# UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**


# Aplicação da ferramenta de Análise de Ciclo de Vida (ACV) em uma lavanderia de beneficiamento de jeans no Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano (APLCAPE)


ARMANDO DIAS DUARTE

Orientador: Prof. GILSON LIMA DA SILVA



CARUARU
2016

ARMANDO DIAS DUARTE

# Aplicação da ferramenta de Análise de Ciclo de Vida (ACV) em uma lavanderia de beneficiamento de jeans no Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano (APLCAPE)

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para aprovação na disciplina Projeto Final de Curso.

Área de concentração: Gestão Ambiental

Orientador: Gilson Lima da Silva

Caruaru

2016

Catalogação na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 12

D812a Duarte, Armando Dias.
Aplicação da ferramenta de Análise do Ciclo de Vida (ACV) em uma lavanderia de beneficiamento de jeans no Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano (APLCAPE). / Armando Dias Duarte. – 2016.
64f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Gilson Lima da Silva
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2016.
Inclui Referências.

1. Gestão ambiental. 2. Lavanderias e tinturarias. 3. Controle de qualidade. 4. Resíduos industriais . I. Silva, Gilson Lima da (Orientador). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-075)

ARMANDO DIAS DUARTE

# Aplicação da ferramenta de Análise de Ciclo de Vida (ACV) em uma lavanderia de beneficiamento de jeans no Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano (APLCAPE)

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para aprovação na disciplina Projeto Final de Curso.

Área de concentração: Gestão Ambiental

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato Armando Dias Duarte, APROVADO COM NOTA_____.

Caruaru, de Maio de 2016.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gilson Lima da Silva _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Dr. Osmar Veras Araújo _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. Antônio Romão Alves da Silva Filho _____

Centro Universitário Vale do Ipojuca – UNIFAVIP (Avaliador)

Prof. Dr. Lúcio Câmara e Silva _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

# AGRADECIMENTOS

*Agradeço em especial ao meu pai e minha mãe por sempre acreditarem no meu potencial e força de vontade para superar as dificuldades encontradas durante boa parte de minha vida, onde aprendi que para ser alguém na vida é preciso ter o estudo, humildade, caráter, conhecimento e batalhar muito, para se conseguir o sucesso na vida. A minha mãe por ser um exemplo de mulher dedicada a família e de uma vontade de trabalhar inabalável, fonte de inspiração, e a serenidade, gentileza e espírito forte de meu pai. Gostaria de agradecer também a uma pessoa em especial que sempre me acompanhou e me deu apoio que é Deysianne, outro exemplo de mulher forte, batalhadora e justa, onde construiremos muitas coisas juntos.*

*Aos meus colegas de graduação: Davi Fernandes, Samuel César, Diogo Ferreira, Heitor Galindo, Bruno Ferreira e outros colegas, que me ajudaram a trilhar o começo do meu futuro, após horas de estudo convertidas em conhecimento e tantas outras ajudas no decorrer da vida acadêmica.*

*Agradeço também ao meu grupo de pesquisa de Gestão Ambiental Avançada (GAMA), pois a partir dele consegui feitos inimagináveis como projetos, artigos, realizações, viagens para o Brasil e exterior e principal de todas as conquistas, saber que posso contribuir com a vida das pessoas de forma a mudar suas realidades. Ao professor Antônio Romão por ter aberto as portas para que o trabalho pudesse ser desenvolvido e o exemplo de homem bondoso em ajudar o próximo, a José Andro por tê-lo acompanhado durante o desenvolvimento do projeto e compartilhar exemplos de luta e dedicação. Ao proprietário da lavanderia do estudo e toda a sua família.*

*Gostaria também de agradecer a duas pessoas muito especiais que foi além de professores, homens que acreditaram desde o começo da minha graduação, professor Gilson Lima, um exemplo de homem que lutou desde cedo para alcançar seus objetivos e humilde acima de tudo. Proporcionou-me a abertura de oportunidades profissionais e acadêmicas, além de sempre estar presente na elaboração de conquistas tanto acadêmicas, quanto pessoais. Ao professor Osmar Veras que com suas histórias de vida e experiências, nos fazem acreditar que muitas coisas possuem uma forma de resolver, basta darmos um jeito inteligente, além de conselhos que foram primordiais para se tomar decisões importantes na vida.*

# RESUMO

Diante dos problemas ambientais enfrentados pela sociedade, através do consumo e o uso exagerado dos recursos naturais, cada vez mais temas associados à sustentabilidade ganham força, logo, práticas e ferramentas são desenvolvidas/adotadas pelas empresas tornando fatores competitivos com a adoção de estratégias sustentáveis em seus processos produtivos, com os objetivos de minimizar os impactos negativos e proporcionar ganhos ambientais e financeiros através de práticas de Gestão Ambiental. Com a gama de ferramentas e estratégias ambientais a Análise do Ciclo de Vida (ACV) torna possível obter maiores precisões das informações dos processos/produtos, desde sua extração da matéria-prima até a disposição final. A ACV é considerada uma ferramenta nova, poderosa no mercado e que possui desafios a serem enfrentados com a análise detalhada dos produtos/processos. Durante o estudo do ACV são utilizados inventários de base de dados mundiais que possibilitam unificar os resultados, porém adaptar os dados coletados de diferentes regiões torna-se um desafio a ser enfrentado, pois há a dificuldade de encontrá-los, por exemplo, a matriz energética do Brasil difere da matriz Européia e os produtos químicos utilizados. O presente trabalho tem como objetivo a aplicação da ferramenta em uma Lavanderia de Beneficiamento de Jeans (LBJ) e comparar os danos ambientais e sociais relacionadas ao tratamento do Efluente Industrial (EI) gerados após o beneficiamento das peças de jeans. Para realizar o estudo da ACV foram identificados e registrados os principais processos de beneficiamento dentro da LBJ para servir de suporte para a construção do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) onde os componentes da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) foram selecionados para modelar as fronteiras do estudo proposto. Para proceder a avaliação dos dados, foi utilizado o *software* SimaPro® Versão Faculty, cuja unidade de estudo foi definida como $1m^3$ de efluente tratado, a vida útil de 20 anos para a ETE, sendo também selecionado os parâmetros utilizados, a biblioteca utilizada na análise do ICV, a definição das categorias de impactos e como interpretar as informações com os resultados obtidos. Com os dados obtidos através de relatórios fornecidos pela LBJ, foi realizada a análise da qualidade através da ferramenta da matriz *Pedigree* o que permitiu estimar os valores dos desvios padrões durante o período de vinte anos da vida útil do sistema modelado. Os resultados demonstram que das categorias selecionadas, a Ecotoxidade de Água doce e a Toxicidade Humana, foram impactadas significativamente pelo efluente tratado e os químicos inorgânicos presentes nos produtos utilizados no processo, o que sugere a substituição dos produtos químicos utilizados no tratamento de modo a melhorar a qualidade final do efluente tratado e sua disposição em corpos d'água próximo da LBJ. A energia elétrica esteve presente também como agente impactante em todas as categorias, o que indica a necessidade de adoção de outras formas de suprimento de energia para o sistema modelado.



**Palavras-chave:** Gestão Ambiental; Lavanderia de Jeans; Análise de Ciclo de Vida.

# ABSTRACT

Faced with the environmental problems faced by society, through consumption and overuse of natural resources, more and more issues associated with sustainability are gaining strength, therefore, practices and tools are developed / adopted by companies making competitive factors in the adoption of sustainable strategies its production processes with the objective of minimizing the negative impacts and provide environmental and financial gains through environmental management practices. With the range of tools and strategies to environmental Life Cycle Analysis (LCA) makes it possible to obtain further clarification of the information processes / products, from the extraction of raw materials to final disposal. ACV is considered a new, powerful tool on the market and has challenges to be faced with the detailed analysis of the product / process. During the study of ACV global database inventories are used that make it possible to unify the results, but adapt the data collected from different regions becomes a challenge to be faced, because there is the difficulty of finding them, for example, the energy matrix of Brazil differs from the European headquarters and the chemicals used. This work aims to apply the tool in a Laundry Jeans Beneficiation (LJB) and compare the environmental and social damage related to the treatment of Industrial Effluent (IE) generated after processing of jeans parts. For the study of ACV were identified and recorded major improvement processes within the LBJ to provide support for the construction of Inventory Life Cycle (ILC) where the components of the Effluent Treatment Plant (ETP) were selected to model the boundaries of the proposed study. To carry out evaluation of the data, we used the SimaPro® Faculty Version software, whose study unit was defined as $1m^3$ of treated effluent, the useful life of 20 years for ETP also the parameters being selected, the library used in the analysis of ICV, the definition of the categories of impacts and how to interpret the information with the results. With the data obtained through reports provided by LBJ, the quality of analysis was performed by the Pedigree matrix tool which allowed us to estimate the values of standard deviations during the period of twenty years of the life of the modeled system. The results demonstrate that the selected categories, the Fresh water Ecotoxicity and human toxicity were affected significantly by the treated effluent, and the inorganic chemicals present in the products used in the process, which suggests the replacement of the chemicals used in the treatment in order to improve the final quality of the treated effluent and its disposal in water bodies near LBJ. Electricity was also present as impactful agent in all categories, which indicates the need to adopt other forms of energy supply to the modeled system.



**Keywords:** Environmental Management; Laundry jeans; Life Cycle Analysis.

# LISTA DE FIGURAS

*Figura 2.1- Fases de Avaliação do Ciclo de Vida* ..... *17*
*Figura 3.1- Fluxo das operações* ..... *27*
*Figura3.2 - Setor de controle* ..... *28*
*Figura 3.3 - Ordem de pedido* ..... *28*
*Figura 3.4 - Caldeira* ..... *29*
*Figura 3.5 - Algaroba utilizada para o aquecimento da caldeira* ..... *29*
*Figura 3.6 - Etapa de lixamento* ..... *30*
*Figura 3.7 - Máquina de centrifugação* ..... *30*
*Figura 3.8 - Máquinas do tipo secador* ..... *31*
*Figura 3.9 - Setor de passadoria* ..... *31*
*Figura 3.10 - Máquinas do tipo horizontal para o beneficiamento das peças* ..... *32*
*Figura 3.11 - Macro - fluxo da água na lavanderia* ..... *33*
*Figura 3.12 - Modelo de calça Levi´s 501* ..... *34*
*Figura 3.13 - Canalização dos efluentes* ..... *35*
*Figura 3.14 - Fluxograma do tratamento físico-químico* ..... *36*
*Figura 3.15 - Tanque de equalização* ..... *37*
*Figura 3.16 - Tanque de tratamento físico-químico* ..... *37*
*Figura 3.17 - Leito de secagem* ..... *39*
*Figura 4.1 - Fluxograma do sistema do estudo* ..... *41*
*Figura 4.2 - Fluxograma da fronteira* ..... *42*
*Figura 4.3 - Fluxograma das entradas e saídas do inventário* ..... *43*
*Figura 5.1 - Dados inseridos no software* ..... *53*
*Figura 5.2 - Métodos de análise do software* ..... *54*
*Figura 5.3 - Rede do processo de tratamento* ..... *55*
*Figura 5.4 - Resultados do ACV* ..... *56*
*Figura 5.5 - Especificações do Efluente Tratado* ..... *58*

# LISTA DE TABELAS

*Tabela 4.1 - Fatores adimensionais de incerteza aplicados à Matriz Pedigree* ..... 46
*Tabela 4.2 - Fatores básicos de incerteza - UB* ..... 47
*Tabela 4.3 - Valores médios dos dados de saída* ..... 48
*Tabela 4.4 - Valores médios dos produtos químicos* ..... 48
*Tabela 4.5 - Consumo de energia das duas bombas utilizadas na ETE* ..... 49
*Tabela 4.6 - Lodo proveniente do tratamento da ETE* ..... 50
*Tabela 4.7 - Tabela dos desvios padrões dos dados de entrada* ..... 50
*Tabela 5.8 - Categorias utilizadas no estudo do inventário* ..... 52

# *LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS*

APLCAP – Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano

LBJ - Lavanderias de Beneficiamento de Jeans

RS – Resíduos Sólidos

EI – Efluentes Industriais

ICV – Inventário de Ciclo de Vida

AICV – Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

OG – Óleos e Graxas

# Sumário

*1 INTRODUÇÃO ..... 12*
1.1 Objetivo Geral ..... 14
1.2 Objetivos Específicos ..... 14
*2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 15*
2.1 Aspectos Históricos da ACV ..... 15
2.2 ACV no Brasil ..... 16
2.3 Benefícios da ACV ..... 16
2.4 Etapas de uma ACV ..... 17
2.4.1 Definições de objetivo e escopo do estudo ..... 18
2.4.2 Função, unidade funcional e fluxo de referência ..... 18
2.4.3 Fronteiras do sistema ..... 18
2.4.4 Requisitos da qualidade dos dados ..... 18
2.4.5 Comparação entre sistemas ..... 19
2.4.6 Considerações sobre a análise crítica ..... 19
2.5 Análise de Inventário ..... 19
2.6 Avaliação de Impacto ..... 19
2.6.1 Seleção de Critérios ..... 21
2.6.2 Classificação dos Dados ..... 21
2.6.3 Caracterização dos Resultados ..... 22
2.7 Interpretação dos Resultados ..... 23
2.8 Abordagens da ACV ..... 23
2.9 Variantes do Estudo ..... 24
*3 METODOLOGIA ..... 26*
3.1 Caracterização da Lavanderia ..... 26
3.2 Fluxograma das Atividades ..... 27
3.2.1 Beneficiamento Físico ..... 30
3.2.2 Centrifugação ..... 30
3.2.3 Secagem ..... 31
3.2.4 Passagem ..... 31
3.3 Beneficiamento Úmido ..... 32
3.4 Consumo de Água ..... 33
3.5 Geração dos Efluentes Através do Beneficiamento do Jeans ..... 34
3.6 Tratamento dos Efluentes ..... 36

*4 APLICAÇÃO DA ACV ..... 40*
4.1 Objetivo e Escopo do Estudo ..... 40
4.2 Sistema do Estudo ..... 40
4.3 Função do Sistema ..... 42
4.4 Unidade Funcional Utilizada ..... 42
4.5 Análise do Inventário da Lavanderia ..... 42
4.6 Análise de Incertezas ..... 43
4.7 Matriz *Pedigree* ..... 44
4.8 Parâmetros utilizados ..... 47
4.9 Produtos Químicos ..... 48
4.10 Energia Elétrica ..... 49
4.11 Resíduos Sólidos ..... 49
4.12 Análise de Incerteza dos Dados ..... 50
4.13 Biblioteca Utilizada na Análise do Inventário ..... 51
4.14 Categorias de Impacto ..... 51
*5 ANÁLISE DOS DADOS ..... 53*
*6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES ..... 59*
*BIBLIOGRAFIA ..... 61*

# 1 INTRODUÇÃO

O mundo está se voltando à sustentabilidade. Cada vez mais as empresas estão sendo pressionadas a mudar sua conduta e ter olhos também ao meio ambiente. Diversas práticas ambientais iniciaram-se a partir dessa necessidade de produzir sem danificar o meio ambiente, porém nem todas essas ações trazem uma visão detalhada dos impactos ambientais decorrentes da produção de um produto e nem conciliam os benefícios ao meio ambiente com os ganhos das empresas.

Uma crescente preocupação em relação ao monitoramento dos impactos ambientais causados pelos desperdícios dos processos produtivos, o que pode acarretar em danos ao meio ambiente, a comunidade em geral e gerar custos adicionais para o tratamento posterior dos Resíduos Sólidos (RS) e Efluentes Industriais (EI), esses impactos gerados pelas atividades podem ser mínimos ou de grandes proporções, a depender da atividade desempenhada pela organização. O que fazem com que as organizações adotem medidas que minimizem as perdas e que sejam sustentáveis na organização.

A comercialização de jeans teve início na década de 60 no Brasil, através da Santista Têxtil, onde era destinado aos trabalhadores do campo. A fabricação desse tecido depende do processo de tingimento dos fios. Uma das características do tecido jeans é o aspecto de envelhecimento ocasionado pelo desbotamento gradativo ocorrido em cada lavagem. Essa etapa do acabamento é conduzida pelas lavanderias industriais (Gorini, 1999).

De acordo com Brito (2013) no Brasil existe cerca de 6.000 lavanderias, e estão subdivididas por setores de atuação com processos distintos: lavanderias hospitalares, lavanderias de hotéis, motéis, restaurantes, roupas profissionais e lavanderias de jeans (confecção) (Rocha; Sobral, 2012). Segundo Sant'ana (2010), a confederação Nacional de indústrias considera a atividade da indústria Têxtil como uma das mais impactantes no meio ambiente, durante seus processos industriais, sofrendo pressões ambientais pelo poder público e a comunidade.

Conforme, Calato *et al.* (2003) a região Nordeste ocupa uma posição de destaque no mercado consumidor do país, ocupando o segundo lugar com 23% do mercado consumidor de vestuário no Brasil. Ficando atrás da região Sudeste com 49% da produção nacional. O setor

nordestino é distribuído por diversas regiões do estado, encontrando-se principalmente nos estados do Ceará, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Bahia e Paraíba.

O município de Caruaru está localizado na mesorregião do Vale do Ipojuca possui uma área territorial de 921 quilômetros quadrados representando 0.94% da área do Estado de Pernambuco. Possui uma população residente de aproximadamente 314.951 habitantes (IBGE, 2014). O município encontra-se inserido nos domínios das Bacias Hidrográficas dos Rios Ipojuca e Capibaribe**.** Os municípios de Toritama e Santa Cruz, que estão situados na microrregião do Alto do Capibaribe, fazem parte do Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano (APLCAPE), localizado na mesorregião no Agreste de Pernambuco, incluso também os municípios de Agrestina, Brejo da Madre de Deus, Cupira, Riacho das Almas, Surubim, Taquaritinga do Norte e Vertentes. Os municípios fazem parte do "Pólo de Confecções do Agreste de Pernambuco". Dentre os municípios citados, as três principais cidades do APLCAPE, Caruaru é considerada a mais importante economicamente, pois, segundo dados do IBGE-CIDADES (2012), gerou um Produto Interno Bruto (PIB) de R$ 3.872.947, em comparação com os municípios de Santa Cruz do Capibaribe que gerou no mesmo ano R$ 766.084 e Toritama R$ 387.474.

Dentre as atividades do APLCAPE, destacam-se micro e pequenas empresas de confecção de vestuário, que fabricam e exportam diferentes tipos de roupas. Dentro do APLCAP podemos encontrar Lavanderias de Beneficiamento de Jeans (LBJ) que utilizam grandes quantidades de recursos naturais, como por exemplo, madeira para a geração de vapor através da queima nas caldeiras, e para o tingimento das peças de jeans, utiliza-se grandes quantidades de água em conjunto com produtos químicos em diferentes tipos de processos. Segundo Silva Filho (2013) as LBJ juntas que compõe o APLCAPE representam mais de 200 unidades industriais de diversos portes e capacidades produtivas, em sua grande maioria são empresas de pequeno porte e de caráter familiar que segundo a classificação do SEBRAE (2015) possui entre 10 a 49 funcionários. A grande maioria se encontra nas cidades de Caruaru (83 empresas) e Toritama (77 empresas).

Diante da exposição dos problemas ambientais, oriundos do beneficiamento das peças de jeans, surgiram questões nas quais seriam os principais insumos e a energia consumida durante o processo de tratamento dos efluentes que são lançados nos corpos d'água da região. Todas as questões serviram de hipótese para avaliar os impactos nas categorias escolhidas no presente trabalho, através da ferramenta de ACV que permite inferir soluções a partir dos resultados durante o processo de tratamento estudado.

## 1.1 Objetivo Geral

Avaliar os impactos do processo de tratamento dos efluentes industriais gerados em uma Lavanderia de Beneficiamento de Jeans (LBJ) localizada na cidade de Caruaru, através da ferramenta da Análise de Ciclo de Vida (ACV) e propor melhorias no processo de tratamento estudado.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a empresa e detalhar o fluxograma das atividades;
- Descrever o fluxograma do tratamento dos efluentes;
- Elaborar o Inventário de Análise de Ciclo de Vida;
- Aplicar as técnicas de ACV no processo de tratamento dos efluentes.

# *2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA*

## 2.1 Aspectos Históricos da ACV

De acordo com Coltro (2007) a ACV teve início na década de 60, com a crise do petróleo, através do uso de combustíveis fósseis o que levou a sociedade a questionar a forma de extração dos recursos minerais. Esses estudos analisavam o consumo de energia, tendo denominação como "análise de energia". O conteúdo desses estudos continha fluxogramas de processos com balanço de massa e de energia. Os dados referentes ao consumo de matéria-prima, combustíveis e a geração de RS eram contabilizados automaticamente. O primeiro estudo de ACV baseado na publicação apresentada por Harold Smith na World Energy Conference em 1963, onde o cálculo de energia na produção de intermediários e produtos químicos, como afirma Fava *et al.* (1991).

Após a crise do petróleo os estudos da ACV tiveram uma queda, só retornando na década de 80 motivados pelos interesses ambientais. Muitos estudos realizados pela ACV chegavam a diferentes resultados, o que gerou a necessidade de padronizar a metodologia. Só a partir da década de 90 a instituição *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – SETAC contribuiu de forma significativa com a elaboração do SETAC *Guidelines for Life Cycle Assessment – a Code of Practice* um documento responsável para padronizar a metodologia de ACV.

A *International Organization for Standardization* (ISO) entidade responsável por aprovar normas técnicas, procedimentos, processos, e etc. Utilizou o documento fornecido pela SETAC para elaborar uma série de normas relativas à ACV, que envolveram mais de 300 especialistas de cerca de 29 países que geraram normas ISO 14040 (Coltro, 2007). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foi à responsável por traduzir e internalizar a NBR ISO 14040 (2001) no Brasil, onde seu objetivo é especificar a estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir e relatar os estudos da ACV. A NBR ISO 14040 possui outras normas complementares:

- ISO 14041 (1998): detalha os requisitos para estabelecer objetivos e o escopo de um estudo de ACV e descreve as etapas da Análise de Inventário.

- ISO 14042 (2000): detalha os princípios gerais para realizar a Avaliação de Impacto, os componentes obrigatórios, a seleção das categorias de impacto e descreve as etapas de classificação e de caracterização.
- ISO 14043 (2000): apresenta requisitos e recomendações para interpretação dos resultados da Análise de inventário ou Avaliação de impacto.

## 2.2 ACV no Brasil

Segundo Zapparoli (2011) os primeiros estudos começaram nos anos 2000, com várias iniciativas entre elas o projeto Brasileiro de Inventário de Ciclo de vida (ICV), realizado pelo Inmetro, o Programa Brasileiro de Ciclo de Vida estabelecido pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro). O instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), Universidade de Brasília (UnB), Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); Projeto do Centro Regional de Ciclo de Vida que facilita o intercâmbio das informações em ACV na América Latina. O primeiro estudo completo de ACV foi realizado pelo Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA) do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), com o estudo: Análise do Ciclo de Vida de embalagens para o mercado brasileiro, que levou em consideração as condições e o nível de tecnologia (Silva e Kulay, 2006).

No debate sobre Análise de Ciclo de Vida, realizado na FIESP, durante o 4º Censo de Reciclagem de PET no Brasil, promovido pela Associação Brasileira da Indústria do PET a ACV foi denominada como um facilitador para as indústrias realizarem análises dos impactos ambientais relacionados aos processos produtivos, matérias-primas, logística, usos, reuso, disposição final e reciclagem, sendo uma técnica favorável ao desenvolvimento de melhoramentos de uma empresa no campo ambiental Silva *et al.* (2008).

## 2.3 Benefícios da ACV

A ferramenta ACV permite avaliar os impactos ambientais dos produtos, processos e serviços o que contribui para a identificação de melhorias sob a análise de sistemas complexos, dentro do seu âmbito de análise, pode identificar e avaliar tanto aspectos mais significativos quanto os de menor abrangência. Com base nessas análises é possível incrementar as informações para os tomadores de decisões, por se tratar de uma metodologia internacionalmente reconhecida em diversos países e que objetiva a melhoria dos processos e produtos de forma sustentável. As etapas produtivas são destrinchadas e analisadas em função dos tipos e quantidades de entradas e saídas, é possível visualizar o fluxo de energia, matérias

primas e rejeitos antes, durante e após a realização dos processos produtivos, o que permite determinar onde e como os possíveis impactos ambientais são originados. Neste processo são analisadas as emissões para água, solo e ar decorrentes da produção, utilização e disposição final avaliando-se o impacto ambiental associado ao uso dos recursos naturais, emissões de poluentes e identificação de oportunidades para melhorar o sistema, de forma a otimizar o desempenho ambiental do produto. Além disto, a ACV pode ser conceituada como ferramenta para avaliar os efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo do seu ciclo de vida ou duração, conhecido como análise "do berço ao túmulo" (Claudino & Talamini, 2013).

Outro ponto importante é a aplicação no setor industrial brasileiro o que promove o acesso a mercados internos e externos, o que satisfaz a exigência de consumidores em relação à procedência dos produtos adquiridos (Brasil, 2011). As medições são realizadas a partir de indicadores como, por exemplo, os impactos dos recursos energéticos, mudanças climáticas, depreciação abiótica e etc.

## 2.4 Etapas de uma ACV

Conforme a norma ISO 14040:2001 a avaliação deve incluir as seguintes etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados. Suas fases são descritas na Figura 2.1.

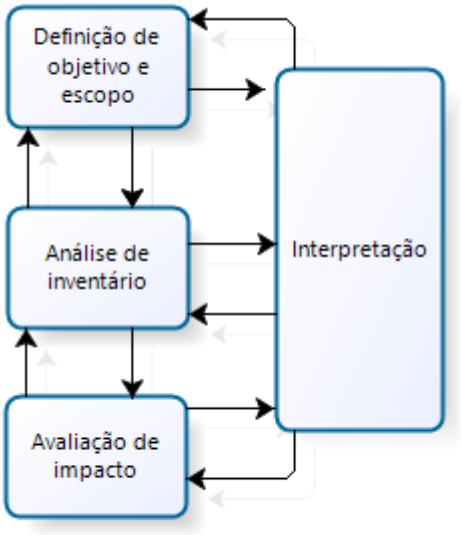



*Figura 2.1- Fases de Avaliação do Ciclo de Vida*

*Fonte: NBR ISO 14040/2001*

### 2.4.1 Definições de objetivo e escopo do estudo

O objetivo do estudo deve declarar a aplicação pretendida do estudo, as razões e o público-alvo. Segundo Claudino & Talamini (2013), o escopo do estudo é uma das fases mais importantes visto que o estudo é realizado de acordo com o estabelecido nesta etapa, que define o propósito do estudo, o resultado esperado, os limites do sistema, unidade funcional (UF) e as suposições. O escopo deve ser bem definido para assegurar a extensão, a profundidade e detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido (NBR ISO 14040, 2009).

### 2.4.2 Função, unidade funcional e fluxo de referência

Segundo a NBR ISO 14040 o escopo da ACV deve especificar claramente as funções do sistema em estudo. Uma unidade funcional é uma medida do desempenho das saídas funcionais (está relacionado às saídas do sistema de produtos, que está relacionado à sua função, por exemplo, a água utilizada para o beneficiamento do jeans será analisada pela Demanda Química de Oxigênio) do sistema de produto. O propósito principal de uma unidade funcional é fornecer uma referência para a qual as entradas e saídas são relacionadas. Esta referência é necessária para assegurara comparabilidade de resultados da ACV. O fluxo de referência pode ser entendido como a medida das saídas de processos em um dado sistema de produto, requeridas para realizar a função expressa pela unidade funcional.

### 2.4.3 Fronteiras do sistema

As fronteiras do sistema determinam quais unidades de processos devem ser incluídas na ACV (NBR ISO 14040, 2009).

Para a escolha dos fatores que irão delimitar as fronteiras do sistema, vários fatores devem ser levados em consideração, como por exemplo, a aplicação do estudo, as suposições, critérios de corte, restrições de dados e custo e o público – alvo pretendido. Para a modelagem do sistema é importante que a seleção das entradas e saídas da categoria de dados deve ser consistente com o objetivo do estudo. A modelagem deve ser feita de forma que as entradas e saídas nas fronteiras sejam fluxos elementares.

### 2.4.4 Requisitos da qualidade dos dados

De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), para a qualidade dos requisitos dos dados devem ser especificados para que o objetivo e o escopo da ACV possam ser alcançados. Os dados fornecidos pela indústria devem compreender o período de um ano de

produção, o qual deve estar documentado, e derivações desse intervalo devem ser justificadas (Building, 2013).

Os requisitos de acordo com a NBR ISO 14040 devem abordar: a) período de tempo coberto; b) área geográfica coberta; c) tecnologias cobertas; d) precisão, completeza e representatividade dos dados; e) fontes dos dados e sua representatividade; f) incerteza da informação.

### 2.4.5 Comparação entre sistemas

Para a comparação entre sistemas realizados em estudos comparativos, deve-se avaliar se cada sistema possui a mesma unidade funcional, as considerações metodológicas, como desempenho, fronteiras do sistema, qualidade dos dados, procedimentos e alocações. Caso haja diferença entre os sistemas, os parâmetros devem ser relatados (NBR ISO 14040, 2009). A comparabilidade de resultados da ACV deve ser particularmente crítica quando diferentes sistemas estiverem sendo avaliados, para assegurar que tais comparações sejam feitas numa base comum.

### 2.4.6 Considerações sobre a análise crítica

De uma forma geral a análise crítica é uma técnica que verifica se o estudo da ACV satisfaz os requisitos da NBR ISO 14040 em relação à metodologia, aos dados e ao relatório. Em se tratando do aumento da credibilidade dos estudos da ACV a análise crítica facilita a compreensão, pois pode ser conduzida por especialistas internos e externos, a fim de facilitar a compreensão por parte dos tomadores de decisão.

## 2.5 Análise de Inventário

Segundo Vilela & Demajorovic (2013), nesta etapa há a quantificação das matérias e energia utilizadas, e o descarte de rejeitos associados ao ciclo de vida de um produto. Os dados podem ser coletados diretamente nos locais de produção (dados primários), como registro de produção, ou podem ser obtidos na literatura (dados secundários), como relatórios de associações e literatura técnica (Vilela & Demajorovic, 2013).

Utilizar de balanços de massa e energia facilita a execução da análise de inventário e faz com que erros durante a fase de levantamento de dados não ocorra.

## 2.6 Avaliação de Impacto

A Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV) visa compreender e avaliar os impactos ambientais com base na análise de inventário no âmbito da meta e no escopo do

estudo (Claudino & Talamini, 2013). Essa etapa é fruto da junção da análise dos potenciais impactos e aos aspectos identificados na etapa de análise de inventário.

A AICV é um processo que envolve aspectos qualitativos e quantitativos, que caracterizam e avaliam as cargas ambientais identificadas no inventário, tendo dois objetivos: tornar o inventário mais relevante por ampliar o conhecimento sobre os potenciais impactos ambientais associados aos dados de entrada e saída, e facilitar o agrupamento e interpretação dos dados de modo que sejam mais palpáveis e significativos para a tomada de decisão (Setac, 1993).

De acordo com Almeida (2006) o mais importante efeito da aplicação da ACV é a minimização da magnitude da poluição causada por um determinado processo. Conservar as matérias-primas não renováveis, fontes de energia, sistemas ecológicos com déficit de suprimentos, regiões com escassez de água podem ser o objetivo de uma avaliação.

Segundo Chehebe (2002), algumas avaliações podem ser realizadas com base somente nos resultados obtidos na fase de inventário. No entanto, quando grandes diferenças nos vários parâmetros de impacto forem detectadas, ou quando existir a necessidade de relacionar as intervenções ambientais aos problemas ambientais, uma metodologia pode ser de grande utilidade.

Para a avaliação de impacto, segundo Guiudice (2006) e Chehebe (2002), a fase de AICV contém alguns estágios obrigatórios e opcionais. Os critérios obrigatórios são:

- Seleção: são identificados os grandes focos de preocupação ambiental, as categorias e os indicadores que o estudo utilizará.
- Classificação: consiste em fazer a correlação dos dados do inventário com os diferentes efeitos ambientais, e, portanto, associá-los às categorias de impactos selecionadas.
- Caracterização: os dados do inventário, atribuídos a uma determinada categoria são modelados de forma a que os resultados possam ser expressos na forma de um indicador numérico para aquela categoria.

Chehebe (2002) afirma que a fase de AICV pode não ser necessária em todas as aplicações da ACV, contudo, pode ser útil na avaliação de oportunidades de melhorias nos sistemas, facilita a tomada de decisão, onde se necessita uma boa caracterização ou do sistema

como um todo, ou determinados estágios, ou operações do ciclo de vida. Além do aproveitamento dos dados para complementos em outros relatórios.

### 2.6.1 Seleção de Critérios

Segundo Chehebe (2002), os principais critérios para seleção de categorias de impactos são:

- As categorias devem ser definidas através de conhecimentos científicos;
- As categorias devem ser definidas de forma clara e transparente;
- As categorias devem explicar os focos dos problemas ambientais em estudo e devem representar tanto as preocupações do estudo quanto efeitos cientificamente observáveis sobre o recurso natural, meio ambiente ou saúde humana;
- Os parâmetros do inventário para uma determinada categoria devem estar relacionados por um mecanismo comum e homogêneo ao foco de preocupação ambiental;
- Os parâmetros do inventário para uma determinada categoria devem estar relacionados por um mecanismo comum e homogêneo ao foco de preocupação ambiental;
- As categorias devem permitir a clara identificação dos dados apropriados do inventário e que leva em consideração o foco de preocupação ambiental.

Há a possibilidade de inclusão de outras categorias, contudo, tem sido bastante discutida por não se saber como relacioná-las com o produto, ou por outros fatores (Chehebe, 2002).

### 2.6.2 Classificação dos Dados

De acordo com Saade *et al.* (2014) na classificação, os parâmetros calculados no inventário são conectados às respectivas categorias de impacto, onde a relação de causa e efeito entre os poluentes e os potenciais impactos ambientais são conhecidos.

Segundo Coltro (2007) na fase de classificação os dados são selecionados e atribuídos a categoria de impactos específicos, são multiplicados por fatores de equivalência para cada categoria de impacto e por último, na ponderação, é feita a conversão dos resultados do indicador das diferentes categorias de impacto a uma mesma base.

Na subfase de caracterização, calcula-se a extensão do impacto ambiental por categoria, obtendo o total de impacto utilizando fatores de caracterização. Como exemplo: a categoria relacionada à mudança climática, o fator de caracterização seria a medida "$CO_2$ equivalente". Diante disto indica-se a contribuição de um resultado do inventário à categoria ambiental à qual pertence (Goedkoop *et al.*, 2009).

### 2.6.3 Caracterização dos Resultados

Com as categorias de impactos selecionadas, os fatores de caracterização associados às suas respectivas substâncias de referência (Aquecimento Global, Toxicidade, Eutrofização e etc.) são estabelecidos. De acordo com Almeida (2006) alguns fatores são usados como exemplos:

- GWP – Medida de capacidade de um componente químico em absorver calor, em comparação ao $CO_2$;
- ODP – Medida da capacidade de um componente químico em diminuir a camada de ozônio, em comparação ao clorofluorcarbono (CFC-11);
- POCP – Medida da mudança na concentração de ozônio resultante da emissão de um componente químico, em comparação ao etileno;
- AP – Medida do efeito acidificante de um componente químico em um ecossistema particular, comparativamente ao dióxido de enxofre ($SO_2$). O AP é calculado com o emprego do Modelo Rains, cujo objetivo é avaliar as deposições resultantes de emissões na atmosfera dos reagentes mais importantes: amônia ($NH_3$), $NO_x$ e $SO_2$;
- HTP – É a medida do efeito tóxico proveniente de um componente químico para o ser humano, em comparação ao efeito da emissão do 1-4-diclorobenzeno na atmosfera. O HTP também é calculado através do Modelo Rains;
- ETP – Efeito tóxico de um componente químico despejado em água doce, em comparação ao efeito da emissão do 1-4diclorobenzeno na água;
- EP – Medição de um componente químico e sua potencial contribuição em gerar biomassa, em comparação ao fosfato ($PO_4$).

Quando os itens do inventário apresentam valores de emissão acima do permitido pela legislação local são selecionados e os modelos de conversão são utilizados para quantificar os danos ao ambiente. A emissão individual de um componente químico expresso como, por exemplo, em (kg/ano) é multiplicado por um “fator peso” que relaciona com a categoria de impacto (EP ou AP).

Outro fato interessante é que uma substância pode estar associada a mais de uma categoria de impacto, o que traduz diferentes efeitos sobre cada categoria. Esse fator peso é entendido como 1 kg desse componente químico em relação ao impacto de 1 kg da substância de referência de cada categoria. Assim a avaliação dos impactos permite determinar qual parte do sistema gera maior dano ambiental, o que faz com que seja estabelecida prioridade para

ações futuras e estimar se há melhora no desempenho quando se compara o impacto ano a ano (Almeida, 2006).

## 2.7 Interpretação dos Resultados

A interpretação dos resultados de ACV (ISO 14043) é uma das etapas mais sensíveis, pois as hipóteses estabelecidas durante as fases anteriores, assim como as adaptações que podem ter ocorrido em função de ajustes necessários, podem afetar o resultado final do estudo.

Essa é a fase da ACV, em que os resultados obtidos nas fases anteriores são analisados de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo. As conclusões obtidas após a análise dos resultados possibilitam a identificação de pontos críticos do ciclo de vida do produto que necessitam de melhorias, permitindo a implementação de estratégias de produção, como a substituição e recuperação de materiais e a reformulação ou substituição de processos, visando à preservação ambiental (Valt, 2004).

Conforme Edison (2013) o propósito de uma ACV é obter conclusões que possam apoiar uma decisão ou fornecer um estudo facilmente compreensível. O inventário e os resultados da avaliação são discutidos juntos para a interpretação dos resultados. No caso de uma AICV, ou unicamente do inventário, no caso da análise de um ICV as questões ambientais são identificadas para conclusão e recomendações compatíveis com os objetivos e escopo do estudo.

Como exemplo de utilização de uma ACV realizado por Franklin Associates (1993) que após a análise de um inventário do uso da energia elétrica durante a produção de uma blusa de poliéster, demonstra que o maior consumo de energia elétrica ocorre durante as operações de lavagem e secagem. A sugestão para diminuir o impacto foi o desenvolvimento de produtos que exija o uso de água fria para a lavagem o que resulta na economia de energia.

## 2.8 Abordagens da ACV

De a acordo com Rebitzer *et al.* (2004), encontramos duas diferentes abordagens: ACV Atribucional (*attributional LCA*) que descreve os fluxos de consumo de recursos e de emissão de poluentes do sistema escolhido, ajustado para a unidade funcional pré-determinada. Este tipo de abordagem usa registros históricos, fatos embasados, dados de medição e inclui todos os processos que são identificados como relevantes contribuições para o sistema estudado. A segunda abordagem é a ACV Consequencial (*consequential LCA*) que estima a variação de consumo de recursos e emissão de poluentes devido às alterações promovidas num sistema.

Weidema (2003) explica a diferença entre as duas abordagens: a ACV atribucional seleciona a parte relacionada a uma atividade humana específica, enquanto a conseqüencial procura identificar as mudanças decorrentes da inclusão ou exclusão de uma atividade. Um exemplo seria o consumo de 1kWh adicional de eletricidade no Brasil, a utilização da abordagem atribucional refletiria o impacto médio da matriz elétrica brasileira, enquanto a conseqüencial teria como reflexo o impacto da geração utilizada para suprir este consumo adicional assim como outras consequências deste aumento no consumo de eletricidade, que poderia substituir outra fonte de energia.

## 2.9 Variantes do Estudo

Ao realizar um estudo de ACV, algumas limitações são encontradas, e uma dessas limitações Ferreira (2004) afirma que durante sua elaboração vários recursos são utilizados e tendem a se arrastar com o passar do tempo, sendo necessário um balanço dos recursos financeiros com os benefícios previsíveis do estudo. Outro ponto é que a ACV não determina qual produto ou processo é o mais caro ou funciona melhor. Diante disto, Bower (2010) determina que seja de fundamental importância determinar as variantes que serão consideradas no estudo da ACV:

- **Do berço ao túmulo:** é completa desde a extração de recursos (berço), passando pela fase de uso e a fase de eliminação (túmulo), todas as entradas e saídas são consideradas em todas as fases do ciclo de vida;
- **Do berço ao portão:** é realizada desde a extração (berço) até o (portão), ou seja, antes de acontecer o transporte. A fase de utilização e a fase de eliminação do produto são omitidas nesse caso. Esse tipo de avaliação às vezes é a base para declarações ambientais de produtos;
- **Do berço ao berço:** é um tipo específico de avaliação do (berço) ao (túmulo), onde o passo disposição no fim de vida para o produto é um processo de reciclagem. É um método utilizado para minimizar o impacto ambiental dos produtos, empregando produção, operação e práticas de eliminação sustentáveis e pretende incorporar a responsabilidade social no desenvolvimento do produto;
- **Do portão ao portão:** é uma análise parcial olhando apenas um valor agregado no processo de toda a cadeia produtiva. Módulos portão a portão também podem ser posteriormente ligados em sua cadeia de produção adequados para formar uma avaliação do berço ao portão completa;

- **Do poço à roda:** é a análise específica utilizada para o transporte de combustíveis e veículos e motores.

Conforme a escolha da variante do estudo, a ACV é considerada uma técnica interativa, pois o estudo necessita ser modificado no decorrer da execução, com o recolhimento de informações adicionais (Ferreira, 2004).

# *3 METODOLOGIA*

Os tópicos seguintes demonstram a metodologia adotada no presente trabalho, onde a caracterização da lavanderia foi realizada a fim de obter os processos que envolvem o fluxo da água, consumo, geração de efluentes e a tipologia do sistema de tratamento dos efluentes.

## 3.1 Caracterização da Lavanderia

Foram realizadas visitas técnicas às lavanderias da região para identificar suas principais características (de gestão, ambientais, de segurança, etc.). A escolha da lavanderia do estudo deve-se ao fato de possibilitar uma maior recepção com a universidade por parte do proprietário e a disponibilidade de fornecer dados para a pesquisa. Na fase de caracterização também foi importante o conhecimento das informações históricas da lavanderia. A empresa onde está sendo realizada a pesquisa e realizado o estudo da ACV é caracterizada por ser uma lavanderia de origem familiar.

Foi criada em Fevereiro do ano de 2011 e está localizada no bairro do Cedro, área urbana do município de Caruaru.

A empresa é considerada prestadora de serviços na área de lavagem e beneficiamento de jeans e pelos critérios estabelecidos pelo SEBRAE (2015) é uma pequena empresa, pois possui um quadro de 45 funcionários que atuam em diversos setores da mesma. A lavanderia possui uma área construída de 700 m² e é gerida por seu Gerente de Produção e também proprietário. O trabalho é feito nos três turnos, seis dias por semana.

## 3.2 Fluxograma das Atividades

As etapas das operações realizadas dentro da lavanderia do estudo estão descritas na Figura 3.1.

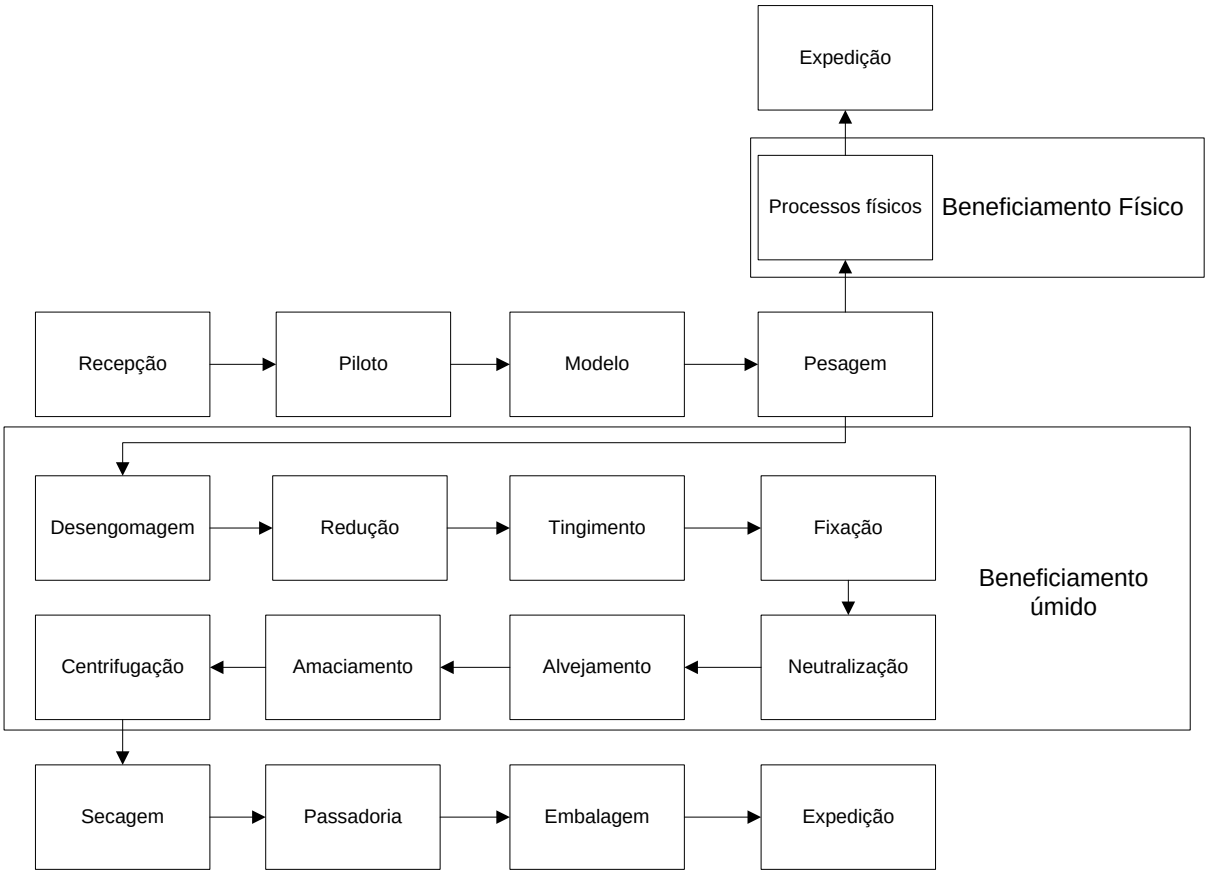



*Figura 3.1- Fluxo das operações*

*Fonte: Autor*

O processo de beneficiamento de jeans se inicia com a chegada dos pedidos na recepção, no setor de controle (Figura 3.2), após um contato prévio com o setor comercial. O cliente traz uma peça piloto e ou pede para que a lavanderia elabore um piloto a partir das especificações do pedido (Figura 3.3). Com a elaboração da peça piloto um orçamento é fornecido ao cliente baseado na pesagem do lote. Após a aprovação do orçamento as peças podem seguir dois caminhos: beneficiamento seco ou beneficiamento químico.

*Figura3.2 - Setor de controle*

*Fonte: Autor*

*Figura 3.3 - Ordem de pedido*

*Fonte: Autor*

A lavanderia utiliza a água aquecida em alguns processos produtivos, proveniente de uma caldeira (Figura 3.4) responsável pelo fluxo de ar quente para todos os setores da lavanderia, tanto dos processos físicos, quanto os químicos. Como a lavanderia opera três turnos, a caldeira opera de forma interrupta. O combustível utilizado para o aquecimento é a lenha de algaroba típica no Nordeste (Figura 3.5) que é responsável pela fonte de calor para o aquecimento da água. Em caldeiras que utilizam lenha como combustível, alguns

equipamentos de controle de emissões de fuligem são necessários como ciclones e filtros. Na lavanderia do estudo é utilizado um filtro.

*Figura 3.4 - Caldeira*

*Fonte: Autor*

*Figura 3.5 - Algaroba utilizada para o aquecimento da caldeira*

*Fonte: Autor*

### 3.2.1 Beneficiamento Físico

Os processos envolvem manipulações das peças de forma manual através de lixamentos, remoção de goma em locais específicos (Figura 3.6) prensas (bigodes, enrugados, vincos e etc.), esmeril (efeito de desgaste).

*Figura 3.6 - Etapa de lixamento*

*Fonte: Autor*

Após as peças passarem por todos os processos especificados, elas seguem para o setor de expedição.

### 3.2.2 Centrifugação

Após a lavagem das peças, centrífugas são utilizadas para a extração da água de forma mecânica, através de processos automáticos com tempos de ciclo programados (Figura 3.7).

*Figura 3.7 - Máquina de centrifugação*

*Fonte: Autor*

### 3.2.3 Secagem

Essa etapa utiliza máquinas de para a remoção da umidade das peças. A água é removida através de vaporização térmica (Figura 3.8).

*Figura 3.8 - Máquinas do tipo secador*

*Fonte: Autor*

### 3.2.4 Passagem

As peças chegam ao setor de passadoria (Figura 3.9) para o acabamento final, onde passam pelo processo de engomagem através de ferros cujo vapor provém da caldeira.

*Figura 3.9 - Setor de passadoria*

*Fonte: Autor*

Para finalizar o processo, as peças são embaladas e posteriormente seguem para a área de expedição, onde os clientes buscam as peças ou a lavanderia realiza a entrega.

## 3.3 Beneficiamento Úmido

Quando um lote é selecionado para os beneficiamentos químicos, de acordo com Silva Filho (2013):

> A Máquina horizontal é carregada com água em uma relação de banho (RB) específica para cada tipo de lavagem (desengomagem, enxágue, redução, estonagem, tingimento, neutralização e etc.) e são adicionados os produtos químicos específicos (umectantes, deslizantes, corantes, sal, ácido acético, metabissulfito, peróxido e etc.) para cada tipo de lavagem. Esses processos são realizados em batelada. (Silva Filho, 2013, p 105).

As etapas de lavagem são operações sobre o substrato têxtil que visam prepará-lo para as etapas subseqüentes, o que possibilita receber colorações parciais ou totais.

Na desengomagem as peças passam pelo processo de remoção parcial ou totalmente da goma aplicada aos fios, assim como outros produtos agregados como óleos, graxas, amaciantes, ceras naturais, e etc. Nos processos seguintes as peças que vão para as máquinas horizontais, utilizam produtos químicos em seus processos através de banhos de imersão, geralmente a lavanderia utiliza água a uma temperatura em média de 60°C a 80°C. Através do peso especificado da ordem de serviço a escolha da máquina de lavar é definida. Para a adequação do lote, ou divide-se em porções menores e distribui em outras máquinas, ou são direcionadas para uma única máquina. A empresa dispõe de quatro máquinas horizontais para atender a demanda (Figura 3.10).

*Figura 3.10 -Máquinas do tipo horizontal para o beneficiamento das peças*

*Fonte: Autor*

## 3.4 Consumo de Água

O município de Caruaru está localizado entre as bacias hidrográficas dos rios Ipojuca e Capibaribe. Segundo o Diagnóstico do município de Caruaru (2005) para seu abastecimento de água o município conta com os açudes de Engenheiro Gercino de Pontes (13.600.000 metros cúbicos), Taquara (1.100.000 metros cúbicos), Guilherme (786.000 metros cúbicos), Serra dos Cavalos (761.000 metros cúbicos) e Jaime Nejaim (100.000 metros cúbicos).

Segundo Silva Filho (2013) são utilizados dois tipos de águas para as demandas internas: a água para o consumo humano e para a produção. No setor da produção a água é utilizada para a geração de vapor, lavagem de gases da caldeira, na higienização dos ambientes e nas operações. A Figura 3.11 demonstra o macro-fluxo de água na lavanderia do estudo sem levar em consideração os detalhes internos dos processos produtivos.

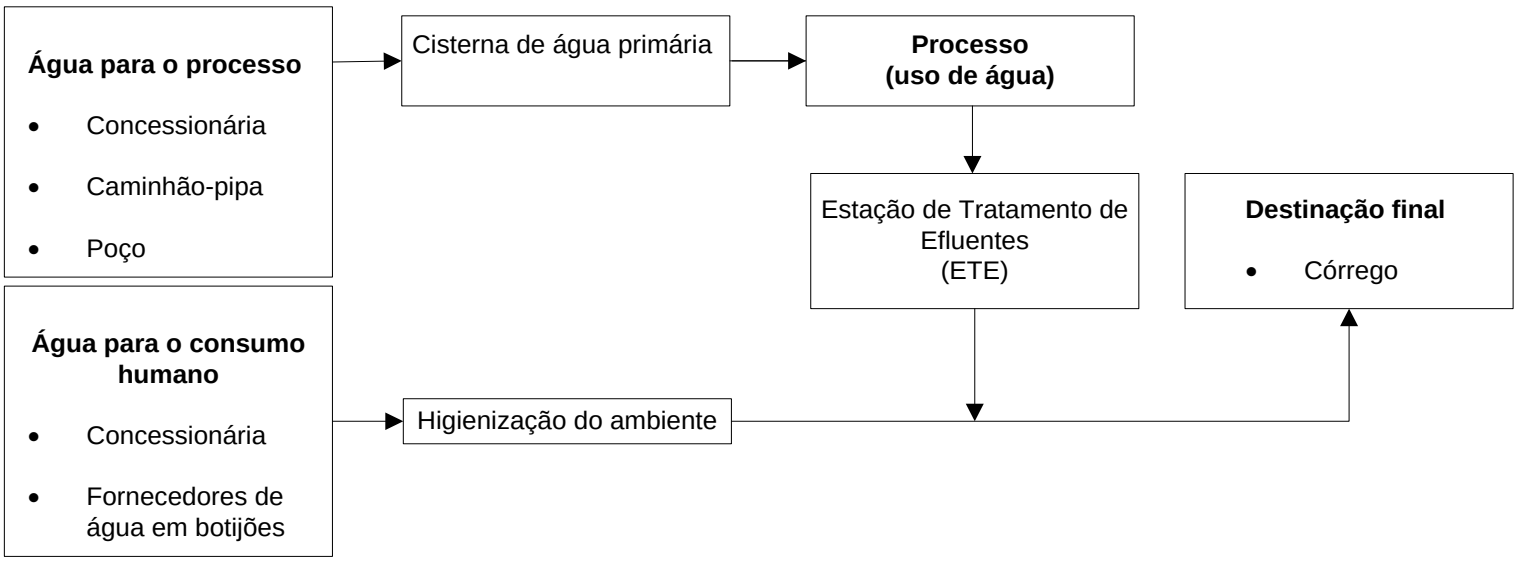



*Figura 3.11 - Macro - fluxo da água na lavanderia*

*Fonte: Adaptado de SILVA FILHO (2013)*

As principais fontes de abastecimento da lavanderia do estudo são provenientes da concessionária local, a compra de caminhões do tipo pipa, e dois poços artesanais.

No cenário atual, devido a escassez dos recursos hídricos, a empresa compra cinco caminhões do tipo pipa com capacidade de 10.000 L para atender a demanda ao custo de R$ 180,00 por caminhão e optou por perfurar outro poço artesanal.

## 3.5 Geração dos Efluentes Através do Beneficiamento do Jeans

Segundo Silva Filho (2013) para o beneficiamento do jeans, as peças são submetidas a diversas operações onde a maioria dos processos ocorre no meio aquoso, chamado de banhos, onde são adicionados produtos químicos para as especificações dos pedidos.

Para a produção de um quilo de tecido no setor têxtil são necessários cerca de 150 litros de água (ABIT, 2005 *apud* UEDA, 2006) e aproximadamente 200 litros de água (Ratiu *et al*, 2008). Em 2006 a empresa Levi´s tornou público a ACV de uma calça jeans referente ao modelo 501 (Figura 3.12) a partir do estudo, um par de calças jeans consome 3.482 litros de água, equivalente a deixar uma mangueira ligada por 106 minutos (Figueiredo & Cavalcanti, 2010), contudo no estudo realizado, não foi especificado os processos de produção da calça jeans.

*Figura 3.12 - Modelo de calça Levi´s 501*

*Fonte: LEVI´S, 2013*

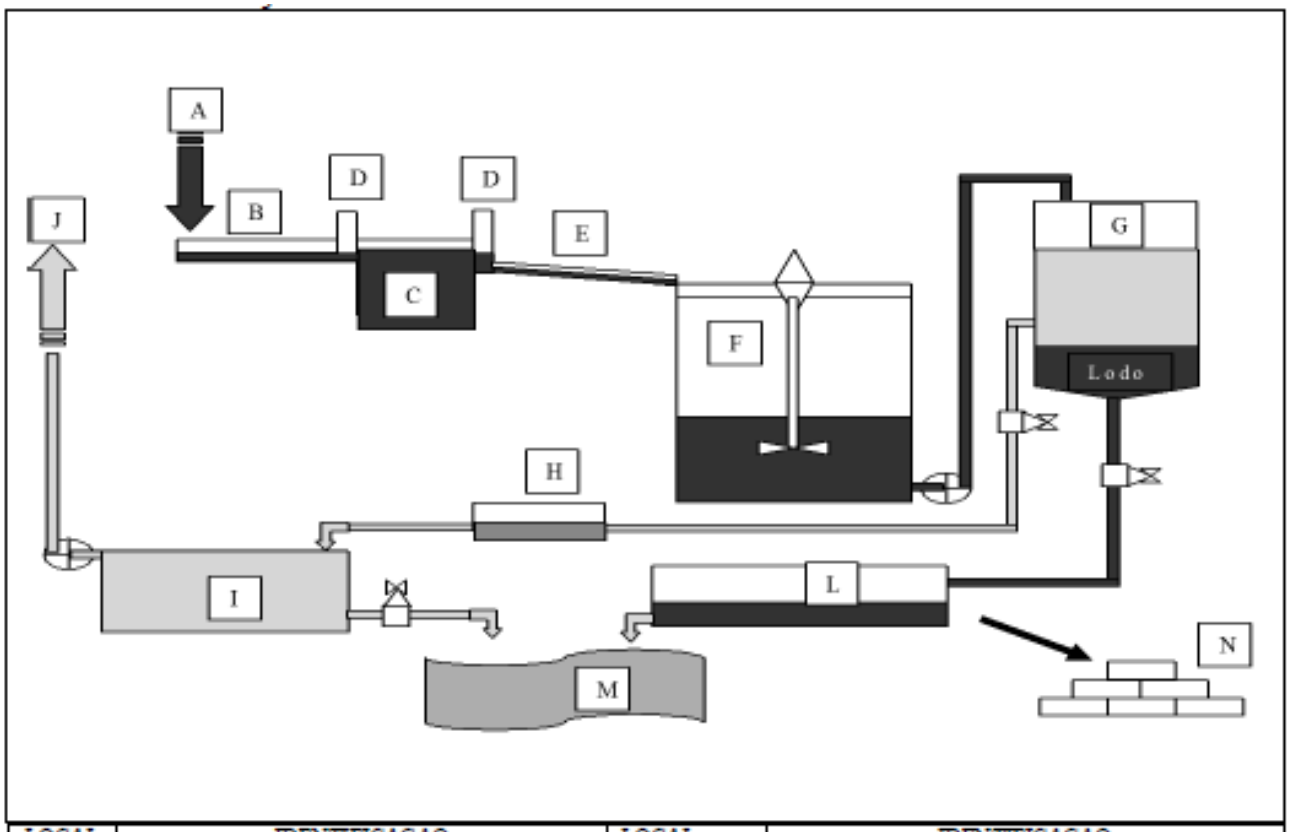
Para o acúmulo das águas residuais, as máquinas de lavagem e centrífugas estão dispostas de forma com que os efluentes sejam canalizados para os tanques de sedimentação (Figura 3.13).

*Figura 3.13 - Canalização dos efluentes*

*Fonte: Autor*

## 3.6 Tratamento dos Efluentes

Para o tratamento dos efluentes as lavanderias de jeans na região optam por utilizarem o tratamento físico-químico que segundo o fluxograma descrito por Silva Filho (2013) (Figura 3.14):




| LOCAL | IDENTIFICAÇAO | LOCAL | IDENTIFICAÇAO |
|---|---|---|---|
| A | Efluente vem do processo | H | Filtro de areia/carvão ativado |
| B | Calha de sedimentação | I | Cisterna de água regenerada |
| C | Tanque de sedimentação | J | Efluente tratado vai para reuso |
| D | Grades de filtração primária | L | Leito de secagem de lodo |
| E | Canaleta | M | Corpo d´água |
| F | Tanque de equalização com agitador | N | Depósito de lodo seco |
| G | Tanque de tratamento físico-químico | | |

*Figura 3.14* - Fluxograma do tratamento físico-químico

*Fonte: SILVA FILHO (2013)*

Os efluentes gerados passam por um processo de tratamento preliminar, onde são separados os sólidos maiores, como por exemplo, fiapos e pedras através de uma grade. Após a separação dos resíduos, os efluentes seguem para o tanque de equalização (Figura 3.15), para ser submetido a um processo de homogeneização. Após essa etapa, o efluente segue para o tanque de tratamento físico-químico (Figura 3.16), que pode ser por meio de batelada ou contínuo (a lavanderia do estudo realiza o tratamento de forma contínua). Os produtos

químicos utilizados nessa fase são o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) que atua na correção do pH e o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) como agente floculante.

*Figura 3.15* - Tanque de equalização

*Fonte: Autor*

*Figura 3.16* - Tanque de tratamento físico-químico

*Fonte: Autor*

No tanque de tratamento físico-químico, segundo Silva Filho (2013):

> A matéria poluente é separada da água por floculação/decantação/sedimentação no tanque de tratamento físico-químico. Esse processo de ação física será ajudado pela adição de agentes químicos que, através de uma coagulação/floculação/decantação, possibilitam a obtenção de flocos de matéria poluente de maiores dimensões e assim mais facilmente decantáveis. Após este tratamento primário, a matéria poluente que permanece na água é de reduzidas dimensões, normalmente constituída por coloides, não sendo por isso passível de ser removida por processos exclusivamente físico-químicos. A eficiência de um tratamento primário pode chegar a 60% ou mais dependendo do tipo de tratamento e da operação da ETE. (Silva Filho, 2013, p 110).

Após o tratamento físico-químico, o efluente segue para o leito de secagem (Figura 3.17) para conter o lodo.

Segundo o Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil:

> O grande volume de efluente líquido industrial faz com que o lodo oriundo das estações de tratamento de efluentes (ETE), se configure como impacto ambiental significativo, uma vez que sua formação também é considerada alta. Apesar de ser classificado como resíduo sólido não perigoso e não inerte (Classe IIA), o lodo originário das ETE não possui características bem definidas, uma vez que os processos que envolvem a geração dos efluentes líquidos apresentam uma grande variedade de matérias-primas e etapas, gerando efluentes líquidos bastantes diversificados (FEMG, 2014, p 35).

Para a destinação final do lodo gerado, a empresa os coloca em sacos com capacidade de 60 kg e contrata uma empresa terceirizada para a disposição final em um aterro sanitário localizado na cidade de Recife - PE.

*Figura 3.17 -Leito de secagem*

*Fonte: Autor*

# *4 APLICAÇÃO DA ACV*

A partir de visitas realizadas periodicamente na lavanderia, e o auxílio da ferramenta proposta por Silva Filho (2013), pôde-se obter um quadro geral da organização relacionado aos seus principais processos produtivos, às características dos funcionários, à forma como eles trabalham, etc. Reuniões foram realizadas com os integrantes do grupo de pesquisa para a definição de informações importantes para definir o berço e o túmulo da ACV, as definições do objetivo e escopo e o software a ser utilizado.

No presente trabalho foi utilizado o software de ACV desenvolvido pela empresa holandesa Pré *Consultant,* SimaPro® (versão *Facuty*) que segue as fases da ACV descritas pela ISO 14040. O software foi escolhido após verificações de outros programas na área e constatado que é o mais utilizado por indústrias e trabalhos acadêmicos, além de apresentar os principais bancos de dados de inventários de ciclo de vida. Para o aprimoramento da ferramenta houve a viagem e capacitação em Minas Gerais e a visita a Universidade Federal da Bahia (UFBA), com o apoio de especialistas da área. A aquisição da licença *Faculty* possibilitou dar continuidade ao estudo, pois a versão demo impossibilitava a análise completa.

## 4.1 Objetivo e Escopo do Estudo

Após as reuniões com integrantes do grupo de pesquisa e especialistas na área, pode-se estabelecer que o estudo da ACV fosse voltado para o processo de tratamento de efluente.

## 4.2 Sistema do Estudo

A ETE da lavanderia do estudo realiza o tratamento do efluente por processos físico-químicos, conforme descrito na Figura 4.1.

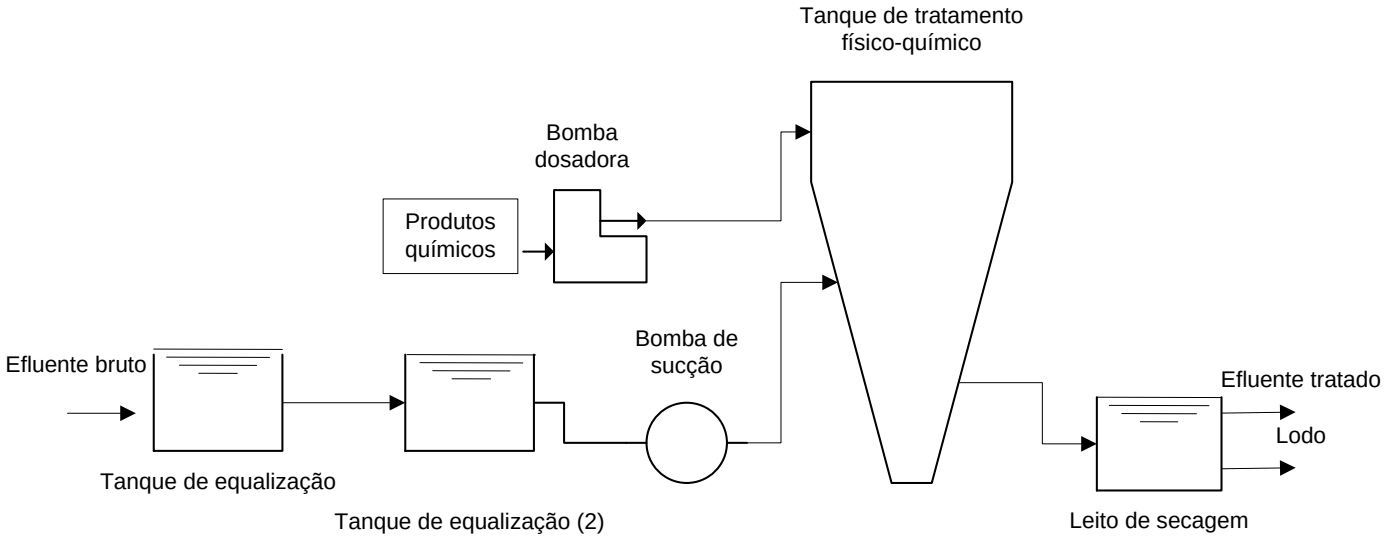



*Figura 4.1 -Fluxograma do sistema do estudo*

*Fonte: Autor*

## 4.3 Função do Sistema

O sistema descrito tem como função o tratamento do efluente bruto (não tratado) para que possam ser lançados nos corpos hídricos de acordo com resolução CONAMA N°357/2005 e 430/2011, que estabelece padrões de qualidade de água e lançamentos de efluentes respectivamente, as quais são aplicadas para empresas de beneficiamento de jeans.

## 4.4 Unidade Funcional Utilizada

O fluxo de referência adotado foi um volume de 1 metro cúbico de efluente tratado no período de 20 anos. Os dados utilizados foram provenientes do monitoramento de um ano dos parâmetros físico-químicos da ETE.

Segundo a NBR ISO 14040, a fronteira do sistema é a interface entre um sistema de produto e o meio ambiente ou outros sistemas de produto. Na operação da ETE o efluente bruto foi utilizado como dado inicial e o efluente tratado como produto final, assim a abordagem é caracterizada como berço ao túmulo (*cradle to grave*). A Figura 4.2 ilustra o fluxograma da fronteira:

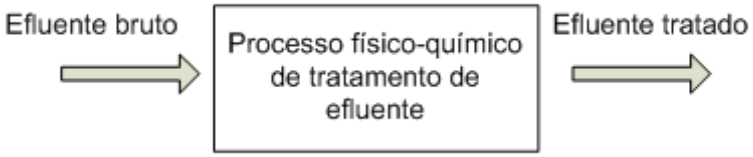



*Figura 4.2 - Fluxograma da fronteira*

*Fonte: Autor*

## 4.5 Análise do Inventário da Lavanderia

Esta fase representa à coleta de dados e cálculos para quantificar as entradas e saídas para todos os processos dentro dos contornos do sistema do produto, de forma a representar por unidade funcional. Para a aplicação no software, houve a conversão das unidades para kg, a fim de unificar as unidades estudadas, baseado no fluxograma apresentado na Figura 4.3.

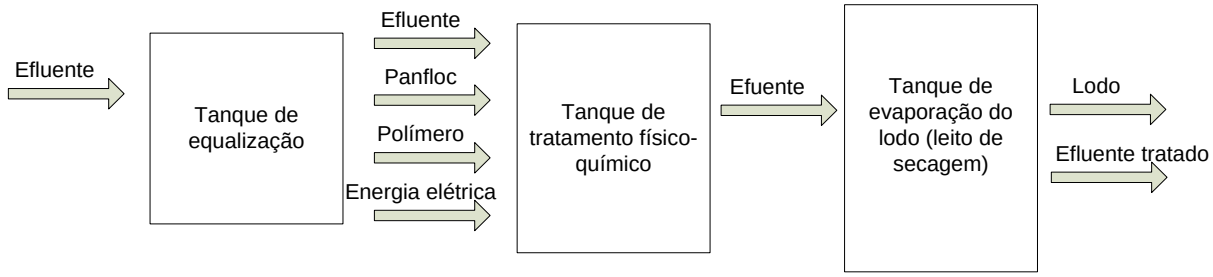



*Figura 4.3 - Fluxograma das entradas e saídas do inventário*

*Fonte: Autor*

## 4.6 Análise de Incertezas

Dentro de um inventário de ciclo de vida de um processo, as entradas e saídas são descritas por meio de valores médios, o que leva a incertezas onde pode haver uma diferença entre os valores investigados (Althaus *et al*, 2007). Segundo o autor há quatro tipos de incertezas associadas:

- Variabilidade e erros estocásticos das medidas que descrevem as entradas e saídas devidas, como exemplo, incertezas nas medidas, variações nos processos e etc.;
- Falta de Adequação das entradas e saídas devido a aproximações temporais e espaciais dos dados;
- Incerteza do modelo que pode não ser apropriado para o devido uso;
- Negligência de dados importantes devido à falta de disponibilidade de dados relevantes para o estudo.

A ISO 14040/2009 descreve que a incerteza da informação deve ser relatada para estimar o grau de influência na qualidade dos dados da ACV.

Para reduzir as possíveis incertezas, diferentes técnicas podem ser aplicadas em uma ACV, como por exemplo, padronização, metas de qualidade de dados, simulação Monte Carlo, análise de sensibilidade, entre outras (Benedet Junior, 2007).

O presente trabalho utilizou um procedimento padrão simplificado com o objetivo de quantificar as incertezas destes casos, através da matriz *Pedigree* baseado nos padrões publicados por Weidema; Wesnaes (1996).

## 4.7 Matriz *Pedigree*

A matriz é utilizada para indicar a qualidade dos dados através de indicadores que julgam a qualidade dos dados especificados e a coleta de dados. Benedet Junior (2007) descreve que esses indicadores são necessários e suficientes para descrever os aspectos da qualidade dos dados que influenciam na confiança e no resultado do estudo. Os indicadores são:

- **Confiança na fonte:** os métodos de aquisição e os procedimentos de verificação são relacionados de forma a obter os dados relevantes ao estudo;
- **Completeza:** descreve as partes dos dados que estão faltando e o quanto do domínio das variáveis em estudo é representado nos dados amostrais;
- **Número de amostras:** quantidade de amostras realizadas no estudo. Quanto maior o número de dados coletados, menores as chances de influenciarem os resultados finais;
- **Correlação temporal:** indica o grau de relação entre o ano do estudo e o ano da coleta de dados;
- **Correlação geográfica:** o grau de relação entre as condições de produção na área relevante para o estudo e na área geográfica relacionada aos dados obtidos;
- **Correlação tecnológica:** os aspectos de correlação específicos de empreendimentos, processos ou materiais relevantes aos dados obtidos, em relação ao nível tecnológico sob o estudo.

De acordo com Benedet Junior (2007):

> O uso da matriz de qualidade de dados irá necessariamente envolver julgamentos subjetivos, que irão depender da base de conhecimentos da pessoa realizando a pontuação. Por exemplo, a informação da qualidade do dado em um estudo pode ser tão carente que isto, com uma interpretação literal, justifique uma pontuação 5 (qualidade de dado desconhecida), mas se você sabe com seus conhecimentos que para este tipo de processo a pontuação nunca pode ser pior que 3 (por exemplo, para correlação temporal se a tecnologia é recente), tal conhecimento deve ser usado ao pontuar. Assim é obtida uma pontuação mais correta. Quando tal conhecimento é aplicado mais explicitamente (deste modo divergindo de uma interpretação literal da matriz), este conhecimento pode ser documentado em uma explicação para a pontuação (Benedet Junior, 2007, p 22).

Durante a construção da matriz, os indicadores de qualidade recebem uma pontuação de 1 a 5, onde o 1 indica o melhor grau de qualidade e o 5 o pior. O Quadro 4.1 ilustra a matriz.

*Quadro 4.1- Indicadores de qualidade*

| *Pontuação do indicador* | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* |
|---|---|---|---|---|---|
| *U1 Confiança na fonte* | *Dados verificados baseados em medidas* | *Dados verificados parcialmente baseados em estimativas ou dados não verificados baseados em medidas* | *Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas* | *Estimativa qualificativa ou dados derivados de informações teóricas* | *Estimativa não qualificada* |
| | *1.00* | *1.05* | *1.10* | *1.20* | *1.50* |
| *U2 Completeza* | *Dados representativos para um número relevante de empresas durante um período que permita eliminar flutuações* | *Dados representativos de > 50% do mercado durante um período que permita eliminar flutuações* | *Dados representativos para uma fatia pequena de empresas, mas relevante para o mercado em estudo ou dados de mais de 50% de empresas por um curto período de tempo* | *Dados representativos para somente uma empresa relevante para o mercado considerado* | *Representatividade desconhecida ou dada de um pequeno número de empresas em um curto período de tempo* |
| | *1.00* | *1.02* | *1.05* | *1.10* | *1.20* |
| *U3 Correlação Temporal* | *Menos de 3 anos de diferença pra o ano de referência* | *Menos de 6 anos de diferença para o ano de referência* | *Menos de 10 anos de diferença para o ano de referência* | *Menos de 15 anos de diferença para o ano de referência* | *Data desconhecida ou mais de 15 anos de diferença para o ano de referência* |
| | *1.00* | *1.03* | *1,10* | *1.20* | *1.50* |
| *U4 Correlação Geográfica* | *Dados da área em estudo* | *Dados médios de uma área maior que a área do estudo* | *Dados de uma área menor que a do estudo ou dados de uma área similar* | | *Dados desconhecidos ou dados de área distinta a área de estudo* |
| | *1.00* | *1.01* | *1.02* | | *1.10* |
| *U5 Correlação Tecnológica* | *Dados de empreendimentos, processos e matérias do estudo* | | *Dados de processos ou materiais correlatos, mas mesma tecnologia ou dados de processos e materiais do estudo, mas de diferente tecnologia* | *Dados de processos ou materiais correlatos, mas diferente tecnologia ou dados de escala laboratorial e mesma tecnologia* | *Dados de processos ou materiais correlatos, mas com diferente tecnologia e em escala laboratorial* |
| | *1.00* | | *1.20* | *1.50* | *2.00* |
| *U6 Número de amostras* | *>100 medidas contínuas, balanço de produtos comprados* | *> 20* | *> 10, figuras de relatórios ambientais* | *> 3* | *Desconhecido* |
| | *1.00* | *1.02* | *1.05* | *1.10* | *1.20* |

***Fonte:*** *PRÉ CONSULTANTS, 2010*

Para cada indicador de qualidade, há uma pontuação de fatores de incertezas que de acordo com Althaus *et al.* (2004) são baseados em estimativas de especialistas que são demonstrados na Tabela 4.1.

*Tabela 4.1 - Fatores adimensionais de incerteza aplicados à Matriz Pedigree*

| **Pontuação atribuída** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
|---|---|---|---|---|---|
| Confiança na fonte | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,20 | 1,50 |
| Completeza | 1,00 | 1,02 | 1,05 | 1,10 | 1,20 |
| Número de amostras | 1,00 | 1,02 | 1,05 | 1,10 | 1,20 |
| Correlação temporal | 1,00 | 1,03 | 1,10 | 1,20 | 1,50 |
| Correlação geográfica | 1,00 | 1,01 | 1,02 | --- | 1,10 |
| Correlação tecnológica | 1,00 | --- | 1,20 | 1,50 | 2,00 |

*Fonte: Althaus et al , 2007*

Para o grau de incerteza, a matriz *Pedigree* apresenta o fator aplicado a cada pontuação para o cálculo do desvio padrão (com intervalo de confiança de 95%), sendo calculado através da equação (1).

*Equação 1 - Desvio padrão da matriz Pedigree*

$$SD_{g95} = \exp^{\sqrt{[\ln(U_1)]^2+[\ln(U_2)]^2+[\ln(U_3)]^2+[\ln(U_4)]^2+[\ln(U_5)]^2+[\ln(U_6)]^2+[\ln(U_b)]^2}} \quad (1)$$

Onde:

$U_1$= Fator de incerteza do indicador Confiança na fonte;

$U_2$ = Fator de incerteza do indicador Completeza;

$U_3$ = Fator de incerteza do indicador Correlação temporal;

$U_4$ = Fator de incerteza do indicador Correlação Geográfica;

$U_5$ = Fator de incerteza do indicador Correlação Geográfica;

$U_6$ = Fator de incerteza do indicador Número de amostras;

UB = Fator Básico de incerteza.

*Fonte: PRÉ CONSULTANTS (2010) & BENEDET JUNIOR (2007)*

A incerteza absoluta foi obtida a partir da técnica de Monte Carlo, no software Simapro®, onde foi gerada uma variável aleatória para cada valor dentro do intervalo de incerteza especificado e recalculado os resultados. O processo foi obtido a partir de 10.000 simulações com um intervalo de 95% de confiança, descritos através da Tabela 4.2 onde os fatores básicos de incerteza – UB foram fornecidos pela Pré Consultants (2010).

*Tabela 4.2 - Fatores básicos de incerteza - UB*

| Grupo de entrada/saída | UB |
|---|---|
| **Demanda de:**<br>Energia térmica, eletricidade, produtos semi-terminados, materiais de trabalho, serviços de tratamento de resíduos. | 1,05 |
| **Poluentes emitidos na água**<br>DQO, DBO, TOC, compostos inorgânicos. | 1,50 |
| **Poluentes emitidos no solo:**<br>Óleos, hidrocarbonetos, metais pesados e pesticidas. | 1,50 |

*Fonte: Adaptado de PRÉ CONSULTANTS, 2010*

A estimativa dos valores dos desvios padrões foi obtida a partir do conhecimento do processo e da origem dos dados. O preenchimento da matriz *Pedigree* foi atribuído após discussões.

## 4.8 Parâmetros utilizados

A seleção das entradas e saídas foram definidas com ajuda de especialistas na área durante o período de capacitação, de forma que fossem consistentes com o estudo em questão.

Os parâmetros utilizados para caracterizar o efluente bruto e do efluente tratado foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e Óleos e Graxas (OG). Os valores médios dos dados de saída do sistema foram calculados durante o período de um ano de acompanhamento, conforme a Tabela 4.3. Os dados obtidos no estudo foram baseados em relatórios mensais que a lavanderia realizou por meio de empresas terceirizadas.

Para o cálculo da carga levou-se em consideração que o sistema foi conservativo, a vazão de entrada foi igual a da saída, para ambos os parâmetros. A quantidade de horas foi 175.200 o que corresponde a 20 anos.

*Tabela 4.3 - Valores médios dos dados de saída*

| Parâmetro utilizado | Quantidade (mg/l) | Vazão ($m^3$/h) | Carga( kg/h) | Quantidade total em 20 anos (kg) | Processo no SimaPro |
|---|---|---|---|---|---|
| DBO | 146,94 | 3,75 | 0,551 | 96.539,58 | *$BOD_5$, Biological Oxygen Demand* |
| DQO | 337,81 | 3,75 | 1,266 | 221.941,1 | *COD, Chemical Oxygen Demand* |
| Óleos e Graxas | 41 | 3,75 | 0,153 | 26.937 | *Oils, unspecified* |

*Fonte: Dados secundários coletados na lavanderia*

## 4.9 Produtos Químicos

Os produtos químicos utilizados no processo físico–químico pela lavanderia foram: Panfloc TE (*Polyaliminium Chloride*) é um polímero (polieletrólito) inorgânico. Os dados dos consumos diários foram obtidos por Silva (2013) por meio das planilhas eletrônicas que demonstram que o consumo por hora do Panflok é de 0,3 kg/m³ e o do polímero: 0,00004 kg/m³, conforme a Tabela 4.4.

Para inserir os dados no programa houve a necessidade de incorporar os produtos na categoria de químicos orgânicos, pois o banco de dados da licença *faculty* não continha os mesmos.

*Tabela 4.4 - Valores médios dos produtos químicos*

| Parâmetro utilizado | Unidade | Quantidade total em 20 anos (kg) | Processo no SimaPro |
|---|---|---|---|
| Panflok | Kg/$m^3$ | 52.560,00 | *Chemical, inorganic {GLO}* |
| Polímero | Kg/$m^3$ | 7,008 | *Chemical, organic {GLO}* |

*Fonte: Dados secundários coletados na lavanderia*

## 4.10 Energia Elétrica

A aplicação da energia elétrica no processo de tratamento deve-se ao fato de que a ETE utiliza dois tipos de bombas. Para estimar o consumo da bomba dosadora, a potência do acionador é de 30W de acordo com especificações fornecidas pelo fabricante, com uma eficiência de 65%. Para a bomba de sucção segundo dados a partir do modelo da instalação, a bomba apresenta uma potência de 0,17 CV que funciona com a mesma taxa de eficiência. Informações obtidas do proprietário da lavanderia dão conta de que os equipamentos elétricos funcionam 24 horas, durante todo o mês. A quantidade total de horas utilizadas foi baseada no período de 20 anos, que resultou em 175.200 horas, conforme a Tabela 4.5.

*Tabela 4.5 - Consumo de energia das duas bombas utilizadas na ETE*

| **Bomba** | **Potência (w)** | **Energia consumida (kw)** | **Processo no SimaPro** |
|---|---|---|---|
| Bomba dosadora | 30 | 126.144,00 | *Electricity, lowvoltage {BR}* |
| Bomba de sucção | 125,03 | 525.726,144 | *Electricity, lowvoltage {BR}* |

***Fonte:*** *Dados secundários coletados na lavanderia*

Para a aplicação no programa, leva-se em consideração a energia total consumida pelas duas bombas, que corresponde a 65.1870,144 kw, ao longo de 20 anos.

## 4.11 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são gerados por meio da argila e/ou pedras utilizadas no processo, além do lodo do tratamento do efluente (Silva Filho, 2013). O quantitativo de pedras utilizadas que são usadas para remover os corantes e fragmentos do tecido, durante o processo de beneficiamento não foram informadas pelo proprietário da lavanderia, pois o mesmo não possuía a informação. O lodo é condicionado em sacos para o descarte realizado por empresas terceirizadas, fora da cidade de Caruaru em aterros controlados. A lavanderia do estudo não mantém um controle de estoque, dificultando a coleta de informações, porém através da entrevista com o proprietário em média há a geração de 30 sacos por mês. Cada saco comporta 60 kg. A Tabela 4.6 apresenta os resultados para a projeção em 20 anos.

*Tabela 4.6 - Lodo proveniente do tratamento da ETE*

| Produto | Quantidade (kg) | Processo no SimaPro |
|---|---|---|
| Lodo | 432.000 | *Sludge* |

*Fonte: Autor*

## 4.12 Análise de Incerteza dos Dados

Para a análise da incerteza foram construídos vetores *Pedigree* com base na pontuação dos indicadores de qualidade.

Após a aplicação da eq.(1) os valores do desvio padrão, para cada parâmetro do ICV são descritos na Tabela 4.7.

*Tabela 4.7 - Tabela dos desvios padrões dos dados de entrada*

| Parâmetro | Vetor *Pedigree* | UB | Desvio Padrão |
|---|---|---|---|
| DBO | (1, 4, 1, 1, 1,3) | 1,50 | 1,51 |
| DQO | (1, 4, 1, 1, 1,3) | 1,50 | 1,51 |
| Óleos e Graxas | (1, 4, 1, 1, 1,3) | 1,50 | 1,51 |
| Químicos utilizados no tratamento | (2, 4, 1, 1, 1,5) | 1,50 | 1,57 |
| Energia Elétrica | (2, 3, 1, 1, 1, 3) | 1,05 | 1,21 |
| Resíduos Sólidos | ( 1, 3, 1, 1, 1, 4) | 1,05 | 1,12 |

*Fonte: Autor*

O desvio padrão encontrado representa o percentual de incerteza para o aspecto ambiental avaliado, o que significa que uma pontuação de 1,51 do desvio padrão apresenta 51% de incerteza do dado estudado.

Os valores altos das incertezas para os quesitos de DBO, DQO, Óleos e Graxas estão relacionados à coleta de dados representados somente uma empresa relevante para o mercado considerado (item completeza) e o total de doze amostras coletadas (item número de amostras), essas atribuições foram baseadas após a análise da matriz *Pedigree.*

A incerteza dos 57% dos produtos químicos utilizados se deve ao fato do número de amostras fornecidas pelas planilhas eletrônicas obtidas de Silva Filho (2013) (item de número de amostras desconhecido) e a representação dos dados de apenas uma empresa no mercado considerado (item completeza).

A representação de 21% da Energia Elétrica está ligada a coleta dos dados através de manuais das bombas, fornecidos por fabricantes. A variação é relacionada ao horizonte de tempo estimado para vinte anos.

Em relação aos Resíduos Sólidos, a incerteza foi de 12%, o que justifica o número de amostras coletadas serem superiores a três e inferiores a dez (item número de amostras da matriz *Pedigree*).

## 4.13 Biblioteca Utilizada na Análise do Inventário

O software SimaPro® apresenta uma série de bancos de dados integrados que apresentam metodologias e características específicas que caracterizam diferentes impactos ambientais. As diferentes metodologias são desenvolvidas por instituições internacionais: Eco-Indicator (Holanda), TRACI (EUA), LIME (Japão) entre outras.

Para o estudo do inventário não há uma metodologia para a escolha ou orientação da biblioteca para ser implantada, a escolha dependerá dos fatores ambientais analisados do propósito do estudado (Lopes, 2014).

O método utilizado foi o CML – IA baseline, desenvolvido por um grupo de cientistas do Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden (CML), na Holanda, pois os procedimentos e a base de dados são de acordo com as normas da ISO 14040. O conjunto de normalizações utilizado foi o EU25, pois apresenta uma base de dados referentes a mês de Abril de 2013.

## 4.14 Categorias de Impacto

O método CML – IA baseline apresenta as seguintes categorias de impacto: Eutrofização, Acidificação, Aquecimento Global, Depleção de Recursos Abióticos, Oxidação Fotoquímica, Radiação Ionizante, Formação Fotoquímica de Ozônio e Ecotoxicidade.

A Tabela 5.8 contém a descrição das categorias utilizadas no presente trabalho, onde estão inclusos os dados de entrada e saída do inventário, o fator de caracterização e sua unidade baseado no seu potencial de impacto. As categorias foram selecionadas pelo fato da

temática do estudo ser a disposição final dos efluentes nos corpos hídricos da região, problemas que afetam a saúde humana e a vida marinha.

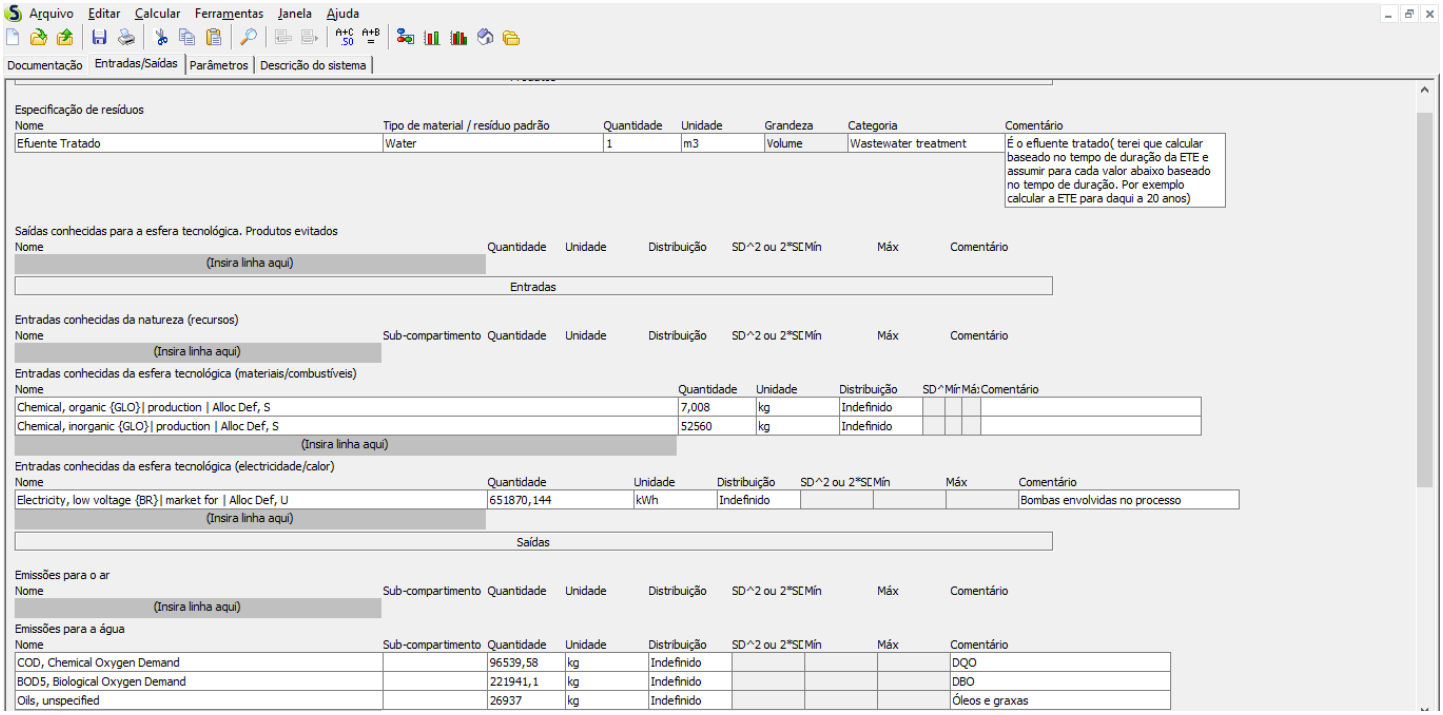
*Tabela 5.8 - Categorias utilizadas no estudo do inventário*

| Categorias de Impacto | Descrição | Dados de entrada/saída | Fator de caracterização | Unidade | Descrição do fator de caracterização |
|---|---|---|---|---|---|
| Eutrofização | Ausência de Oxigênio e o desenvolvimento de algas em ambientes aquáticos | Fosfato ($PO_4$) Óxido de Nitrogênio (NO) Dióxido de Nitrogênio ($NO_2$) Nitatos Amônia ($NH_4$) | Potencial de Eutrofização | Kg $PO_4$ eq | Dados do inventário são convertidos em fosfato equivalente |
| Ecotoxicidadede água doce | Toxicidade de substâncias que afetam ecossistemas fluviais | Químicos com registro de concentração letal | LC50 | Kg 1,4-DB eq | Dados de LC50 em 1,4 diclobenzeno equivalente |
| Toxicidade Humana | Substâncias tóxicas que causam impactos na saúde humana | Químicos com registro de concentração letal para seres humanos | LC50 | Kg 1,4-DB eq | Dados de LC50 em 1,4 diclobenzeno equivalente |

*Fonte: adaptado de HISCHIER (2010), FERREIRA (2004) e LOPES (2014)*

# 5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram inseridos no inventário na aba de processos como pode ser verificado na Figura 5.1.



Arquivo Editar Calcular Ferramentas Janela Ajuda

Documentação | Entradas/Saídas | Parâmetros | Descrição do sistema

Especificação de resíduos

| Nome | Tipo de material / resíduo padrão | Quantidade | Unidade | Grandeza | Categoria | Comentário |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Efluente Tratado | Water | 1 | m3 | Volume | Wastewater treatment | É o efluente tratado( terei que calcular baseado no tempo de duração da ETE e assumir para cada valor abaixo baseado no tempo de duração. Por exemplo calcular a ETE para daqui a 20 anos) |

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados

| Nome | Quantidade | Unidade | Distribuição | SD^2 ou 2*SD | Mín | Máx | Comentário |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (Insira linha aqui) | | | | | | | |

Entradas

Entradas conhecidas da natureza (recursos)

| Nome | Sub-compartimento | Quantidade | Unidade | Distribuição | SD^2 ou 2*SD | Mín | Máx | Comentário |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (Insira linha aqui) | | | | | | | | |

Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)

| Nome | Quantidade | Unidade | Distribuição | SD^ | Mír | Má: | Comentário |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Chemical, organic {GLO}\| production \| Alloc Def, S | 7,008 | kg | Indefinido | | | | |
| Chemical, inorganic {GLO}\| production \| Alloc Def, S | 52560 | kg | Indefinido | | | | |
| (Insira linha aqui) | | | | | | | |

Entradas conhecidas da esfera tecnológica (electricidade/calor)

| Nome | Quantidade | Unidade | Distribuição | SD^2 ou 2*SD | Mín | Máx | Comentário |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Electricity, low voltage {BR}\| market for \| Alloc Def, U | 651870,144 | kWh | Indefinido | | | | Bombas envolvidas no processo |
| (Insira linha aqui) | | | | | | | |

Saídas

Emissões para o ar

| Nome | Sub-compartimento | Quantidade | Unidade | Distribuição | SD^2 ou 2*SD | Mín | Máx | Comentário |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (Insira linha aqui) | | | | | | | | |

Emissões para a água

| Nome | Sub-compartimento | Quantidade | Unidade | Distribuição | SD^2 ou 2*SD | Mín | Máx | Comentário |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| COD, Chemical Oxygen Demand | | 96539,58 | kg | Indefinido | | | | DQO |
| BOD5, Biological Oxygen Demand | | 221941,1 | kg | Indefinido | | | | DBO |
| Oils, unspecified | | 26937 | kg | Indefinido | | | | Óleos e graxas |

*Figura 5.1 - Dados inseridos no software*

*Fonte: Autor*

Após a inserção dos dados o método é selecionado (Figura 5.2) para realizar os cálculos e as análises pretendidas.

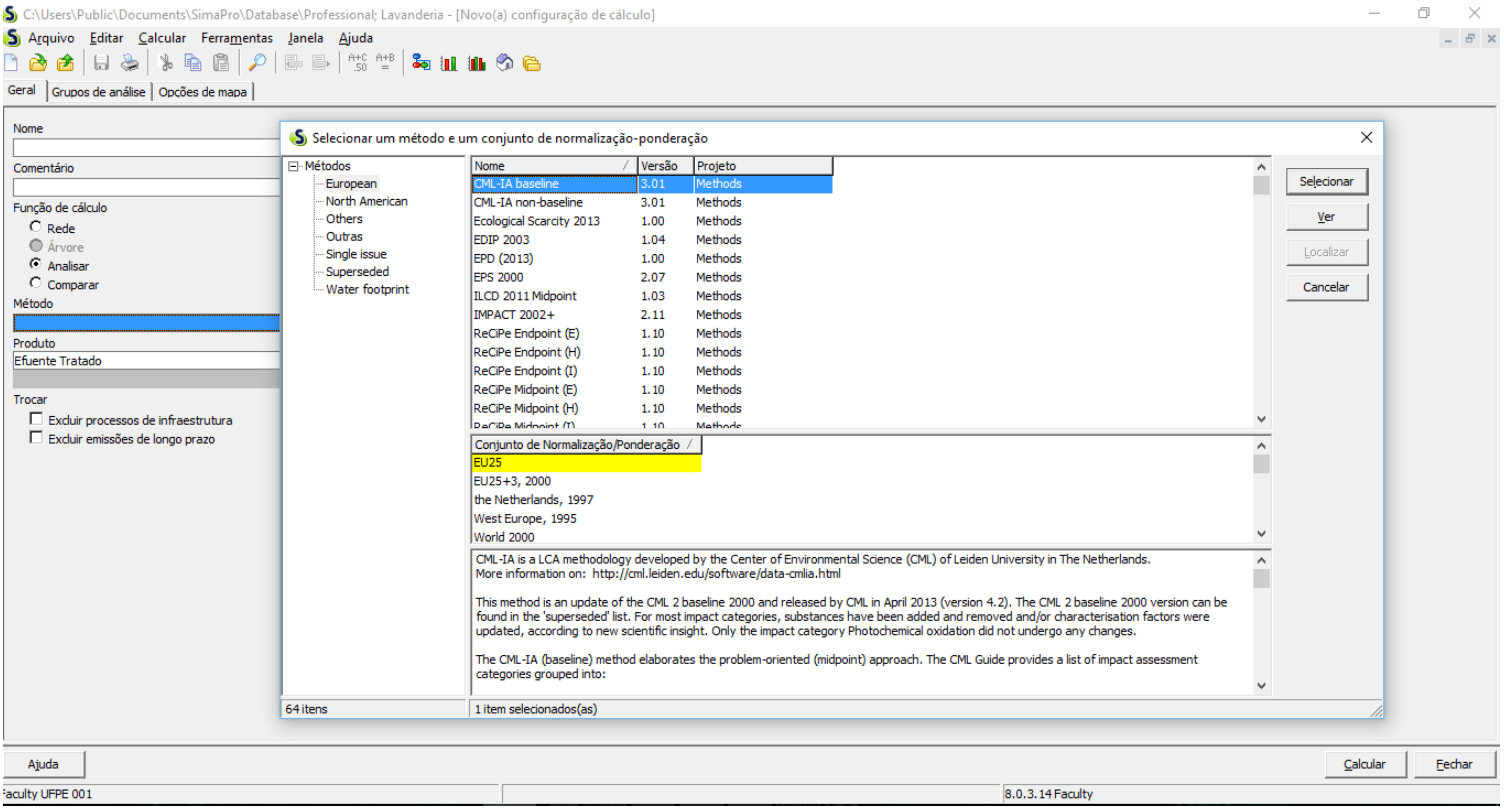



*Figura 5.2 - Métodos de análise do software*

*Fonte: Autor*

Após os cálculos, algumas funções do programa permitem análises da rede que compõe o processo de tratamento do efluente como um todo, onde detalhes e especificações do efluente tratado são descritas, conforme Figura 5.3.

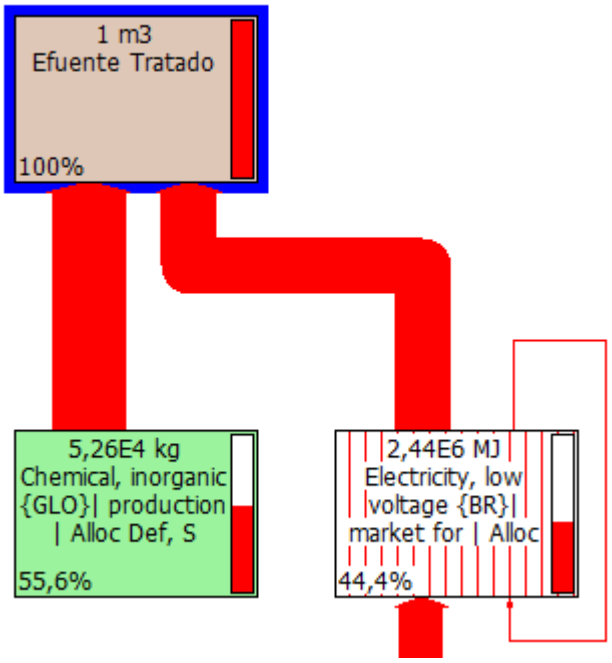



*Figura 5.3 - Rede do processo de tratamento*

*Fonte: Autor*

Para o tratamento do efluente, durante os 20 anos, no item ecotoxidade de água doce, os químicos inorgânicos (*Chemical inorganic*) representam 55,6% o que corresponde a 52.600 kg, seguidos de 44,4% da energia elétrica (2.440.000 MJ). Quando analisamos a contribuição da energia elétrica na rede, notamos que o software leva em consideração os materiais utilizados na rede de distribuição (cabos, cobre e etc.) e o processo de distribuição em si.

A Figura 5.4 ilustra os resultados finais da ACV proposta pelo estudo da análise de $1m^3$ de efluente tratado, durante 20 anos.

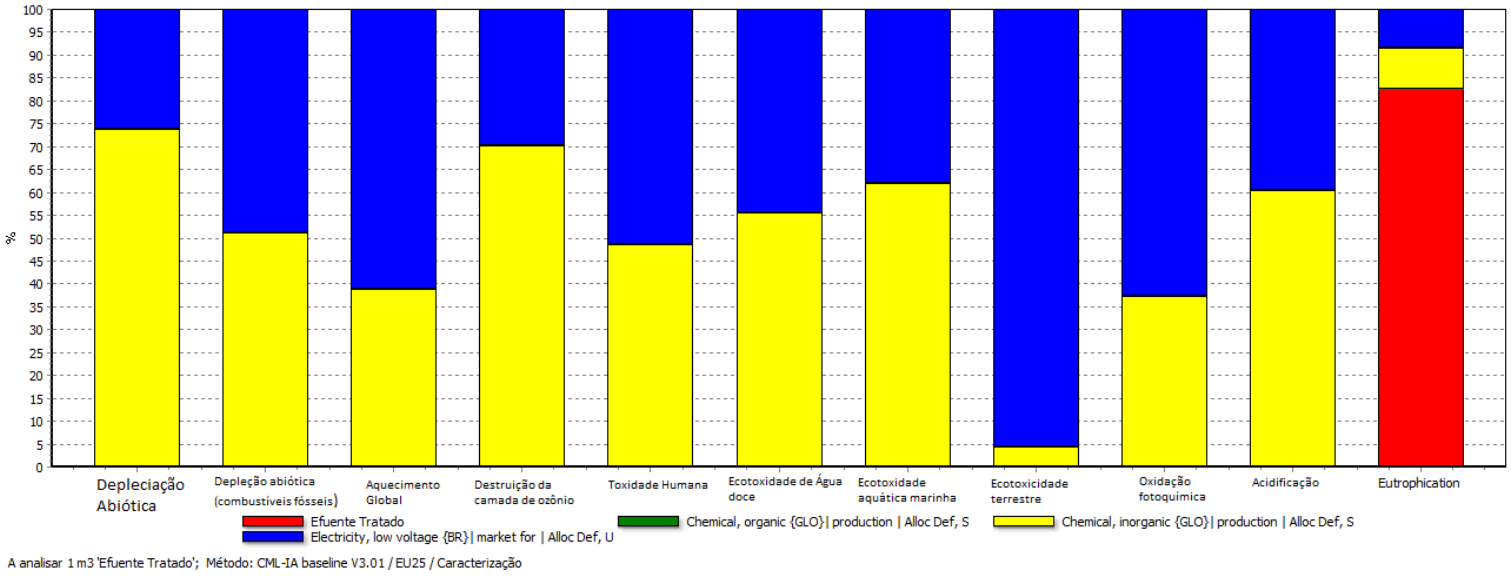



*Figura 5.4 - Resultados do ACV*

*Fonte: Autor*

A energia elétrica apresenta índices consideráveis em todas as categorias analisadas, no gráfico de ecotoxidade terrestre (corresponde a substâncias tóxicas em ecossistemas terrestres) ela é a mais expressiva que corresponde a 95,6% dos impactos. A justificativa para tal resultado, após a análise da categoria com mais detalhes no software, a rede de distribuição corresponde a 70,4% do impacto, onde a condução da energia elétrica se dá através de fios condutores metálicos de Cobre, 25,2% corresponde ao processo de distribuição da energia elétrica.

De acordo com o trabalho desenvolvido por Silva (2015), outra razão que se pode especular para o elevado impacto ambiental da energia elétrica, deve-se ao fato de que no Brasil utiliza-se energia proveniente de hidroelétricas, que apesar da sua operação ser considerada um processo tecnológico limpo, já na sua construção ocorre à geração de impactos ambientais considerados de grandes magnitudes, permanentes e irreversíveis. Entretanto só um inventário da matriz energética brasileira poderá confirmar essa hipótese.

Os químicos inorgânicos apresentaram contribuições em todas as categorias analisadas, porém os químicos orgânicos não apresentaram resultados significativos, isso em face da pequena quantidade utilizada no sistema de tratamento dos efluentes.

Dentre as categorias abordadas no estudo, no item eutrofização, o efluente tratado representa 82,5% dos impactos ambientais, os químicos inorgânicos representam 8,99% e a energia elétrica 8,56%. Na toxicidade humana, os químicos inorgânicos representam 48,5% e a energia elétrica 51,5% dos impactos identificados. Por outro lado, para a ecotoxidade de água doce, os químicos inorgânicos representam 55,6% e a energia elétrica 44,4%.

Quando é realizada a análise individual do efluente tratado no item eutrofização, observa-se intervenções na qualidade da água, no solo e no ar, conforme descrito na Figura 5.5 Nota-se que a maior intervenção é representada na DQO, o qual é utilizado segundo a legislação ambiental brasileira, como parâmetro para lançamento de efluente nos corpos d’água. A relação elevada água /fosfato sugere que o lançamento do efluente interfere também no processo de eutrofização, colaborando para o crescimento de algas.

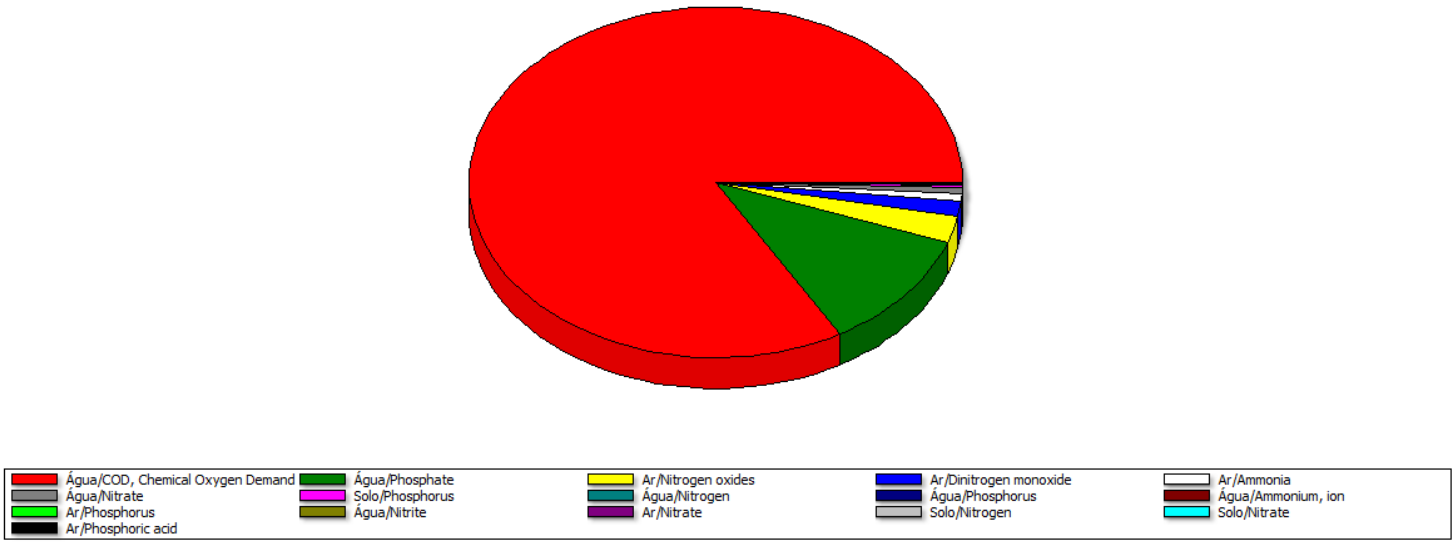



*Figura 5.5 - Especificações do Efluente Tratado*

*Fonte: Autor*

# 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A ferramenta do ACV se mostrou um instrumento de grande importância para gerenciamento ambiental, pois a depender da análise e o propósito do estudo, pode ajudar na tomada de decisões dentro da organização através de justificativas quantitativas, como por exemplo, a eficiência de sistemas, comparação entre sistemas e implantação de novos processos/atividades.

Os resultados do estudo demonstraram que três categorias ambientais foram impactadas pelo lançamento do efluente no corpo hídrico: a toxidade humana, a ecotoxicidade de água doce e a eutrofização.

A eutrofização foi à categoria onde o efluente tratado se mostrou o mais significativo indicador de impacto ambiental, o que justifica a proliferação de algas e macrófitas no corpo hídrico onde o efluente é lançado.

A energia elétrica representou o maior impacto, influenciando diretamente nas categorias toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce e esteve presente em todas as categorias de impacto, com valores significativos o que justifica que ao longo de 20 anos, deve-se pensar em outra fonte de energia para bombear o efluente dos tanques de equalização e a bomba dosadora. Outra sugestão seria adotar métodos que utilizem a gravidade, por exemplo, para transportar o efluente dos tanques de equalização para as próximas etapas do processo da ETE.

Na lavanderia onde foi realizado o estudo, recomendou-se mudanças na gestão e melhoria nos processos produtivos, com o objetivo de redução de custos associados. Após a análise realizada pôde-se constatar que para o atual sistema de tratamento, as mudanças sugeridas para a energia elétrica são a troca dos equipamentos elétricos por instalações que utilizem a gravidade para o transporte dos efluentes e utilizar fontes de energias alternativas, como placas solares ou energia eólica, mitigando o impacto ambiental da utilização da energia elétrica de fonte convencional.

O efluente tratado apresentou várias substâncias e diferentes formas de emissões no meio ambiente. Contudo em alguns processos de beneficiamento do jeans, pode-se utilizar água de reuso. Como sugestão seria a implantação de um sistema de reuso de água de forma a reduzir a demanda sobre o recurso hídrico.

O lodo gerado na ETE não foi objeto da análise, em função da empresa não proceder qualquer tratamento em suas instalações. Não obstante, o seu acondicionamento deve ser

realizado de forma a não prejudicar o solo, pois durante o período de acompanhamento do estudo, os mesmos eram acondicionados em sacos e armazenados ao ar livre no terreno adjacente a ETE, o que com certeza poderia gerar impactos ambientais.

## *BIBLIOGRAFIA*


ABIT. **Produção de jeans e denin.** Disponível em: <http://www.abit.org.br/site/navegacao.asp?id_menu=8&id_sub=25&idioma=PT >. Acesso em 12 de Fevereiro de 2016.

ALMEIDA, Cecília M. V.B.; Biagio F. Giannetti. **Ecologia industrial: Conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Blucher. 2006.

ALTHAUS H. *et al.* **Ecoinvent Report N°1: Overview and Methodology**. Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:** gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14043***: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – interpretação do ciclo de vida.* Brasil, 2004.

BENEDET JUNIOR, G**. Avaliação de Incertezas em inventários do ciclo de vida**. 2007. 90p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal, Santa Catarina, 2007.

BOWE, S. **A Gate-To-Gate Life-Cycle Inventory of Solid Hard wood Flooring in The Eastern US**. Wood andFiber Science, March, 2010. Societyof Wood Science and Technolog.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, N. **Resolução nº 01, de 6 de abril de 2011**, que dispõe sobre a Aprovação do Regimento Interno e da composição do Comitê Gestor do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências. Brasília: 2011.

BRASIL. **Resolução CONAMA No 357 de 17 de março de 2005**. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil.* 2005.

BRITO, G. A. **Sustentabilidade: um desafio para as lavanderias industriais.** Revista de Design Inovação e Gestão Estratégica. v. 4, n. 02, ago. 2013.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Product Category Rules for Type III Environmental Product Declaration of Construction Productsto EN 15804:2012**. Watford: BRE, 2013.

CALADO, A. *et al.***Fatores associados à gestão de custos: um estudo nas micro e pequenas empresas do setor de confecções.** Revista Produção, v. 13, n. 1, p. 66, 2003.

CLAUDINO, Edison S.; TALAMINI, Edson. **Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio** - Uma revisão de literatura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol.17 nº.1 Campina Grande. Janeiro, 2013.

COLTRO, L. (org.). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos:** Ferramenta Gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 2002.

**Diagnóstico do município de Caruaru. Projeto Águas Subterrâneas**. Ministério das Minas e Energia (2005). Disponível em: http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/pernambuco/relatorios/CARU043.pdf. Acessado em 20 de Novembro de 2015.

EDISON. S. CLAUDINO.; EDSON. T. **Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio – Uma revisão de literatura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.17, n-1, p77-85. 2013.

FAVA, J. A., R. DENISON, B. JONES, M. S. CURRAN, B. VIGON, S. SELKE, AND J. BARNUM EDS. 1991. **A technical frameworkfor life-cycle assessments**. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). January. Washington,DC. 134 pp.

FERREIRA. J. V. R. **Análise de Ciclo de Via dos Produtos.** Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu. 2004.

FIGUEIREDO, G. C., CAVALCANTE, A. L. B. L. **Calça jeans – produtividade e possibilidades sustentáveis**. Revista Projética, v. 1, n. 1, dez. 2010, p. 128-145.

FIEMG. Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil. Minas Gerais, MG. 2014. 66 p.

FRANKLIN ASSOCIATES, LTD. **Resource and environmental profile analysis of a manufactured apparel product: woman'skn it polyester blouse**. Praire Village, KS, 1993.

GOEDKOOP. M; HEIJUNGS. R, HUIJBREGTS. M. SCHRYVER. A.D. STRUJIS. J. VAN ZELM. R. R Recipe: **a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the mid point and the endpoint level.** Netherlands, MinistryofHousing, Spatial Planning andEnvironment. 2009.

GOLDEMBERG, J.; AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil - Série Sustentabilidade**. São Paulo, ed.Blucher, 2011.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Censo demográfico: Cidades. 2014

LEVI'S. **Calça jeans 501 original**. Disponível em: <http://www.levi.com.br/brasil/501-original--p-4993.aspx> Acesso em: 16 abr. 2013.

LIMA, H. S.; **As lavanderias de jeans de Toritama: uma contribuição para gestão das águas***;* Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

MAKISHI COLODEL, C. **Systematic approach for the transfer ability of life cycle inventory data between countries**. In: International Conference on EcoBalance, Tokio, Japan, 10-12 Dec. 2008.

NBR ISO 14040. Gestão Ambiental – **Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Brasil: ABNT. 21p. 2009.

OLIVEIRA, Luciana A. HOXHA, Endrit. LASVAUX, Sébastien. HANS, Julien. **Adapting Existing Life Cycle Inventory of Building Products for the Brazilian Context**.

Conference: SB13/Graz International Conference on Sustainable Buildings, Construction Products and Technologie. Apr 08, 2015.

PRÉ CONSULTANTS. **Introduction to LCA with SimaPro 7.** Califórnia 2010.

PRÉ CONSULTANTS. **Introduction to LCA with SimaPro 8.** Califórnia 2013.

RATIU, M., BOTA, S. R., SUTEU, C. **Impact f the têxtile industry on human and environmental health. In Annals of The International Scientific Symposium Innovative Solutions for Sustainable Development of Textiles Industry**. Faculty of Textiles and Leatherwork, University of Oradea, Romania, 2008, p. 412-417.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; SCHMIDT, W.-P.; SUH, S.; WEIDEMA, B. P.; PENNINGTON, D.W. **Life cycleassessment - Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications**. Environment International, 2004.

SAADE. M.R.M; Silva M.G.; Gomes. V.; **A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais.** Natureza online 12 (3): 109-116. 2014.

SANT'ANA, Paulo Henrique de Mello. **Oportunidades de eficiência para indústria: setor têx**til. Brasília: CNI, 2010.

SEBRAE – **Critérios de classificação de empresas**. Disponível em: < http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154> Acesso em: 09/07/2015.

SETAC – Societyof Environmental Toxicology and Chemistry. **Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice"**. From the SETAC Workshop held at Sesimbra, Portugal. Publicado pela SETAC, U.S.A., 1993.

SEO, E. S. M.; KULAY, L. **A. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão.** *INTERFACEHS - Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*. V.1, n.1, Art 4, São Paulo, 2006.

SILVA FILHO, Antônio Romão Alves da. **Desenvolvimento de sistema simplificado de gestão ambiental aplicado à micro e pequenas empresas de beneficiamento de jeans** / Antônio Romão Alves da Silva Filho. - Recife: O Autor, 2013. 215 folhas, il., gráfs.,tabs.

SILVA, G. A. da; KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida**.** In: VILELA JUNIO, A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos de ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações.** São Paulo: Editora Senac, 2006.

SILVA, G. A.; GARCIA, E.; UGAYA, C. M. Notas do Debate – **Análise de Ciclo de Vida (ACV). 4º Censo da Reciclagem de PET no Brasil.** Associação Brasileira do PET (Abipet). São Paulo, 2008.

SILVA, G. L. ; SOUZA, J. A. ; DUARTE, A. D. . **Application of Life Cycle Assessment in the treatment of effluent plants from industrial laundries**. VI Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida em Latinoamérica ACV: Herramienta para lainnovación em Latinoamérica, 2015, v. 1°

UEDA, A. C. **Aplicação de micelas reversas na remoção de corantes têxteis catiônicos.** Dissertação de mestrado. Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, fev. 2006, 70 p.

VALT, R.B.G. **Análise do ciclo de vida de embalagens pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais.** 2004. 193 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

VILELA JÚNIOR, ALCIR; DEMAJOROVIC, JACQUES. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações.** Editora Senac, 1ª edição, 2013.

WEIDEMA B.P; WESNAES M.S. **Data Quality Management for Life Cycle Inventories – An Example of using Data Quality Indicators.** Journal of Cleaner Production, v.4, n 3-4, p. 167 – 174, 1996

WEIDEMA, Bo. P.; **Market Information in Life Cycle Assessment.** Copenhagen (Dinamarca): Danish. Environmental Protection Agency (Environmental Project no. 863), 147p. 2003. Disponível em: < http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2003/87-7972-991-6/pdf/87-7972-992-4.pdf>. Acesso em: 17 de Março de 2016.

ZAPPAROLI S.S. da Silva. **Desenho da Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Etanol Combustível pelo método CML 2000 com SimaPRO.** 3º International workshop advances in cleaner production. São Paulo. 2011.