) Problemático, (B) Moderado e (C) Desprezível. | Qualitativo |
| <i>Green Design Tool</i> | Ferramenta baseada na análise de "alto nível de atributos verdes" de um produto, fornecendo uma visão global do estado ambiental do projeto de produto | Semi-quantitativo |
| <i>Design Abacus</i> | Ferramenta de abrangência social, econômica e ambiental para a comparação de produtos em todo o ciclo de vida, tanto na análise e planejamento de um projeto. | Qualitativo |
| <i>DfE Matrix</i> | A matriz fornece um indicador de impacto ambiental de um produto por meio da aplicação de um questionário, considerando a fabricação, uso e descarte do produto. A <i>DfE</i> também destaca as áreas de interesse, fornecendo idéias e opções para a resolução de problemas ambientais | Semi-quantitativo |

Tabela 4 – Métodos e Ferramentas de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada
(continua)

| MÉTODO | ABRANGÊNCIA | ANÁLISE |
|---|--|-------------------|
| <i>Eco-Compass technique</i> | Técnica utilizada para avaliar o impacto ambiental de um produto já existente. Combinando o custo e benefício com o desempenho do processo e as fases do ciclo de vida do produto | Semi-quantitativo |
| <i>ECODESIGN Checklist Method (ECM)</i> | A ferramenta aponta tarefas de reprojetamento, a fim de melhorar o desempenho ambiental de um produto como um todo, indicando maneiras de reduzir o consumo ou aumentar a eficiência, a partir do apontamento de pontos fracos do produto | Semi-quantitativo |
| <i>Ecodesign Web</i> | Esta ferramenta indica em quais áreas de processo do produto deve ser focado o melhoramento do desempenho ambiental, através da comparação de qual a melhor e pior saída entre sete áreas de <i>design</i> . | Qualitativo |
| <i>Eco-indicator 99 and Eco-it</i> | Ferramenta que indica a partir de um número o impacto ambiental de um material ou um processo, quanto maior o indicador, maior o impacto ambiental. Tem como principal objetivo comparar as diferenças relativas entre produtos ou componentes. | Semi-quantitativo |
| <i>Eco-Products Tool</i> | Ferramenta de avaliação de desempenho ambiental através de oito critérios, onde são avaliados impactos ambientais e consumo de recursos. O produto é definido como ecológico quando atinge, pelo menos 2 pontos, numa escala de 0 a 5, para cada um dos critérios, bem como uma pontuação média igual ou superior à 3. | Semi-quantitativo |
| <i>Environmental Design Strategy Matrix (EDSM)</i> | A matriz identifica algumas estratégias de projeto com base em características dos produtos nas diferentes fases do ciclo de vida. | Qualitativo |
| <i>Environmental Effect Analysis (EEA)</i> | Identifica e avalia os potenciais impactos ambientais em todas as fases do ciclo de vida do produto investigado de forma sistemática, além de apresentar uma fase inicial onde serão tomadas ações corretivas e preventivas a fim de minimizar os impactos ambientais. | Qualitativo |
| <i>Environmental Efficiency Potential Assessment method (E2-PA)</i> | Ferramenta de tomada de decisão criada para apoiar o <i>ecodesign</i> de produtos, é caracterizada pela sua política de avaliação, que avalia o desempenho ambiental de acordo com os potenciais impactos ambientais do produto | Semi-quantitativo |
| <i>Green Design Advisor (GDA)</i> | A ferramenta <i>GDA</i> fornece oportunidades de melhoria, e apresenta os pontos fracos do produto. Existem diretrizes adicionais, no entanto, não existem alternativas de projeto geradas automaticamente. | Semi-quantitativo |

Tabela 4 – Métodos e Ferramentas de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada
(conclusão)

| MÉTODO | ABRANGÊNCIA | ANÁLISE |
|--|--|-----------------------------|
| <i>MECO Matrix</i> | A ferramenta fornece uma estimativa de impacto ambiental para cada fase do ciclo de vida do produto. Todas as entradas e saídas devem ser considerados para uma categoria de cada vez, baseadas na unidade funcional e no limite do sistema escolhido. | Semi-quantitativo |
| <i>MET Matrix</i> | A ferramenta tem por objetivo encontrar os principais problemas ambientais durante o ciclo de vida de um produto, classificando-os em categorias, podendo ser utilizado para definir diferentes estratégias de melhoria. | Qualitativo ou Quantitativo |
| <i>Methodology based on MCDM techniques to Identifying the greatest environmental impact value</i> | A ferramenta identifica qual o estágio do ciclo de vida com o maior valor de impacto ambiental, onde os princípios do <i>ecodesign</i> são aplicados, melhorando a precisão das ferramentas, como as matrizes, dispensando o uso de ferramentas mais complexas, como a avaliação do ciclo de vida. | Semi-quantitativo |
| <i>Philips Fast Five Awareness</i> | A ferramenta é usada para avaliar e comparar diferentes conceitos de produtos para um produto de referência. | Qualitativo |
| <i>The Environmentally Responsible Product Assessment Matrix (ERPA)</i> | A avaliação é feita através de uma matriz 5x5 com dimensões referentes às fases do ciclo de vida e preocupação ambiental. O método pode ser utilizado para avaliar produtos, processos, instalações, serviços ou infra-estrutura, onde a cada elemento da matriz é atribuída uma classificação de 0 (mais alto impacto) a 4 (o menor impacto), de acordo com uma lista de verificação. | Semi-quantitativo |

Fonte: Sousa e Pigozzo (2011).

Optou-se pela seleção dos métodos com abordagem semi-quantitativa, devido a esta atribuir valores quantitativos aos critérios considerados determinantes para a decisão e estabelecer uma relação entre os critérios e a condição de significância. Após a leitura dos resumos, outra seleção foi realizada, de acordo com a complexidade do método e recursos necessários disponíveis que oferecessem contribuição para a análise do perfil ambiental do produto.

Após uma pesquisa mais aprofundada acerca das ferramentas selecionadas, foi escolhido o *Design For Environment (DfE) Matrix*, proposto por Yarwood e Eagan (1998), uma ferramenta de origem do *ecodesign*.

A *DfE*, segundo Pigozzo (2008) avalia aspectos ambientais relacionados ao consumo de materiais e energia, geração de efluentes líquidos, resíduos sólidos e

emissões gasosas compreendidas em todas as etapas do ciclo de vida, podendo quantificar seus potenciais impactos. Sua aplicação também é útil para a comparação de produtos e alternativas de projeto.

Segundo Yarwood e Eagan (1998), a utilização desta ferramenta traz inúmeras vantagens como: redução de tempo de projeto, redução de custo, auxilia na implantação de melhorias no produto, redução das preocupações a respeito de regulamentação, além de melhorar a posição no mercado e o desempenho ambiental do produto.

A Matriz *DfE* tem como objetivo central constatar se as questões ambientais foram consideradas durante todo o processo de desenvolvimento do produto (QUEIROZ et al., 2012).

Para a determinação dos impactos são projetadas questões, com pontuações pré-estabelecidas, elaboradas de uma forma abrangente para a aplicação aos diversos tipos de produtos, sobre os efeitos do projeto do produto ao longo de todo seu ciclo de vida, considerando impactos causados pela produção, utilização e eliminação (YARWOOD; EAGAN, 1998).

A ferramenta é realizada por meio de matrizes, Quadro 1, onde os aspectos ambientais compõem as colunas e as fases consideradas do ciclo de vida compõem as linhas.

| Fase do Ciclo de Vida | | Aspecto Ambiental | | | | | Total |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| | | Materiais | Consumo de Energia | Resíduos Sólidos | Efluentes Líquidos | Emissões Gasosas | |
| A | Pre-manufatura | (A.1) | (A.2) | (A.3) | (A.4) | (A.5) | |
| B | Manufatura | (B.1) | (B.2) | (B.3) | (B.4) | (B.5) | |
| C | Distribuição e Embalagem | (C.1) | (C.2) | (C.3) | (C.4) | (C.5) | |
| D | Uso do produto e Manutenção | (D.1) | (D.2) | (D.3) | (D.4) | (D.5) | |
| E | Fim de Vida | (E.1) | (E.2) | (E.3) | (E.4) | (E.5) | |
| Total | | | | | | | |

Quadro 1 – Matriz *DfE*
Fonte: Pigosso (2008).

O preenchimento das células da matriz é feito por meio da pontuação referente à aplicação de um questionário (Apêndice A) elaborado por Cobra (2012), adaptado de Yarwood e Eagan (1998). A máxima pontuação que pode ser obtida é de 125 pontos e, quanto maior o valor obtido pela Matriz *DfE*, melhor é o desempenho ambiental do produto. A pontuação total obtida indica de forma semi-quantitativa onde ocorrem os maiores impactos ambientais das fases do ciclo de vida do produto, auxiliando aos desenvolvedores à otimização do desempenho ambiental (PIGOSSO, 2008).

Como o objetivo do estudo foi comparar dois agentes coagulantes alternativos ao tratamento de efluentes, sendo eles: (i) o Cloreto Férrico, um químico inorgânico, e (ii) o Tanino, polímero orgânico catiônico, foi realizado um estudo de campo onde aplicou-se um questionário da Matriz *DfE*, dividido em duas etapas, para cada produto.

Os dados necessários para a resolução da primeira etapa deste questionário, que são referentes aos estágios do ciclo de vida (A) pré-manufatura, (B) manufatura e (C) distribuição e embalagem, foram obtidos pelo contato com os fabricantes dos produtos (Cloreto Férrico e Tanino). Já os dados para o preenchimento da segunda etapa do questionário, referentes aos estágios de (D) uso do produto e manutenção, e (E) fim de vida, foram obtidos junto ao responsável pela Estação de Tratamento de Efluentes de uma indústria fabricante de café solúvel, localizada em um município do norte do Estado do Paraná, que já utilizou ambos os produtos.

Para o preenchimento da Matriz, Pigosso (2008) elaborou um roteiro:

a) O preenchimento da etapa A da matriz deve ser feita a partir de informações dos fornecedores de componentes e matérias primas, sendo esta uma etapa opcional do questionário;

b) A partir da etapa B, as respostas devem constar apenas “sim” e “não”, sendo selecionado o número de pontos correspondente à resposta, que varia de 0 a 5 pontos. No caso da questão não se aplicar ao produto avaliado, a resposta deve ser “sim”, uma vez que as questões foram escritas de maneira que a resposta “sim” estivesse associada a um impacto positivo;

c) As células da matriz devem ser preenchidas correspondendo aos valores obtidos a partir da resposta do questionário;

d) Para a obtenção do resultado final, os totais para cada linha e coluna são somados, os totais referentes a cada fase do ciclo de vida e os aspectos ambientais indicam o desempenho ambiental daquela situação, indicando se é necessária ou não sua melhoria, bem como o resultado total indica os atributos ambientais de um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Como o objetivo geral deste trabalho visa a comparação de dois coagulantes, será considerado preferível aquele que apresentar maior pontuação total na Matriz *DfE*.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados relacionados à revisão bibliográfica sistemática (5.1) e, em seguida os resultados da avaliação do ciclo de vida simplificada realizada na pesquisa de campo (5.2).

5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Os resultados provenientes da revisão bibliográfica sistemática - RBS estão divididos entre a coleta de dados realizada (5.1.1), estudos incluídos (5.1.2) e análise e interpretação de dados (5.1.3).

5.1.1 Coleta de Dados

A coleta de dados para a confecção da RBS se deu por meio da seleção de base de dados, definição de palavras chave, escolha da linguagem dos estudos e refino das pesquisas através de filtragens. Como resultado do levantamento da revisão pelos bancos de dados delimitados, Figura 7, foram encontrados mais de 5.000 artigos, e após as duas filtragens e critérios de inclusão, 29 publicações, sendo 27 artigos e duas teses, foram consideradas relevantes, correspondendo a 0,56% do total.

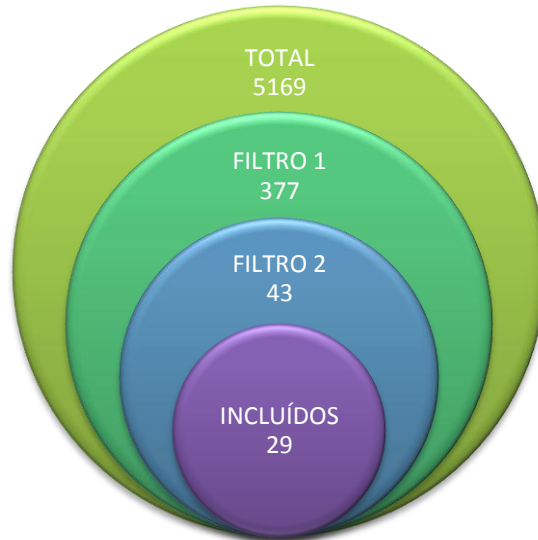


Figura 7 – Representação gráfica da seleção de estudos por meio da RBS
Fonte: Autoria Própria.

A base de dados utilizada que obteve maior resultado foi a *Science Direct*, com um total bruto de 2692 estudos, seguido pelo *Scholar Google* com 2130, *IEEE Xplore* com 228 e *Scielo* com 119 publicações. Os dados das respectivas quantidades de estudos separados por idiomas estão descritos na Figura 8.

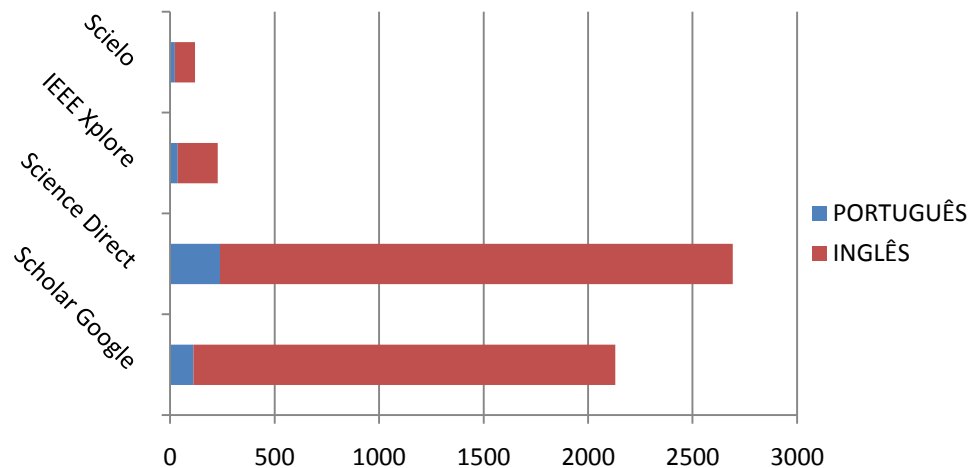


Figura 8 – Representação gráfica da quantidade total de estudos por idioma e por base de dados
Fonte: Autoria Própria.

Os estudos encontrados na língua inglesa foram significativamente maiores que os da língua portuguesa, sendo de 90 a 95% para o Science Direct e Scholar Google e, 20 a 25% para o IEE Xplore e Scielo. O pequeno índice de estudos do idioma português pode ter ocorrido devido ao uso restrito desta ferramenta no Brasil, ocasionado pela falta de recursos e conhecimentos na área.

As buscas foram conduzidas pela combinação de 40 palavras-chave, as combinações que mais resultaram em publicações estão descritas na Tabela 5:

Tabela 5 – *Strings* de busca com o maior número de publicações

| COMBINAÇÃO DE PALAVRAS CHAVE | |
|--|------|
| LCA x Wastewater Treatment | 1823 |
| Life Cycle Assessment x Wastewater Treatment | 1486 |
| Life Cycle Analysis x Wastewater Treatment | 771 |
| ACV x Tratamento de Efluentes | 203 |
| Avaliação do Ciclo de Vida x Tratamento de Efluentes | 157 |

Fonte: Autoria Própria.

A combinação das palavras-chave referentes ao tratamento de efluentes com as variações de nomenclatura da ferramenta ACV, excetuando o ecobalço, foram as mais efetivas, isto se deve à pequena contribuição de pesquisas relacionadas ao tratamento de efluentes do café e coagulantes para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas.

5.1.2 Estudos Incluídos

Seguindo a mesma linha do total bruto de trabalhos encontrados para cada base de dados, a maior parte dos estudos incluídos foi resultante do Science Direct (22), seguido pelo Scholar Google (4), Scielo (2) e IEEE Xplore (1), como expõe a Figura 9. Na contagem global, as duas primeiras bases de dados tiveram expressivos resultados de pesquisa, porém na fase de inclusão, o Scholar Google não obteve o mesmo desempenho, apresentando baixa eficiência.

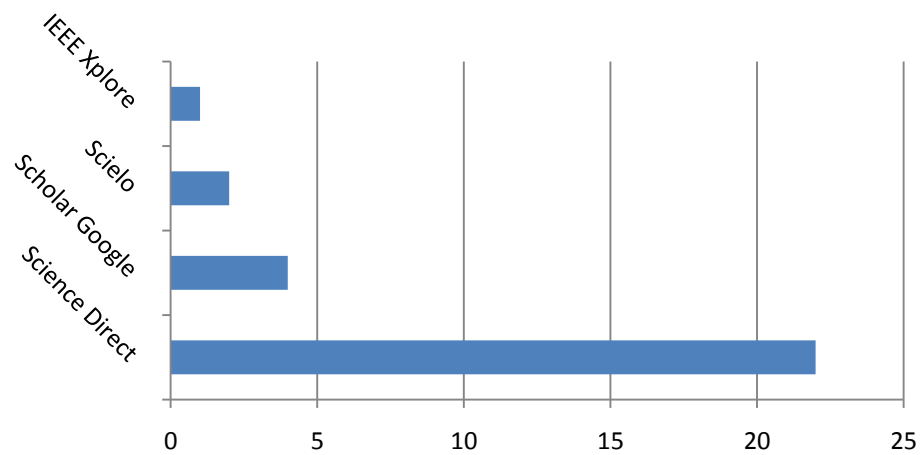


Figura 9 – Representação gráfica da base de dados dos estudos incluídos
Fonte: Autoria Própria.

A maioria dos estudos selecionados correspondeu à artigos publicados em periódicos (26), apenas um artigo encontrado foi obtido a partir de anais de congressos, esta diferença pode ser ocasionada à elevada circulação de trabalhos publicados em jornais e revistas internacionais de desenvolvimento sustentável em relação à quantidade submetida em congressos. Os demais trabalhos selecionados corresponderam a duas teses de mestrado e doutorado brasileiras, como mostra a Figura 10.

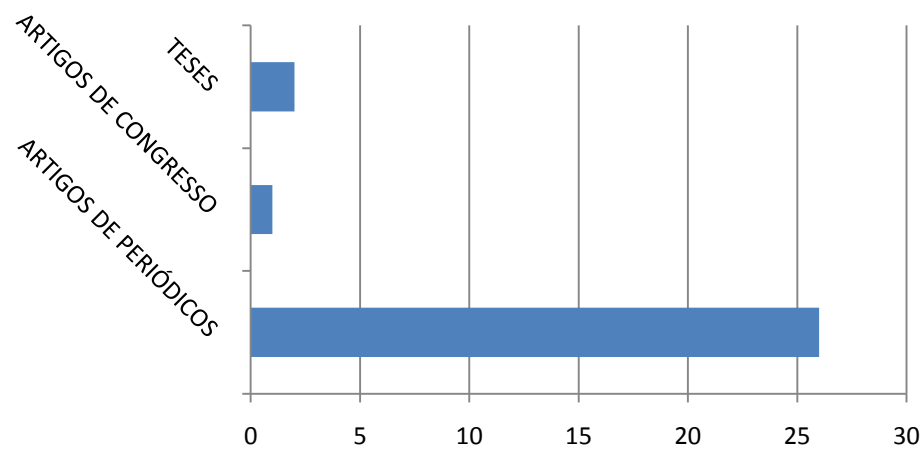


Figura 10 – Representação gráfica dos tipos de estudos incluídos
Fonte: Autoria Própria.

A fonte de fornecimento do maior número de estudos foi o Journal of Cleaner Production, local onde são submetidos trabalhos voltados às atividades sustentáveis, incentivando à pesquisa a respeito de tecnologias mais limpas, o que pode explicar o alto índice de estudos encontrados, já que a ACV é uma ferramenta da gestão ambiental em busca do maior desempenho sustentável de produtos. A Figura 11 mostra as contribuições dos periódicos e congressos dos quais foram consultados os trabalhos.

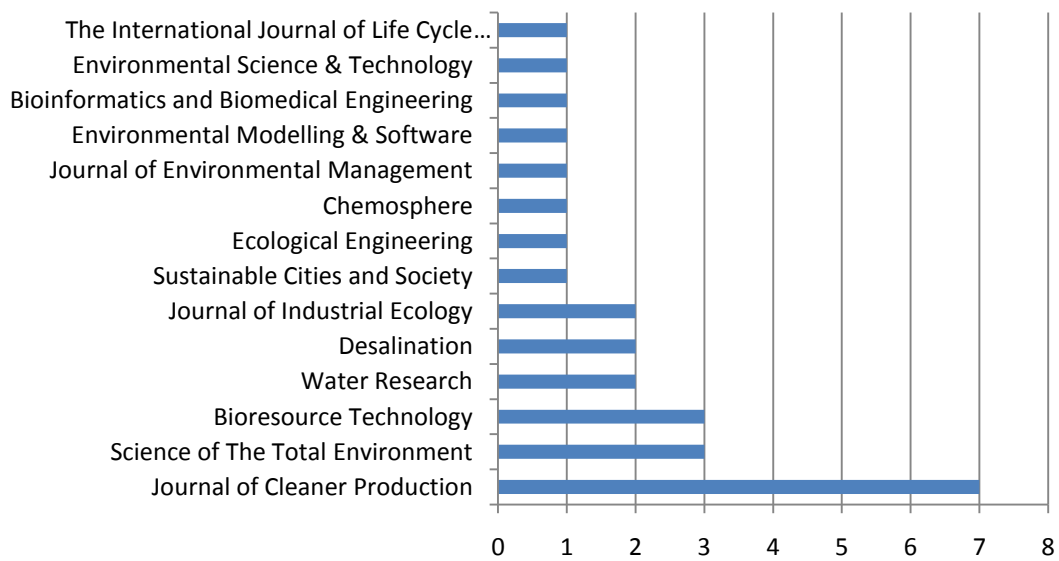


Figura 11 – Representação gráfica das fontes de periódicos e congressos de fornecimento de artigos.

Fonte: Autoria Própria.

5.1.3 Análise e Interpretação de dados

Foi realizada a sumarização dos estudos incluídos e elaborado um fichamento dos resultados obtidos em cada estudo, onde as informações levantadas foram organizadas e avaliadas de acordo com os objetivos, metodologia, constando informações de unidade funcional (UF), limites do sistema, ferramentas utilizadas como *softwares*, métodos de análise do impacto do ciclo de vida e suas categorias, e resultados, apresentados de maneira sintetizada na Tabela 6.

Tabela 6 – Síntese dos artigos analisados na RBS

(continua)

| Autor(es) | Objetivo | Metodologia | Resultados |
|-----------------------|--|--|---|
| Yoshida et al. (2014) | Avaliar a influência que a base de dados que um inventário possui sobre os resultados de uma avaliação de impacto ambiental | Métodos de AICV: EASETECH | O atual sistema de base de dados E- PRTR é insuficiente devido a não coletar dados de consumo de energia química e do tratamento, sendo estes dados fundamentais para criar o banco de dados ICV mais completa e confiável |
| Nieroet al. (2014) | ACV comparativa do tratamento convencional por processos aeróbios, anaeróbios, químicos e biológicos combinados, e dos tratamentos de lamas a partir da combustão e aplicação agrícola | UF: tratamento de 1 m ³ de águas residuais de entrada; Limites do Sistema: Fase de instalação; Software: SimaPro; Método de AIVC: Receita | O método de aplicações agrícolas é a alternativa mais sustentável e a avaliação dos diferentes tipos de estações a partir dos resultados da ACV mostram que estas são dependentes da categoria de impacto |
| Mouria et al. (2013) | Avaliar energia de aeração e emissões de CO ₂ utilizando um polímero coagulante inorgânico (PSI) como uma alternativa de pré tratamento de coagulante de alumínio | Limites do Sistema: Construção, Instalação e operação | O PSI foi indicado como o mais econômico, os custos de energia elétrica foram reduzidos em períodos de tempo úmido e seco usando PSI com floculantes poliméricos em aproximadamente 50% |
| Bonton et al. (2012) | ACV comparativa de sistemas de tratamento convencionais e sistemas de membranas de nanofiltração | Limite do Sistema: fases de operação e construção, funcionamento e desmantelamento; Software: SimaPro; Método de AICV: Impact 2002+ | O sistema convencional indica maiores danos, devido ao uso de coagulantes a base de alumínio, apresentando impactos ambientais significativos pelo uso de produtos químicos para controle de corrosão |
| Igos et al. (2014) | Comparar duas ETE na França, destacando a importância da infraestrutura e a contribuição efetiva de seus resíduos gerados | UF: 1 m ³ de água potável produzida; Limites do Sistema: Instalação, operação e tratamento da lama; Método de AICV: Receita e Impact 2002 + | Na planta A, os maiores impactos operacionais são devido desinfecção e processos de armazenamento, e na planta B, a filtração de areia e unidades de ultrafiltração. O impacto global gerado é impulsionado pelo consumo de recursos fósseis e produção de eletricidade |

Tabela 6 – Síntese dos artigos analisados na RBS

(continua)

| Autor(es) | Objetivo | Metodologia | Resultados |
|-------------------------|--|---|---|
| Thibodeau et al. (2014) | Comparar os sistemas de separação de águas cinzas (BWS) e sistemas convencionais com remoção de nutrientes prolongados | UF: tratamento e reciclagem do subproduto (digestores/lodo e biogás) das águas residuárias e de cozinha; Software: v.5.11 Matteus e SimaPro 7.3.3; Análise de incerteza: Monte Carlo | O BWS produz maior impacto para a saúde humana, qualidade do ecossistema, alterações climáticas e utilização de recursos. Tais resultados excluem os impactos de emissões de metais no solo por fertilizantes, subestimando sua interpretação |
| Manda et al. (2014) | ACV comparativa dois sistemas de membrana, com base na membrana (acetato de celulose (CA) e polietersulfona (PES)) de revestimento de ligação covalente e de adsorção com o sistema convencional a partir do carbono ativado | UF: 1 m ³ de água potável com conteúdo mínimo de micropoluentes; Software: SimaPro v7.3.0; Método de AICV: Receita e IPCC GWP 100 ^a | Melhores resultados ambientais foram encontrados para o sistema de membrana sendo que o CA tem um perfil ambiental ligeiramente melhor do que PES em várias categorias |
| Godskesen et al. (2013) | Avaliar o impacto potencial do ciclo de vida da retirada de água doce a partir de quatro tecnologias de abastecimento da água | UF: 1 m ³ de água potável; Software 4.4 GaBi; Método de AICV: EDIP 1997, abrangendo as etapas de classificação e caracterização, normalização e ponderação | A coleta da chuva e de águas pluviais tem o menor impacto ambiental, seguido pelos casos que dependem de captação de águas subterrâneas, e a dessalinização apresenta aumento notável do impacto |
| Ribera et al. (2014) | ACV comparativa de sistemas de tratamento convencionais e sistemas de membranas de nanofiltração | UF: 1 m ³ de água potável de ETAR com vida útil de 60 anos; Limites do Sistema: construção e operação; software SimaPro v7.3.3 . Método de AICV: Receita com método de caracterização: PRéConsultants 2011 | A tecnologia de membrana apresenta melhores resultados ambientais em relação ao sistema convencional para as categorias de alterações climáticas, toxicidade humana, eutrofização e esgotamento fóssil |
| Beach et al. (2012) | Testar 5 cenários com coagulação de algas verdes com quitosana, sulfato de ferro e alumínio, centrifugação e filtro prensa para determinar as condições ótimas de remoção de algas no meio aquoso | UF: 1 kg de peso seco da biomassa N. oleoabundans; Software: 7.3 SimaPro; Método de AIVC: TRACI | A Flocculação por quitosana foi indicada por ter maior desempenho técnico e ambiental entre as várias tecnologias, e o sulfato de alumínio é um floculante ineficaz para este tipo de alga |

Tabela 6 – Síntese dos artigos analisados na RBS

(continua)

| Autor(es) | Objetivo | Metodologia | Resultados |
|---------------------------|--|--|--|
| Vlasopoulos et al. (2006) | ACV comparativa de processos de hidrociclones e flotação por ar dissolvido, processos biológicos e tratamentos físicos, tecnologias de carvão ativado e tecnologias de membrana, e osmose reversa para tratamento de efluentes contaminados por petróleo | UF: limpeza de 10.000 m ³ /dia de água; Limites do Sistema: Fases de construção, operação e funcionamento; Software: SimaPro 6; Método de AICV: CML 2 baseline 2000 v2.1 | Os resultados mostram que flotação por ar dissolvido, tecnologias de membrana e osmose reversa oferecem menores impactos ambientais para sistemas de descontaminação da água |
| Luo et al. (2013) | ACV comparativa de ETE convencional com uma zona úmida construída e um simulador de sistemas de tratamento de água | UF: O tratamento de 105 m ³ /dia de efluentes durante 50 anos. Limites do Sistema: fase de construção, operação e manutenção, transporte e o tratamento de lamas; Software SimaPro 7.0; Método de AICV: CML Baseline 2000 | Utilizando a energia eólica como fonte de energia há redução significativa de impactos como: acidificação, aquecimento global e utilização de recurso, causados pelo consumo de energia elétrica do tratamento convencional |
| Ortiz et al. (2007) | Comparar o sistema convencional de lodo ativado com reatores biológicos de membrana imersa e externa | UF: produção de 3.000 m ³ /dia de água durante 25 anos; Software: SimaPro 5.1; Método de AICV: CML 2 baseline 2000, Eco-points 97 e Eco-indicator 99 | Melhores resultados ambientais foram obtidos para o sistema de membrana externa, seguido do sistema de membrana imersa |
| Renou et al. (2008) | Comparar 5 métodos, disponíveis no software SimaPro 5.0 a fim de avaliar, qual destas alternativas apresenta resultados mais significativos para o sistema de tratamento de efluentes | UF: volume de água residual tratada na planta durante um ano; Software: SimaPro 5; Categorias de impacto ambiental: acidificação, eutrofização, efeito estufa, esgotamento dos recursos e toxicidade humana | Para o indicador de toxicidade humana, os métodos de avaliação de impacto não convergiram para resultados semelhantes, sendo necessária a combinação de outras ferramentas junto à ACV para que seja fornecida uma avaliação integrada confiável de sustentabilidade |
| Zhang et al. (2010) | ACV comparativa de unidade de tratamento de efluentes secundária, processo de lodos ativados, e unidade de tratamento de efluentes terciária com processo de coagulação química convencional e filtração por leito de areia | Limites do sistema: fase de construção, operação e desmantelamento; Métodos de AICV: Eco-indicator 99, com o modelo SETAC para a caracterização e quantificação | O processo de tratamento terciário apresenta maiores impactos ambientais que o tratamento secundário, devido ao seu maior consumo de energia |

Tabela 6 – Síntese dos artigos analisados na RBS

(continua)

| Autor(es) | Objetivo | Metodologia | Resultados |
|-------------------------------|--|---|---|
| Dixon et al. (2003) | ACV comparativa de um sistema convencional de filtro biológico aerado e um sistema incorporando canavial e fossa séptica | UF: Número de população equivalente (PE); Limites do Sistema: Fases de fabricação, instalação e operação; Software: SimaPro 2002 | O sistema de canavial e sistema convencional foram bastante semelhantes em termos de energia incorporada, porém o sistema convencional apresenta melhor perfil ambiental |
| Muñoz et al. (2008) | Avaliação de impacto do ciclo de vida como meio de quantificar os potenciais impactos ambientais sobre ecotoxicidade e toxicidade humana de águas residuais poluídas | Métodos de AICV: EDIP97 e USES -LCA | O potencial impacto ambiental global do efluente é significativamente reduzida em relação ao afluente, sendo maior em potencial de toxicidade humana de acordo com o EDIP97 e menor na ecotoxicidade terrestre para ambos os modelos utilizados |
| Benetto et al. (2009) | ACV comparativa de um sistema de saneamento ecológico (ECOSAN) de um prédio com sistemas convencionais | UF: Número de população equivalente (PE) durante 220 dias/ano; Software: Umberto 5,5 | O ECOSAN gera maior impacto nas alterações climáticas e dano à saúde humana que um sistema convencional, entretanto o ECOSAN é uma alternativa promissora para o tratamento de águas residuais de pequena escala |
| Corominas et al. (2013) | Analisar com o auxílio da ACV os cenários dependentes da limitação de nitrogênio, fósforo e ambos de modo a avaliar o impacto do enriquecimento de nutrientes em corpos d'água | UF: 1 m ³ de efluentes tratados; Limites do Sistema: Fase de produção e transporte de materiais; Software: GaBi 4; Método de AICV: EDIP 97, com etapas de classificação, caracterização, normalização e ponderação | O uso de tecnologias que promovem aumento da remoção de nutrientes apresenta um benefício ambiental para sistemas de N e P deficientes e P deficientes, porém para sistemas de N deficientes, a utilização de produtos químicos nem sempre é benéfico para o ambiente |
| Garrido-Baserba et al. (2014) | Avaliar 5 tipologias diferentes de ETE por 2 categorias de impacto: Potencial de eutrofização (PE) e potencial de aquecimento global (GWP) por meio da ACV e DSS | UF: 1 m ³ de água tratada. Limites do Sistema: fase de operações e tratamento de lamas; Método de AICV: v2.5 CML2 2001 e fatores de caracterização | Os resultados mostram que a ferramenta ACV combinada com a DSS identificam as melhores alternativas de instalações das ETE, sendo adequadas para a avaliação de projetos de ETE durante o processo de tomada de decisão |

Tabela 6 – Síntese dos artigos analisados na RBS

(continua)

| Autor(es) | Objetivo | Metodologia | Resultados |
|------------------------------------|---|--|---|
| Ontiveros; Campanella (2013) | Comparar uma planta convencional sem remoção de nutrientes a 3 sistemas de tratamento com capacidade de remoção biológica, diferenciando-os pelo tratamento final do lodo produzido | UF: Número de população equilavente (PE); Limites do Sistema: Fase de Operação; Software: OpenLCA; Método de AICV: CML 2001 e GPS- X v6.0.2 | A alternativa convencional apresenta o maior impacto ambiental e os processos de remoção de nutrientes melhoram significativamente a qualidade dos efluentes e biossólidos e reduz o consumo de energia |
| Barrios et al. (2008) | Promover a avaliação ambiental e econômica do impacto potencial do ciclo de vida de ETA de produção de água potável (WPK) e ETA de pré-tratamento de água bruta (LDV) | UF: 1 m ³ de água potável produzida; Limites do Sistema: fase de operação no ano de 2002; Software: SimaPro 5.1; Método de AICV: Eco- Indicator 99; Análise de impacto financeiro: Umberto 4.2 | Coagulação em LDV e tratamento biológico de filtração por carvão ativado em WPK são os maiores causadores do impacto ambiental e financeiro. No entanto a redução de impacto ambiental é alcançada a partir do aumento do impacto financeiro |
| Fanyu et al. (2010) | Avaliar a carga ambiental de uma ETE, a partir da ACV em relação ao consumo de energia e as descargas ambientais do processo de ciclo de vida na operação | UF: capacidade de tratamento de água anual; Limites do sistema: coleta de efluentes em ETE, transporte de lamas, consumo de energia, custos e materiais; Métodos de AICV: etapas de classificação, caracterização, avaliação e ponderação. | O tratamento de lamas, consumo de energia, efeitos na saúde humana e eutrofização são os principais fatores a serem considerados para a gestão operacional de estações de ETE, porém a falta de alguns dados limita a precisão da avaliação |
| Lundin et al. (2000) | Avaliar as diferentes cargas ambientais impostas pelos processos convencionais de tratamento de efluentes de acordo com os limites do sistema e a escala física destes | UF: número de população equivalente (PE); Os limites do sistema: caso 1: fase de operação e caso 2: fase de construção e funcionamento | Em alguns resultados as cargas ambientais são menores para sistemas de larga escala do que para pequena escala, ocorrendo também para os limites do sistema. Ao serem alargados os limites, incluindo todas as fases do processo de tratamento o resultado torna-se mais fiável |

Tabela 6 – Síntese dos artigos analisados na RBS

| (conclusão) | | | |
|--------------------------|---|---|--|
| Autor(es) | Objetivo | Metodologia | Resultados |
| Tillman et al. (1998) | ACV comparativa de processos mecânicos, biológicos e químicos por sistemas alternativos que visam um aumento da extensão da reciclagem de nutrientes de plantas, sendo estes realizados em leitos filtrantes de areia e sistema de separação de urina | UF: tratamento da água residual a partir de uma pessoa equivalente (PE) durante um ano; Limites do Sistema: fases de produção e as fases de operação. | Na maior parte dos aspectos ambientais, a separação de urina é preferível ambientalmente ao tratamento em leitos filtrantes de areia, que por sua vez, é melhor do que o sistema existente. |
| Pasqualino et al. (2011) | Avaliar os impactos ambientais potenciais de 4 alternativas de recuperação/reutilização das águas | UF: 1 m ³ de efluente que entra na ETE; Limites do Sistema: Fase de tratamento, transporte e disposição final; Método de AICV: CML 2000 e SiSOSTAQUA adaptado do LCA manager | O uso de água recuperada é apresentado como a melhor aplicação ambiental, gerando menor impacto ambiental do que os métodos de produção de água potável e dessalinizada |
| Muñoz et al. (2010) | ACV comparativa do atual plano de abastecimento de água nas regiões Mediterrâneas da Espanha, Programa ÁGUA, e o seu antecessor, a transferência de água do rio Ebro (ERWT) | UF: média de m ³ fornecido por ano; Software: SimaPro v.7; Método de AICV: CML 2001 | Os resultados mostram que o Programa AGUA apresenta um melhor desempenho ambiental que o ERWT |
| Sousa (2009) | ACV comparativa de 2 ETA com o objetivo de avaliar os impactos ambientais de suas fases de operação | A UF: 1 m ³ /dia de água tratada por 25 anos. Limites do Sistema: etapa de operação da ETA; Software SIMAPRO 7; Método de AICV: CML 2002 e CML 2008, abrangendo as etapas de caracterização, ponderação e normalização | A ETA Queimadela apresenta maior impacto ambiental que a ETA Areias de Vilar. Os impactos ambientais derivados das fases de operação das ETA estão essencialmente associados aos consumos de energia elétrica destas |
| Sanches (2009) | ACV comparativa de sistemas de reatores anaeróbios, lagoas de estabilização e sistemas de lodo ativados seguidos por etapas de desinfecção | UF: 1 L de água tratado ao longo de 1 ano; Limites do Sistema: Unidades de tratamento | As lagoas de estabilização apresentam um melhor desempenho, frente as demais alternativas analisadas, sendo o aquecimento global e a eutrofização foram os problemas mais relevantes |

Fonte: Autoria Própria.

O emprego da ACV com o objetivo de comparar diferentes alternativas do tratamento de efluente/água a fim de buscar as melhores soluções ambientais, foi o mais encontrado, o qual totalizou 15 estudos (52% do total). A segunda temática mais abordada foi a utilização de estudos de ACV comparativa entre estações de tratamento de efluentes/água, correspondendo a seis publicações.

Dois estudos promoveram a comparação por meio da ACV de dois agentes coagulantes no processo de tratamento de efluentes, visando à alternativa ambientalmente preferível. As demais pesquisas de aplicação da ACV em ETE's relacionam-se aos possíveis impactos gerados na operação de um sistema de tratamento de efluentes, à escolha de alternativas de tratamento a partir destes indicadores de impactos, à influência da coleta de dados, escalas e limites do sistema e metodologias utilizadas para o cálculo do inventário.

De forma geral, a unidade funcional (UF) dos estudos de ACV aplicados ao tratamento de efluentes, Figura 12, baseia-se no tratamento dado a uma determinada quantidade de efluente que entra no sistema num certo período de tempo. A unidade funcional mais frequentemente definida nos estudos (14), foi de um metro cúbico (1 m^3), como forma de medição da produção de efluentes diários ou média anual, a quantidade de pessoas equivalentes (PE) foi a segunda maior, igualando-se a quantidade de estudos que não apresentam claramente a UF utilizada, correspondendo à 5 estudos cada.

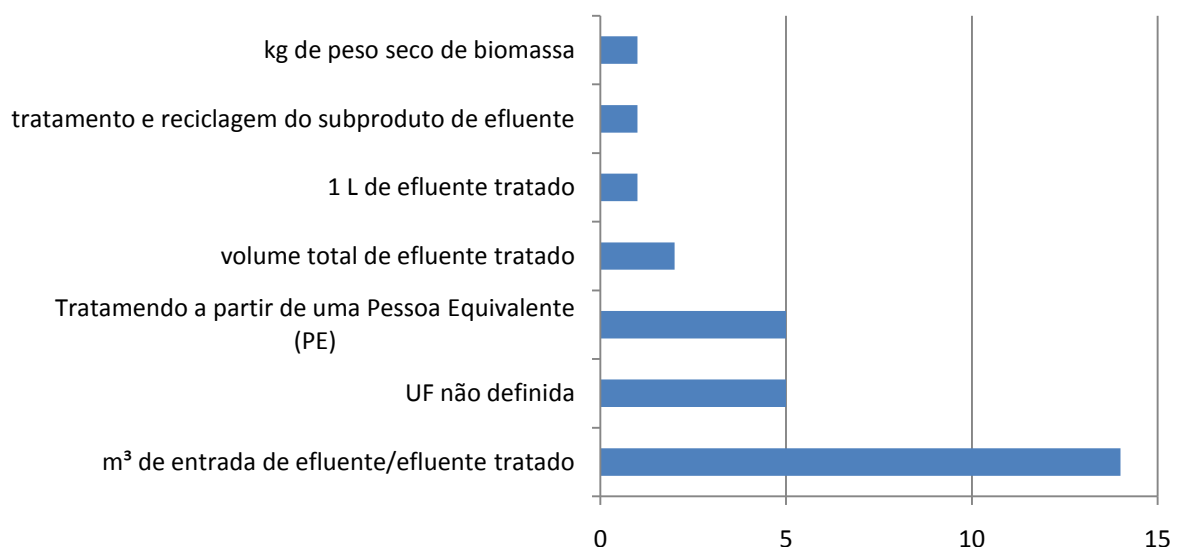


Figura 12 – Representação gráfica das unidades funcionais definidas nos estudos de ACV
 Fonte: Autoria Própria.

A delimitação dos limites do sistema colabora para a confiabilidade dos resultados obtidos. Porém, 10 estudos analisados não apresentaram essa delimitação e apenas 4 consideraram todas as fases do ciclo de um sistema de tratamento de efluentes e 15 estudos definiram algumas etapas do ciclo de vida para a realização do inventário. A Figura 13 expressa em valores a utilização dos limites do sistema definidos.

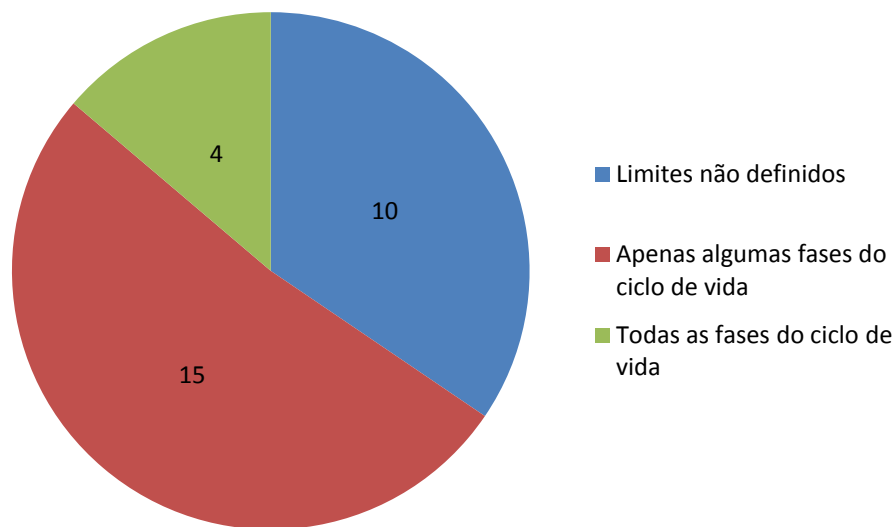


Figura 13 – Representação gráfica dos limites do sistema definidos nos estudos de ACV

Fonte: Autoria Própria.

Para a modelagem dos dados referentes ao do ciclo de vida dos produtos, é aconselhável a utilização de *softwares*, ainda assim 11 estudos não definiram qual foi o modelo utilizado. Grande parte dos autores utilizam o SimaPro (13 estudos), foram empregadas também outras alternativas com menor contribuição, como: GaBi, Umberto, Matteus e Open LCA. A Figura 14 apresenta os tipos de *softwares* utilizados para a confecção dos inventários do ciclo de vida.

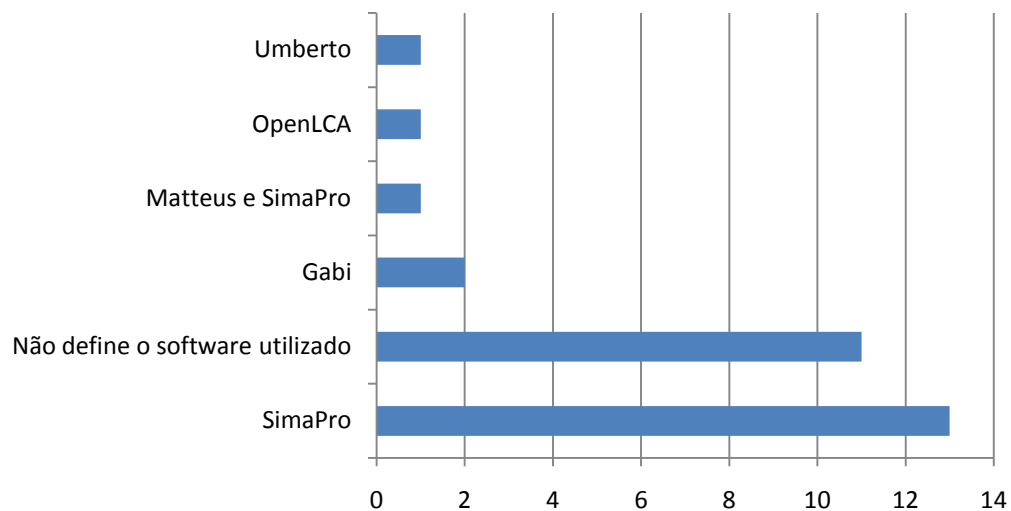


Figura 14 – Representação gráfica dos softwares para a confecção do inventário definidos nos estudos de ACV

Fonte: Autoria Própria.

Muitos autores contam também com o auxílio de metodologias para a avaliação dos potenciais impactos gerados, como: Impact 2002+, IPCC GWP, EDIP, Imperial College, CML baseline, TRACI, Ecopoints97, Eco-Indicator 99, USES LCA, GPS-X, LCA manager e EASETECH. Assim como os *softwares* de modelagem do inventário, alguns autores não definiram as metodologias de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) utilizadas, porém com uma contribuição um pouco inferior, correspondendo à 8 estudos.

A qualidade dos dados coletados depende da disponibilidade destes. Nos presentes estudos os autores utilizaram como fonte de coleta os dados da literatura, pesquisa a campo e/ou banco de dados específicos como o Avedore ETAR, LCA online, ECOPLAN e o mais comumente usado, Ecoinvent.

Pode-se observar, a partir da análise dos artigos, que a ACV serviu como suporte à tomada de decisão na maioria dos estudos, apresentando as alternativas com o melhor desempenho ambiental, bem como a indicação das categorias de impactos que necessitam de melhoria para cada produto. Grande parte das limitações da ACV se deve a falta de acesso a alguns dados, comprometendo a confiabilidade dos resultados, principalmente referente aos dados de toxicidade, pela falta de estudos relacionados a este tema.

5.2 PESQUISA DE CAMPO

O estudo realizado desenvolveu-se em uma indústria de café solúvel localizada no norte do Paraná. Com vistas à produção de um café com foco no desenvolvimento sustentável, a empresa tem implantada em sua estrutura uma estação de tratamento de efluentes que trata todo o efluente gerado em seu processo de produção. Para o presente estudo, o objeto de análise foi o agente coagulante utilizado no processo de aglutinação de partículas para o tratamento de efluentes.

A escolha da empresa se deu devido à utilização de ambas as alternativas dos produtos comparados no estudo, Cloreto Férrico e Tanino, facilitando a busca de dados para o preenchimento da ferramenta de ACV simplificada. A sustentabilidade foi o foco principal, buscando o produto que apresente o melhor desenvolvimento ambiental.

A seguir foi realizada uma análise do questionário da matriz na seção 5.2.1 para verificar a aplicabilidade das questões referentes aos coagulantes. O questionário da Matriz *DfE*, contendo todas as etapas do ciclo de vida aplicados para o coagulante inorgânico, Cloreto Férrico e para o coagulante orgânico, Tanino, estão descritos nas seções 5.2.2 a 5.2.6. Por fim, na seção 5.2.7 foi feita a comparação geral dos dois coagulantes.

5.2.1 Análise do Questionário da Matriz *DfE*

A compreensão dos aspectos ambientais foi possível por meio da aplicação do questionário adaptado por Cobra (2012), considerando todas as fases do ciclo de vida estabelecidas na Matriz: pré-manufatura, manufatura, distribuição e embalagem, uso do produto e manutenção e fim de vida.

Entretanto, algumas questões propostas pelos autores precisaram ser alteradas. Foram necessárias modificações nos elementos D1, D3, E1, E2 e E3, mostrados no Quadro 2, devido a não aplicabilidade das questões referente ao

produto analisado. Optou-se, então, pela modificação de algumas questões, redigindo-as de forma a ser compatível com o desempenho dos coagulantes, pois a exclusão total destes elementos comprometeria o resultado final do estudo.

| Fase do ciclo de vida | Aspecto Ambiental | | | | | Total |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------|
| | 1. Materias | 2. Consumo de Energia | 3. Resíduos Sólidos | 4. Efluentes Líquidos | 5. Emissões Gasosas | |
| A Pré-manufatura | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | |
| B Manufatura | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | |
| C Embalagem e Distribuição | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | |
| D Uso e Manutenção | D1 MODIFICADO | D2 | D3 MODIFICADO | D4 | D5 | |
| E Fim de Vida | E1 MODIFICADO | E2 MODIFICADO | E3 MODIFICADO | E4 | E5 | |
| Total | | | | | | |

Quadro 2 - Elementos modificados na Matriz DfE
Fonte: Adaptado de Pigosso (2008).

A não aplicabilidade de algumas questões se deve ao fato dos dois produtos serem agentes coagulantes (solução líquida), os quais não apresentam:

- Partes separáveis ou desmontáveis para reuso ou manutenção (Questões 01 e 02 do elemento D1);
- Componentes plásticos a serem identificados por tipo de resinas (Questão 04 do elemento D1);
- Componentes descartáveis como baterias e cartuchos (Questão 01 do elemento D3);
- Elementos de ligação como parafusos e prendedores por adesão (Questão 02 do elemento D3);
- Elementos separáveis para a identificação dos tipos de materiais (Questão 02 do elemento E1);
- Partes de plástico e fibra (Questão 01 do elemento E2);

- Ligação entre diferentes materiais que promova dificuldade de separação (Questão 02 do elemento E3).

A redação das questões 03 do elemento E1 e 02 do elemento E2 também foram modificadas. Em ambas as questões a resposta “sim” estava relacionada com um impacto ambiental negativo e, como foi visto anteriormente no roteiro elaborado por Pigosso (2008), a resposta “sim” deve ser associada a um impacto positivo.

Com o objetivo de avaliar corretamente os aspectos ambientais do produto, as questões 01 e 02 do elemento D1 foram excluídas e seus valores atribuídos às questões 03 e 04. A questão 04 deste elemento precisou ser completamente alterada para se adequar ao produto analisado. O Quadro 3 apresenta a nova redação da questão e os novos valores atribuídos.

| ELEMENTO | QUESTÃO | PONTUAÇÃO | |
|--|--|-----------|-----|
| | | SIM | NÃO |
| D.1: Uso do Produto e Manutenção X Materiais | 3. As barreiras potenciais para a reciclagem, como uso de aditivos ou o uso de materiais de composição desconhecidas foram evitadas? | 3 | 0 |
| | 4. A composição e informação sobre as propriedades do produto são conhecidas? | 2 | 0 |

Quadro 3 - Questões modificadas do elemento D1
Fonte: Autoria Própria.

Visando a melhor adequação das questões, as questões 01 e 02 do elemento D3 foram substituídas e alteradas pela questão 01, descrita no Quadro 4. A nova questão recebeu valor 3, correspondente a soma das questões excluídas.

| ELEMENTO | QUESTÃO | PONTUAÇÃO | |
|--|---|-----------|-----|
| | | SIM | NÃO |
| D3: Uso do Produto e Manutenção X Resíduos Sólidos | 1. O uso do produto gera a menor quantidade de resíduos possível? | 3 | 0 |

Quadro 4 - Questão modificada do elemento D3
Fonte: Autoria Própria.

Referente ao elemento E1 da Matriz, a questão 02 foi excluída do questionário, passando o seu valor a ser somado na questão 01. Optou-se por esta atribuição devido ao fato das outras duas questões deste elemento tratarem o mesmo assunto, possuindo juntas 3 pontos. A questão 03 teve a redação modificada de “alguns dos materiais” para “nenhum dos materiais”, mantendo o modelo a ser seguido a respeito das pontuações para impactos positivos. As modificações feitas foram apresentadas no Quadro 5:

| ELEMENTO | QUESTÃO | PONTUAÇÃO | |
|--------------------------------|--|-----------|-----|
| | | SIM | NÃO |
| E1: Fim de Vida X Materiais | 1. Os materiais são facilmente reusados ou comumente reciclados? | 2 | 0 |
| | 2. Nenhum dos materiais utilizados precisa ser disposto como resíduo perigoso? | 1 | 0 |
| | 3. A introdução de chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente nos materiais do produto foram evitadas? | 2 | 0 |

Quadro 5 - Questões modificadas do elemento E1

Fonte: Autoria Própria.

Para o elemento E2, foi feita a alteração da redação da questão 01 de “as partes de plástico e fibras” para “o lodo gerado”. A questão 02 também precisou ser modificada de “existem materiais” para “não apresentam nenhum material”, seguindo a mesma linha de raciocínio adotada no elemento anterior. As modificações foram mostradas no Quadro 6:

| ELEMENTO | QUESTÃO | PONTUAÇÃO | |
|---|--|-----------|-----|
| | | SIM | NÃO |
| E2: Fim de Vida X Consumo de Energia | 1. O lodo gerado pode ser seguramente utilizado para geração de energia, como na incineração? | 2 | 0 |
| | 2. Não apresentam nenhum material que precisa ser transportado como resíduo perigoso para aterros industriais? | 3 | 0 |

Quadro 6 - Questões modificadas do elemento E2

Fonte: Autoria Própria.

Por fim, a última alteração, apresentada no Quadro 7, foi referente à questão 02 do elemento E3 da matriz, esta questão foi excluída, mantendo apenas a questão 01, que passou a valer 5 pontos.

| ELEMENTO | QUESTÃO | PONTUAÇÃO | |
|-------------------------------------|---|-----------|-----|
| | | SIM | NÃO |
| E.3: Fim de Vida X Resíduos Sólidos | 1. Existe infra-estrutura interna ou externa à empresa para recuperar/reciclar os resíduos sólidos? | 5 | 0 |

Quadro 7 - Questão modificada do elemento E3

Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, o questionário da Matriz *DfE*, contendo todas as etapas do ciclo de vida descritos nas seções 5.2.2 a 5.2.6 foi aplicado para o coagulante inorgânico Cloreto Férrico e para o coagulante orgânico Tanino.

5.2.2 Pré-Manufatura

Para esta etapa foi discutido o comportamento dos fornecedores de matéria prima das empresas fabricantes de coagulantes. A avaliação levou em consideração a posse de sistema de gestão ambiental - SGA, certificações nas áreas da qualidade e meio ambiente conforme as normas ISO 9001 e ISO 14001, respectivamente, a preocupação com o gerenciamento de resíduos sólidos e conservação dos recursos naturais.

A partir da aplicação do questionário de avaliação dos fornecedores de matéria prima para o fabricante do Cloreto Férrico (FeCl_3), foi possível perceber que as empresas que possuem sistema de gestão ambiental, certificação ISO 9001 ou ISO 14001, programa de conservação da água e programa de minimização de emissões gasosas correspondem apenas 6 a 25% do total e os que possuem práticas de conservação de energia estão dentro da faixa de 1 a 5% da quantidade total de fornecedores da empresa.

A Figura 15 mostra os resultados referentes aos aspectos ambientais desta fase do ciclo de vida do Cloreto Férrico, que apresentam 44% de oportunidade de melhoria, já que atingiu pontuação 14 de um total de 25.

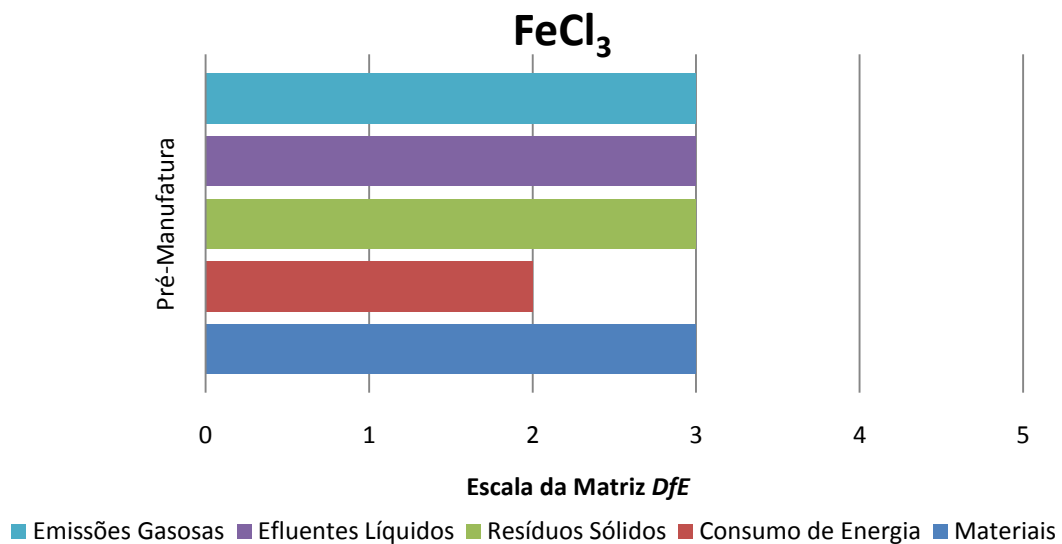


Figura 15 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Pré-Manufatura do cloreto férrico
Fonte: Autoria Própria.

As variáveis: materiais, resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas apresentaram uma pontuação de 60% em relação à pontuação máxima, atingiram 3 pontos de um total de 5, ou seja, as empresas fornecedoras de matéria prima ainda têm uma oportunidade de melhoria de 40% em seus aspectos ambientais, o maior potencial de melhoria está na variável consumo de energia, que necessita de 60% de melhoria, possuindo apenas 2 pontos.

Os resultados para o Tanino mostraram que é desconhecido ou nenhum de seus fornecedores de matéria prima apresentam um programa formal em andamento para a minimização das emissões gasosas e apenas 1 a 5% dos fornecedores possuem sistema de gestão ambiental e práticas de conservação de energia em andamento.

Em relação às certificações ISO 9001 ou ISO 14001 e programas de conservação da água o resultado é mais satisfatório, contemplando de 26 a 50% e 6 a 25% do total respectivamente.

A Figura 16 representa os aspectos ambientais da fase de pré-manufatura do tanino.

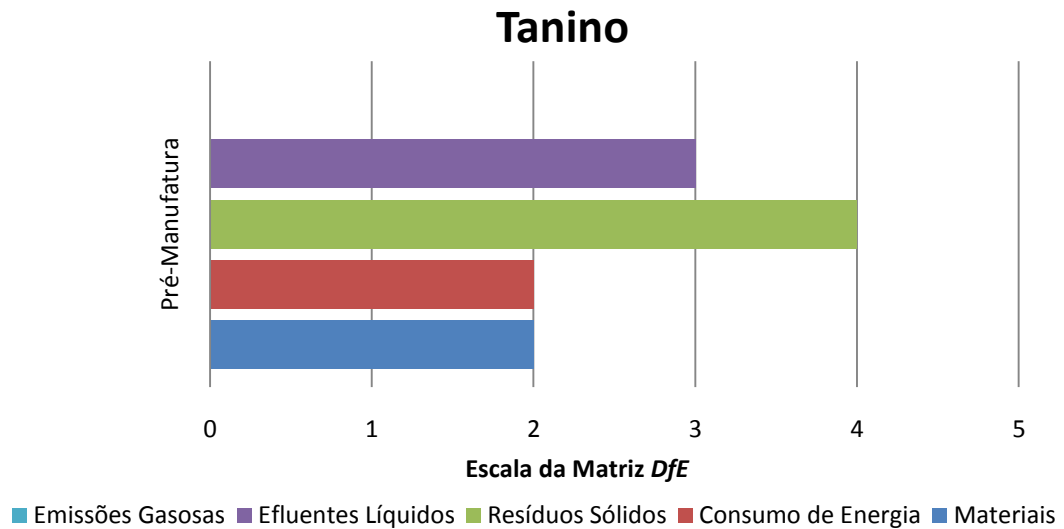


Figura 16 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Pré-Manufatura do tanino

Fonte: Autoria Própria.

Os fornecedores de matéria prima deste produto obtiveram 11 pontos, correspondendo a 44% do total, ou seja, apresentaram um impacto negativo de 56%. O grande potencial de melhoria está no aspecto ambiental da variável emissões gasosas, cujos fornecedores não apresentam nenhum tipo de programa de minimização destes aspectos.

Os fornecedores de matéria prima do coagulante inorgânico apresentam o melhor perfil ambiental comparado ao coagulante orgânico, porém ainda são necessários processos de melhoria.

Diante destes cenários, as empresas devem buscar a adequação de suas atividades visando o melhor desempenho ambiental do produto, procurando alternativas de combustíveis para redução de poluentes atmosféricos e adotando o uso de equipamentos eficientes para o controle da poluição, realizar um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, evitar o desperdício de água e promover o correto destino e tratamento, reduzir o gasto energético ou optar por fontes de energia renováveis de maneira a mitigar os impactos gerados ao meio ambiente.

5.2.3 Manufatura

Esta etapa consiste em todas as etapas de produção dentro da empresa, e para a sua análise foram considerados: a escolha de materiais para o produto e informações relativas ao processo produtivo, consumo de energia, geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas

No que diz respeito à variável materiais, o produtor de cloreto férrico utiliza o maior número de materiais recicláveis possíveis, a quantidade de material utilizada na produção foi minimizada, bem como os diferentes tipos de materiais a serem empregados no produto, porém não é possível evitar o uso de materiais perigosos, devido ao cloreto férrico ser classificado pela NBR 10.004, como resíduo perigoso – Classe I (ABNT, 2004), por possuir características corrosivas. Já os produtores de tanino atendem eficientemente a todos estes quesitos.

A empresa fabricante de Cloreto Férrico mostrou-se eficiente no consumo de energia e emissões gasosas, minimiza o uso intensivo de energia e transporte entre manufatura e pontos de montagem, e utilizam técnicas de reuso de energia que seria perdida. A geração de gases que contribuem para o efeito estufa e poluentes perigosos foi evitada, assim como o uso de solventes, tintas e adesivos com altas taxas de evaporação de compostos orgânicos voláteis. Porém, para o produtor de tanino o cenário é totalmente o oposto, em se tratar de consumo de energia a empresa não atende a nenhum dos programas descritos acima.

No processo de produção do cloreto férrico e tanino o reuso de materiais é otimizado visando à redução da perda de materiais, além de ser evitada a introdução intencional de produtos perigosos. Porém, para o primeiro produto a reutilização de resíduos de embalagens transportado entre as instalações não acontece devido à ilegalidade de reutilizar embalagens contaminadas por produtos perigosos, porém para melhorar este quadro, outros tipos de embalagens que não entraram em contato com o produto perigoso poderia ser reutilizado. Em relação à redução de quantidades e tipo de embalagens dos produtos, os fornecedores de matéria prima de ambos os produtos não foram contatados.

A geração de poluentes na água é evitada pelos dois fabricantes, a partir de técnicas para o tratamento da água utilizada no processo, além da captura e reuso dos subprodutos líquidos gerados, mas diferentemente do tanino, não foram

investigadas alternativas para solventes e óleos tóxicos utilizados para a produção de cloreto férrico.

As Figuras 17 e 18 expressam os aspectos ambientais da etapa de manufatura do cloreto férrico e tanino, respectivamente.

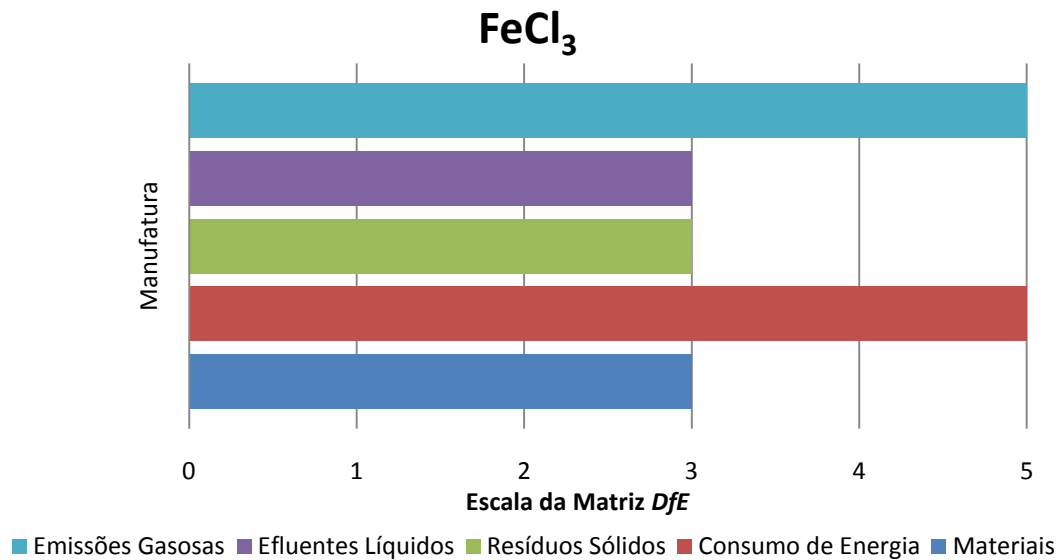


Figura 17 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Manufatura do cloreto férrico

Fonte: Autoria Própria.

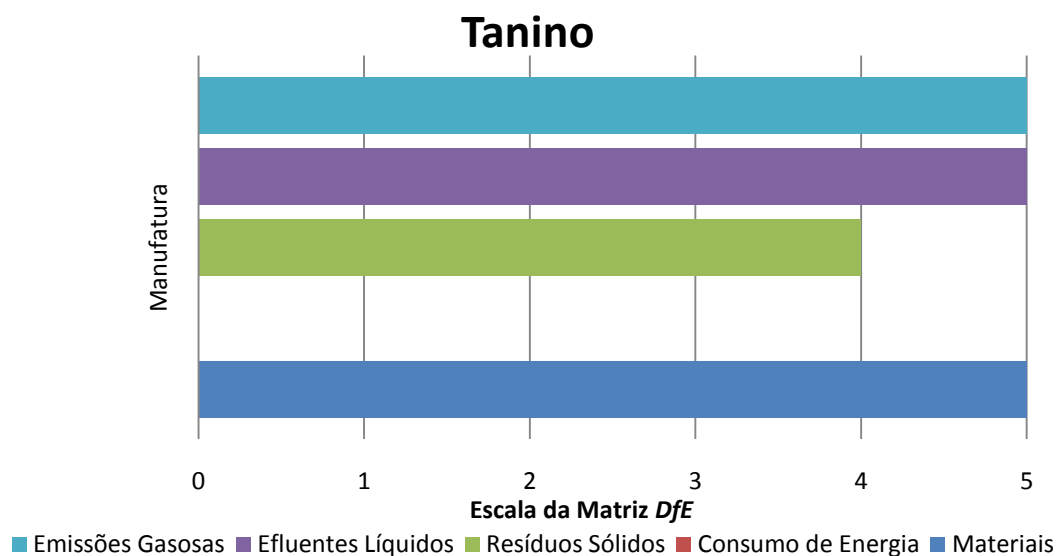


Figura 18 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Manufatura do tanino

Fonte: Autoria Própria.

A etapa de manufatura do cloreto férrico, envolvendo todas as variáveis ambientais, possui 24% de oportunidades de melhoria. Tais melhorias estão associadas à utilização de produtos perigosos, fator com dificuldade de mudança devido ao produto em si ser classificado como um resíduo perigoso, contudo a empresa pode investir no contato com os fornecedores de matéria prima para a redução de quantidades e tipos de embalagens dos produtos e reutilizar ao máximo as embalagens passíveis de reuso e reciclagem como *pallets* e caixas não contaminadas.

A etapa de manufatura do tanino, considerando todas as variáveis ambientais apresenta também 24% de oportunidade de melhoria. Embora o desempenho ambiental dos produtos tenha sido o mesmo, o foco do potencial de melhoria para os fabricantes de tanino está no consumo de energia, podendo ser adotada técnicas de co-geração de energia.

5.2.4 Distribuição e Embalagem

Nesta etapa certificou-se como e com que material o produto é embalado e entregue ao cliente. As avaliações da variável materiais consistiram na utilização de embalagens reusáveis para a distribuição entre as instalações da empresa e entre a empresa e seus fornecedores, emprego de materiais reciclados e recicláveis nas embalagens para transporte e entrega do produto, e a minimização de diferentes tipos de materiais usados nas embalagens. A empresa fabricante do tanino atende a todos os requisitos descritos, já a empresa de cloreto não promove o uso de materiais reciclados e recicláveis nas embalagens para transporte e entrega do produto.

As duas empresas fazem uso de embalagens com o menor peso e volume possível como alternativa para o consumo de energia, além de não conterem polímeros clorados ou plásticos que liberem gases perigosos e inibidores de chamas bromados que produzam emissão quando incinerados a baixas temperaturas, os fabricantes também promovem a máxima prevenção quanto ao vazamento de líquidos perigosos durante o transporte aos clientes.

Em relação à variável resíduos sólidos, o produtor de tanino foi o mais eficiente, utilizando embalagens que indiquem sua classificação para facilitar a identificação do tipo de material, desenvolvida de modo a facilitar a separação entre os materiais e fazendo uso de tipos de embalagens que possam ser recicladas. O fabricante de FeCl_3 por sua vez não promove a reciclagem das embalagens, visto que estas contêm resíduos perigosos em seu interior.

As Figuras 19 e 20 representam a pontuação referente aos aspectos ambientais do processo de distribuição e embalagem do fabricante do coagulante inorgânico e orgânico, respectivamente.

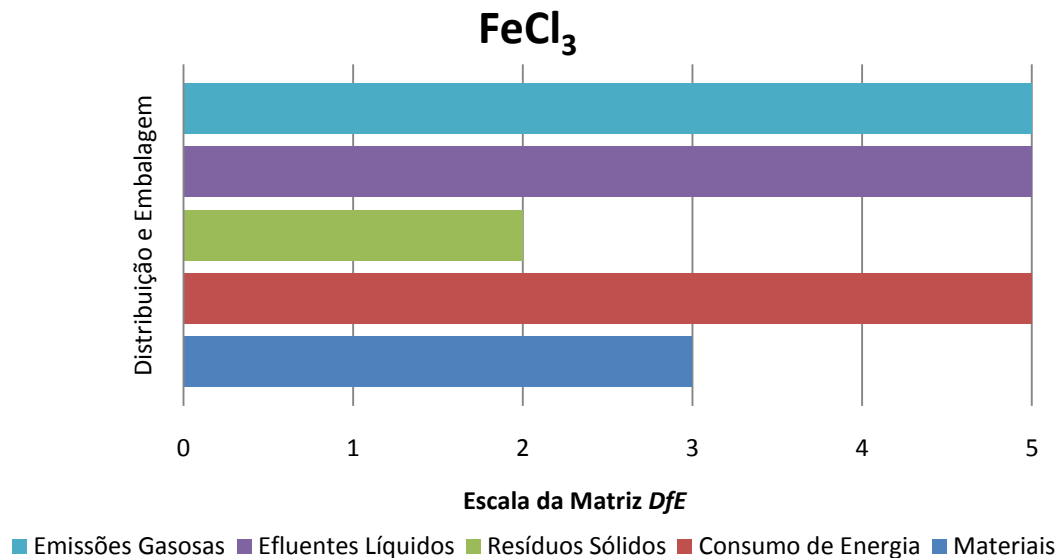


Figura 19 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Distribuição e Embalagem do cloreto férrico

Fonte: Autoria Própria.

A empresa fabricante do FeCl_3 , possui impacto negativo de 20% em relação aos aspectos ambientais considerados. Estes representam as variáveis materiais e resíduos sólidos, relacionados à impossibilidade de reutilização e reciclagem das embalagens por armazenarem um produto químico perigoso.

Já a empresa produtora do coagulante orgânico proporciona o melhor comportamento ambiental na etapa de distribuição e embalagem, tendo aproveitamento de 100% em relação à pontuação máxima estabelecida para os aspectos ambientais nesta fase do ciclo de vida do produto.

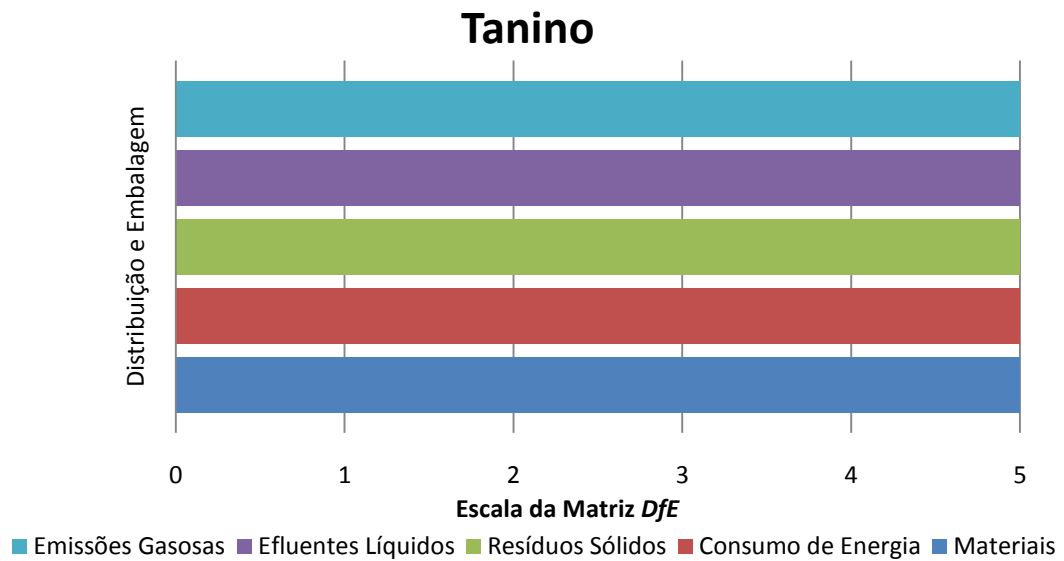


Figura 20 – Representação gráfica dos aspectos ambientais da Distribuição e Embalagem do tanino

Fonte: Autoria Própria.

5.2.5 Uso do Produto e Manutenção

Para esta etapa foi discutido o tempo de uso do produto, os impactos gerados durante o uso e a capacidade de reparação, para cada tipo de coagulante empregado no tratamento de efluente do café.

Tanto a aplicação do coagulante orgânico, quanto do inorgânico no tratamento de efluentes apresenta-se eficiente para a o aspecto ambiental consumo de energia, pois possibilita o mínimo consumo de energia durante seu uso, além da possibilidade de ajuste de energia de acordo com a intensidade da atividade.

No aspecto emissões gasosas, a emissão de poluentes atmosféricos perigoso foram evitados para os dois produtos, pois em sua operação são utilizados tanques fechados. O uso do cloreto férrico, contudo, requer grande atenção visto que, quando utilizado em altas temperaturas libera vapores ácidos que comprometem a saúde dos operadores e promovem a corrosão de materiais metálicos.

Os coagulantes também apresentam composição e informações do produto conhecidas, sem o uso de aditivos e substâncias desconhecidas que afetem a sua

reutilização no processo. Mesmo ambos os produtos serem desenvolvidos para a fácil reparação e substituição, a utilização do produto orgânico tem vantagens sobre o inorgânico no aspecto ambiental resíduos sólidos pela menor geração de lodo em seu processo. Em relação aos efluentes líquidos o agente orgânico é mais apropriado, já que o inorgânico libera substâncias ácidas acrescidas de íons cloreto e ferro no corpo receptor, mesmo que em quantidades dentro dos limites da legislação.

A utilização do cloreto férrico como coagulante para o tratamento de efluentes apresenta 32% de oportunidades de melhoria ambiental, esta porcentagem tem maior contribuição da variável efluentes líquidos, já que o produto libera substâncias capazes de contaminar a água. Por se tratar de um produto químico perigoso, esta liberação se torna inevitável, porém o lançamento pode ser controlado dentro dos padrões legais.

Assim como na distribuição e embalagem, a etapa de uso do produto e manutenção é mais eficiente quando se trata da utilização do tanino como coagulante, mostrando máximo desempenho relacionado à análise feita.

As Figuras 21 e 22 expressam os aspectos ambientais calculados para a fase de uso do produto e manutenção dos coagulantes.

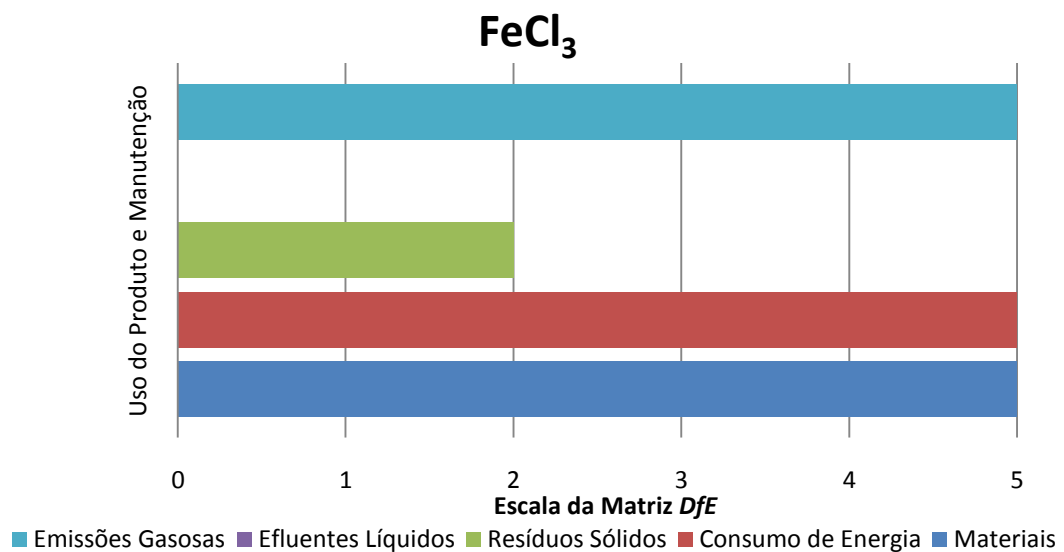


Figura 21 – Representação gráfica dos aspectos ambientais do Uso do Produto e Manutenção do cloreto férrico

Fonte: Autoria Própria.

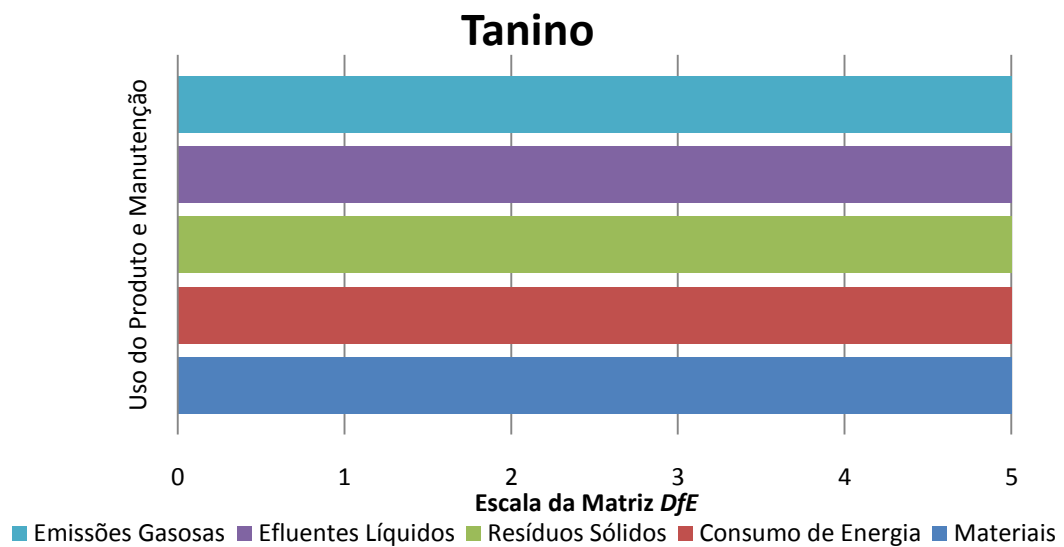


Figura 22 – Representação gráfica dos aspectos ambientais do Uso do Produto e Manutenção do tanino
Fonte: A autoria Própria.

5.2.6 Fim de Vida

Nesta última etapa é avaliada a disposição final do produto ou se o mesmo é passível de ser reciclado ou reaproveitado.

O efluente do café após passar por todas as etapas do tratamento é lançado no corpo hídrico dentro dos padrões aceitáveis, e o lodo gerado neste processo é prensado e enviado à agricultura para ser usado como adubo.

Sendo assim, os dois coagulantes são materiais de fácil reuso, pois são destinados junto com o lodo para agricultura, outro ponto positivo se deve ao produto final não apresentar associação com materiais que dificultem sua separação. Análises de solo são feitas periodicamente para avaliar o comportamento do lodo contendo cloreto férrico, apesar deste apresentar-se dentro dos padrões, se aplicado constantemente e em altas concentrações acarretará na contaminação do solo.

A introdução de materiais tóxicos para ambos foi evitada. O produto final que teve como agente coagulante o cloreto férrico, por conter um resíduo Classe I, deveria ser disposto como resíduo perigoso, porém se obedecidos os níveis de

concentração permitidos e os resultados dos laudos estiverem dentro dos padrões aceitáveis, ele pode ser destinado normalmente à agricultura.

Desta forma o gasto energético para o transporte aos aterros industriais é evitado para ambos os produtos, mas o gasto para o envio do produto para a agricultura ainda existe, porém não foi contabilizado. Em relação ao uso do produto para geração de energia, o tanino pode ser empregado sem problemas, já o cloreto férrico pode liberar componentes tóxicos em sua queima dependendo do processo utilizado, como por exemplo, a incineração.

A liberação de substâncias consideradas poluentes atmosféricos ou que causem destruição da camada de ozônio foram evitadas, já que o lodo tem como destino a aplicação no solo. Para o composto com presença de cloreto férrico a aeração, controle de temperatura e umidade é fundamental para evitar a combustão e liberação de substâncias tóxicas. Outra possível aplicação seria a utilização de biodigestores para a recuperação dos gases contidos nos produtos.

Em relação aos efluentes líquidos, o produto final contendo o produto químico se exposto à grande umidade ou chuva pode ocasionar a lixiviação de compostos perigosos, diferentemente do tanino, que é composto por materiais orgânicos. As Figuras 23 e 24 apresentam o resultado do cálculo de aspectos ambientais a partir da Matriz *DfE* para o cloreto e tanino, respectivamente.

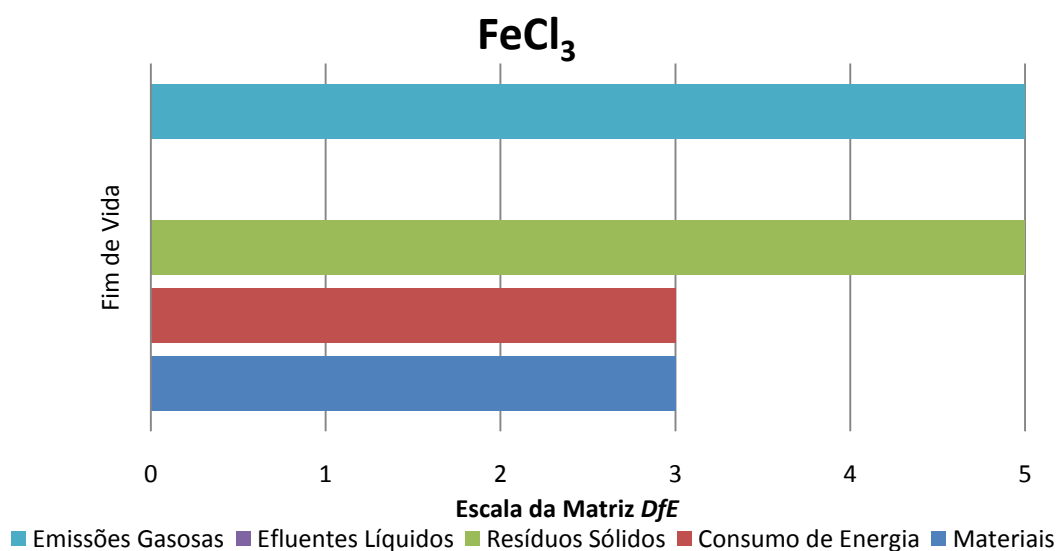


Figura 23 – Representação gráfica dos aspectos ambientais do Fim de Vida do cloreto férrico

Fonte: Autoria Própria.

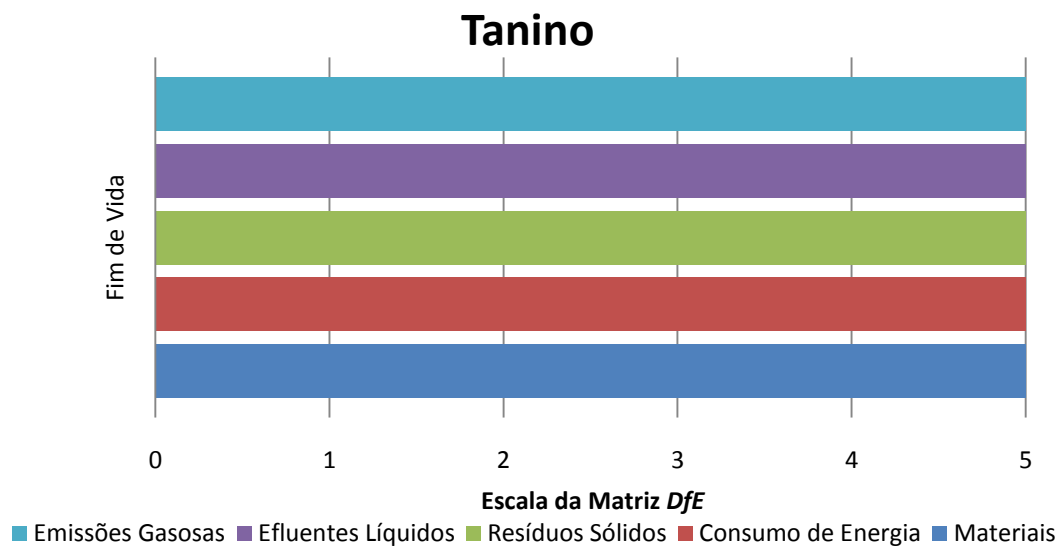


Figura 24 – Representação gráfica dos aspectos ambientais do Fim de Vida do tanino
Fonte: Autoria Própria.

Os aspectos ambientais relacionados ao fim de vida do cloreto férrico possuem uma oportunidade de melhoria de 36% e seu maior potencial está na variável efluentes líquidos, já que o produto não dispõe de recuperação de líquidos perigosos que possam ser carreados no solo.

A utilização do tanino como coagulante também apresenta o maior desempenho ambiental na fase de fim de vida dos produtos, não apresentando nenhum potencial de melhoria para os aspectos avaliados.

5.2.7 Comparação Geral entre Produtos

Os resultados obtidos na Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada utilizando a ferramenta Matriz *DfE* confirmaram que o coagulante orgânico (tanino) é o mais adequado para o tratamento de efluentes do café, com 105 pontos contra 86 pontos do coagulante inorgânico (cloreto férrico).

A Matriz *DfE*, com os cálculos das variáveis ambientais relacionadas a cada fase do ciclo de vida do cloreto férrico é apresentada no Quadro 8.

| Fase do ciclo de vida | Aspecto Ambiental | | | | | Total |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------|
| | 1. Materiais | 2. Consumo de Energia | 3. Resíduos Sólidos | 4. Efluentes Líquidos | 5. Emissões Gasosas | |
| A Pré-manufatura | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 14 |
| B Manufatura | 3 | 5 | 3 | 3 | 5 | 19 |
| C Embalagem e Distribuição | 3 | 5 | 2 | 5 | 5 | 20 |
| D Uso e Manutenção | 5 | 5 | 2 | 0 | 5 | 17 |
| E Fim de Vida | 3 | 3 | 5 | 0 | 5 | 16 |
| Total | 17 | 20 | 15 | 11 | 23 | 86 |

Quadro 8 - Cálculo da Matriz DfE para o cloreto férrico
Fonte: Autoria Própria.

Na avaliação do ciclo de vida do cloreto férrico, a etapa de pré-manufatura foi a que apresentou maiores impactos negativos, seguida pelo fim de vida, uso e manutenção, manufatura e por fim, a etapa de distribuição e embalagem, com o melhor desempenho.

O aspecto ambiental efluentes líquidos foi o causador de maior impacto no ciclo de vida do produto, seguido dos resíduos sólidos, materiais, consumo de energia e emissões gasosas.

Nenhuma variável obteve pontuação máxima no questionário, precisando buscar novas alternativas para mudança de cenário, e consequente aumento de posição no mercado consumidor. O foco de melhoria está na escolha de fornecedores de matéria prima comprometidos com a sustentabilidade do produto e programas de contenção dos líquidos responsáveis pela contaminação do solo e das águas.

A Matriz DfE, com os cálculos das variáveis ambientais relacionadas a cada fase do ciclo de vida do tanino é apresentada no Quadro 9.

| Fase do ciclo de vida | Aspecto Ambiental | | | | | Total |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------|
| | 1. Materias | 2. Consumo de Energia | 3. Resíduos Sólidos | 4. Efluentes Líquidos | 5. Emissões Gasosas | |
| A Pré-manufatura | 2 | 2 | 4 | 3 | 0 | 11 |
| B Manufatura | 5 | 0 | 4 | 5 | 5 | 19 |
| C Embalagem e Distribuição | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 25 |
| D Uso e Manutenção | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 25 |
| E Fim de Vida | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 25 |
| Total | 22 | 17 | 23 | 23 | 20 | 105 |

Quadro 9 - Cálculo da Matriz DfE para o tanino
Fonte: Autoria Própria.

Da mesma maneira que produto inorgânico, a etapa de pré-manufatura foi a de maior impacto ambiental do ciclo de vida do tanino, seguido da manufatura. As demais fases do ciclo de vida atingiram pontuação máxima, conferindo ao produto um ótimo comportamento ambiental.

O consumo de energia foi a variável do produto orgânico que mais colaborou para o impacto ambiental, seguido dos resíduos sólidos e materiais. Os resíduos sólidos e efluentes líquidos obtiveram a mesma pontuação, representando os aspectos menos significativos.

Embora o tanino seja o produto com o máximo desempenho ambiental nas três últimas fases do ciclo de vida, ainda existem oportunidades de melhoria das etapas de pré-manufatura e manufatura, objetivando o aperfeiçoamento de seu perfil. Os fabricantes do produto devem buscar fornecedores com sistema de gestão ambiental implantado na empresa, práticas de redução de emissões gasosas e programas de redução e reaproveitamento de energia. O gerente da Estação de Tratamento de Efluentes também deve optar por fornecedores com maior preocupação no consumo energético.

A indústria produtora de café solúvel já colabora significativamente para a preservação do meio ambiente com boas práticas de uso e disposição final de seus resíduos e a partir de todas estas informações tem uma base sólida para a tomada de decisão acerca do melhor agente coagulante aplicado no tratamento de efluentes.

6 CONCLUSÃO

O tratamento de efluentes industriais do café é uma prática que minimiza os impactos ambientais gerados pela alta carga orgânica característica deste resíduo. A etapa de coagulação é fundamental para que o efluente seja lançado dentro dos parâmetros legais aceitáveis e a escolha do agente coagulante depende do objetivo da empresa, custo benefício e impactos causados.

A RBS realizada no presente trabalho localizou grande quantidade de estudos, principalmente na comparação entre alternativas de tratamento de efluentes, identificando 15 de 29 publicações. A string de busca *LCA x Wastewater Treatment* apresentou o melhor desempenho. A base de dados com maior número de identificações foi o Science Direct e a fonte Journal of Cleaner Production revelou a maior parte das publicações.

No tocante ao tema de ACV aplicada ao tratamento de efluentes do café ainda há grande carência na literatura, não sendo encontrado nenhum estudo. O mesmo ocorre no processo de coagulação, onde apenas dois estudos foram encontrados.

No contexto brasileiro, foram encontradas apenas duas teses, revelando que no Brasil esta técnica ainda não é muito utilizada. Em todos os trabalhos a ACV oferece bons resultados, que facilitam o processo decisório, porém a falta de alguns dados pode comprometer a confiabilidade do estudo devido às más interpretações dos resultados.

Na aplicação do método da ACV simplificada, foi possível apontar o tanino como agente coagulante de melhor perfil ambiental por meio dos resultados obtidos através questionário adotado. A ferramenta também mostrou potencial para identificação de oportunidades melhorias com foco no desenvolvimento do produto de maior sustentabilidade.

O tanino atingiu a máxima pontuação em três de cinco fases do ciclo de vida, e obteve 15,2 pontos percentuais a mais que o cloreto férrico a partir do cálculo da Matriz *DfE*, revelando-se o mais apropriado e de maior potencial competitivo. A etapa do ciclo de vida mais impactante tanto do cloreto férrico quanto do tanino foi a pré-manufatura, o aspecto ambiental de maior relevância do coagulante inorgânico foi efluentes líquidos e do coagulante orgânico, consumo de energia.

Como metodologia para a ACVS, a Matriz *DfE* foi eficaz, porém, em razão do conteúdo do questionário ser muito genérico e não abordar todos os potenciais impactos causados pelo produto, é necessária a realização de uma ACV completa para obter um resultado mais preciso.

6.1 RECOMENDAÇÕES

Como recomendação para estudos futuros destaca-se a necessidade da realização de mais estudos de ACV envolvendo diferentes tipos de efluentes, a utilização de coagulantes no tratamento de efluentes e a melhoria das bases de dados dos questionários, sendo estes mais específicos a cada produto ou sistema estudado, com vistas à obtenção de resultados mais confiáveis.

A aplicação do questionário em maior número de empresas fabricantes dos produtos, sendo respondido pela maior quantidade de pessoas possível também é interessante para a visão mais completa do desempenho ambiental dos mesmos, e a abordagem de mais agentes coagulantes pode fornecer o enriquecimento da análise.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Rafael Medeiros de. **Globalização e Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 14.040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BARRIOS, Ramiro et al. Environmental and financial life cycle impact assessment of drinking water production at Waternet. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 4, p. 471–476, mar. 2008.

BASERBA, Garrido M. et al. Including the environmental criteria when selecting a wastewater treatment plant. **Environmental Modelling & Software**, v. 56, p. 74–82, jun. 2014.

BEACH, Evan S. et al. Preferential technological and life cycle environmental performance of chitosan flocculation for harvesting of the green algae *Neochloris oleoabundans*. **Bioresource Technology**, v. 121, p.445–449, out. 2012.

BENETTO, Enrico et al. Life cycle assessment of ecological sanitation system for small-scale wastewater treatment. **Science of The Total Environment**, v. 407, n. 15, p. 1506–1516, fev. 2009.

BONTON, Alexandre et al. Comparative life cycle assessment of water treatment plants. **Desalination**, v 284, p. 42–54, jan. 2012.

BRASIL. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA**. Resolução nº 357, de 10 de março de 2005.

BRASIL. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA**. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.

CHEHEBE, José. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

COBRA, Raphael L. R. de B. **Elaboração de roteiros de aplicação de métodos e ferramentas de ecodesign**. 2012. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café**, v. 1 – Safra 2014, n.1 - Primeiro Levantamento, Brasília, p. 1-21, jan. 2014.

COROMINAS, Lluís. Including Life Cycle Assessment for decision-making in controlling wastewater nutrient removal systems. **Journal of Environmental Management**, v. 128, n. 15, p. 759–767, out. 2013.

COSTA, Aureliano N. C. et al. Influência da aplicação de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto tratado com cal virgem nas características químicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 2009. **Anais**. Disponível em: <<http://www.fundagres.org.br/biossolido/index.php/trabalhos-tecnico-cientificos>>. Acesso em: 10 de fev. 2014.

CRUZ, João G. H. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial**. 2004. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DISTRIBUIDORA INDUSTRIAL PARANAENSE LTDA – DIPA QUÍMICA. **Cloreto Férrico: Especificação Técnica**. Curitiba, 2011, 2 p.

DIXON, Andrew et al. Assessing the environmental impact of two options for small-scale wastewater treatment: comparing a reedbed and an aerated biological filter using a life cycle approach. **Ecological Engineering**, v. 20, p. 297–308, set. 2003.

ECLESIASTES 3:1. Português. In: **Bíblia sagrada**. Tradução de Ivo Storniolo e Euclides Martins Balancin. São Paulo: Paulus, 1990. p. 818. Edição Ecumênica.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cultivo da Acácia-Negra**. Disponível em:

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/AcaciaNegra/CultivodaAcaciaNegra/01_importancia_soc_econ_ambiental.htm>. Acesso em: 17 mai. 2014.

FANYU, Meng et al. Life Cycle Assessment of Municipal Sewage Treatment Process: A Case Study from Harbin, China. **Bioinformatics and Biomedical Engineering**, v. 4, p. 1-4, jun. 2010.

FERREIRA, José. V. R. **Análise do Ciclo de Vida dos Produtos**. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FRANCO, Elton S. **Avaliação da Influência dos Coagulantes Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico na Remoção de Turbidez e Cor da Água Bruta em sua Relação com Sólidos na Geração de Lodo em Estações de Tratamento de Água**. 2009. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GODSKESEN, Berit et al. Life-cycle and freshwater withdrawal impact assessment of water supply technologies. **Water Research**, v. 47, n. 1, p. 2363–2374, mai. 2013.

HINZ, Roberta T. P.; VALENTINA, Luis V. D.; FRANCO, Ana C. Sustentabilidade ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida. **Estudos Tecnológicos**, v. 2, n. 2, p. 91-98, dez. 2006.

HOCHSCHORNER, Elisabeth; FINNVEDEN, Göran Evaluation of Two Simplified Life Cycle Assessment Methods. **The International Journal of Life Cycle Assessment**.v.8,n.3,p. 119-128, 2003.

HOSPIDO, Almudena; MOREIRA Maria T.; FEIOJOO, Gumersindo. Simplified life cycle assessment of Galician milk production. **International Dairy Journal**, v. 13, p. 783-796, 2003.

HUNT, Robert G.; BOGUSKI, Terrie K.; WEITZ, Keith; SHARMA, Aarti. Case studies examining LCA streamlining Techniques. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 3, n.1, p. 36-42, 2001.

IGOS, Elorri et al. Life Cycle Assessment of water treatment: what is the contribution of infrastructure and operation at unit process level?. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 424–431, fev. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IBICT. **Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos e Sistemas Produtivos**. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/>>. Acesso em: 13 de fev. 2014.

INSTITUTO DE PROJETOS E PESQUISAS SOCIOAMBIENTAIS - IPESA. **Cartilha, Manejo Adequado da Água**: Manual de Orientação. São Paulo, 2012. 33p.

JACOVELLI, José S., FIGUEIREDO, Paulo J. M. Avaliação do ciclo de vida simplificada aplicada a evolução de tornos. In: XXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2003. **Anais**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR1002_1393.pdf>. Acesso em: 17 de out. 2014.

KEOLEIAN, G. A. The application of life cycle assessment to design. **Journal of Cleaner Production**.v.1 n. 3-4, p. 143-149, 1993.

LUNDIN, Margareta et al. Life Cycle Assessment of Wastewater Systems: Influence of System Boundaries and Scale on Calculated Environmental Loads. **Environmental Science & Technology**, v. 34, n. 1, p. 180-186, 2000.

LUO, Xiaoyong et al. Life Cycle Assessment of a municipal wastewater treatment plant: a case study in Suzhou, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 57, n. 15, p.221–227, out. 2013.

MANDA, Krishna B. M. et al. Innovative membrane filtration system for micropollutant removal from drinking water – prospective environmental LCA and its integration in business decisions. **Journal of Cleaner Production**, v. 72, n. 1, p. 153–166, jun. 2014.

MATOS, Antônio T. de et al. Alteração de atributos químicos no solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 406-412, set. 2005.

MATOS, Antonio T. de. Uso de resíduos de sistemas de produção do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 2011, Vitória. **Palestras e Painéis**. Disponível em: <<http://www.fundagres.org.br/biossolido/iicbro/cbro/PALESTRAS/AntonioTeixeiraMatos.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2014.

MELO, Augusto C. de P. e. **Utilização de água residuária do processo pós-colheita do café na produção de mudas de cafeeiro**. 2009. 48 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Culturas: Café**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>>. Acesso em: 15 mai. 2014.

MOURIA, Goro et al. Estimation of the effects of chemically-enhanced treatment of urban sewage system based on life-cycle management. **Sustainable Cities and Society**, v. 9, p. 23–31, dez. 2013.

MUÑOZ, Ivan et al. Life Cycle Assessment of Water Supply Plans in Mediterranean Spain. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 6, p. 902–918, dez. 2010.

MUÑOZ, Ivan et al. Ranking potential impacts of priority and emerging pollutants in urban wastewater through life cycle impact assessment. **Chemosphere**, v. 74, n. 1, p. 37–44, dez. 2008.

NIERO, Monia et al. Comparative life cycle assessment of wastewater treatment in Denmark including sensitivity and uncertainty analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, n. 1, p. 25–35, abr. 2014.

NIGRI, Elbert M. **Análise comparativa do ciclo de vida de produtos alimentícios industriais e artesanais da culinária mineira**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ONTIVEROS, Guillermo A. et al. Environmental performance of biological nutrient removal processes from a life cycle perspective. **Bioresource Technology**, v. 150, p. 506–512, dez. 2013.

ORTIZ, M. et al. Life cycle assessment of water treatment technologies: wastewater and water-reuse in a small town. **Desalination**, v. 204, n. 5, p. 121–131, fev. 2007.

PARANÁ. **CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CEMA**. Resolução nº 70, de 01 de outubro de 2009.

PARANÁ. **CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CEMA**. Resolução nº 72, de 22 de outubro de 2009.

PASQUALINO, Jorgelina C. et al. Life Cycle Assessment of Urban Wastewater Reclamation and Reuse Alternatives. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 1, p. 49–63, fev. 2011.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada**. 2001. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PIANTÁ, Cyro A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água**. 2008. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PIGOSSO, Daniela. C. A. **Integração de métodos e ferramentas do ecodesign ao processo de desenvolvimento de produtos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PIGOSSO, Daniela C, SOUSA, Sabrina R. Life Cycle Assessment (LCA): discussion on full-scale and simplified assessments to support the product development process. In: 3RD INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2011. **Anais**. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5A/6/Pigozzo_DCA%20-%20Paper%20-%205A6.pdf>. Acesso em: 17 de out. 2014.

RENOU, Sébastien et al. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 1098–1105, jul. 2008.

RIBERA, Gemma et al. Life cycle and human health risk assessments as tools for decision making in the design and implementation of nanofiltration in drinking water treatment plants. **Science of The Total Environment**, v. 466–467, n. 1, p. 377–386, jan. 2014.

SANCHES, Andrea B. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas de tratamento de esgotos sanitários: uma proposta metodológica**. 2009. 184 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVA, Edna L. da; MENEZES, Estera M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4 ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, Júlia F. da. **Monitoramento de um sistema piloto no tratamento da água residuária do café produzido por via úmida**. 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Área de concentração Construções Rurais e Ambiente, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SILVA, Marcos E. R. da; AQUINO, Marisete D. de; SANTOS, André B. dos. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 28, n. 2, p. 178-190, dez. 2007.

SILVA, Telma S. S. **Estudo de Tratabilidade Físico-Química com Uso de Taninos Vegetais em Água de Abastecimento e de Esgoto**. 1999. 79 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

SOUSA, Ana L. S. **Aplicação da avaliação do ciclo de vida a duas estações de tratamento de água da região norte: ETA de Queimadela e ETA de Areias de Vilar**. 2009. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.

SOUZA, Marcela T.; SILVA, Michelly D.; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102-106, jan./mar. 2010.

TANAC S.A.. **Taninos**: Boletim Informativo. Montenegro, 2008, 57 p.

THIBODEAU, Charles et al. Comparison of black water source-separation and conventional sanitation systems using life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 45–57, mar. 2014.

TILLMAN, Anne M.; SVINGBY, Mikael; LUNDSTRÖM, Henrik. Life cycle assessment of municipal waste water systems. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 3, n. 3, p. 145-157, mai. 1998.

TOOD, Joel A.; CURRAN, Mary A. **Streamlined life-cycle assessment: A final report from the SETAC North America streamlined LCA workgroup**. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) and SETAC Foundation for Environmental Education, 1999.

VAZ, Luis G. de L. **Performance do Processo de Coagulação/Floculação no Tratamento do Efluente Líquido Gerado na Galvanoplastia**. 2009. 83 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

VAZ, Luis G. de L. et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Rev. Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VLASOPOULOS, Nikolaos et al. Life cycle assessment of wastewater treatment technologies treating petroleum process waters. **Science of The Total Environment**, v. 367, n. 15, p. 58–70, ago. 2006.

YARWOOD, Jeremy M.; EAGAN, Patrick D. **Design for Environment Toolkit**. Minnesota Office of Environmental Assistance. Minneapolis, 1998.

YOSHIDA, Hiroko et al. Influence of data collection schemes on the Life Cycle Assessment of a municipal wastewater treatment plant. **Water Research**, v. 56, n. 1, p. 292-303, jun. 2014.

ZHANG, Qiong H. et al. Application of life cycle assessment for an evaluation of wastewater treatment and reuse project – Case study of Xi'an, China. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1421–1425, mar. 2010.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO ADAPTADO PARA A MATRIZ *DfE*

O apêndice traz o questionário adaptado de Cobra (2012) para a ferramenta Matriz *DfE* presente na seção 4.2.1.

A – Pré-manufatura

Responda as questões de A1 a A5 escolhendo uma das 5 alternativas (a,b,c,d ou e)

A.1: Pré-manufatura X Materiais

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em andamento?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A1 da matriz:

A.2: Pré-manufatura X Consumo de Energia

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui práticas de conservação de energia formais em andamento?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A2 da matriz:

A.3: Pré-manufatura X Resíduos Sólidos

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui ISO 9000 ou ISO 14000 em andamento ou regularmente publicam relatórios ambientais da empresa?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A3 da matriz:

A.4: Pré-manufatura X Efluentes Líquidos

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa de conservação da água?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A4 da matriz:

A.5: Pré-manufatura X Emissões Gasosas

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa formal em andamento para a minimização das emissões gasosas?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A5 da matriz:

B – Manufatura

B.1: Manufatura X Materiais

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. O uso de materiais recicláveis no seu produto é o maior possível? | 1 | 0 |
| 2. Os materiais perigosos foram evitados ou minimizados? | 2 | 0 |
| 3. A quantidade de material utilizado foi minimizada? | 1 | 0 |
| 4. O número de diferentes tipos de materiais que são usados foi minimizado? | 1 | 0 |

Pontos totais para o elemento B1 da matriz:

B.2: Manufatura X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O processo de manufatura minimiza o uso intensivo de energia dos processos? | 2 | 0 |
| 2. Os processos de manufatura usam co-geração, troca de calor ou outras técnicas para utilizar a energia que seria desperdiçada? | 2 | 0 |
| 3. O transporte entre a manufatura e os pontos de montagem foi minimizado? | 1 | 0 |

Pontos totais para o elemento B.2 da matriz:

B.3: Manufatura X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. A perda de materiais foi minimizada e o reuso otimizado ao máximo durante a manufatura? | 1 | 0 |
| 2. Os fornecedores de matéria-prima e componentes foram contatados para encorajá-los a minimizar as quantidades e tipos de embalagem dos seus produtos? | 1 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 3. Sua empresa maximizou as oportunidades de reusar e reduzir os resíduos de embalagens quando os componentes são transportados entre as instalações? | 1 | 0 |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| 4. A introdução intencional de todo chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente foi evitada? | 2 | 0 |
|---|---|---|

Pontos totais para o elemento B.3 da matriz:

B.4: Manufatura X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. Foram investigadas alternativas para o uso de solventes e óleos tóxicos? | 2 | 0 |

| | | |
|--|---|---|
| 2. As oportunidades para captura e reuso dos subprodutos líquidos gerados durante o processo de manufatura foram investigadas? | 1 | 0 |
|--|---|---|

| | | |
|--|---|---|
| 3. A geração de poluentes da água foram evitadas ou minimizadas? | 2 | 0 |
|--|---|---|

Pontos totais para o elemento B.4 da matriz:

B.5: Manufatura X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. A geração de gases que causam o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foram evitados? | 2 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 2. A geração de poluentes do ar perigosos foi evitada durante o processo de manufatura? | 2 | 0 |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| 3. O uso de solventes, tintas e adesivos com altas taxas de evaporação de compostos orgânicos voláteis foi eliminado ou minimizado? | 1 | 0 |
|---|---|---|

Pontos totais para o elemento B.5 da matriz:

C – Distribuição e Embalagem

C.1: Distribuição e Embalagem X Materiais

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre as instalações da empresa? | 1 | 0 |
| 2. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre a empresa e seus fornecedores? | 1 | 0 |
| 3. Materiais reciclados são usados nas embalagens utilizadas para transporte e entrega do produto? | 1 | 0 |
| 4. Materiais recicláveis são usados nas embalagens para transporte e entrega do produto? | 1 | 0 |
| 5. O número de diferentes tipos de materiais usados nas embalagens foi minimizado? | 1 | 0 |

Pontos totais para o elemento C.1 da matriz:

C.2: Distribuição e Embalagem X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O material usado para embalagem é ao massa possível, mantendo as funções de transporte e embalagem final? | 5 | 0 |

Pontos totais para o elemento C.2 da matriz:

C.3: Distribuição e Embalagem X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. A embalagem foi desenvolvida para fácil separação entre os materiais possibilitando o reuso e a reciclagem? | 1 | 0 |
| 2. Os tipos de embalagem comumente usadas são recicladas? | 2 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 3. Os materiais da embalagem são claramente marcados e facilmente identificados por tipo de material? | 2 | 0 |
|---|---|---|

Pontos totais para o elemento C.3 da matriz:

C.4: Distribuição e Embalagem X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

Sim Não

| | | |
|--|---|---|
| 1. A máxima prevenção quanto ao vazamento de líquidos perigosos durante o transporte foi tomada? | 5 | 0 |
|--|---|---|

Pontos totais para o elemento C.4 da matriz:

C.5: Distribuição e Embalagem X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

Sim Não

| | | |
|--|---|---|
| 1. As embalagens para transporte e consumo não contém polímeros clorados ou plásticos que possam produzir emissões gasosas perigosas caso incinerados a baixas temperaturas? | 3 | 0 |
|--|---|---|

| | | |
|--|---|---|
| 2. As embalagens para transporte e consumo não contém inibidores de chamas bromados que possam produzir emissões se incinerados a baixas temperaturas? | 2 | 0 |
|--|---|---|

Pontos totais para o elemento C.5 da matriz:

D – Uso do Produto e Manutenção

D.1: Uso do Produto e Manutenção X Materiais

Para esse produto ou componente:

Sim Não

| | | |
|---|---|---|
| 3. As barreiras potenciais para a reciclagem, como uso de aditivos, tratamentos metálicos em plásticos, aplicação de pinturas no plástico ou o uso de materiais de composição desconhecidas foram evitadas? | 3 | 0 |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| 4. A composição e informação sobre as propriedades do produto são conhecidas? | 2 | 0 |
|---|---|---|

Pontos totais para o elemento D.1 da matriz:

D.2: Uso do Produto e Manutenção X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O projeto do produto possibilita o mínimo consumo de energia durante o uso do produto? | 2 | 0 |
| 2. Esse produto ou componente pode ter um ajuste de energia baseada na intensidade de atividade? | 3 | 0 |

Pontos totais para o elemento D.2 da matriz:

D.3: Uso do Produto e Manutenção X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O uso do produto gera a menor quantidade de resíduos possível? | 3 | 0 |
| 2. O produto foi desenvolvido de forma a ser facilmente reparado e/ou atualizado preferencialmente à substituição total? | 2 | 0 |

Pontos totais para o elemento D.3 da matriz:

D.4: Uso do Produto e Manutenção X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O uso dos produtos evita a liberação de substâncias conhecidas por serem poluentes da água? | 5 | 0 |

Pontos totais para o elemento D.4 da matriz:

D.5: Uso do Produto e Manutenção X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. A emissão de poluentes atmosféricos perigosos foi evitada durante o uso e manutenção do produto? | 2 | 0 |
| 2. A emissão de gases que causam aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foi evitada durante o uso e a manutenção do produto? | 3 | 0 |

Pontos totais para o elemento D.5 da matriz:

E – Fim de Vida

E.1: Fim de Vida X Materiais

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. Os materiais são facilmente reusados ou comumente reciclados? | 2 | 0 |
| 2. Nenhum dos materiais utilizados precisam ser disposto como resíduo perigoso ? | 1 | 0 |
| 3. A introdução de chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente nos materiais do produto foram evitadas ? | 2 | 0 |

Pontos totais para o elemento E.1 da matriz:

E.2: Fim de Vida X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

| | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. O lodo gerado pode ser seguramente utilizado para geração de energia, como na incineração? | 2 | 0 |
| 2. Não apresentam nenhum material que precisa ser transportado como resíduo perigoso para aterros industriais? (i.e. energia adicional é requerida para transportar materiais de manejo especial) | 3 | 0 |

Pontos totais para o elemento E.2 da matriz:

E.3: Fim de Vida X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

Sim Não

1. Existe infra-estrutura interna ou externa à empresa para recuperar/reciclar os resíduos sólidos?

5 0

Pontos totais para o elemento E.3 da matriz:

E.4: Fim de Vida X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

Sim Não

1. O produto foi desenvolvido de forma a recuperar líquidos perigosos durante a sua desmontagem?

5 0

Ponto totais para o elemento E.4 da matriz:

E.5: Fim de Vida X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

Sim Não

1. A liberação de substâncias que causam a destruição da camada de ozônio e/ou aquecimento global foi evitada durante a disposição final do produto ou componente?

2 0

2. Os gases contidos no produto podem ser recuperados durante a desmontagem para que não sejam perdidos?

1 0

3. A liberação de poluentes atmosféricos foi evitada durante a disposição final deste produto ou componente?

2 0

Pontos totais para o elemento E.5 da matriz: