

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**ANÁLISE AMBIENTAL DE CENÁRIOS DE PÓS-USO DE
COMPRESSORES DE AR**

Patricia Orsi

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**ANÁLISE AMBIENTAL DE CENÁRIOS DE PÓS-USO DE
COMPRESSORES DE AR**

Patricia Orsi

Trabalho submetido à Banca
Examinadora como parte dos
requisitos para a Conclusão do Curso
de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental – TCC II

Orientador
Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2011

Orsi, Patricia

Análise Ambiental de Cenários de Pós-uso de Compressores de Ar.

Patricia Orsi – Florianópolis, 2011. 105p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Título em Inglês: Environmental Analysis of End-of-life Scenarios of Air Compressors.

1. Compressor de ar. 2. Cenários de pós-uso. 3. Análise do Ciclo de Vida.


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ANÁLISE AMBIENTAL DE CENÁRIOS DE PÓS-USO DE COMPRESSORES DE AR


PATRICIA ORSI

Trabalho submetido à banca examinadora como parte dos requisitos para a Conclusão do Curso de Graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

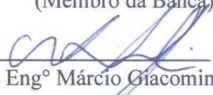
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares
(Orientador)



Prof. Dr. Fernando S. P. Sant'Anna
(Membro da Banca)



Engº Márcio Giacomini
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Lucas Tadeu Orsi e Ivana Maria Aragão Orsi, por sempre acreditarem em mim, por todo apoio e pelo amor incondicional.

Ao professor Sebastião Roberto Soares, pela orientação neste trabalho.

À Empresa Schulz S/A, pelo fornecimento das informações que possibilitaram a realização deste estudo.

Aos colegas Guilherme Marcelo Zanghelini e Vanessa Mesquita Santana, por toda ajuda.

À minha irmã, Mariane Orsi.

Aos meus amigos de infância, que mesmo por vezes estando distantes, ainda sim, sempre senti como se estivessem presentes.

Aos amigos da faculdade, por todos os bons momentos que passamos juntos.

RESUMO

Um produto acarreta impactos ambientais em todas as fases do seu ciclo de vida, desde sua produção, passando por sua utilização e manutenção, até seu descarte. Para que se tenha cada vez menos impactos ambientais associados a um produto, é preciso que se estude todas as fases do seu ciclo de vida, e se identifique os pontos fortes ou fracos destas, efetuando as modificações que se façam necessárias. Uma ferramenta que permite que estudos desse tipo sejam realizados é a Análise do Ciclo de Vida (ACV). Na busca por produtos cada vez menos impactantes, este trabalho propôs-se a analisar, sob a ótica da ACV, a fase de pós-uso de compressores de ar. Foram elaborados três cenários de pós-uso aplicáveis a estes produtos: o Cenário 01 consiste no aterramento do compressor de ar; o Cenário 02 na reciclagem e o Cenário 03 na remanufatura e reutilização do compressor. Identificou-se o impacto ambiental inerente a cada um dos cenários e se fez uma comparação entre eles. Como resultado, concluiu-se que dentre os cenários analisados, a reciclagem mostra-se ambientalmente preferível.

Palavras chave: Compressor de ar. Cenários de pós-uso. Análise do Ciclo de Vida

ABSTRACT

A product results in environmental impacts in all stages of its life cycle, from production, through its use and maintenance, until its discard. For having fewer environmental impacts associated with a product, it's necessary to study all stages of its life cycle, and identify their strengths and weaknesses, making the necessary modifications. A tool that allows such studies to be performed is the Life Cycle Assessment (LCA). In the search for less striking products, this study intended to analyze, from the LCA viewpoint, the end-of-life of air compressors. Three end-of-life scenarios were developed: The Scenario 01 assumes that the air compressor is landfilled; the Scenario 02 assumes that the air compressor is recycled and the Scenario 03 assumes that the air compressor is remanufactured and reused. The environmental impact of each scenario was identified and it was made a comparison among them. As a result, it was concluded that among the scenarios analyzed, the recycling showed it environmental preferable.

Key words: Air compressor. End-of-life scenarios. Life Cycle Assessment.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	7
RESUMO	9
ABSTRACT	11
SUMÁRIO	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	16
LISTA DE ABREVIATURAS	17
1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo Geral	21
2.2. Objetivos Específicos	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1. Análise do Ciclo de Vida.....	22
3.1.1. Histórico.....	23
3.1.2. Normatização	24
3.1.3. Fases da ACV.....	25
3.2. Compressores de ar.....	26
3.2.1. Tipos de compressores	27
3.3. Resíduos Sólidos – Classificação	28
3.3.1. Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). 29	
3.4. Destinação pós-uso aplicável aos compressores de ar.....	30
3.4.1. Reciclagem.....	31
3.4.2. Reutilização.....	31
3.4.3. Aterramento.....	31
3.5. Logística Reversa	32
3.6. Cenários de pós-uso.....	33

4.	MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1.	Definição do compressor a ser estudado	36
4.2.	Elaboração dos cenários de pós-uso	36
4.3.	Local de trabalho	36
4.4.	Dados.....	37
4.5.	Análise em laboratório	37
4.6.	Interpretações	39
5.	RESULTADOS.....	40
5.1.	Definição do objetivo do estudo.....	40
5.2.	Definição do escopo do estudo.....	40
5.2.1.	Função do Sistema de Produto.....	41
5.2.2.	Unidade Funcional.....	41
5.2.3.	Fronteira do Sistema	41
5.2.4.	Pressupostos.....	41
5.2.5.	Limitações.....	42
5.2.6.	Cenários de Pós-uso.....	42
5.3.	Análise do Inventário do Ciclo de Vida	48
5.3.1.	Coleta de dados	48
5.3.2.	Inventário do Ciclo de Vida.....	48
5.4.	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida.....	69
5.4.1.	Impactos Ambientais	69
5.5.	Interpretação do Ciclo de Vida.....	94
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estágios do Ciclo de Vida de um produto.....	22
Figura 2 – Fases de um estudo de ACV	25
Figura 3 – Cenários para final de vida do produto	34
Figura 4 – Opções de cenários de pós-uso	34
Figura 5 – Compressor modelo CSL 20BR: alternativo lubrificado	40
Figura 6 – Fluxograma dos processos elementares envolvidos no Cenário 01	43
Figura 7 – Fluxograma dos processos elementares envolvidos no Cenário 02	44
Figura 8 – Fluxograma dos processos elementares envolvidos no Cenário 03	47
Figura 9 – Cenário 01: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto	71
Figura 10 – Cenário 02: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto	76
Figura 11 – Cenário 03: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto	82
Figura 12 – Comparação entre os cenários – Método CML 2000.....	89
Figura 13 – Comparação entre os cenários – Método ReCiPe Endpoint	91
Figura 14 – Ponderação Método ReCiPe Endpoint.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas do compressor alternativo lubrificado.....	41
Tabela 2 – Cenário 01: Itens a serem aterrados	50
Tabela 3 – Cenário 02: Itens de aço e ferro a serem fundidos	55
Tabela 4 – Itens a serem fundidos para a produção de lingotes.....	58
Tabela 5 – Cenário 02: Itens a serem aterrados	59
Tabela 6 – Cenário 03: Itens de aço e ferro a serem fundidos	62
Tabela 7 – Cenário 03: Itens a serem fundidos para a produção de lingotes.....	63
Tabela 8 – Cenário 03: Itens a serem aterrados	64
Tabela 9 – Cenário 03: Itens a serem substituídos no processo de remanufatura	65
Tabela 10 – Cenário 03: Itens a serem reaproveitados.....	66
Tabela 11 – Cenário 03: Insumos necessários para o processo de montagem.....	68
Tabela 12 – Cenário 03: Resíduos gerados no processo de montagem. 68	
Tabela 13 – Cenário 01: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto.....	72
Tabela 14 – Cenário 01: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto.....	73
Tabela 15: Cenário 02: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto.....	77
Tabela 16: Cenário 02: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto.....	79
Tabela 17 – Cenário 03: Participações dos processos elementares para categoria de impacto	83
Tabela 18 – Cenário 03: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto.....	85
Tabela 19 – Comparação entre os cenários: Método CML 2000.....	90
Tabela 20 – Comparação entre os cenários: Método ReCiPe Endpoint	92

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV.....	Análise do Ciclo de Vida
AICV.....	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
GPACV.....	Grupo de Pesquisa e Avaliação de Ciclo de Vida
IBAM.....	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPPUJ.....	Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville
ISO.....	International Organization for Standardization
MRI.....	Midwest Research Institute
REEE.....	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
SETAC.....	Society Environmental Toxicology and Chemistry
UNEP.....	United Nations Environmental Programme
USEPA.....	United States Environmental Protection Agency

1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente já se tornou assunto recorrente da pauta das conversas do dia a dia. Em todos os meios, em todas as classes sociais, das prosas corriqueiras às reuniões de especialistas, assuntos que envolvam a questão ambiental fazem-se cada vez mais frequentes.

Nesse sentido, seguindo a tendência mundial de preocupação com o meio ambiente e muitas vezes pressionadas pela legislação ambiental que se encontra a cada dia mais forte, as empresas vêm buscando produzir bens o menos impactantes possíveis.

Os consumidores passaram a requerer informações acerca dos impactos dos produtos e dos processos no meio ambiente. As estratégias de gestão de meio ambiente passaram então a fazer parte da reflexão empresarial, principalmente de empresas líderes e ditas excelentes em seus setores (LEITE, 2003).

Um produto pode causar impactos ao meio ambiente em todas as etapas de seu ciclo de vida. Podem-se apontar interferências no meio ambiente desde a sua fabricação até seu descarte, quando este se torna um resíduo.

Percebendo a necessidade de identificar e estudar os impactos ambientais associados a um bem considerando todo o seu ciclo de vida, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos. Uma ferramenta cada vez mais utilizada e mundialmente reconhecida para tal propósito é a Análise do Ciclo de Vida.

Segundo Chehebe (1998), a Análise do Ciclo de vida é uma das novas ferramentas e métodos que visam a auxiliar na compreensão, no controle e/ou na redução dos impactos ambientais gerados pela provisão de bens e serviços. A Análise do Ciclo de Vida considera o impacto ambiental de todo o ciclo de vida do produto, desde a extração de matérias-primas, passando pela produção e uso, até a sua disposição final.

Na busca de produtos e de formas de produção cada vez menos impactantes, este trabalho propõe-se a estudar alternativas de pós-uso para compressores de ar seguindo a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida.

Os compressores de ar são equipamentos mecânicos de utilização bastante ampla, abrangendo desde o setor industrial até o uso doméstico. Segundo Da Costa (1978), um compressor de ar é uma estrutura mecânica industrial que eleva a energia utilizável dos fluidos estáticos,

através do aumento da sua pressão. Podem-se apontar diversos usos, sendo empregado com maior frequência no setor industrial.

Este trabalho pretende analisar possíveis impactos ambientais associados ao pós-uso dos compressores de ar. Busca-se, através do estudo, identificar a melhor alternativa de gerenciamento do compressor quanto resíduo, sob o aspecto ambiental.

Tendo em vista os impactos ambientais que um gerenciamento adequado de resíduos pode evitar, a importância desse estudo está esclarecida. Encontrando maneiras eficazes de manejar o compressor quanto resíduo é satisfeita uma etapa do estudo pela busca de um produto cada vez menos impactante.

A finalidade deste trabalho é apontar impactos ambientais inerentes aos cenários de pós-uso para os compressores de ar, de modo que os tomadores de decisão tenham embasamento técnico e científico para escolher qual alternativa utilizar.

A confecção deste trabalho contribuirá para o enriquecimento do banco de dados brasileiro a respeito da Avaliação do Ciclo de Vida, fortalecendo sua base com uma nova produção utilizando sua metodologia. Além do fabricante, que é um beneficiário mais facilmente identificável, pode-se afirmar que a sociedade e principalmente o meio ambiente terão sua parte de benefícios, haja vista a redução da degradação ambiental que a realização desse estudo poderá possibilitar.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar, sob a ótica ambiental, diferentes cenários de pós-uso para compressores de ar.

2.2. Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo geral do trabalho, citam-se como objetivos específicos os seguintes:

- Criar cenários de pós-uso para os compressores de ar;
- Identificar o impacto ambiental inerente a cada um dos cenários analisados;
- Identificar dentre os cenários analisados qual apresenta o menor impacto ambiental.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

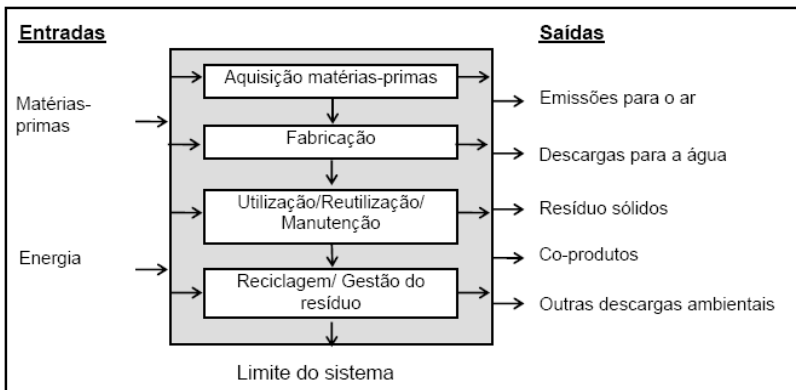
3.1. Análise do Ciclo de Vida

A análise do ciclo de vida consiste em uma técnica que avalia os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto, englobando etapas que vão desde a retirada da natureza de matérias-primas elementares que entram no sistema de produção (berço) à disposição final produto (túmulo). (CHEHEBE, 1998).

Segundo Coltro (2007), a avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta que permite que se avalie o impacto ambiental potencial associado a um produto ou atividade durante seu ciclo de vida. Utilizando a ACV é possível identificar ainda quais estágios do ciclo de vida do produto ou processo estudado têm mais contribuição no impacto ambiental ocasionado. Através da ACV, é possível avaliar a implementação de melhorias ou alternativas para produtos, processos ou serviços.

O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das atividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção, e deposição final, incluindo a aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação do produto. A Figura 1 ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e as típicas entradas/saídas medidas (USEPA, 2006).

Figura 1 – Estágios do Ciclo de Vida de um produto



Fonte: USEPA , 2006

Para Gutierrez (2008), a ACV situa-se em um patamar de destaque devido a sua abrangência ser bastante ampla. Geram-se vínculos entre todos os pontos e categorias de impacto potencial relacionados ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia. Isso porque a base de avaliação da ACV fundamenta-se nos sistemas de produtos e serviços, considerando aspectos ambientais que abrangem não somente a produção, mas todas as fases da vida e descarte.

3.1.1. Histórico

Segundo Coltro (2007), a crise do petróleo, na década de 60, levou a sociedade a se questionar sobre o limite da extração dos recursos naturais, principalmente dos combustíveis fósseis e de recursos minerais. Nesse contexto, tiveram início os estudos de ACV. Os primeiros estudos foram conhecidos como “análise de energia”, pois objetivavam calcular consumos de energia. Faziam-se fluxogramas dos processos incluindo balanços de massa e energia. Contabilizavam-se, então, dados sobre consumo de matérias-primas e de combustíveis e sobre os resíduos sólidos gerados. Alguns analistas referiam-se a esses estudos como “análise de recursos” ou “análise do perfil ambiental”.

Chehebe (1998) aponta o que pode ser considerado o marco para o surgimento do que hoje se conceitua como Análise do Ciclo de Vida: um estudo custeado pela Coca-Cola, e realizado pelo MRI (*Midwest Research Institute*), no ano de 1965. O objetivo era a comparação de diferentes tipos de embalagens para refrigerantes e a determinação de qual delas apresentava índices mais adequados de emissão para o meio ambiente e melhor desempenho com relação à preservação de recursos naturais.

Segundo Souza (2008), em 1974, a pedido da U. S. Environmental Protection Agency (U. S. EPA), conduziu-se uma pesquisa que analisou novamente diferentes tipos de embalagens de bebidas, o que serviu como base para o estabelecimento de um procedimento de comparação dos impactos ambientais gerados por estes produtos.

As questões ambientais em torno da produção e descarte final de embalagens para bebidas continuaram a ter grande importância no desenvolvimento do método da Análise do Ciclo de Vida. Em 1985, a Comunidade Européia introduziu a “*Liquid Food Container Directive*” que exigiu dos países membros um controle do consumo de energia e matérias-primas, assim como da geração de resíduos sólidos, na

produção e descarte final de embalagens para bebidas e alimentos líquidos (SANTOS, 2007).

A partir desses estudos iniciais, muitas instituições e consultores passaram a utilizar a metodologia da ACV, sendo agregados novos critérios a cada estudo. Porém, a confiabilidade deste instrumento foi posta em questão, pois diversos estudos eram feitos considerando os mesmos produtos e obtendo resultados diversos (SOUSA, 2008).

Coltro (2007), explica que por conta das divergências encontradas nas considerações e conclusões em estudos de ACV aparentemente iguais, ficou evidente a necessidade de uma padronização da metodologia. Assim, a instituição que mais contribuiu nesse sentido foi a SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) que organizou cerca de nove conferências reunindo pesquisadores líderes no estudo da ACV, entre os anos de 1990 e 1993. Segundo Consoli et al. (1993), citado por COLTRO (2007), deste esforço resultou a publicação *SETAC Guidelines for Life Cycle Assessment – a Code of Practice*, que foi o primeiro documento voltado à padronização da metodologia ACV e que, mais tarde, orientou os trabalhos de normalização internacional da ISO – *International Organization for Standardization*.

3.1.2. Normatização

Os trabalhos de normatização internacional da ACV pela ISO envolveram mais de trezentos especialistas em ACV de cerca de vinte e nove países gerando a série de normas ISO 14040 (COLTRO, 2007).

As normas ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043 foram condensadas na norma ISO 14044. No Brasil, a tradução das normas foi feita pela ABNT – *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Assim, atualmente, têm-se publicadas as duas normas seguintes relativas à ACV:

- NBR ISO 14040: *Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura;*
- NBR ISO 14044: *Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações.*

Existem ainda, dois Relatórios Técnicos, com exemplos de aplicação das normas e uma Especificação Técnica sobre o formato da documentação dos dados:

- ISO TR 14047: *Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos de Aplicação da ISO 14042;*
- ISO TS 14048: *Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – Formato da Apresentação de Dados;*

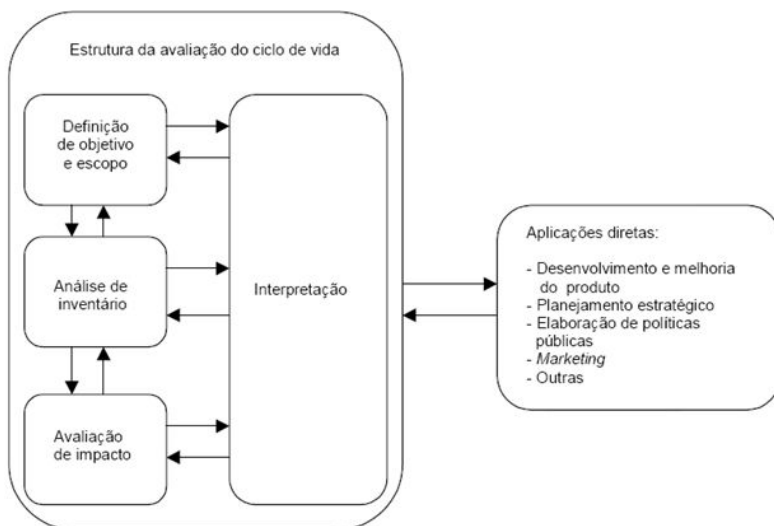
- ISO TR 14049: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos de Aplicação da ISO 14042 para a definição de objetivos e escopo e análise de inventário.

3.1.3. Fases da ACV

Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), um estudo de ACV deve ser conduzido contemplando-se quatro fases (Figura 2):

- Definição de objetivo e escopo;
- Análise de inventário;
- Avaliação de impactos;
- Interpretação.

Figura 2 – Fases de um estudo de ACV



Fonte: ABNT, 2009

Na fase de *definição de objetivo e escopo* definem-se o propósito do estudo e sua amplitude, envolvendo decisões importantes sobre as fronteiras e a unidade funcional (COLTRO, 2007).

Segundo Souza (2008), a determinação do objetivo e do escopo do estudo deve ser feita de forma clara e objetiva, sem qualquer possibilidade de segunda interpretação, considerando questionamentos do tipo:

- Qual a aplicação pretendida?
- Por quais razões o estudo está sendo desenvolvido?

- Para que e a quem se destinam os resultados?
- Os resultados serão utilizados em declarações públicas comparativas?

Conforme Seo e Kulay (2006), na segunda fase da metodologia da ACV, a *análise de inventário*, são realizadas a coleta e a quantificação de todas as variáveis que se relacionem ao ciclo de vida de um produto, processo ou atividade.

Segundo Zoldan (2008), as definições de quais dados serão necessários para a realização de uma ACV dependerão dos objetivos do estudo. Os dados coletados para a análise podem ser oriundos de medidas no processo ou podem ser resultantes de cálculos ou estimativas de dados da literatura existente.

A fase seguinte, a *avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)*, “representa um processo qualitativo/quantitativo de entendimento e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais baseado nos resultados obtidos na análise de inventário” (CHEHEBE, 1998, p. 24). Ainda segundo o mesmo autor, a definição do objetivo e do escopo é que norteia o nível de detalhe, a escolha dos impactos a serem avaliados e a metodologia utilizada.

Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), a avaliação de impacto pode incluir o processo iterativo de revisão do objetivo e escopo do estudo de ACV, para determinar se os objetivos do estudo foram atingidos ou para modificar o objetivo e o escopo se a avaliação indicar que eles não podem ser alcançados.

A fase de *interpretação do ciclo de vida* consiste na identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de análise de inventário ou avaliação de impacto de um estudo de ACV. O produto da interpretação dos resultados pode ser subsídio para os profissionais que utilizam a ACV como instrumento de tomada de decisão (SEO e KULAY, 2006).

3.2. Compressores de ar

O ar comprimido é uma importante forma de energia, insubstituível em diversas aplicações e resultado da compressão do ar ambiente, cuja composição é uma mistura de oxigênio e nitrogênio (aproximadamente 20,5% e 79%, respectivamente) e alguns gases raros (METALPLAN, 2010).

O ar comprimido pode ser usado para diversas finalidades. Seus usos variam desde simplesmente soprar poeira de um local até fornecer controle de pressão para indústrias petroquímicas inteiras (ELLIOTI, 2006).

A utilização do ar comprimido como condutor de energia em áreas de aplicação industriais é feita ao lado de outros condutores como fluidos em sistemas hidráulicos e energia elétrica em sistemas elétricos. O desempenho do ar comprimido como condutor de energia é aumentado quando há maior disponibilidade desta energia por unidade de tempo e quando há aumento de pressão (BOSH, 2008).

Instalações industriais usam o ar comprimido em quase a totalidade de suas operações, cuja produção é feita por unidades compressoras de ar que variam de 5 cavalos de força até 50.000. O Departamento de Energia dos Estados Unidos, revelou no ano de 2003, que 70 a 90 por cento do ar comprimido é perdido em formas inutilizáveis (UNEP, 2006).

O ar comprimido (energia pneumática) pode chegar a custar de sete a dez vezes mais do que a energia elétrica para realizar uma aplicação semelhante. Porém, isso é compensado pelas vantagens de flexibilidade, conveniência e segurança proporcionadas pela energia pneumática (METALPLAN, 2010).

A matéria prima para o ar comprimido é o ar atmosférico. A conversão de um volume de ar em energia é feita pela captação de ar e a aplicação de uma força mecânica sobre o seu volume, obtendo-se redução e conseqüente pressão. O fator mais importante, portanto, no processo de geração de ar comprimido é o volume de ar (SCHULZ, 2003).

“O equipamento que realiza a compressão do ar ambiente é denominado compressor de ar, que transforma um tipo de energia (normalmente elétrica) em energia pneumática” (METALPLAN, 2010, p. 14).

Os compressores são usados para a geração de ar comprimido e a escolha de qual tipo utilizar depende de informações como valores de pressão e volume de ar comprimido necessário por unidade de tempo (BOSH, 2008).

3.2.1. Tipos de compressores

Da Costa (1978) classifica os compressores de ar em função da natureza do movimento que a máquina realiza, dividindo-os entre alternativos e rotativos. Os compressores alternativos podem ser de êmbolo ou de membrana, sendo que o movimento da membrana pode ser direto ou indireto. Já os compressores rotativos podem ser de engrenagens de fluxo tangencial; de engrenagens helicoidais ou de fluxo

axial; de palhetas; de pêndulo; de anel de líquido; axiais; de pistão rotativo; e centrífugos ou radiais (Quadro 1).

Quadro 1 – Tipos de compressores

Compressores	Divisão
Alternativos	Êmbolo
	Membrana
Rotativos	Movimentação Direta
	Movimentação Indireta
	Engrenagem de fluxo tangencial
	Engrenagens helicoidais ou de fluxo axial
	De palhetas
	De pêndulo
	De anel de líquido
	De pistão rotativo
	Centrífugos ou radiais
Axiais	

Fonte: DA COSTA, 1978

Os compressores de ar transformam o ar atmosférico em energia. Utilizam um recurso natural abundante, convertendo-o em fator de grande valor produtivo. Existem várias formas de construção destes mecanismos, sendo que os principais e mais utilizados em todo o mundo são os compressores de diafragma, os alternativos de pistão e os rotativos de parafuso (SCHULZ, 2003).

A função de todos os tipos de compressores é a mesma: deslocar um volume de ar e reduzi-lo. O compressor alternativo de pistão, que é o mais utilizado em todo o mundo, funciona de maneira bastante simples. O mecanismo de ação se dá em três tempos: admissão, compressão e descarga. A realização desses três tempos constitui-se em um estágio. Assim, estágio é o procedimento sistemático dessa função mecânica repetida (SCHULZ, 2003).

3.3. Resíduos Sólidos – Classificação

De acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, os resíduos sólidos são:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante das atividades humanas em sociedade, a cuja destinação se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou

semissólido, bem como gases contidos em recipientes líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL,2010).

Segundo Ibam (2001, p. 25), resíduo sólido é “todo material sólido ou semissólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta, em qualquer recipiente destinado a este ato”. Ainda segundo a mesma fonte, deve-se atentar à relatividade da característica inservível dos resíduos, pois aquilo que já não apresenta serventia para quem o descarta, para outro pode se tornar matéria-prima para um novo produto ou processo.

Com relação à classificação dos resíduos sólidos, a NBR 10.004 (ABNT, 2004) os divide entre Classe I e Classe II, sendo estes perigosos e não perigosos, respectivamente. Os resíduos Classe II dividem-se ainda em Classe II A não inertes e Classe II B inertes.

A origem é um elemento de caracterização e classificação dos resíduos. Segundo este critério, os diferentes tipos podem ser agrupados em cinco classes (IBAM, 2001):

- Lixo doméstico ou residencial;
- Lixo comercial;
- Lixo público;
- Lixo domiciliar especial (entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, pneus);
- Lixo de fontes especiais (industrial, radioativo, de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários, lixo agrícola e resíduos de serviço de saúde).

3.3.1. Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

Dentre os diversos tipos de resíduos sólidos gerados, devido a sua característica de periculosidade ao meio ambiente, os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) merecem um foco especial. Esses resíduos são também denominados de resíduos eletrônicos (REEs), resíduos tecnológicos, e-resíduos ou popularmente lixo eletrônico (NATUME e SANT'ANNA, 2011).

Segundo a Diretiva 2002/96/CE da União Européia, os Equipamentos Eletroeletrônicos podem ser definidos como aqueles “cujo adequado funcionamento depende de correntes elétricas ou campos

eletromagnéticos, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos” (UNIÃO EUROPÉIA, 2003).

O estado de São Paulo já possui uma lei (Lei Estadual nº 13.576 de 06 de julho de 2009) que institui normas e procedimentos para reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico. Segundo essa lei, “consideram-se lixo tecnológico os aparelhos eletrodomésticos e os equipamentos e componentes eletrônicos de uso doméstico, industrial, comercial ou no setor de serviços que estejam em desuso e sujeitos à disposição final” (SÃO PAULO, 2009).

Os equipamentos eletroeletrônicos podem ser compostos tanto por substâncias perigosas quanto por materiais recicláveis. Deve-se dar tratamento adequado às substâncias perigosas, de modo que não contaminem o meio ambiente e nem causem problemas à saúde pública. Já os materiais recicláveis devem ser valorizados, uma vez que dentre os materiais desse tipo estão comumente presentes nesses resíduos o cobre, o alumínio, a prata, a platina, o índio e ouro, que possuem alto valor agregado, tornando a reciclagem altamente recomendada (PORTUGAL e DANTES, 2010).

3.4. Destinação pós-uso aplicável aos compressores de ar

Fatores culturais, poder econômico e existência de legislações específicas determinam a destinação dos equipamentos eletroeletrônicos quanto resíduos. O reuso e a reciclagem são os destinos mais adotados em países que possuem legislação para REEE. Já em locais onde não há políticas públicas para esse tipo de resíduo, a disposição destes em depósitos de lixo/aterro é a mais praticada (PINHEIRO et al. 2008).

Segundo a Lei nº 13. 576 de 06 de julho de 2009, do estado de São Paulo, a destinação final do lixo tecnológico, ambientalmente adequada, deve ser feita por processos de reciclagem e aproveitamento do produto ou componentes para a finalidade original ou diversa, por práticas de reutilização total ou parcial de produtos e componentes tecnológicos ou por neutralização e disposição final apropriada dos componentes tecnológicos equiparados a lixo químico (SÃO PAULO, 2009).

Levando-se em consideração o caráter de resíduo eletroeletrônico dos compressores de ar e as características dos materiais que os compõem, descrevem-se abaixo algumas técnicas que podem ser empregadas na etapa do seu pós-uso. Destaca-se que essas técnicas podem ser empregadas de maneira isolada, considerando o compressor

como um todo, ou em conjunto, quando este for considerado por partes, podendo seus constituintes serem tratados separadamente, de modos distintos

3.4.1. Reciclagem

Denomina-se reciclagem o “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos” (BRASIL, 2010).

Maroun (2006) cita que na reciclagem há um beneficiamento no resíduo para que o mesmo seja utilizado em processos produtivos iguais àquele que o produziu ou em outros.

Segundo Leite (2003), o processo industrial da reciclagem constitui-se na separação ou extração dos materiais de interesse do produto pós-consumo, eliminando eventuais contaminações e preparado os reciclados na forma física e segundo as especificações técnicas para sua reintegração no ciclo produtivo.

Ainda conforme Leite (2003), o sistema de reciclagem agrega valor econômico, ecológico e logístico aos bens de pós-consumo, pois cria condições para que o material seja reintegrado ao ciclo produtivo substituindo as matérias-primas novas e gerando assim uma economia reversa.

3.4.2. Reutilização

A reutilização é o “processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química” (BRASIL, 2010).

Na reutilização, o resíduo é aproveitado sem que haja modificações na sua estrutura (MAROUN, 2006).

Buzon et al (2011) utilizam o termo reuso para produtos de segunda mão e produtos remanufaturados. A diferença entre os dois tipos reside nos processos industriais de desmontagem, limpeza, identificação e recuperação de peças e a remontagem do produto na remanufatura, enquanto que o produto de segunda mão é alvo apenas de checagem e limpeza.

3.4.3. Aterramento

Segundo Nascimento et al (2006), os aterros industriais e sanitários têm sido os destinos preferenciais de resíduos. Nos aterros, busca-se confinar os resíduos na menor área e no menor volume possíveis. Os resíduos são cobertos sucessivamente com camadas de solo, constituindo as células, que se sobrepondo constituem os aterros.

Os aterros são grandes áreas destinadas a confinar resíduos e projetadas de modo especial a fim de receber os resíduos que serão dispostos. Existem aterros para resíduos classe I e classe II (classificação segundo a norma NBR 10.004), que diferem entre si no sistema de impermeabilização e controle necessário (MAROUN, 2006).

3.5. Logística Reversa

Os requisitos legais governamentais e as exigências impostas pela sociedade através dos consumidores são responsáveis pela busca contínua por menores impactos ambientais. As legislações ambientais têm exigido das empresas um comportamento ambiental mais ativo, responsabilizando-as pela completa gestão do ciclo de vida dos seus produtos, diminuindo assim os impactos ambientais não apenas dos processos, mas também daqueles causados pelas atividades de descarte (GARCIA, 2006).

Para Roggers e Tibben-Lembke (1998), a logística reversa é o processo de mudar a destinação final típica dos bens para agregar valor a estes, ou dar-lhes uma destinação final adequada. Segundo os autores, por meio dos programas de logística reversa, as empresas podem substituir, reutilizar, reciclar e descartar seus produtos de maneira eficiente e eficaz, atendendo às atuais exigências do mercado e às diversas leis ambientais.

Segundo Leite (2003), por meio de sistemas operacionais diferentes em cada categoria de fluxos reversos, a logística reversa torna possível o retorno dos bens ou de seus materiais constituintes ao ciclo produtivo ou de negócios. Por meio da logística reversa se agrega valor econômico, ecológico, legal e de localização ao planejar as redes reversas e as respectivas informações e ao operacionalizar o fluxo de coleta dos bens de pós-consumo ou de pós-venda, por meio dos processamentos logísticos de consolidação, separação e seleção, até a reintegração no ciclo.

Os materiais podem retornar ao fornecedor ou podem ser revendidos se ainda estiverem em condições adequadas de comercialização. Os bens podem ainda serem recondicionados ou reciclados. Um produto só será descartado em último caso, pois a logística reversa objetiva a reintrodução dos produtos ou materiais à cadeia de valor através do ciclo produtivo ou de negócios (CHAVES et al. 2005).

Os processos de redução, reaproveitamento e reciclagem tendem a economizar recursos naturais

em todo o ciclo de vida do produto, ou seja, desde a extração da matéria prima até o descarte final do produto. Neste contexto, a gestão dos resíduos por meio da Logística Reversa é um importante sistema para a melhoria destes processos, principalmente se usada como uma ferramenta de gestão ambiental preventiva e de longo prazo (LIMA et al., 2009, p. 2).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos torna obrigatória a implantação de sistemas de logística reversa, mediante o retorno de produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço de limpeza urbana e do manejo dos resíduos sólidos, aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de uma série de produtos, incluindo os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (BRASIL, 2010).

3.6. Cenários de pós-uso

A tomada de decisão envolve incertezas e imprevistos resultantes tanto da inabilidade de conhecer o futuro e trabalhar com o inesperado, quanto da complexidade existente nos mais diversos fenômenos estudados. Assim, a utilização de cenários pode ser um importante instrumento de gestão para auxiliar nas tomadas de decisão (MASSUKADO e ZANTA, 2005).

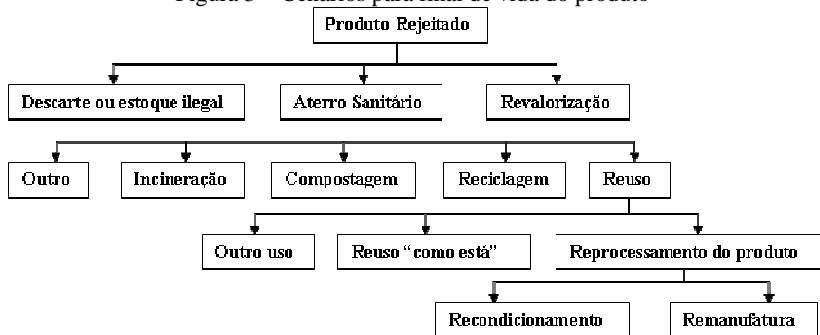
Para Melo et al (2009), a técnica de cenários pode ser entendida como um método disciplinado de se identificarem possíveis futuros, como parte do processo de planejamento estratégico.

Banar et al (2009) realizaram um estudo comparativo de 5 cenários para o manejo dos resíduos sólidos na cidade de Eiskisehir, Turquia. O estudo incluía o transporte dos resíduos e o seu tratamento. Os cenários foram analisados em três diferentes métodos de avaliação de impactos e nos três métodos o cenário 3 apresentou-se como a melhor alternativa de gerenciamento.

Ribeiro et al (2007) analisaram dois cenários referentes ao ciclo de vida completo de um componente do sistema de freios de um carro. O cenário de referência considerava o componente como vinha sendo fabricado e o segundo cenário propunha modificações no componente. Na etapa da disposição final, ambos os cenários assumiam que os metais seriam reciclados e os plásticos seriam aterrados. Os dois cenários foram comparados e concluiu-se que o cenário alternativo apresentava menores impactos ambientais em todas as categorias analisadas.

Segundo Parkinson e Thompson (2003) citados por Buzon et al (2011), os possíveis cenários para o final de vida de um produto são ilustrados na Figura 3.

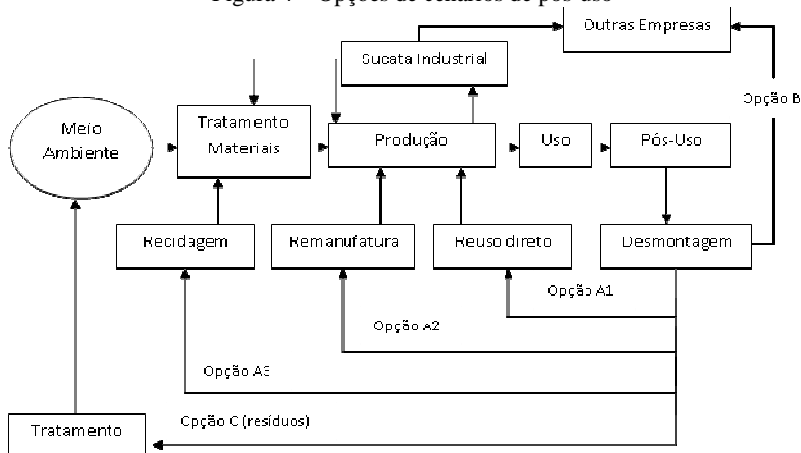
Figura 3 – Cenários para final de vida do produto



Fonte: BUZON et al (2011) *apud* PARKINSON e THOMPSON (2003)

Simboli et al (2011) propuseram cenários de fim de vida para motocicletas. Segundo os autores, a definição de cenários implica selecionar as opções que são tecnologicamente, economicamente e ambientalmente preferíveis para cada componente ou subgrupo de componentes do produto. A Figura 4 demonstra os cenários elaborados pelos referidos autores.

Figura 4 – Opções de cenários de pós-uso



Fonte: Adaptado de Simboli (2011)

Segundo Morbeg et al. e Finnveden et al (2005), citados por Sousa (2005), estudos desenvolvidos na Suécia, pelo Centro de Pesquisas em Estratégias Ambientais (FMS/KTH) e pelo Departamento de Estudos de Estratégias Ambientais (FQI) demonstram a possibilidade de aplicação da metodologia de ACV na avaliação de impactos gerados durante os processos integrantes do gerenciamento de resíduos e na hierarquização de diferentes métodos de tratamento.

Desse modo, a elaboração de diferentes cenários de pós-uso para os compressores de ar, analisados sob a ótica da ACV, constitui-se em uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão, levando-se em consideração os impactos ambientais inerentes a cada cenário analisado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Definição do compressor a ser estudado

A escolha do compressor de ar a ser estudado foi feita com base na sua demanda no mercado. Foi escolhido, em comum acordo com a Schulz S/A (empresa que o fabrica), o compressor Alternativo Lubrificado (modelo CLS BR20).

O compressor CLS BR20 possui uma venda bastante expressiva. Atualmente são vendidas 4200 unidades por ano.

4.2. Elaboração dos cenários de pós-uso

Com base na Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº12.305 de 02 de agosto de 2010, elaboraram-se cenários de pós-uso para os compressores de ar considerando a logística reversa. Assim, em todos os cenários estudados, a Empresa de Fundação e Compressores Schulz S/A seria responsável pela destinação a ser dada aos compressores obsoletos.

Para a definição dos cenários, foi feito um levantamento bibliográfico, buscando os principais cenários de fim de vida que vêm sendo estudados e também foi realizada uma reunião com um dos responsáveis pela gestão ambiental na empresa. Assim, de comum acordo com a empresa, foram definidos três cenários principais de gerenciamento do compressor de ar quanto resíduo.

Os cenários elaborados abrangem as três opções principais de um gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos: o aterramento, a reciclagem e a reutilização. É importante ressaltar que embora os cenários sejam hipotéticos, é plenamente cabível pensar em sua materialização, uma vez que estes foram elaborados em consenso com a empresa.

4.3. Local de trabalho

Embora não tenha sido feita uma coleta de dados diretamente nas instalações da Schulz S/A, diversos dados utilizados neste trabalho foram fornecidos por esta. Os dados a respeito dos materiais constituintes do compressor estudado, bem como aqueles relacionados aos processos de desmanche e remanufatura foram fornecidos pelo Departamento de Gestão Ambiental da empresa.

A Schulz S/A localiza-se na cidade de Joinville, no nordeste do estado de Santa Catarina. Segundo dados do IBGE (2010), a cidade conta com uma população de 515.288 habitantes e uma área de 1.146,837 km², constituindo uma densidade demográfica de 449,30 habitantes/km².

Joinville é a maior cidade catarinense e também o 3º pólo industrial da região sul, ficando atrás apenas das capitais gaúcha e paranaense. A cidade concentra grande parte da atividade econômica na indústria, destacando-se os setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico (IPPUJ, 2011).

Para o tratamento dos dados coletados foi utilizada a sala de análise de dados do Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida (GPACV), no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Catarina.

4.4. Dados

Para facilitar o levantamento dos dados necessários para realização da ACV foi elaborado para cada cenário de pós-uso estudado um fluxograma com os processos elementares envolvidos em cada cenário. Relacionaram-se para cada um dos processos as entradas e saídas de material e energia. Assim, de posse da listagem de todos os dados requisitados, verificaram-se quais eram primários e secundários e procedeu-se à coleta dos dados primários.

Neste trabalho, os dados a respeito dos materiais constituintes do compressor de ar estudado, bem como os requisitos para os processos de desmanche e remanufatura compreendem os dados primários. Foram relacionados os itens componentes do compressor de ar, identificando o material de que é fabricado e sua massa. A empresa já possuía esses materiais relacionados e quantificados, tendo estes sido repassados para elaboração deste trabalho. Os dados a respeito dos processos de desmanche e remanufatura do compressor de ar também foram fornecidos pela empresa.

Os dados secundários são aqueles que se obtêm de forma indireta, os quais muitas vezes não se possui subsídio para quantificar ou medir por conta própria. No caso deste trabalho, estes dados foram obtidos do banco de dados da Ecoinvent.

4.5. Análise em laboratório

A análise dos dados foi realizada através do software SimaPro. O software possibilitou a realização da avaliação do impacto ambiental inerente a cada cenário proposto e a comparação entre eles, a fim de identificar aquele que apresentaria melhor desempenho ambiental.

O SimaPro é uma detalhada ferramenta de ACV que contém métodos de avaliação de impacto. O software possui um grande banco de dados que engloba todos os detalhes da análise do ciclo de vida, podendo ser usado em análises de modelos em diferentes campos da

engenharia. Os passos de utilização estão tipicamente divididos em três partes: construção do modelo, escolha do método de avaliação e resultados globais de acordo com os requisitos do projeto (HAN e SREBRIC, 2011).

Zapparoli e Silva (2011), em seu estudo de ACV do Etanol Combustível, utilizaram o software SimaPro. Segundo os autores, o SimaPro trata-se de uma ferramenta profissional de coleta, análise e monitoramento do desempenho ambiental de produtos, processos e serviços. Através do software é possível modelar e analisar dos mais simples aos mais complexos ciclos de vida de modo sistemático e transparente, seguindo as recomendações da série ISO 14040.

O procedimento básico do software é a entrada de dados, adequação do método e geração dos resultados.

O programa apresenta métodos de avaliação de impacto de caracterização midpoint e endpoint. Nesse estudo, utilizou-se o método CML 2000, que é um método de caracterização midpoint para analisar os cenários e fazer uma comparação entre eles e o método ReCiPe, de caracterização endpoint para fazer uma segunda análise comparativa entre os cenários.

Segundo Bare et al (2000), uma das principais diferenças entre as abordagens de midpoint e endpoint é a maneira pela qual a relevância ambiental de indicadores de categorias é levada em conta: nas abordagens midpoint, a relevância ambiental é geralmente apresentada na forma de relações qualitativas, estatísticas e artigos publicados, enquanto que nas abordagens endpoint, todas as categorias são agregadas em termos de parâmetros comuns. Como exemplo, os autores citam que os impactos na saúde humana associados com a mudança climática podem ser comparados com aqueles da destruição do ozônio, usando uma base comum.

Um indicador midpoint caracteriza os fluxos elementares e outras intervenções ambientais que contribuem para o mesmo impacto. O termo “ponto médio” expressa o fato que este ponto está localizado em uma posição intermediária entre os resultados do Inventário de Ciclo de Vida e o dano (ou endpoint) no caminho do impacto (JOLLIET et al, 2003).

Ainda segundo Jolliet et al (2003), um indicador endpoint é a representação quantificada das alterações da qualidade do meio ambiente apontadas por um indicador midpoint. Na prática, o resultado de um indicador endpoint é sempre um modelo simplificado de uma

realidade muito complexa, dando apenas uma aproximação grosseira à condição de qualidade do item.

Muitos afirmam que os indicadores endpoint são mais fáceis de entender e interpretar, pois expressam questões de interesse da sociedade, tais como danos a saúde humana ou a qualidade dos ecossistemas. Desse modo, a incerteza na interpretação pode ser potencialmente menor em comparação com um método midpoint, especialmente na tomada de decisão (HEIJUNGS et al, 2003).

Outros afirmam, no entanto, que os indicadores midpoint são mais fáceis de compreender e interpretar, pois eles relacionam fatos e fenômenos, como a diminuição da camada de ozônio, enquanto que indicadores endpoint relacionam mal definidas e subjetivas noções intuitivas, como a saúde humana (HEIJUNGS et al, 2003).

No modelo de caracterização midpoint utilizado, o CML 2000, optou-se por analisar as seguintes categorias de impacto:

- Depleção de recursos abióticos;
- Acidificação;
- Eutrofização;
- Mudança climática;
- Depleção de ozônio estratosférico;
- Toxicidade humana;
- Ecotoxicidade da água doce;
- Ecotoxicidade marinha;
- Ecotoxicidade terrestre;
- Formação fotoquímica de oxidante.

Para o processo de normalização, utilizaram-se as referências globais do ano de 1990.

Por se tratar de um software adquirido pela Universidade Federal de Santa Catarina, sua utilização foi feita nas dependências do GPACV, no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

4.6. Interpretações

Nesta fase, as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto foram consideradas em conjunto. Foram fornecidos os resultados, de acordo com o objetivo e escopo do estudo, formuladas as conclusões, explicadas as limitações do estudo e feitas recomendações.

5. RESULTADOS

Neste capítulo está demonstrada a ACV dos cenários de pós-uso analisados. A metodologia foi aplicada seguindo as normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044.

5.1. Definição do objetivo do estudo

O objetivo principal deste estudo é identificar o impacto ambiental associado a cada cenário de pós-uso estudado para o compressor de ar do tipo Alternativo Lubrificado produzido pela empresa Schulz S/A e realizar uma análise comparativa entre eles, a fim de identificar qual cenário se mostra ambientalmente preferível.

Pretende-se utilizar este trabalho em um estudo mais abrangente, o qual analisa todo o ciclo de vida do compressor de ar.

O público alvo desse estudo é a empresa que produz os compressores. Porém, este pode se estender ao interesse daqueles que realizam estudos com técnicas de cenários e ACV para apoio de tomada à decisão, bem como aqueles preocupados com a gestão correta dos resíduos e o meio ambiente em geral.

5.2. Definição do escopo do estudo

O estudo será realizado em um compressor de ar do tipo alternativo lubrificado, modelo CSL 20BR, fabricado pela Schulz S/A, na cidade de Joinville, Santa Catarina. As especificações técnicas do compressor de ar CSL 20BR estão relacionadas na Tabela 1.

Será analisada a etapa do pós-uso do compressor de ar, através da definição de três cenários de manejo de resíduos para estes compressores.

Figura 5 – Compressor modelo CSL 20BR: alternativo lubrificado



Fonte: www.schulz.com.br (2011)

Tabela 1 – Especificações técnicas do compressor alternativo lubrificado

MODELO		CSL 20BR/200L
Código Produto 220/380V		922.7759-0
Código Produto 380/660V		922.7768-0
Deslocamento Teórico		20 pés ³ /min - 566 l/min
RPM		970
Pressão de Operação	Mínima	135 lbf/pol ² - 9,3 bar
	Máxima	175 lbf/pol ² - 12 bar
Unidade Compressora	Nº de Estágios	2
	Nº de Pistões	2 em linha
Motor	Potência	5 hp - 3,7 kW
	Nº de Polos	2
	Tensão (V)	Trifásico 220/380V e 380/660V
Volume do Reservatório		183 L
Volume de Óleo		1000 ml
Peso Bruto		177 kg
Peso Líquido		129 kg
Larg x Alt x Comp		500 x 1020 x 1305 mm
Nível de Ruído		84 dB (A) - medido a 1 metro de distância com fundo de 65 db (A)

Fonte: www.schulz.com.br (2011)

5.2.1. Função do Sistema de Produto

A função desse sistema é gerir a etapa de pós-uso do compressor de ar do tipo alternativo lubrificado.

5.2.2. Unidade Funcional

A unidade funcional é a gestão de um compressor de ar do tipo alternativo lubrificado obsoleto.

5.2.3. Fronteira do Sistema

O sistema considera apenas a etapa do pós-uso do compressor de ar. Para tanto, os cenários consideram a partir do recolhimento dos compressores de ar obsoletos no centro de distribuição reversa até a destinação pós-uso a ser dada a estes.

5.2.4. Pressupostos

À luz da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, todos os cenários de pós-uso a serem analisados consideram a Logística Reversa. Sendo o compressor

de ar um equipamento que pode ser enquadrado como eletroeletrônico e que possui ainda na sua constituição óleo lubrificante, é importante e recomendável que o fabricante passe a adotar tal prática.

Pensou-se em fazer o estudo para o compressor do tipo Alternativo Lubrificado (modelo CSL 20BR), por ser um modelo com venda bastante expressiva. Segundo dados da empresa, atualmente são vendidos 4200 compressores desse tipo por ano. Em estudos posteriores, os mesmos cenários poderão ser aplicados aos demais tipos de compressores produzidos.

Todos os cenários consideram a existência de um Centro de Distribuição Reversa. Este centro consiste em um local onde os consumidores levariam os compressores obsoletos e estes ficariam estocados até serem encaminhados para o destino a ser escolhido. Para este trabalho, está sendo sugerida a localização do centro de distribuição reversa no Sudeste do país, na cidade de São Paulo, por se considerar um pólo industrial bastante expressivo, onde conseqüentemente, há bastante demanda de compressores de ar.

Os dados da constituição do compressor de ar foram fornecidos pela Schulz S/A. Nesse estudo foram desconsiderados itens como manuais de instrução, embalagens e o estrado de madeira no qual o compressor é apoiado. Acredita-se que em um cenário de pós-uso, esses itens não retornariam juntamente com o compressor obsoleto.

Há ainda alguns itens para os quais os dados a respeito da constituição não foram fornecidos. Assim, estes também não foram considerados no estudo. Esses itens, porém, são em pequeno número, com massa insignificante quando comparada ao total. Portanto, não possuem relevância significativa, que possa promover qualquer alteração nos resultados obtidos.

5.2.5. Limitações

Este estudo limita-se à etapa do pós-uso dos compressores de ar.

São utilizados nesse estudo muitos dados referentes a processos industriais de reciclagem e produção de metais, transportes e tratamento de resíduos, como o aterramento. Sendo esses dados que demandam muito tempo e recursos para serem coletados na fonte, optou-se por utilizar dados secundários. Assim, uma limitação deste estudo é o fato de utilizar uma quantidade expressiva de dados secundários.

5.2.6. Cenários de Pós-uso

Foram elaborados três cenários de pós-uso, listados a seguir:

- 1) Cenário 01 - Aterramento do compressor de ar;

- 2) Cenário 02 - Reciclagem do compressor de ar;
- 3) Cenário 03 – Remanufatura e reutilização do compressor de ar.

Para melhor entendimento e auxílio na coleta de dados, os cenários acima mencionados foram divididos em seus processos elementares e elaborado um fluxograma ilustrando a sequência em que ocorrem esses processos.

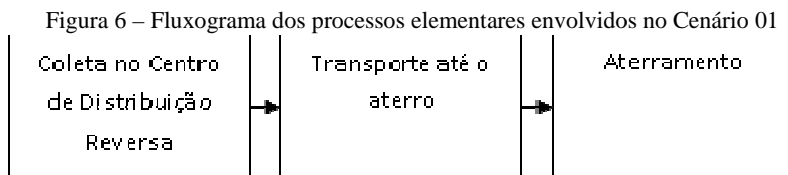
Cenário 01 – Aterramento do compressor de ar

O cenário 01 consiste no recolhimento dos compressores no centro de distribuição reversa e seu aterramento, em aterro mais próximo.

Considera-se que o aterramento é feito em aterro distante 50 quilômetros do centro de distribuição reversa, não havendo o retorno até Joinville, e por consequência, ausência de longos percursos de transporte.

O cenário 01 não promove a valorização de qualquer componente do compressor, sendo o todo o produto aterrado. É importante considerar esse cenário porque, embora não faça a gestão considerada ideal de um resíduo, ainda assim, lhe dá um destino ambientalmente adequado, que seria a disposição em um aterro devidamente licenciado, conforme preconiza a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Além disso, a análise do impacto ambiental inerente ao cenário 01 pode ser considerada como uma referência comparativa para os demais cenários.

O fluxograma das etapas envolvidas nesse cenário de pós-uso pode ser visualizado na Figura 6.



A coleta no Centro de Distribuição Reversa consiste no recolhimento dos compressores e seu carregamento na carreta que os transportará. Esse processo seria realizado com o auxílio de uma empilhadeira, movida a gás.

A carreta que realizaria o transporte seria movida a óleo diesel. Considerou-se como 50 quilômetros a distância entre o Centro de Distribuição Reversa e o aterro.

Cenário 02 – Aterramento do compressor de ar

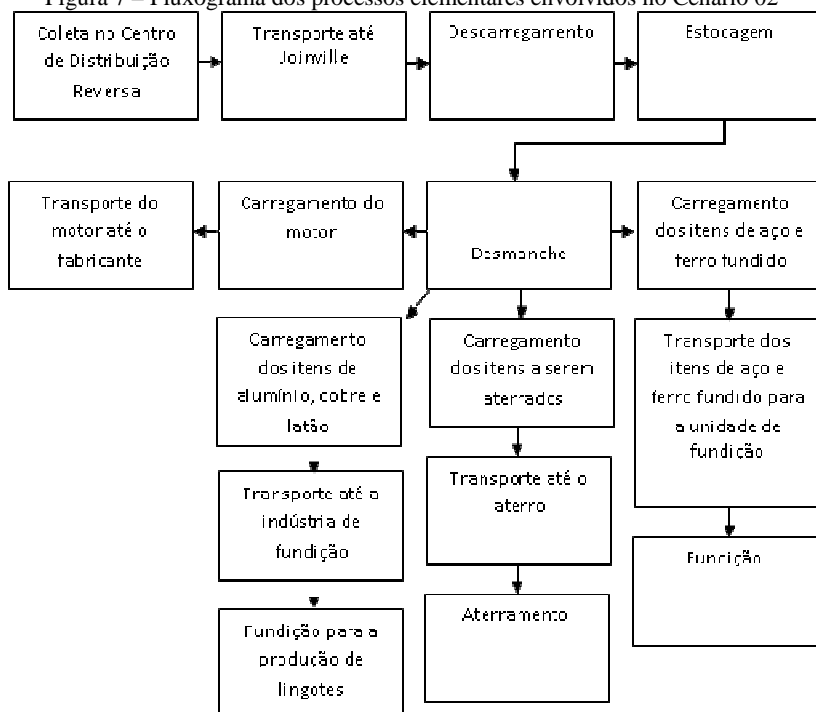
O cenário 02 considera que os compressores seriam recolhidos no Centro de Distribuição Reversa e transportados até Joinville, na divisão de compressores da Schulz S/A.

O compressor passaria por um processo de desmanche. Nesse processo, o motor seria separado do compressor para ser posteriormente enviado para o seu fabricante. A destinação que o fabricante daria ao motor não será considerada, sendo este estudo limitado até o transporte dessa unidade ao fabricante.

Os itens constituídos por metal seriam fundidos e os demais seriam enviadas para o aterro mais próximo.

As etapas envolvidas nesse cenário podem ser visualizadas na Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma dos processos elementares envolvidos no Cenário 02



A coleta no Centro de Distribuição Reversa, como no Cenário 01, seria feita com o auxílio de uma empilhadeira movida a gás. Na etapa seguinte, o transporte até Joinville, considerou-se a distância média entre São Paulo e Joinville de 533 quilômetros, conforme dados da Prefeitura Municipal de Joinville (IPPUJ, 2011). Esse processo seria efetuado com uma carreta, movida a óleo diesel.

Já na divisão de compressores da Schulz S/A, o descarregamento seria feito também com o auxílio de uma empilhadeira movida a gás. A etapa de estocagem consistiria apenas no armazenamento dos compressores obsoletos em um depósito, até serem encaminhados para a etapa seguinte, o desmanche.

Segundo dados fornecidos pela Schulz S/A, para o processo de desmontagem do compressor seriam utilizadas as seguintes ferramentas: chave Allen; chave de boca 5/8, 9/16, 7/16; alicate de anel; soquete 7/16; prolongador; parafusadeira; cachimbo 9/16; secador de volante; martelo de borracha; talhadeira; prensa ou morsa. Como insumos, são necessários energia elétrica e ar comprimido.

A unidade de fundição da Schulz S/A é capaz de fundir todos os itens compostos por aço e ferro fundido. Esses itens seriam transportados até essa unidade com o auxílio de um pequeno trator movido a óleo diesel e o carregamento deste seria feito com auxílio de uma empilhadeira, movida a gás.

Os itens compostos por alumínio, cobre e latão seriam encaminhados a uma indústria de fundição, para produção de lingotes. Considerou-se que estes itens seriam transportados por uma carreta, movida a óleo diesel, e que a distância entre a Schulz S/A e a indústria de fundição seria de 40 quilômetros. O carregamento das unidades na carreta seria feito com o auxílio de uma empilhadeira movida a gás.

Com relação ao motor, considerou-se o seu retorno para o fabricante. Sabe-se, segundo informação do fabricante, que este é constituído basicamente por metais como aço, cobre, ferro fundido e alumínio. Assim, sendo aproximadamente 97% da constituição do motor representada por estes metais, pode-se dizer que este é seu percentual de reciclabilidade. Entretanto, nesse cenário, será considerado apenas até a etapa de transporte para o fabricante. A destinação que este dará ao produto não faz parte do escopo deste estudo.

A fábrica que produz os motores localiza-se em Jaraguá do Sul. Segundo a Prefeitura Municipal de Joinville, a distância entre as duas cidades é de 46 quilômetros (IPPUJ, 2011). O transporte dos motores

seria feito por carreta movida a óleo diesel, e o carregamento dos motores neste, seria feito com o auxílio de uma empilhadeira, movida a gás.

Os itens restantes seriam enviados ao aterro mais próximo. O transporte seria feito por carreta, movida a óleo diesel, e seu carregamento nesta seria feito com auxílio de uma empilhadeira movida a gás. A distância de percurso considerada foi de 5 quilômetros, compreendendo a distância aproximada entre a Schulz S/A e o aterro mais próximo.

Cenário 03 – Remanufatura e Reutilização do compressor de ar

O cenário 03 considera a remanufatura e a reutilização do compressor de ar. Os compressores danificados seriam transportados do centro de distribuição reversa até Joinville, na divisão de compressores da Schulz S/A.

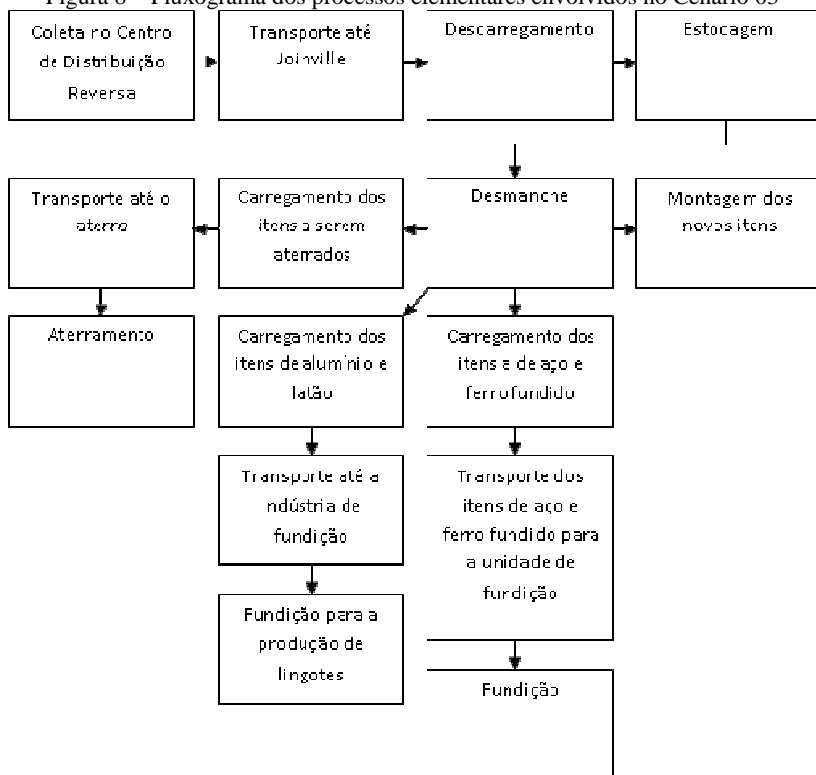
Chegados a Joinville, os compressores passariam por um processo de desmanche e remanufatura, podendo ser revendidos para mercado de segunda mão ou leiloados. Nesse caso, a indústria poderia oferecer garantias e repassar as economias de custos aos clientes.

O processo de remanufatura compreende a completa retirada dos itens danificados e sua substituição.

Mesmo sendo este um cenário de reutilização, não será feita a análise dessa etapa. O escopo deste estudo considera apenas o manejo do compressor obsoleto. Assim, será estudado e avaliado o impacto ambiental inerente apenas à remanufatura do compressor, finalizando o estudo no processo de montagem dos novos itens do compressor a ser reutilizado.

O fluxograma das etapas envolvidas na composição desse cenário pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma dos processos elementares envolvidos no Cenário 03



As etapas que compreendem desde a coleta no Centro de Distribuição Reversa até a estocagem são iguais àquelas do Cenário 02, anteriormente descrito.

Embora nesse cenário parte do compressor seja reaproveitada, considerou-se que o desmanche realizado seria igual ao desmanche do cenário 02. Isso acontece porque algumas peças que necessitam ser substituídas encontram-se em partes bastante internas do compressor, exigindo uma desmontagem total para poder efetuar sua troca. Assim, as ferramentas seriam as mesmas relacionadas no cenário 02, bem como a demanda por energia elétrica e ar comprimido.

Os itens a serem substituídos foram definidos juntamente com a Schulz S/A. Foi feito um levantamento de quais itens geralmente

apresentam problemas e precisam ser substituídos em um compressor que já atingiu os 10 anos de sua vida útil.

O compressor remanufaturado, com a substituição das peças, teria, segundo a empresa, uma segunda vida útil de 5 anos.

A destinação dos itens danificados seguiria o mesmo processo do Cenário 02. Os itens danificados compostos por aço e ferro fundido seriam fundidos na unidade de fundição da Schulz S/A e os demais itens metálicos seriam fundidos para produção de lingotes em indústria de fundição especializada. Os demais itens seriam aterrados.

Segundo dados da empresa, o processo de montagem dos novos itens envolve a montagem das peças, a colocação de adesivos e pintura. Além disso, seria efetuada uma troca de óleo. Os insumos necessários para esse processo são energia elétrica; ar comprimido; gás; graxa; tinta; solvente; água; detergente; grampos de aço. O processo de montagem teria como resíduos borra de cola para vedação; strash; fita adesiva; estopas contaminadas; plástico; graxa e água.

5.3. Análise do Inventário do Ciclo de Vida

Esta etapa do trabalho compreende a coleta de dados para quantificar as entradas e saídas relevantes no sistema de produto.

5.3.1. Coleta de dados

Os dados coletados foram os dados primários. Os dados secundários foram fornecidos pela base de dados da Ecoinvent, disponível no software SimaPro.

Foram levantados dados a respeito da constituição do compressor de ar, relacionando o material constituinte e massa em cada item que compõe o compressor de ar. Esses dados já haviam sido previamente coletados pela empresa, tendo esta os repassado para a realização deste estudo.

Os dados relativos à remanufatura e aos processos de desmanche e montagem de itens foram também fornecidos pela empresa.

5.3.2. Inventário do Ciclo de Vida

O inventário do ciclo de vida compreende as entradas e saídas de materiais e energia nos cenários de pós-uso estudados. O inventário está dividido entre os cenários estudados, ilustrando as entradas e saídas requeridas em cada um dos processos elementares envolvidos no gerenciamento do pós-uso do compressor de ar, objeto deste estudo.

Cenário 01 - Aterramento do compressor de ar

Neste cenário estão envolvidos três processos elementares: Coleta no Centro de Distribuição Reversa; Transporte até o aterro e Aterramento.

- ***Coleta no Centro de Distribuição Reversa***

Neste processo elementar é necessária a utilização de uma empilhadeira movida a gás. O tempo de utilização da empilhadeira, envolvendo movimentos horizontais e verticais para o carregamento de um compressor na carreta, foi considerado como 30 segundos.

Zanghelini (2010), em seu estudo de ACV da produção do reservatório de ar do compressor modelo CLS BR20, levantou dados a respeito da autonomia de uma empilhadeira. Segundo informações coletadas pelo autor no setor de almoxarifado de produtos inflamáveis da empresa, uma empilhadeira consome 0,00835 kg de gás GLP durante 20 segundos de operação. Essa será a referência de consumo de gás para empilhadeira utilizada nesse estudo.

Assim, considerou-se que para um período de utilização de 30 segundos uma empilhadeira consome 0,012525 kg de gás.

Para esse processo e para todos os itens posteriores que relacionam a utilização da empilhadeira, considera-se como entrada apenas o combustível requerido para a operação desta. Os impactos relacionados à produção, operação, manutenção e disposição final da empilhadeira não foram considerados, uma vez que a vida útil desta é muito grande, quando comparada ao tempo despendido para realização desta tarefa. Seu uso pode ser feito em inúmeros processos como este. Assim, na realização de um processo apenas, tais impactos podem ser considerados como desprezíveis.

- ***Transporte até o aterro***

Nesse processo é necessária a utilização de um meio de transporte que leve os compressores até o aterro. Considerou-se a utilização de uma carreta, com capacidade de transporte de 21 toneladas, movida a óleo diesel. A distância de percurso considerada foi de 50 quilômetros.

- ***Aterramento***

A entrada desse processo é o compressor de ar a ser aterrado. A Tabela 2 relaciona os itens componentes do compressor, conforme a denominação interna utilizada na empresa, com suas respectivas massas.

Tabela 2 – Cenário 01: Itens a serem aterrados

AÇO GALVANIZADO	
Item componente	Massa (kg)
AR PRESSAO DN=1/4* FOSFATIZADA	0,00200
AR PRESSAO DN=3/8* FOSFATIZADA	0,00800
AR PRESSAO DN=1/4* FOSFATIZADA	0,00300
AR PRESSAO DN=5/16*	0,00300
AR PRESSAO DN=3/8* FOSFATIZADA	0,01200
PACC 1/4UNCx1.1/4*RI (CL-12.9)	0,00900
POR SEXT M22x1,5FOSFAT.(CLASSE-10)	0,07000
PACC M3x0,5x8mm(CL-12.9)	0,01200
AR PRESSAO DN=1/4* FOSFATIZADA	0,00200
AR PRESSAO DN=1/4* FOSFATIZADA	0,00200
ANEL TRAVA	0,00100
PINO PIST AP	0,03800
PASC 1/4x3/8*2A RI	0,00100
PACC 1/4*x1.1/2*MR	0,02000
PACC 1/4*x1.1/2*MR	0,02000
PCS 3/8* UNC x 1*	0,10800
PACC 3/8*UNCx1 1/2	1,80000
PCS 5/16* UNC x 1*	0,02400
PCS 5/16* UNC x 1 1/4*	0,01500
PACC 1/4UNCx1.3/4*	0,01100
PCS 3/8* UNC x 7/8*	0,06400
POR SEXT 1/4*	0,00800
POR SEXT 3/8*	0,03200
PCS 1/4* UNC x 3/4*	0,01200
PCS 3/8* UNC x 1.1/4*	0,08800
BARRA FIX MOTOR	0,50000
RETENTOR 30 x 50 x 10mm	0,02000
Massa total Aço Galvanizado	2,88500
AÇO BICROMATIZADO	
Item componente	Massa (kg)
AR LISA B 7/8*	0,06000
ESPACADOR d=20.0m	0,01400
BAT PALHETA MS2,3	0,02400
BATENTE PALHETAMSL-15MAX	0,02400
ARRUELA LISA di=6,5 x D12mm.	0,00200
BUCHA GUIA BIELA	0,02400
ROLAMENTO AGULHA	0,01500
ARRUELA LISA di=6,5 x D12mm.	0,00200
BUCHA GUIA BIELA MSL20MAX BAL	0,02400
ROLAMENTO RIGIDO DE ESFERAS	0,10000
ROLAMENTO	0,34600

AR LISA 3/8* BICROMATIZADO	0,02000
Massa total Aço Bicromatizado	0,65500
AÇO LAMINADO	
Item componente	Massa (kg)
CHAVETA MEIA-LUA	0,00500
Massa total Aço Laminado	0,00500
AÇO INOX	
Item componente	Massa (kg)
PALHETA	0,00400
PALHETA	0,00400
PALHETA V20MAX	0,00200
PALHETA (INOX)	0,01400
FITA A 0,400x 90	0,03200
Massa total Aço Inox	0,05600
AÇO BAIXO CARBONO	
Item componente	Massa (kg)
RESERVATÓRIO DE AR	69,17300
Massa total Aço baixo carbono	69,17300
AÇO (MOTOR)	
Item componente	Massa (kg)
ROLAMENTO	0,15000
ESTATOR BOBINADO	12,20400
CARCAÇA	3,24800
ROTOR	5,32200
CHAVETA	0,00600
HASTES	0,53600
ROLAMENTO	0,01600
Massa total aço	94,25600
AÇO-FERRO FUNDIDO	
Item componente	Massa (kg)
KIT NA-7274 2 (MONTAGEM)	0,02000
KIT NA-7275 90mm (MONTAGEM)	0,00400
Massa total Aço-Ferro Fundido	0,02400
AÇO-ALUMÍNIO-POLIPROPILENO	
Item componente	Massa (kg)
PRESS AUTOM 135 175 PSIG	0,37000
Massa total Aço-Alumínio-Popipropileno	0,37000
ALUMÍNIO	
Item componente	Massa (kg)
FIO CONECTOR 1.0mm ² x 70mm PARA PRESS. COMANDO	0,00600
TB ALIVIO 20MAX	0,00700
BIELA BP BIPARTIDA	0,17100
CORPO AP BIEL USIN BIPART	0,12800
CAPA BIELA BIPARTIDA USIN	0,40100

PIST 90MM	0,47100
Massa total Alumínio	1,18400
COBRE	
Item componente	Massa (kg)
SERP INT	0,48400
SERP DESC	0,30500
AR LISA 6,5x11,0x1,0	0,00100
Massa total Cobre	0,79000
LATAÃO	
Item componente	Massa (kg)
COT L 1/2* NPT x TB 5/8* (FLANGEADO)	0,33000
VALV RET 3/4*NPT M	0,21400
VALV SEG 1/4*	0,03200
Massa total Latão	0,57600
PVC ACRÍLICO	
Item componente	Massa (kg)
ADES PELICULA67X44mm	0,00100
ADES LIG PRESS	0,00100
ADES INF SEGURANCA	0,00800
ADES CSL20BR/200LBRAVO	0,04000
ADES INF CSL-20BR 200L	0,00200
ADES TESTE HIDRO	0,00100
Massa total PVC Acrílico	0,05300
FERRO FUNDIDO	
Item componente	Massa (kg)
BUJAO 1/4*NPT F.M.	0,01400
VOL 420 1A	11,20000
BUJAO 1/4*NPT F.M.	0,01400
CIL MSL20MAX BALUSINADO	6,93500
CARTER USINADO	9,12000
TAMPA DO CILINDRO	4,07000
PL VAL	1,60000
FLANGE	0,33300
EIXO MAN	3,65000
PIST AP 2*	0,31000
META 5CV 2P60Hz 220/380V	23,00000
POL D=120mm 1xAFURO d=19.05	0,96000
BUJAO 1/4*NPT F.M.	0,01400
Massa total Ferro Fundido	61,22000
FERRO FUNDIDO (MOTOR)	
Item Componente	Massa
TAMPA TRASEIRA	0,86300
TAMPA DIANTEIRA	1,24000
Massa total Ferro Fundido	

POLIÉSTER	
Item componente	Massa (kg)
ETIQ AD DT 70x47,8	0,00700
TINTA PO POL	0,06300
FILTRO 3/4 NPT PLASTICO	0,36000
Massa total Poliéster	0,43000
POLIETILENO	
Item componente	Massa (kg)
BATOQUE PL. 1/2*	0,00200
Massa total Polietileno	0,00200
POLIPROPILENO-LATÃO	
Item componente	Massa (kg)
VARETA DE OLEO C/ INSERTO (M18) E RESPIRO CONICO	0,02500
MANOM V 250 21/4NPT	0,07500
Massa total Polipropileno-Latão	0,10000
POLIPROPILENO (MOTOR)	
Item Componente	Massa (kg)
VENTILADOR	0,06500
Massa total Polipropileno	0,06500
ARAMIDA-POLIÉSTER	
Item componente	Massa (kg)
CORREIA A- 64 *V*	0,17800
Massa total Aramida-Poliéster	0,17800
NYLON	
Item componente	Massa (kg)
ABR NYLON 2,6x200(T-18L) PRETA	0,00100
Massa total Nylon	0,00100
ESMALTE	
Item componente	Massa (kg)
ESMALTE SINT.PRETO ISENTO DE CHUMBO	0,45000
Massa total Esmalte	0,45000
ÓLEO MINERAL	
Item componente	Massa (kg)
OL SAE 30 ISO 100	0,90000
Massa total Óleo Mineral	0,90000
PAPELÃO HIDRÁULICO	
Item componente	Massa (kg)
JUNTA FLAN S/AMIAN	0,00800
JUNTA INF PLACA S/AMIANTO	0,02500
JUNTA CIL S/AMIANMSL	0,01000
JUN SUP PLAC S/AMIANTO	0,02500
Massa total Papelão Hidráulico	0,06800
PAPEL	
Item componente	Massa (kg)

RIBBON 83mm x300m	0,29000
ADES PRESSOSTATO DE COMANDO (POR/ING/ESP)	0,00100
ETIQ AD ID 42x80mm	0,00050
ETIQ ID PECA SAC	0,00100
ETIQ AD ID 42x80mm	0,00050
ADES VALV SEG 185PSI/60SCFM	0,00001
Massa total Papel	0,29301
MASSA TOTAL A SER ATERRADA (kg)	163,06301

Cenário 02 – Reciclagem do compressor de ar

Os processos elementares envolvidos nesse cenário são: Coleta no Centro de Distribuição Reversa; Transporte até Joinville; Descarregamento; Estocagem; Desmanche; Carregamento dos itens de aço e ferro fundido; Transporte dos itens de aço e ferro fundido para a unidade de fundição; Fundição dos itens de aço e ferro fundido; Carregamento dos itens de alumínio, cobre e latão; Transporte até a indústria de fundição; Fundição para a produção de lingotes; Carregamento dos itens a serem aterrados; Transporte até o aterro; Aterramento.

- ***Coleta no Centro de Distribuição Reversa***

Neste processo elementar é necessária a utilização de uma empilhadeira movida a gás. Considerou-se o tempo de uso como 30 segundos. A entrada requerida são 0,012525 kg de gás.

- ***Transporte até Joinville***

Nesse processo considerou-se a utilização de uma carreta, com capacidade de transporte de 21 toneladas, movida a óleo diesel. A distância de percurso considerada foi de 533 quilômetros.

- ***Descarregamento***

Esse processo seria realizado com o auxílio de uma empilhadeira movida a gás por um período de 30 segundos. A entrada requerida são 0,012525 kg de gás.

- ***Estocagem***

No processo de estocagem não há entradas ou saídas a serem contabilizadas.

- ***Desmanche***

As entradas requeridas nesse processo são 0,38399 kWh de energia elétrica e 1,3654 m³ de ar comprimido.

- **Carregamento dos itens de aço e ferro fundido**

Esse processo seria efetuado com o auxílio de uma empilhadeira movida a gás por um período de 30 segundos. A entrada do processo são 0,012525 kg de gás.

- **Transporte dos itens de aço e ferro fundido para a unidade de fundição**

A unidade de fundição localiza-se a 50 metros de distância do local de estocagem dos compressores. O transporte dos itens constituídos por aço e ferro fundido até esta seria feito com o auxílio de um pequeno trator, movido a óleo diesel.

- **Fundição dos itens de aço e ferro fundido**

O processo de fundição realizado na Schulz S/A é feito através do sistema de fusão composto por fornos elétricos à indução.

Os itens de aço e ferro fundido, relacionados conforme a denominação interna utilizada na empresa, bem como sua massa, estão especificados na Tabela 3.

Tabela 3 – Cenário 02: Itens de aço e ferro a serem fundidos

ÁÇO GALVANIZADO		
Item componente		Massa (kg)
AR PRESSAO DN=1/4*	FOSFATIZADA	0,00200
AR PRESSAO DN=3/8*	FOSFATIDADA	0,00800
AR PRESSAO DN=1/4*	FOSFATIZADA	0,00300
AR PRESSAO DN=5/16*		0,00300
AR PRESSAO DN=3/8*	FOSFATIDADA	0,01200
PACC 1/4UNCx1.1/4*RI		0,00900
POR SEXT M22x1,5FOSFAT.		0,07000
PACC M3x0,5x8mm		0,01200
AR PRESSAO DN=1/4*	FOSFATIZADA	0,00200
AR PRESSAO DN=1/4*	FOSFATIZADA	0,00200
ANEL TRAVA 16MMPARA FUROS		0,00100
PINO PIST AP		0,03800
PASC 1/4x3/8*2A RI		0,00100
PACC 1/4*x1.1/2*MR		0,02000
PACC 1/4*x1.1/2*MR		0,02000
PCS 3/8* UNC x 1* RI POLIDO		0,10800
PACC 3/8*UNCx1 1/2RI		1,80000
PCS 5/16* UNC x 1*RI ZB		0,02400
PCS 5/16* UNC x 1 1/4* RI ZB		0,01500
PACC 1/4UNCx1.3/4* MR		0,01100
PCS 3/8* UNC x 7/8*RI		0,06400
POR SEXT 1/4*NC		0,00800

POR SEXT 3/8*NC	0,03200
PCS 1/4* UNC x 3/4*	0,01200
PCS 3/8* UNC x 1.1/4*	0,08800
BARRA FIX MOTOR	0,50000
RETENTOR 30 x 50 x 10mm	0,02000
Massa total Aço Galvanizado	2,88500

AÇO BICROMATIZADO

Item componente	Massa (kg)
AR LISA B 7/8*	0,06000
ESPACADOR d=20.0m	0,01400
BAT PALHETA	0,02400
BATENTE PALHETAMSL	0,02400
ARRUELA LISA di=6,5 x D12mm.	0,00200
BUCHA GUIA BIELA	0,02400
ROLAMENTO AGULHA	0,01500
ARRUELA LISA di=6,5 x D12mm.	0,00200
BUCHA GUIA BIELA	0,02400
ROLAMENTO RIGIDO DE ESFERAS	0,10000
ROLAMENTO	0,34600
AR LISA 3/8* BICROMATIZADO	0,02000
Massa total Aço Bicromatizado	0,65500

AÇO LAMINADO

Item componente	Massa (kg)
CHAVETA MEIA-LUA (VOL 10/15)	0,00500
Massa total Aço Laminado	0,00500

AÇO INOX

Item componente	Massa (kg)
PALHETA	0,00400
PALHETA	0,00400
PALHETA	0,00200
PALHETA	0,01400
FITA A 0,400x 90	0,03200
Massa total Aço Inox	0,05600

AÇO BAIXO CARBONO

Item componente	Massa (kg)
RESERVATÓRIO DE AR	69,173
Massa total Aço baixo carbono	69,173

AÇO-FERRO FUNDIDO

Item componente	Massa (kg)
KIT NA-7274 2 (MONTAGEM)	0,02000
KIT NA-7275 90mm (MONTAGEM)	0,00400
Massa total Aço-Ferro Fundido	0,02400

FERRO FUNDIDO

Item componente	Massa (kg)
-----------------	------------

BUJAO 1/4*NPT	0,01400
VOL 420 1A	11,20000
BUJAO 1/4*NPT	0,01400
CIL MSL20MAX BALUSINADO	6,93500
CARTER USINADO	9,12000
TAMPA DO CILINDRO	4,07000
PL VAL	1,60000
FLANGE	0,33300
EIXO MAN	3,65000
PIST AP 2*	0,31000
META 5CV 2P60Hz 220/380V	23,00000
POL D=120mm 1xAFURO d=19.05	0,96000
BUJAO 1/4*NPT F.M.	0,01400
Massa total Ferro Fundido	61,22000
ESMALTE	
Item componente	Massa (kg)
ESMALTE SINT.PRETO ISENTO DE CHUMBO	0,45000
Massa total Esmalte	0,45000
MASSA TOTAL DE AÇO A SER FUNDIDA (kg)	72,77400
MASSA TOTAL DE FERRO A SER FUNDIDA (kg)	61,22000
MASSA TOTAL A SER FUNDIDA (kg)	134,46800

O esmalte relacionado na tabela diz respeito ao reservatório de ar. Se por causa dessa pintura seja necessário efetuar qualquer tipo de tratamento prévio à fundição, este não foi considerado no estudo.

- ***Carregamento dos itens de alumínio, cobre e latão***

Esse processo consiste em colocar os itens metálicos na carreta que os transportaria até a indústria de fundição. Seria utilizada uma empilhadeira, movida a gás, durante um período de 30 segundos, consumindo 0,012525 kg de gás.

- ***Transporte até a indústria de fundição***

Considerou-se que o transporte seria realizado por uma carreta, com capacidade de carga de 21 toneladas. O combustível utilizado seria óleo diesel e a distância entre a Schulz e a indústria de fundição seria de 40 quilômetros.

- ***Fundição para a produção de lingotes***

Os itens compostos por alumínio, cobre e latão seriam fundidos para a produção de lingotes. Esses itens, bem como sua massa, estão discriminados na Tabela 4 conforme a denominação interna utilizada na empresa.

Tabela 4 – Itens a serem fundidos para a produção de lingotes

ALUMÍNIO	
Item componente	Massa (kg)
FIO CONECTOR 1.0mm ² x 70mm PARA PRESS. COMANDO	0,00600
TB ALIVIO	0,00700
BIELA BP BIPARTIDA	0,17100
CORPO AP BIEL USIN BIPART	0,12800
CAPA BIELA BIPARTIDA USIN	0,40100
PIST 90MM BP	0,47100
Massa total Alumínio	1,18400
COBRE	
Item componente	Massa (kg)
SERP INT	0,48400
SERP DESC	0,30500
AR LISA 6,5x11,0x1,0 COBRE	0,00100
Massa total Cobre	0,79000
LATÃO	
Item componente	Massa (kg)
COT L 1/2* NPT x TB 5/8* (FLANGEADO)	0,33000
VALV RET 3/4*NPT M	0,21400
VALV SEG 1/4* ASME185 P/COMPRA	0,03200
Massa total Latão	0,57600
MASSA TOTAL A SER FUNDIDA (kg)	2,55000

- ***Carregamento do motor***

O motor seria carregado na carreta que o transportaria até o fabricante com o auxílio de uma empilhadeira, movida a gás. Considerou-se como 30 segundos o tempo necessário para realizar essa tarefa, consumindo 0,012525 kg de gás.

- ***Transporte do motor até o fabricante***

O transporte seria efetuado por uma carreta, com capacidade de carga de 21 toneladas, movida a óleo diesel. A distância a ser percorrida seria de 46 quilômetros.

- ***Carregamento dos itens a serem aterrados***

O carregamento dos itens na carreta seria feito com auxílio de uma empilhadeira, movida a gás. O tempo necessário para realizar essa atividade seria de 30 segundos, consumindo 0,012525 kg de gás.

- ***Transporte até o aterro***

A distância entre a Schulz S/A e o aterro mais próximo é de 5 quilômetros. Assim, para realização desse processo, seria utilizada uma

carreta, com capacidade de transporte de 21 toneladas, movida a óleo diesel.

- **Aterramento**

Seriam enviados para o aterro todos os itens não metálicos. Esses compreendem os adesivos, a correia, as abraçadeiras de nylon e as juntas de papelão hidráulico. O pressostato automático e o manômetro seriam aterrados por serem compostos por aço-alumínio-propileno e propileno-latão, respectivamente, sendo difícil a separação destes materiais para fins diversos. O óleo lubrificante e a vareta de óleo com inserto e respiro cônico também seriam aterrados por se tratarem de resíduos perigosos, classificados como Classe I segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004).

A descrição dos itens a serem aterrados, conforme denominação interna utilizada na empresa, bem como suas massas, estão discriminadas Tabela 5

Tabela 5 – Cenário 02: Itens a serem aterrados

PVC ACRÍLICO	
Item componente	Massa (kg)
ADES PELICULA67X44mm	0,00100
ADES LIG PRESS	0,00100
ADES INF SEGURANCA	0,00800
ADES	0,04000
ADES INF C	0,00200
ADES TESTE HIDRO 2 C/ PINTURA EPOXI	0,00100
Massa total PVC Acrílico	0,05300
POLIÉSTER	
Item componente	Massa (kg)
ETIQ AD	0,00700
TINTA PO POL PR	0,06300
FILTRO 3/4 NPT PLASTICO	0,36000
Massa total Poliéster	0,43000
POLIETILENO	
Item componente	Massa (kg)
BATOQUE PL. 1/2*POLIETILENO	0,00200
Massa total Polietileno	0,00200
ARAMIDA-POLIÉSTER	
Item componente	Massa (kg)
CORREIA A- 64 *V*	0,17800
Massa total Aramida-Poliéster	0,17800
NYLON	
Item componente	Massa (kg)

ABR NYLON 2,6x200(T-18L) PRETA	0,00100
Massa total Nylon	0,00100
ÓLEO MINERAL	
Item componente	Massa (kg)
OL SAE 30 ISO 100	0,90000
Massa total Óleo Mineral	0,90000
PAPELÃO HIDRÁULICO	
Item componente	Massa (kg)
JUNTA FLAN	0,00800
JUNTA INF PLACA	0,02500
JUNTA CIL	0,01000
JUN SUP PLAC	0,02500
Massa total Papelão Hidráulico	0,06800
PAPEL	
Item componente	Massa (kg)
RIBBON 83mm x300m	0,29000
ADES PRESSOSTATO DE COMANDO (POR/ING/ESP)	0,00100
ETIQ AD ID 42x80mm	0,00050
ETIQ ID PECA SAC	0,00100
ETIQ AD ID 42x80mm	0,00050
ADES VALV SEG	0,00001
Massa total Papel	0,29301
AÇO-ALUMÍNIO-POLIPROPILENO	
Item componente	Massa (kg)
PRESS AUTOM	0,37000
Massa total Aço-Alumínio-Polipropileno	0,37000
POLIPROPILENO-LATÃO	
Item componente	Massa (kg)
VARETA DE OLEO C/ INSERTO (M18) E RESPIRO CONICO	0,02500
MANOM V 250 21/4NPT	0,07500
Massa total Polipropileno-Latão	0,10000
MASSA TOTAL A SER ATERRADA (kg)	2,39501

- **Processos evitados**

O fato de reciclar os metais por meio da fundição evita que sejam produzidos novos metais, a partir de matéria prima bruta. Nesse trabalho, considerou-se que a reciclagem dos metais teria 100 % de aproveitamento. Ou seja, para cada quilo de metal fundido, seria evitada a produção de um quilo desse metal, a partir de matéria prima bruta.

Assim, os processos de produção evitados constituem-se em impactos positivos inerentes a esse cenário.

Foram considerados como evitados a produção a partir de matéria prima bruta de 73,23600 kg de aço; 61,23200 kg de ferro fundido; 1,18400 kg de alumínio; 0,79000 kg de cobre e 0,57600 kg de latão por compressor reciclado.

Cenário 03 – Remanufatura e reutilização do compressor de ar

Os processos elementares envolvidos nesse cenário são: Coleta no Centro de Distribuição Reversa; Transporte até Joinville; Descarregamento; Estocagem; Desmanche; Carregamento dos itens de aço e ferro fundido; Transporte dos itens de aço e ferro fundido para a unidade de fundição; Fundição dos itens de aço e ferro fundido; Carregamento dos itens de alumínio e latão; Transporte até a indústria de fundição; Fundição para a produção de lingotes; Carregamento dos itens a serem aterrados; Transporte até o aterro; Aterramento; e Montagem dos novos itens.

- ***Coleta no Centro de Distribuição Reversa***

Neste processo elementar é necessária a utilização de uma empilhadeira movida a gás. Considerou-se o tempo de utilização de 30 segundos para realizar esse processo, consumindo 0,012525 kg de gás.

- ***Transporte até Joinville***

Nesse processo considerou-se a utilização de uma carreta, com capacidade de transporte de 21 toneladas, movida a óleo diesel. A distância de percurso considerada foi de 533 quilômetros.

- ***Descarregamento***

Esse processo seria realizado com o auxílio de uma empilhadeira movida a gás por um período de 30 segundos. O consumo de gás seria de 0,012525 kg.

- ***Estocagem***

No processo de estocagem não há entradas ou saídas a serem contabilizadas.

- ***Desmanche***

As entradas requeridas nesse processo são 0,38399 kWh de energia elétrica e 1,3654 m³ de ar comprimido.

- ***Carregamento dos itens de aço e ferro fundido***

Esse processo seria efetuado com o auxílio de uma empilhadeira movida a gás, durante um período de 30 segundos. O consumo de gás seria de 0,012525 kg.

- *Transporte dos itens de aço e ferro fundido para a unidade de fundição*

A unidade de fundição localiza-se a 50 metros de distância do local de estocagem dos compressores. O transporte dos itens constituídos por aço e ferro fundido até esta seria feito com o auxílio de um pequeno trator, movido a óleo diesel.

- *Fundição dos itens de aço e ferro fundido*

Os itens a serem fundidos, conforme a denominação interna utilizada na empresa, bem como sua massa, estão especificados na Tabela 6.

Tabela 6 – Cenário 03: Itens de aço e ferro a serem fundidos

AÇO BAIXO CARBONO	
Item componente	Massa (kg)
RESERVATÓRIO DE AR	69,173
Massa total Aço baixo carbono	69,173
AÇO LAMINADO	
Item componente	Massa (kg)
CHAVETA MEIA-LUA (VOL 10/15)	0,00500
Massa total Aço Laminado	0,00500
AÇO INOX	
Item componente	Massa (kg)
PALHETA	0,00400
PALHETA	0,00400
PALHETA	0,00200
PALHETA	0,01400
Massa total Aço Inox	0,02400
AÇO BICROMATIZADO	
Item componente	Massa (kg)
BAT PALHETA	0,02400
BATENTE	0,02400
ROLAMENTO AGULHA	0,01500
ROLAMENTO RIGIDO DE ESFERAS	0,10000
ROLAMENTO	0,34600
Massa total Aço Bicromatizado	0,50900
AÇO GALVANIZADO	
Item componente	Massa (kg)
PACC M3x0,5x8mm	0,01200
RETENTOR 30 x 50 x 10mm	0,02000
PINO PIST AP	0,03800
ANEL TRAVA 16MMPARA FUROS	0,00100
Massa total Aço Galvanizado	0,07100

AÇO-FERRO FUNDIDO	
Item componente	Massa (kg)
KIT NA-7274 2 (MONTAGEM)	0,02000
KIT NA-7275 90mm (MONTAGEM)	0,00400
Massa total Aço-Ferro Fundido	0,02400
FERRO FUNDIDO	
Item componente	Massa (kg)
CIL MSL20MAX BALUSINADO	6,93500
PIST AP 2*	0,31000
EIXO MAN	3,65000
PL VAL	1,60000
Massa total Ferro Fundido	12,49500
ESMALTE	
Item componente	Massa (kg)
ESMALTE SINT.PRETO ISENTO DE CHUMBO	0,45000
Massa total Esmalte	0,45000
MASSA TOTAL DE AÇO A SER FUNDIDA (kg)	69,78200
MASSA TOTAL DE FERRO A SER FUNDIDA (kg)	12,49500
MASSA TOTAL A SER FUNDIDA (kg)	82,75100

- ***Carregamento dos itens de alumínio e latão***

Esse processo consiste em colocar os itens metálicos na carreta que os transportaria até a indústria de fundição. Seria utilizada uma empilhadeira, movida a gás, durante um período de 30 segundos, consumindo 0,012525 kg de gás.

- ***Transporte até a indústria de fundição***

Nesse processo seria utilizada uma carreta com capacidade de carga de 21 toneladas movida a óleo diesel. A distância de percurso considerada foi de 40 quilômetros.

- ***Fundição para a produção de lingotes***

Os itens metálicos compostos por latão e alumínio seriam enviados para uma indústria de fundição para a produção de lingotes.

Os itens a serem fundidos, conforme denominação interna da empresa, bem como sua massa, estão discriminados na Tabela 7.

Tabela 7 – Cenário 03: Itens a serem fundidos para a produção de lingotes

LATÃO	
Item componente	Massa (kg)
VALV RET 3/4*NPT M	0,21400
Massa total Latão	0,21400
ALUMÍNIO	
Item componente	Massa (kg)

BIELA BP BIPARTIDA	0,17100
PIST 90MM BP	0,47100
Massa total Alumínio	0,64200
MASSA TOTAL A SER FUNDIDA	0,85600

- **Carregamento dos itens a serem aterrados**

Os itens a serem enviados ao aterro seriam transportados por uma carreta. O seu carregamento seria feito com auxílio de uma empilhadeira, movida a gás. A empilhadeira seria utilizada por um período de 30 segundos, consumindo 0,012525 kg de gás.

- **Transporte até o aterro**

A distância entre a Schulz S/A e o aterro mais próximo é de 5 quilômetros. O transporte dos itens a serem aterrados seria realizado por uma carreta com capacidade de carga de 21 toneladas, movida a óleo diesel.

- **Aterramento**

Seriam enviados para o aterro os itens não metálicos. Estes compreendem: a correia e as juntas de papelão hidráulico, o pressostato automático e o manômetro. Estes dois últimos, embora possuam metal na sua constituição, seriam aterrados por serem compostos por aço-alumínio-propileno e propileno-latão, respectivamente, sendo difícil a separação destes materiais para fins diversos. O óleo lubrificante e a vareta de óleo com inserto e respiro cônico também seriam aterrados por se tratarem de resíduos perigosos, classificados como Classe I segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004).

A descrição dos itens compostos por esses materiais, conforme a denominação interna utilizada na empresa, bem como suas massas, estão discriminadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Cenário 03: Itens a serem aterrados

ARAMIDA-POLIÉSTER	
Item componente	Massa (kg)
CORREIA A- 64 *V*	0,17800
Massa total Aramida-Poliéster	0,17800
ÓLEO MINERAL	
Item componente	Massa (kg)
OL SAE 30 ISO 100	0,90000
Massa total Óleo Mineral	0,90000
PAPELÃO HIDRÁULICO	
Item componente	Massa (kg)
JUNTA FLAN	0,00800

JUNTA INF PLACA	0,02500
JUNTA CIL	0,01000
JUN SUP PLAC	0,02500
Massa total Papelão Hidráulico	0,06800
POLIÉSTER	
Item componente	Massa (kg)
FILTRO 3/4 NPT PLASTICO	0,36000
Massa total Poliéster	0,36000
AÇO-ALUMÍNIO-POLIPROPILENO	
Item componente	Massa (kg)
PRESS AUTOM	0,37000
Massa total Aço-Alumínio-Polipropileno	0,37000
POLIPROPILENO-LATÃO	
Item componente	Massa (kg)
VARETA DE OLEO C/ INSERTO	0,02500
MANOM V	0,07500
Massa total Polipropileno-Latão	0,10000
MASSA TOTAL A SER ATERRADA	1,97600

- *Montagem dos novos itens*

Os itens a serem substituídos estão discriminados na Tabela 9.

Tabela 9 – Cenário 03: Itens a serem substituídos no processo de remanufatura

Item componente	Massa (kg)
RESERVATÓRIO DE AR	69,173
CHAVETA MEIA-LUA	0,00500
PALHETA	0,00400
PALHETA	0,00400
PALHETA	0,00200
PALHETA	0,01400
BAT PALHETA	0,02400
BATENTE PALHETAMSL	0,02400
ROLAMENTO AGULHA	0,01500
ROLAMENTO RIGIDO DE ESFERAS	0,10000
ROLAMENTO	0,34600
PACC M3x0,5x8mm	0,01200
RETENTOR 30 x 50 x 10mm	0,02000
PINO PIST	0,03800
ANEL TRAVA 16MMPARA FUIROS	0,00100
KIT NA-7274 2 (MONTAGEM)	0,02000
KIT NA-7275 90mm (MONTAGEM)	0,00400
CIL MSL20MAX BALUSINADO	6,93500
PIST AP 2*	0,31000

EIXO MAN	3,65000
PL VAL	1,60000
ESMALTE SINT.PRETO ISENTO DE CHUMBO	0,45000
VALV RET 3/4*NPT M	0,21400
BIELA BP BIPARTIDA	0,17100
PIST 90MM BP	0,47100
CORREIA A- 64 *V*	0,17800
OL SAE 30 ISO 100	0,90000
JUNTA FLAN	0,00800
JUNTA INF PLACA	0,02500
JUNTA CIL	0,01000
JUN SUP PLAC	0,02500
FILTRO 3/4 NPT PLASTICO	0,36000
PRESS AUTOM	0,37000
VARETA DE OLEO C/ INSERTO	0,02500
MANOM V 250 21/4NPT	0,07500

Os itens que seriam reaproveitados estão discriminados na Tabela 10.

Tabela 10 – Cenário 03: Itens a serem reaproveitados

Item componente	Massa (kg)
AR PRESSAO DN=1/4* FOSFATIZADA	0,00200
AR PRESSAO DN=3/8* FOSFATIDADA	0,00800
AR PRESSAO DN=1/4* FOSFATIZADA	0,00300
AR PRESSAO DN=5/16*	0,00300
AR PRESSAO DN=3/8* FOSFATIDADA	0,01200
PACC 1/4UNCx1.1/4*RI (CL-12.9)	0,00900
POR SEXT M22x1,5FOSFAT.(CLASSE-10)	0,07000
AR PRESSAO DN=1/4* FOSFATIZADA	0,00200
AR PRESSAO DN=1/4* FOSFATIZADA	0,00200
PASC 1/4x3/8*2A RI	0,00100
PACC 1/4*x1.1/2*MR	0,02000
PACC 1/4*x1.1/2*MR	0,02000
PCS 3/8* UNC x 1*	0,10800
PACC 3/8*UNCx1 1/2	1,80000
PCS 5/16* UNC x 1*	0,02400
PCS 5/16* UNC x 1 1/4*	0,01500
PACC 1/4UNCx1.3/4*	0,01100
PCS 3/8* UNC x 7/8*	0,06400
POR SEXT 1/4*	0,00800
POR SEXT 3/8*	0,03200
PCS 1/4* UNC x 3/4*	0,01200

PCS 3/8* UNC x 1.1/4*	0,08800
BARRA FIX MOTOR	0,50000
AR LISA B 7/8*	0,06000
ESPACADOR d=20.0m	0,01400
ARRUELA LISA di=6,5 x D12mm.	0,00200
BUCHA GUIA BIELA	0,02400
ARRUELA LISA di=6,5 x D12mm.	0,00200
BUCHA GUIA BIELA MSL20MAX BAL	0,02400
AR LISA 3/8* BICROMATIZADO	0,02000
FITA A 0,400x 90	0,03200
FIO CONECTOR 1.0mm ² x 70mm PARA PRESS. COMANDO	0,00600
TB ALIVIO 20MAX	0,00700
CORPO AP BIEL USIN BIPART	0,12800
CAPA BIELA BIPARTIDA USIN	0,40100
SERP INT	0,48400
SERP DESC	0,30500
AR LISA 6,5x11,0x1,0	0,00100
COT L 1/2* NPT x TB 5/8* (FLANGEADO)	0,33000
VALV SEG 1/4*	0,03200
ADES PELICULA67X44mm	0,00100
ADES LIG PRESS	0,00100
ADES INF SEGURANCA	0,00800
ADES CSL20BR/200LBRABVO	0,04000
ADES INF CSL-20BR 200L	0,00200
ADES TESTE HIDRO 2	0,00100
BUJAO 1/4*NPT F.M.	0,01400
VOL 420 1A	11,20000
BUJAO 1/4*NPT F.M.	0,01400
CARTER USINADO.	9,12000
TAMPA DO CILINDROCSL	4,07000
FLANGE	0,33300
META 5CV 2P60Hz 220/380V	23,00000
POL D=120mm 1xAFURO d=19.05	0,96000
BUJAO 1/4*NPT F.M.	0,01400
ETIQ AD DT 70x47,8	0,00700
TINTA PO POL	0,06300
BATOQUE PL. 1/2	0,00200
ABR NYLON 2,6x200(T-18L) PRETA	0,00100
RIBBON 83mm x300m	0,29000
ADES PRESSOSTATO DE COMANDO (POR/ING/ESP)	0,00100
ETIQ AD ID 42x80mm	0,00050
ETIQ ID PECA SAC	0,00100
ETIQ AD ID 42x80mm	0,00050
ADES VALV SEG 185PSI/60SCFM	0,00001

ROLAMENTO (motor)	0,15
ESTATOR BOBINADO (motor)	12,204
CARCAÇA (motor)	3,248
ROTOR (motor)	5,322
CHAVETA (motor)	0,006
HASTES (motor)	0,536
ROLAMENTO (motor)	0,016
TAMPA TRASEIRA (motor)	0,863
TAMPA DIANTEIRA (motor)	1,24
VENTILADOR (motor)	0,065

Os insumos necessários para o processo de montagem dos novos itens estão discriminados na Tabela 11.

Tabela 11 – Cenário 03: Insumos necessários para o processo de montagem

Insumo	Quantidade
AR COMPRIMIDO	1,2774 m ³
ENERGIA ELÉTRICA	0,50949 kWh
ÓLEO	0,90216 kg
COLA PARA VEDAÇÃO	0,00073 kg
GRAXA	0,028 kg
GÁS	0,57 m ³
TINTA	0,16 l
SOLVENTE	0,04 l
ÁGUA	3,4373 l
DETERGENTE	0,0025 l
GRAMPOS DE AÇO	0,04 kg

Os resíduos gerados no processo de montagem estão relacionados na Tabela 12.

Tabela 12 – Cenário 03: Resíduos gerados no processo de montagem

Resíduo	Quantidade
BORRA DE COLA PARA VEDAÇÃO	0,000265 kg
STRASH	0,005925 kg
FITA ADESIVA	0,0401 kg
ESTOPA CONTAMINADA (graxa e poeira)	0,0025 kg
PLÁSTICO	0,0375 kg
GRAXA	0,025 kg
ÁGUA	0,0375 l
ESTOPA CONTAMINADA (água e detergente)	0,00225 kg

- **Processos Evitados**

Assim como no cenário 02, considerou-se uma eficiência de reciclagem de 100%. Portanto, no cenário 03 foram considerados como produtos evitados 0,214 kg de latão; 0,64200 kg de alumínio; 12,49500 kg de ferro fundido e 70,24400 kg de aço.

Segundo informação do fabricante, após a remanufatura, com a substituição das peças acima relacionadas, o compressor teria uma segunda vida útil de 5 anos. Dessa maneira, sendo de 10 anos a vida útil de um compressor novo, o processo de remanufatura e reutilização representado pelo cenário 03 evitaria o impacto ambiental associado à produção de “meio” compressor de ar.

5.4. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foi realizada utilizando o método CML 2000 através do software SimaPro. Analisaram-se as seguintes categorias de impacto ambiental: Depleção Abiótica; Acidificação; Eutrofização; Aquecimento Global; Depleção da Camada de Ozônio; Toxicidade Humana; Ecotoxicidade da Água Doce; Ecotoxicidade Marinha; Ecotoxicidade Terrestre; e Oxidação Fotoquímica.

Foi realizada ainda uma segunda AICV, utilizando o método ReCiPe Endpoint, a fim de comparar os três cenários e verificar, através da pontuação única, qual seria o menos impactante.

5.4.1. Impactos Ambientais

Primeiramente, analisaram-se os impactos ambientais inerentes a cada cenário, nas dez categorias de impacto, apontando quais processos elementares têm participação mais significativa nos impactos.

Após a análise individual de cada cenário efetuou-se a comparação entre eles, identificando com base nas dez categorias de impacto analisadas, qual seria menos impactante.

Por fim, fez-se ainda uma segunda análise comparativa entre os três cenários, utilizando o método ReCiPe Endpoint.

Cenário 01 – Aterramento do Compressor de ar

Ao inserir os dados levantados no ICV no software, foram feitas algumas considerações, a fim de adaptá-los ao banco de dados existente no programa. A massa de aço e ferro fundido foi somada, e inserida como sendo totalmente referente à aço, disposto em um aterro de materiais inertes. A massa de esmalte foi somada à massa de aço, pois se encontra aderida ao reservatório de ar. A massa de cobre também foi inserida como disposta em aterro de material inerte.

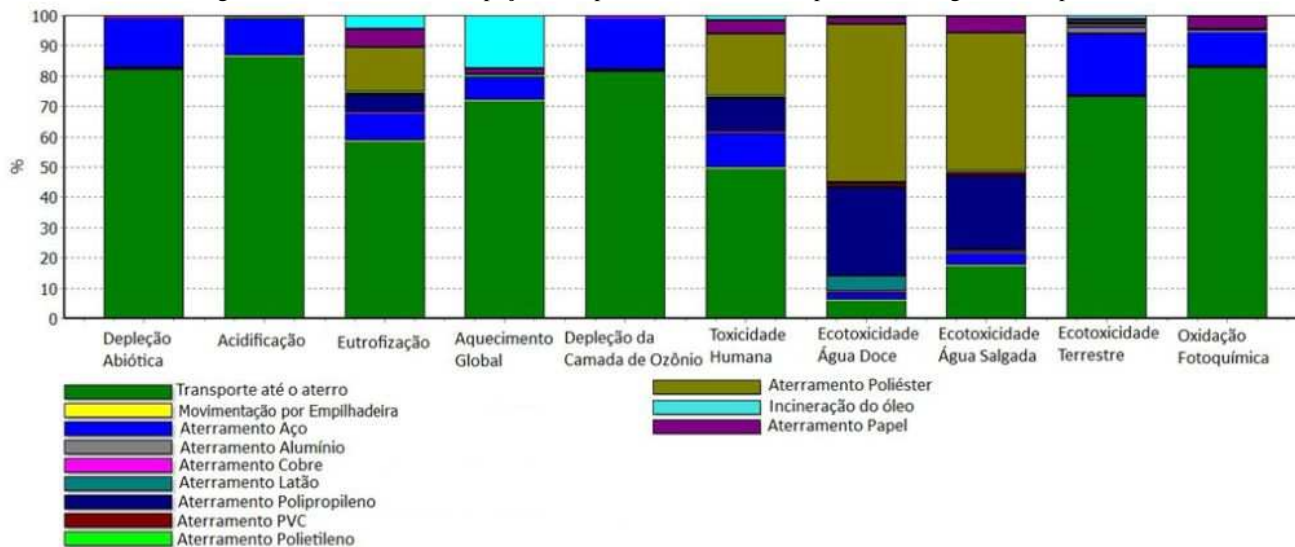
As massas de alumínio, latão, PVC, poliéster, polipropileno e polietileno foram inseridas como sendo dispostas em aterro sanitário.

A massa de papel, papelão hidráulico e nylon foram somadas e inseridas no software como sendo totalmente referentes à papel, disposto em aterro sanitário.

O óleo foi considerado como incinerado, pois no banco de dados do software este era único tipo de tratamento disponível para óleo mineral utilizado.

A Figura 9 a seguir, traz os resultados do impacto ambiental inerente ao cenário 01 em forma gráfica. A Tabela 13 e a Tabela 14 relacionam os valores que alimentam o gráfico.

Figura 9 – Cenário 01: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto



A analisar 1 p 'Cenário 01'; Método: CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1990 / Caracterização

Tabela 13 – Cenário 01: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto

	Categorias de Impacto				
	Depleção Abiótica	Acidificação	Eutrofização	Aquecimento Global	Depleção da Camada de Ozônio
Unidades	kg Sb eq	kg SO₂ eq	kg PO₄ eq	kg CO₂ eq	kg CFC-11 eq
Transporte até o aterro	6,77E-02	4,68E-02	1,05E-02	1,06E+01	1,59E-06
Movimentação por empilhadeira	3,06E-04	4,25E-05	8,16E-06	8,68E-03	8,71E-09
Aterramento Aço	1,35E-02	6,67E-03	1,63E-03	1,12E+00	3,36E-07
Aterramento Alumínio	2,56E-04	1,38E-04	4,00E-05	2,82E-02	5,46E-09
Aterramento Cobre	2,86E-06	3,30E-06	6,68E-07	4,42E-04	5,82E-10
Aterramento Latão	8,95E-05	4,72E-05	1,22E-05	8,40E-03	2,02E-09
Aterramento Popipropileno	3,21E-05	1,71E-05	1,06E-03	2,18E-02	7,36E-10
Aterramento PVC	7,15E-06	3,85E-06	1,51E-04	3,31E-03	1,64E-10
Aterramento Poletileno	2,70E-07	1,44E-07	1,05E-05	2,13E-04	6,17E-12
Aterramento Poliéster	8,24E-05	4,41E-05	2,65E-03	4,61E-02	1,88E-09
Aterramento Papel	5,49E-05	5,68E-05	1,06E-03	3,09E-01	1,23E-09
Aterramento Óleo	1,94E-04	1,64E-04	7,92E-04	2,57E+00	3,39E-09

Tabela 14 – Cenário 01: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto

		Categorias de Impacto				
		Toxicidade Humana	Ecotoxicidade Água Doce	Ecotoxicidade Água Salgada	Ecotoxicidade Terrestre	Oxidação Fotoquímica
Unidades		kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg C₂H₄
Processos Elementares	Transporte até o aterro	2,13E+00	2,53E-01	8,64E+02	7,40E-03	1,80E-03
	Movimentação por empilhadeira	3,13E-03	8,83E-04	2,40E+00	2,87E-05	4,26E-06
	Aterramento Aço	4,87E-01	8,50E-02	1,94E+02	2,07E-03	2,46E-04
	Aterramento Alumínio	1,69E-02	2,72E-02	1,34E+01	1,82E-04	5,52E-06
	Aterramento Cobre	1,07E-04	2,35E-05	7,83E-02	4,22E-07	1,08E-07
	Aterramento Latão	9,91E-03	2,10E-01	3,98E+01	2,85E-05	1,79E-06
	Aterramento Popipropileno	4,68E-01	1,21E+00	1,21E+03	1,64E-05	4,45E-06
	Aterramento PVC	3,10E-02	5,97E-02	7,64E+01	4,61E-05	6,83E-07
	Aterramento Polietileno	4,65E-03	1,20E-02	1,21E+01	1,53E-07	4,34E-08
	Aterramento Poliéster	8,73E-01	2,16E+00	2,24E+03	7,28E-05	9,42E-06
	Aterramento Papel	1,96E-01	9,08E-02	2,65E+02	1,17E-04	9,33E-05
	Aterramento Óleo	6,44E-02	2,45E-02	2,30E+01	1,37E-04	4,43E-06

Ao se analisar a Figura 9, percebe-se que em todas as categorias analisadas, exceto na ecotoxicidade das águas doce e salgada, a maior participação no impacto advém do transporte rodoviário até o aterro.

Destaca-se a participação do poliéster e do polipropileno nas categorias que envolvem eutrofização e toxicidades humana e das águas doce e salgada.

O aterramento do papel apresenta uma fração considerável nas categorias de eutrofização, oxidação fotoquímica e as categorias referentes à toxicidade humana e das águas doce e salgada.

Lembra-se que no software, a entrada dos materiais poliéster, polipropileno e papel foi feita como em aterro sanitário. Nesse caso, elucida-se a participação em categorias que envolvem a toxicidade em águas, provavelmente por considerar a geração de lixiviados e o seu tratamento.

Com relação aos metais, a participação maior nos impactos é referente ao aço, tendo em vista sua massa bastante superior aos demais (aproximadamente 60% do total).

O óleo mineral aparece com participação significativa na categoria aquecimento global. Porém, não se pode esquecer que sua entrada no software foi feita como incineração, explicando sua participação alta em termos de CO₂ equivalente. Nessa análise pontual, considerando apenas o cenário, não é possível fazer muitas considerações a respeito do comportamento do óleo quando aterrado. Entretanto, sabendo que nos três cenários o óleo foi considerado como incinerado, em termos de comparação entre cenários, essa consideração não fará diferença.

Tendo em vista que aproximadamente 98% da massa total a ser aterrada corresponde a metais e que quando aterrados seu comportamento é próximo ao de um material inerte, é concebível que o maior impacto desse cenário seja associado ao transporte rodoviário.

Cenário 02 – Reciclagem do compressor de ar

Para inserir os dados do ICV no software e adaptá-los ao banco de dados existente, algumas considerações precisaram ser feitas.

No banco de dados do software não havia o processo de fundição de aço, apenas a fundição de ferro. Assim, para a fundição do aço utilizou-se o mesmo processo de fundição do ferro.

Considerou-se a fundição do cobre como sendo o processo produtivo do metal bruto. Ressalta-se que esse processo foi alterado, de modo que se considerou apenas o processo produtivo, envolvendo as

máquinas e insumos para a fusão do metal. Assim, os impactos associados à produção primária, como extração do metal, e todos os insumos necessários até a chegada deste na indústria foram desconsiderados. Desse modo, conseguiu-se que o processo se aproximasse bastante de uma reciclagem.

A massa de latão foi somada à massa de cobre por não haver processos que pudessem ser adaptados.

Os itens compostos por PVC, poliéster, polietileno e as frações de polipropileno foram considerados como dispostos em aterro sanitário.

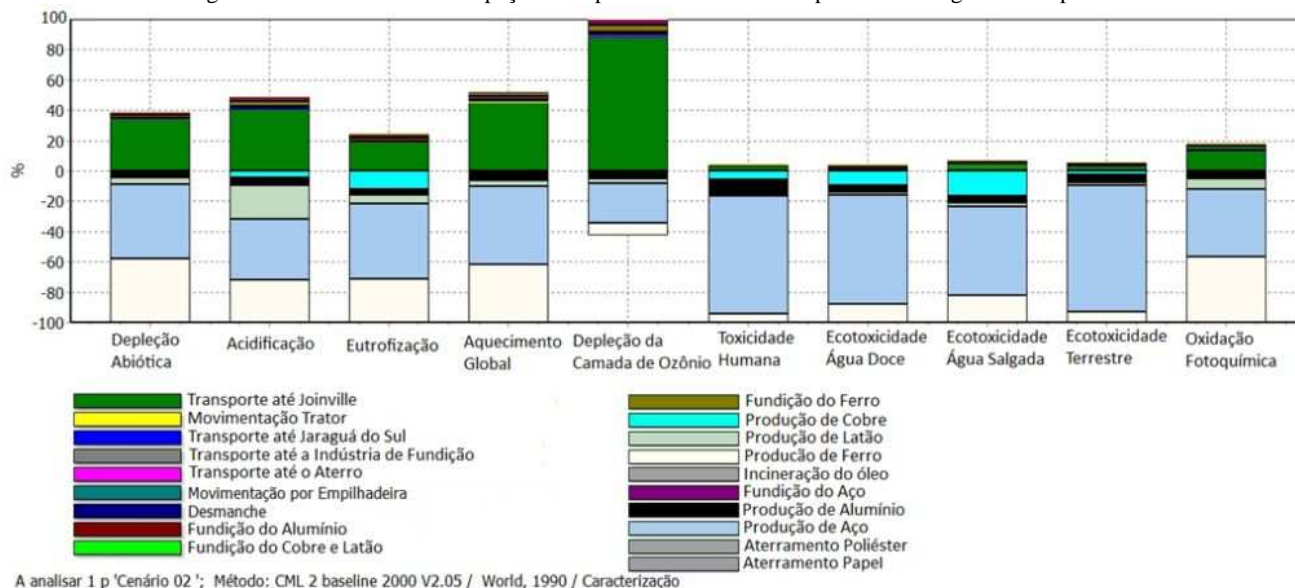
As massas de nylon, papelão hidráulico e papel foram somadas e inseridas no programa como correspondente à papel, disposto em aterro sanitário.

A fração de alumínio foi considerada como disposta em aterro de inertes e a fração de latão disposta em aterro sanitário.

O óleo mineral foi considerado como incinerado, por ser a única opção de tratamento para este resíduo disponível no banco de dados do software.

A participação de cada processo elementar do cenário 02 nas categorias de impacto analisadas pode ser visualizada na forma gráfica através da Figura 10. A Tabela 15e a Tabela 16 trazem os valores que alimentam o gráfico de impactos.

Figura 10 – Cenário 02: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto



Obs.: Os impactos acima do eixo zero compreendem os impactos negativos, enquanto que abaixo desse eixo estão representados os impactos evitados.

Tabela 15: Cenário 02: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto

		Categorias de Impacto				
		Depleção Abiótica	Acidificação	Eutrofização	Aquecimento Global	Depleção da Camada de Ozônio
Unidades		kg Sb eq	kg SO₂ eq	kg PO₄ eq	kg CO₂ eq	kg CFC-11 eq
Processos Elementares	Transporte até Joinville	7,21E-01	4,98E-01	1,12E-01	1,13E+02	1,70E-05
	Transporte até o Aterro	9,94E-05	6,87E-05	1,54E-05	1,56E-02	2,34E-09
	Transp. até Indústria de Fundição	8,46E-04	5,85E-04	1,31E-04	1,32E-01	1,99E-08
	Transporte até Jaraguá do Sul	9,00E-03	6,22E-03	1,40E-03	1,41E+00	2,12E-07
	Movimentação Trator	3,11E-04	3,69E-04	8,33E-05	5,58E-02	0,00E+00
	Movimentação Empilhadeira	1,83E-03	2,55E-04	4,89E-05	5,21E-02	5,22E-08
	Desmanche	1,80E-03	1,39E-03	1,06E-03	3,02E-01	1,44E-08
	Fundição Alumínio	9,42E-03	5,58E-03	2,72E-04	1,28E+00	3,03E-07
	Fundição Cobre e Latão	6,66E-03	5,04E-03	2,00E-03	1,23E+00	9,62E-08
	Fundição Aço	4,54E-02	4,33E-02	1,36E-02	4,90E+00	8,47E-07
	Fundição Ferro	3,79E-02	3,62E-02	1,14E-02	4,10E+00	7,08E-07
	Cobre Evitado	-1,19E-02	-5,07E-02	-7,20E-02	-1,46E+00	-1,17E-07
	Alumínio Evitado	-8,28E-02	-6,66E-02	-2,38E-02	-1,41E+01	-8,49E-07
	Latão Evitado	-9,10E-02	-2,73E-01	-3,34E-02	-9,85E+00	-6,21E-07
	Aço Evitado	-1,07E+00	-4,94E-01	-2,94E-01	-1,28E+02	-5,06E-06
	Ferro Evitado	-9,00E-01	-3,39E-01	-1,72E-01	-9,49E+01	-1,62E-06
	Aterramento Poliéster	8,24E-05	4,41E-05	2,65E-03	4,61E-02	1,88E-09
Aterramento Óleo	1,94E-04	1,64E-04	7,92E-04	2,57E+00	3,39E-09	
Aterramento Papel	5,49E-05	5,68E-05	1,06E-03	3,09E-01	1,23E-09	

		Categorias de Impacto				
		Depleção Abiótica	Acidificação	Eutrofização	Aquecimento Global	Depleção da Camada de Ozônio
Unidades		kg Sb eq	kg SO₂ eq	kg PO₄ eq	kg CO₂ eq	kg CFC-11 eq
	Aterramento Aço	1,06E-05	5,20E-06	1,27E-06	8,75E-04	2,62E-10
	Aterramento Alumínio	2,41E-05	1,31E-05	3,78E-06	2,66E-03	5,15E-10
	Aterramento Polipropileno	2,34E-05	1,24E-05	7,67E-04	1,59E-02	5,35E-10
	Aterramento Latão	7,15E-06	3,77E-06	9,74E-07	6,71E-04	1,62E-10
	Aterramento PVC	7,15E-06	3,85E-06	1,51E-04	3,31E-03	1,64E-10
	Aterramento Polietileno	2,71E-07	1,45E-07	8,71E-06	1,52E-04	6,20E-12

(continuação Tabela 15)

Tabela 16: Cenário 02: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto

		Categorias de Impacto				
		Toxicidade Humana	Ecotoxicidade Água Doce	Ecotoxicidade Água Salgada	Ecotoxicidade Terrestre	Oxidação Fotoquímica
Unidades		kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg C ₂ H ₄
Processos Elementares	Transporte até Joinville	2,27E+01	2,70E+00	9,21E+03	7,89E-02	1,92E-02
	Transporte até o Aterro	3,13E-03	3,72E-04	1,27E+00	1,09E-05	2,64E-06
	Transp. até indústria de Fundação	2,67E-02	3,17E-03	1,08E+01	9,26E-05	2,25E-05
	Transporte até Jaraguá do Sul	2,84E-01	3,37E-02	1,15E+02	9,85E-04	2,39E-04
	Movimentação Trator	7,96E-04	5,56E-07	2,49E-03	6,85E-07	6,51E-06
	Movimentação Empilhadeira	1,88E-02	5,30E-03	1,44E+01	1,72E-04	2,56E-05
	Desmanche	7,54E-01	2,59E-01	5,67E+02	4,97E-03	8,09E-05
	Fundição Alumínio	3,35E-01	5,50E-02	1,87E+02	3,01E-03	2,48E-04
	Fundição Cobre e Latão	1,39E+00	3,69E-01	8,68E+02	4,23E-02	2,81E-03
	Fundição Aço	2,48E+00	1,67E+00	4,41E+03	2,00E-02	1,85E-03
	Fundição Ferro	2,07E+00	1,39E+00	3,69E+03	1,67E-02	1,55E-03
	Cobre Evitado	-4,09E+01	-2,03E+01	-5,22E+04	-6,98E-02	-1,75E-03
	Alumínio Evitado	-6,76E+01	-9,70E+00	-1,46E+04	-1,66E-01	-5,64E-03
	Latão Evitado	-5,60E+00	-4,04E+00	-8,44E+03	-4,00E-02	-9,75E-03
	Aço Evitado	-5,27E+02	-1,52E+02	-1,84E+05	-2,48E+00	-6,45E-02

	Categorias de Impacto				
	Toxicidade Humana	Ecotoxicidade Água Doce	Ecotoxicidade Água Salgada	Ecotoxicidade Terrestre	Oxidação Fotoquímica
	Unidades	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg C ₂ H ₄
Ferro Evitado	-4,01E+01	-2,52E+01	-5,56E+04	-2,06E-01	-6,22E-02
Aterramento Poliéster	8,73E-01	2,16E+00	2,24E+03	7,28E-05	9,42E-06
Aterramento Óleo	6,44E-02	2,45E-02	2,30E+01	1,37E-04	4,43E-06
Aterramento Papel	1,96E-01	9,08E-02	2,65E+02	1,17E-04	9,33E-05
Aterramento Aço	3,79E-04	6,63E-05	1,52E-01	1,62E-06	1,91E-07
Aterramento Alumínio	1,60E-03	2,56E-03	1,26E+00	1,71E-05	5,21E-07
Aterramento Polipropileno	3,40E-01	8,79E-01	8,83E+02	1,19E-05	3,24E-06
Aterramento Latão	7,92E-04	1,67E-02	3,18E+00	2,28E-06	1,43E-07
Aterramento PVC	3,10E-02	5,97E-02	7,64E+01	4,61E-05	6,83E-07
Aterramento Polietileno	2,87E-03	7,12E-03	7,38E+00	2,39E-07	3,10E-08

(continuação Tabela 16)

Ao se analisar o gráfico de impactos do cenário 02 na Figura 10, percebe-se que em todas as categorias de impacto, exceto na Depleção da Camada de Ozônio, os impactos positivos superam os impactos negativos.

Os impactos negativos referem-se quase que na sua totalidade ao transporte rodoviário de São Paulo à Joinville. Os processos de reciclagem dos metais por meio da fundição e o aterramento dos demais itens têm participação quase que insignificante nesses impactos.

Os impactos positivos são representados majoritariamente pelo ferro e aço evitados. Isso se explica pelo fato de que esses se apresentam sob maior valor de massa dentre os metais fundidos (53% e 45% da massa total de metais, referentes ao aço e ferro, respectivamente).

Ressalta-se que se considerou 100% de aproveitamento na reciclagem dos metais. Assim, considerando-se uma porcentagem menor, o gráfico de impactos poderia variar ligeiramente nos valores dos impactos positivos. Porém, dada a grande diferença entre os valores de impactos positivos e negativos apresentados, pode-se concluir que os impactos positivos continuariam superando os negativos.

Cenário 03 – Remanufatura e Reutilização do Compressor de ar

Assim como nos cenários anteriores, foi preciso fazer algumas considerações para se adaptar ao banco de dados do software.

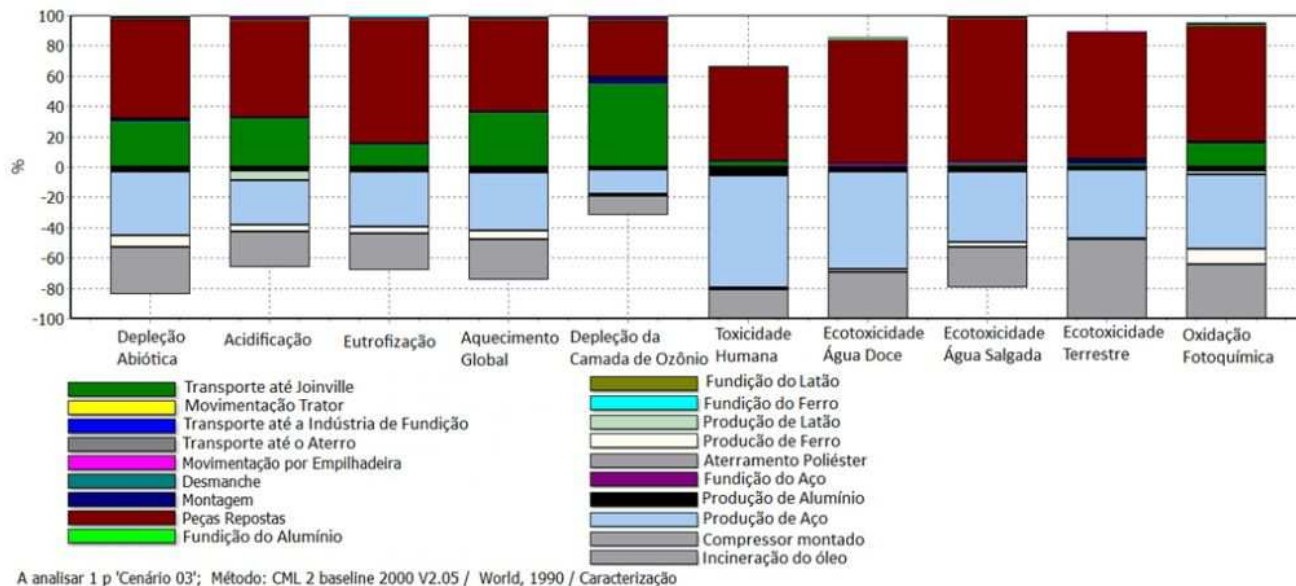
Como no cenário 02, o processo de fundição do aço foi considerado o mesmo processo de fundição do ferro. O processo de fundição de latão também foi considerado como o processo de fundição de cobre.

Os itens compostos por poliéster e as frações de polipropileno foram considerados como dispostos em aterro sanitário.

As juntas de papelão hidráulico foram consideradas como papel, disposto em aterro sanitário. A fração de latão foi considerada como disposta em aterro sanitário, e as frações de aço e cobre como dispostas em aterro para resíduos inertes. O óleo foi considerado como incinerado.

A Figura 11 a seguir traz os processos elementares do cenário 03 e a sua participação em cada categoria de impacto analisada. A Tabela 17 e a Tabela 18 relacionam os valores que alimentam o gráfico.

Figura 11 – Cenário 03: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto



Obs.: Os impactos acima do eixo zero compreendem os impactos negativos, enquanto que abaixo desse eixo estão representados os impactos evitados.

Tabela 17 – Cenário 03: Participações dos processos elementares para categoria de impacto

		Categorias de Impacto				
		Depleção Abiótica	Acidificação	Eutrofização	Aquecimento Global	Depleção da Camada de Ozônio
Unidades		kg Sb eq	kg SO₂ eq	kg PO₄ eq	kg CO₂ eq	kg CFC-11 eq
Processos Elementares	Transporte até Joinville	7,28E-01	5,02E-01	1,14E-01	1,14E+02	1,70E-05
	Transporte até o Aterro	8,27E-05	5,71E-05	1,30E-05	1,29E-02	1,94E-09
	Transp. até Indústria de Fundição	2,87E-04	1,98E-04	4,50E-05	4,48E-02	6,71E-09
	Movimentação Trator	3,11E-04	3,69E-04	8,33E-05	5,58E-02	0,00E+00
	Movimentação Empilhadeira	1,53E-03	2,12E-04	4,08E-05	4,34E-02	4,35E-08
	Desmanche	1,80E-03	1,39E-03	1,06E-03	3,02E-01	1,44E-08
	Montagem	4,82E-02	1,42E-02	4,57E-03	2,22E+00	1,37E-06
	Peças Repostas	1,61E+00	1,02E+00	6,38E-01	1,95E+02	1,15E-05
	Fundição Alumínio	5,11E-03	3,03E-03	1,47E-04	6,94E-01	1,64E-07
	Fundição Latão	1,04E-03	7,90E-04	3,14E-04	1,92E-01	1,51E-08
	Fundição Aço	4,35E-02	4,15E-02	1,30E-02	4,70E+00	8,12E-07
	Fundição Ferro	7,75E-03	7,39E-03	2,32E-03	8,37E-01	1,45E-07
	Alumínio Evitado	-4,49E-02	-3,61E-02	-1,29E-02	-7,65E+00	-4,60E-07
	Latão Evitado	-3,38E-02	-1,01E-01	-1,24E-02	-3,66E+00	-2,31E-07

	Categorias de Impacto				
	Depleção Abiótica	Acidificação	Eutrofização	Aquecimento Global	Depleção da Camada de Ozônio
Unidades	kg Sb eq	kg SO ₂ eq	kg PO ₄ eq	kg CO ₂ eq	kg CFC-11 eq
Aço Evitado	-1,03E+00	-4,74E-01	-2,82E-01	-1,23E+02	-4,85E-06
Ferro Evitado	-1,84E-01	-6,92E-02	-3,51E-02	-1,94E+01	-3,32E-07
Compressor Montado	-7,73E-01	-3,70E-01	-1,88E-01	-8,61E+01	-4,06E-06
Aterramento Poliéster	7,29E-05	3,90E-05	2,34E-03	4,08E-02	1,67E-09
Aterramento Óleo	1,94E-04	1,64E-04	7,92E-04	2,57E+00	3,39E-09
Aterramento Papel	1,03E-05	1,07E-05	2,00E-04	5,81E-02	2,30E-10
Aterramento Aço	1,06E-05	5,20E-06	1,27E-06	8,75E-04	2,62E-10
Aterramento Alumínio	2,41E-05	1,31E-05	3,78E-06	2,66E-03	5,15E-10
Aterramento Polipropileno	2,34E-05	1,24E-05	7,67E-04	1,59E-02	5,35E-10
Aterramento Latão	7,15E-06	3,77E-06	9,74E-07	6,71E-04	1,62E-10

(continuação Tabela 17)

Tabela 18 – Cenário 03: Participações dos processos elementares para cada categoria de impacto

		Categorias de Impacto				
		Toxicidade Humana	Ecotox. Água Doce	Ecotox. Água Salgada	Ecotox. Terrestre	Oxidação Fotoquímica
Unidades		kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg C ₂ H ₄
Processos Elementares	Transporte até Joinville	2,40E+01	3,35E+00	1,04E+04	9,02E-02	1,95E-02
	Transporte até o Aterro	2,73E-03	3,81E-04	1,18E+00	1,03E-05	2,22E-06
	Transp. Indústria de Fundição	9,47E-03	1,32E-03	4,10E+00	3,55E-05	7,69E-06
	Movimentação Trator	7,96E-04	5,56E-07	2,49E-03	6,85E-07	6,51E-06
	Movimentação Empilhadeira	1,56E-02	4,41E-03	1,20E+01	1,44E-04	2,13E-05
	Desmanche	7,54E-01	2,59E-01	5,67E+02	4,97E-03	8,09E-05
	Montagem	2,31E+00	1,07E+00	1,71E+03	1,71E-01	1,54E-03
	Peças Repostas	4,29E+02	1,85E+02	3,55E+05	4,43E+00	9,66E-02
	Fundição Alumínio	1,82E-01	2,98E-02	1,01E+02	1,63E-03	1,34E-04
	Fundição Latão	2,18E-01	5,78E-02	1,36E+02	6,63E-03	4,41E-04
	Fundição Aço	2,37E+00	1,60E+00	4,23E+03	1,91E-02	1,77E-03
	Fundição Ferro	4,23E-01	2,85E-01	7,53E+02	3,41E-03	3,16E-04
	Alumínio Evitado	-3,67E+01	-5,26E+00	-7,91E+03	-8,98E-02	-3,06E-03
	Latão Evitado	-2,08E+00	-1,50E+00	-3,14E+03	-1,49E-02	-3,62E-03
	Aço Evitado	-5,06E+02	-1,45E+02	-1,77E+05	-2,38E+00	-6,18E-02

		Categorias de Impacto				
		Toxicidade Humana	Ecotox. Água Doce	Ecotox. Água Salgada	Ecotox. Terrestre	Oxidação Fotoquímica
Unidades		kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg C ₂ H ₄
	Ferro Evitado	-8,18E+00	-5,15E+00	-1,14E+04	-4,20E-02	-1,27E-02
	Compressor Montado	-1,33E+02	-6,89E+01	-9,97E+04	-2,75E+00	-4,48E-02
	Aterramento Poliéster	7,73E-01	1,91E+00	1,99E+03	6,44E-05	8,34E-06
	Aterramento Óleo	6,44E-02	2,45E-02	2,30E+01	1,37E-04	4,43E-06
	Aterramento Papel	3,67E-02	1,71E-02	4,99E+01	2,19E-05	1,75E-05
	Aterramento Aço	3,79E-04	6,63E-05	1,52E-01	1,62E-06	1,91E-07
	Aterramento Alumínio	1,60E-03	2,56E-03	1,26E+00	1,71E-05	5,21E-07
	Aterramento Polipropileno	3,40E-01	8,79E-01	8,83E+02	1,19E-05	3,24E-06
	Aterramento Latão	7,92E-04	1,67E-02	3,18E+00	2,28E-06	1,43E-07

(continuação Tabela 18)

Através da análise da Figura 11 é possível perceber que existe um equilíbrio entre os impactos positivos e negativos resultantes dos processos elementares desse cenário.

O processo de transporte de São Paulo à Joinville apresenta participação significativa nos impactos negativos de seis das dez categorias analisadas. Porém, nesse caso, a maior parte dos impactos negativos é advinda do processo de produção das peças repostas.

A remanufatura do compressor de ar exige a reposição de um número considerável de itens. Em termos de massa, as peças a serem repostas chegam a aproximadamente 50% da massa do compressor completo. Assim, explica-se a grande participação da reposição das peças nos impactos negativos.

Com relação aos impactos positivos, o aço e o ferro evitado apresentam participação significativa, uma vez que dentre os metais a serem fundidos, estes apresentam maior contribuição em massa (84% e 15%, referentes ao aço e ao ferro, respectivamente). Ressalta-se que, como no cenário 02, considerou-se um aproveitamento de 100% no processo de reciclagem desses metais.

O processo de reutilização do compressor de ar remanufaturado evitaria a produção de metade de um compressor novo, tendo em vista que um compressor remanufaturado teria uma segunda vida útil de 5 anos, enquanto que a vida útil de um compressor novo é de 10 anos. O fato de se evitar a produção de metade de um compressor aparece com grande participação nos impactos positivos de todas as categorias de impacto analisadas.

Comparação entre os cenários

A Figura 12, alimentada com os dados da Tabela 19 a seguir, traz o resultado da comparação entre os três cenários. Através de sua análise é possível concluir que o cenário 02 é o preferível entre os três cenários analisados.

Em todas as categorias de impacto analisadas, exceto na Depleção da Camada de Ozônio, no cenário 02, os impactos positivos superam os negativos. O impacto negativo referente a essa categoria fica em posição intermediária entre os cenários 01 e 03.

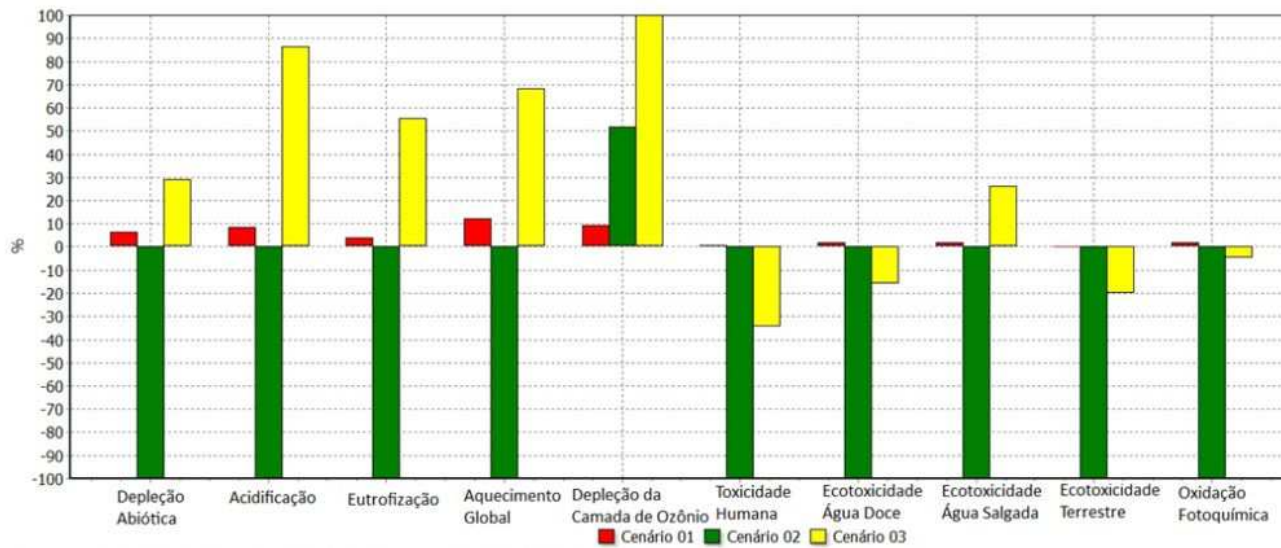
Com relação aos dois cenários restantes, apontar qual é menos impactante não é tão claro quanto na escolha do cenário 02. O cenário 01 não apresenta impactos positivos, porém, em seis das categorias de impacto, o impacto negativo do cenário 03 supera o cenário 01. Nas categorias de impacto em que o cenário 01 mostra-se mais impactante

que o cenário 03 são aquelas em que os impactos positivos do cenário 03 superam os negativos.

Assim, para comparar os cenários e hierarquizá-los de modo mais claro, procedeu-se a uma segunda análise comparativa, dessa vez utilizando um método Endpoint. Os resultados podem ser visualizados na Figura 13 que é resultado dos valores apresentados na Tabela 20.

A análise endpoint pondera com pesos maiores as categorias de impacto Mudança Climática; Toxicidade Humana; Material Particulado; Depleção de Metais; e Depleção de Recursos Fósseis (Figura 14). Através da análise de pontuação única, novamente, o cenário 02 mostra-se preferível, seguido pelos cenários 01 e 03.

Figura 12 – Comparação entre os cenários – Método CML 2000



A comparar 1 p 'Cenário 01', 1 p 'Cenário 02' e 1 p 'Cenário 03'; Método: CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1990 / Caracterização

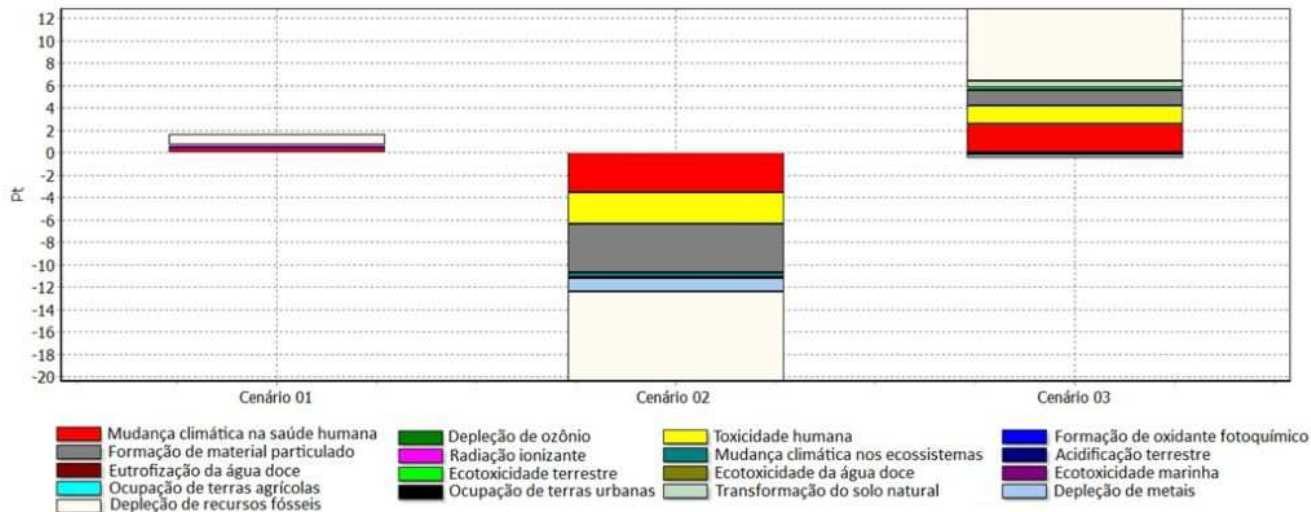
Obs.: Os impactos acima do eixo zero compreendem os impactos negativos, enquanto que abaixo desse eixo estão representados os impactos evitados.

Tabela 19 – Comparação entre os cenários: Método CML 2000

	Categorias de Impacto				
	Depleção Abiótica	Acidificação	Eutrofização	Aquecimento Global	Depleção da Camada de Ozônio
Unidades	kg Sb eq	kg SO₂ eq	kg PO₄ eq	kg CO₂ eq	kg CFC-11 eq
Cenário 01	8,22E-02	5,39E-02	1,79E-02	1,47E+01	1,95E-06
Cenário 02	-1,32E+00	-6,25E-01	-4,47E-01	-1,19E+02	1,10E-05
Cenário 03	3,85E-01	5,41E-01	2,48E-01	8,13E+01	2,11E-05

	Categorias de Impacto				
	Toxicidade Humana	Ecotox. Água Doce	Ecotox. Água Salgada	Ecotox. Terrestre	Oxidação Fotoquímica
Unidades	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg C₂H₄
Cenário 01	4,28E+00	4,14E+00	4,95E+03	1,01E-02	2,17E-03
Cenário 02	-6,50E+02	-2,01E+02	-2,93E+05	-2,79E+00	-1,18E-01
Cenário 03	-2,25E+02	-3,18E+01	7,68E+04	-5,54E-01	-5,46E-03

Figura 13 – Comparação entre os cenários – Método ReCiPe Endpoint



A comparar 1 p 'Cenário 01', 1 p 'Cenário 02' e 1 p 'Cenário 03'; Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.05 / World ReCiPe H/H / Pontuação única

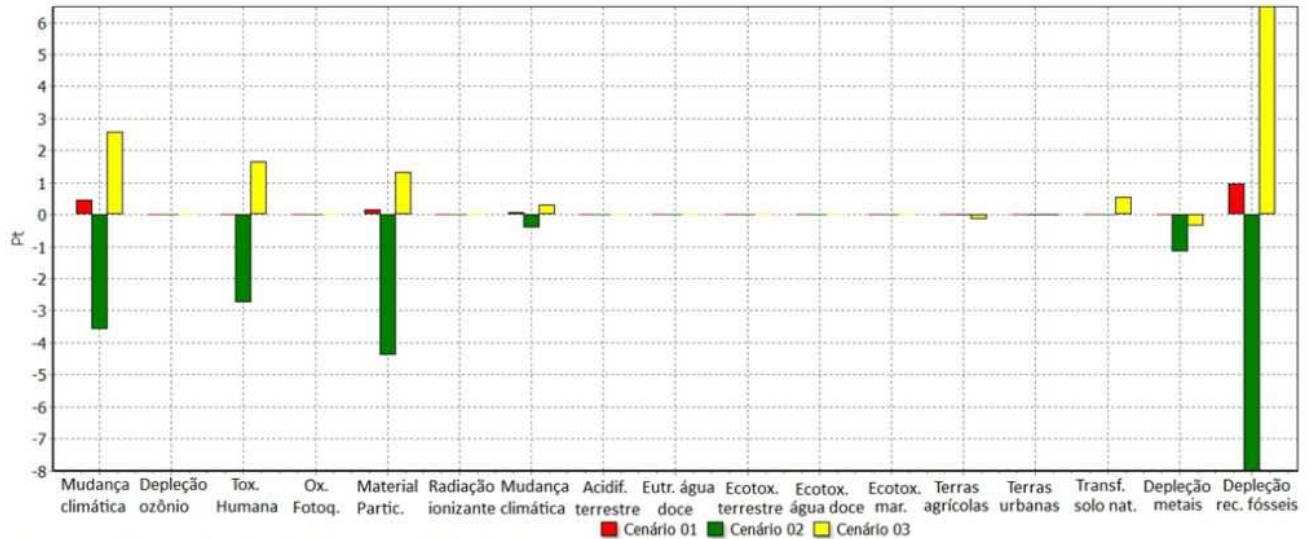
Obs.: Os impactos acima do eixo zero compreendem os impactos negativos, enquanto que abaixo desse eixo estão representados os impactos evitados.

Tabela 20 – Comparação entre os cenários: Método ReCiPe Endpoint

Categorias de Impacto									
	Mudança climática na saúde humana	Depleção de ozônio	Toxicidade humana	Formação de oxidante fotoquímico	Formação de material particulado	Radiação ionizante	Mudança climática nos ecossistemas	Acidificação terrestre	Eutrofização água doce
Unidades	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt
Cenário 01	4,58E-01	1,15E-04	1,36E-02	1,03E-04	1,58E-01	1,95E-04	5,44E-02	1,52E-04	1,14E-05
Cenário 02	-3,59E+00	6,05E-04	-2,75E+00	2,60E-04	-4,38E+00	-9,49E-03	-4,26E-01	-1,38E-03	-3,08E-03
Cenário 03	2,57E+00	1,22E-03	1,64E+00	1,45E-03	1,32E+00	-1,54E-03	3,04E-01	1,51E-03	9,38E-04

Categorias de Impacto								
	Ecotox. Terrestre	Ecotox. Água doce	Ecotox. Marinha	Ocupação de terras agrícolas	Ocupação de terras urbanas	Transformação do solo natural	Depleção de metais	Depleção de recursos fósseis
Unidades	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt
Cenário 01	6,18E-05	6,82E-06	2,05E-08	3,15E-04	2,05E-03	-2,92E-03	9,98E-05	9,54E-01
Cenário 02	-6,35E-04	-5,78E-04	-1,84E-06	-2,38E-02	-1,97E-02	7,06E-03	-1,17E+00	-8,01E+00
Cenário 03	4,78E-04	-6,82E-05	-1,54E-07	-1,31E-01	-2,14E-02	5,31E-01	-3,69E-01	6,50E+00

Figura 14 – Ponderação Método ReCiPe Endpoint



A comparar 1 p 'Cenário 01', 1 p 'Cenário 02' e 1 p 'Cenário 03'; Método: ReCiPe Endpoint (H) V1.05 / World ReCiPe H/H / Ponderação

5.5. Interpretação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida tomou corpo através da análise do impacto ambiental inerente a cada cenário estudado, e da comparação entre eles, conforme definido nos objetivos deste estudo.

Com relação aos impactos de cada cenário, foi possível identificar que o transporte rodoviário teve grande participação no impacto negativo dos três cenários estudados. No cenário 01 a distância de percurso foi arbitrada, porém, nos cenários 02 e 03 o valor utilizado foi um valor real, entre um grande centro consumidor e a fábrica dos compressores, a distância média entre São Paulo e Joinville. Nesse caso, uma maneira de diminuir os impactos seria diminuindo essa distância, fazendo a reciclagem e/ou a remanufatura não em Joinville, mas em um local mais próximo de São Paulo.

O resultado da comparação entre os cenários apontou que o cenário 02, que considera a reciclagem do compressor de ar, diante das categorias de impacto analisadas, é ambientalmente preferível. O cenário 01, referente ao aterramento completo do compressor, mostrou-se ainda menos impactante que o cenário 03, que considera a remanufatura.

Cabe ressaltar o alto custo que significaria aterrar um compressor de ar, tendo em vista seu peso elevado. Ainda na linha de pensamento em termos econômicos, não se justifica o aterramento de um produto que possui na sua constituição itens metálicos, com alto valor agregado. O aterramento do compressor acarretaria ainda em uma ocupação em volume bastante significativa em um aterro, o que não é recomendável, tendo em vista a escassez cada vez maior de terras para esse tipo de disposição de resíduo.

Esse estudo abrange cenários hipotéticos e muitas considerações foram feitas. Grande parte dados utilizados neste estudo são secundários, oriundos de bancos de dados baseados em referências européias, que embora possam ser bastante próximos aos dados brasileiros, não são iguais.

Os impactos positivos dos cenários 02 e 03 advêm principalmente dos processos evitados da produção de aço e ferro. Entretanto, cabe ressaltar que se considerou que os processos de reciclagem tivessem um aproveitamento de 100%, o que na realidade não ocorre. Assim, principalmente no cenário 02, onde os impactos positivos são oriundos exclusivamente da não produção desses metais, pode-se dizer que se

assumiu uma condição otimista demais, e que os impactos positivos existirão, mas serão menores do que o que foi apresentado.

Com relação ao cenário 03, as peças repostas possuem a maior participação dos impactos negativos. A remanufatura exige que muitas peças sejam substituídas, inclusive o reservatório de ar, que é um item com impacto de produção bastante significativo. Sabendo que o compressor remanufaturado terá uma vida útil de apenas 5 anos, inserir peças novas, que poderiam ter sua vida útil dobrada em um compressor novo, torna a adoção desse cenário inviável.

Ainda com relação ao cenário 03, é sabido que após os 5 anos de reutilização, o compressor também se tornará obsoleto e se transformará em resíduo. Não se pode, porém, adicionar um cenário de fim de vida como o cenário 01 ou o cenário 02 a esse cenário, pois se tornaria injusto em termos de comparação. Se caso o fizesse, apenas seria aumentado o impacto ambiental inerente ao cenário 03 e estariam sendo desconsiderados os 5 anos de uso que o compressor remanufaturado ganhou.

Este estudo abrangeu a destinação pós-uso que pode ser aplicada aos compressores que se tornam obsoletos, ou seja, àqueles que chegaram aos seus 10 anos de vida útil. Assim, no cenário 03, a destinação aplicada é a remanufatura, que possibilita o uso do compressor por mais 5 anos. O impacto associado ao uso do compressor durante esses 5 anos, bem como a destinação que será dada à este após esse período de tempo não fez parte do cenário de remanufatura e reutilização.

Se além da análise pontual como foi o caso deste trabalho, fosse feita uma análise temporal, levando em consideração o tempo de vida útil dos compressores nos três cenários, o estudo poderia ficar mais completo, e então poderia ser incluído um cenário de disposição final no cenário 03.

Considerando, como exemplo, um período de 30 anos, e sabendo que a vida útil de um compressor são 10 anos, durante esse período, nos cenários 01 e 02 haveria 03 compressores a serem aterrados e reciclados, respectivamente. Já no cenário 03, sabendo que a remanufatura acrescenta 5 anos de vida útil ao compressor, ter-se-ia 02 compressores quanto resíduo. Assim, analisando o aterramento e a reciclagem de 03 compressores nos cenários 01 e 02, respectivamente, e a remanufatura e reutilização de 2 compressores no cenário 03,

juntamente com sua destinação final, o estudo poderia se tornar mais completo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da realização desta ACV foi possível identificar, dentre os cenários de pós-uso estudados, o impacto ambiental inerente a cada um deles, e apontar qual cenário se mostra ambientalmente menos impactante.

O cenário de reciclagem mostrou-se o melhor dentre os cenários estudados. O compressor de ar é constituído por materiais com alto índice de reaproveitamento, sendo plenamente aceitável a adoção deste cenário.

A ACV envolve o levantamento e o estudo minucioso de dados, o que demanda muito tempo e recursos. Neste trabalho, utilizaram-se muitos dados secundários, que podem se distanciar da realidade. Assim, em um estudo realizado em um período maior de tempo, poderiam ser utilizados mais dados primários, aproximando mais os resultados da realidade.

O estudo abrangeu cenários hipotéticos, sendo feitas muitas considerações e assumindo situações que por vezes podem não ser plenamente aplicáveis na realidade. Recomenda-se, caso haja interesse por parte da empresa em adotar o cenário apontado com ambientalmente preferível, que seja feita uma análise de todas as considerações realizadas e que se adaptem melhor os dados à realidade da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:** Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009. 21 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:** Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009. 46 p.

BANAR, Mufide; COKAYGIL Zerrim; AYSUN Ozkan. Life Cycle Assessment of solid waste management for Eiskisehir, Turkey. **Waste Management**, 2009, volume 29, edição 1. p 54 – 62. Disponível em <<http://www.movimentovalledora.org/wp-content/uploads/2009/01/lca-rifiuti.pdf>>. Acesso em 20 de agosto de 2011.

BARE, Jane C, et al. Midpoints versus Endpoints: The Sacrifices and Benefits. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. 2000. Volume 5, 6 ed. p 319 – 326. Disponível em <<http://www.springerlink.com/content/k3380k117679w131/>>. Acesso em 31 de outubro de 2011.

BOSH. **Tecnologia de ar comprimido**. Campinas, São Paulo. 2008. 30 p. Disponível em: <http://www.bosch.com.br/br/ferramentas_pneumaticas/produtos/downloads/ManualPneumatica_ARComprimido.pdf>. Acesso em 11 junho 2011.

BRASIL, 2010. Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Lex:** Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para assuntos jurídicos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 14 maio 2011.

BUZON, M. et al. In: 3RD INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2011, São Paulo. **Final de vida dos produtos, remanufatura e mercado de reuso: tendências, barreiras e desafios em um estudo de caso.** Disponível em:

<http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sesoes/4B/2/Bouzon_M%20-%20Paper%20-%204B2.pdf>. Acesso em 04 junho 2011.

CHAVES, Gisele L. Diniz, et al. In: XLIII CONGRESSO DA SOBER. 2005, Ribeirão Preto. **Diagnóstico da logística reversa na cadeia de suprimento de alimentos processados no oeste paranaense.** Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/2/699.pdf>>. Acesso em 02 junho 2011.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos: Ferramenta gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 104 p.

COLTRO, Leda (Org.). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão.** Campinas: CETEA/ITAL, 2007. 75 p. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br/figs/ACV_como_Instrumento_de_Gestao-CETEA.pdf>. Acesso em 07 maio 2011.

DA COSTA, Ennio Cruz. **Compressores.** São Paulo: Edgar Blucher LTDA., 1978. 172 p.

ELLIOTI, Brian S. **Compressed air operations, manual:** The illustrated guide to selection, installation, an maintenance. The McGraw Hill Companie, EUA, 2006. Arquivo digital.

GARCIA, Manuel Garcia. In: XIII SIMPED. 2006, Bauru, São Paulo. **Logística reversa: Uma alternativa para reduzir custos e criar valor.** Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1146.pdf>. Acesso em 04 junho 2011.

GUTIERRES, Nathalie. Avaliação do ciclo de vida do produto (ACV). **Meio Ambiente,** São Paulo p. 01-04, 2008. Disponível em:

<http://www.baumer.com.br/Baumer/upload/artigo/Portugues/meio_ambiente.pdf>. Acesso em 07 maio 2011.

HAN, Guyuan; SREBRIC, Jelena. Life Cycle Assessment Tools for Building Analysis. 2011. **The Pennsylvania Housing Research Center**. Research Brief RB0511. Disponível em <<http://www.engr.psu.edu/phrc/Publications/RB0511-Life-cycle%20assessment%20tools%20for%20bldg%20analysis%20.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2011.

HEIJUNGS, Reinout, et al. **Towards a life cycle impact assessment method wich comprises category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report of the first project phase: Design of the new method.** 2003, 74 p. Disponível em: <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_phase1.pdf>. Acesso em 01 de novembro de 2011.

IBAM. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2001. 200 p. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em 14 maio 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 19 junho 2011.

IPPUJ – FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE (Org.). **Joinville cidade em dados 2010/2011.** Joinville, Prefeitura Municipal, 2011. 194p.

JOLLIET, Olivier, et al. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Assessment Methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment.** 2003. Volume 8, 6 ed. p 324 – 330. Disponível em <<http://www.imamu.edu.sa/topics/IT/IT%206/A%20New%20Life%20Cycle%20Impact%20Assessment%20Methodology.pdf>>. Acesso em 31 de outubro de 2011.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003. 250 p.

MAROUN, Christianne Arraes. **Manual de gerenciamento de resíduos: guia de procedimento passo a passo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2006. 25 p. Disponível em: <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/DCD795F87D589C3D832573D3004DF067/\\$File/NT0003744E.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/DCD795F87D589C3D832573D3004DF067/$File/NT0003744E.pdf)>. Acesso em 07 junho 2011.

LIMA, Maria do Carmo; MORETTI, Sérgio L. do Amaral; CRNKOVIC Luciana H. In: XI ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE. 2009. **Gestão de resíduos pós-consumo do setor de telefonia móvel: A contribuição da logística reversa**. Disponível em: <http://www.unifor.br/docs/engema/apresentacao_oral/ENGEMA2009_042.pdf>. Acesso em 29 maio 2011.

MASSUKADO, Luciana Miyoko; ZANTA, Viviana Maria. **Simgere – Software para avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares**. 2005. Disponível em: <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v11n02/v11n02a02_019_05.pdf>. Acesso em 29 maio 2011.

MELO, Lucas Araújo; SATTER, Klaus Dieter; JANISSEK, Paulo Roberto. **Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos de Curitiba**. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v14n4/15.pdf>>. Acesso em 29 maio 2011.

METALPLAN. **Manual de ar comprimido**. 4ª Ed. 2010. Disponível em: <http://www.metalplan.com.br/pdf/br2/manual_de_ar_comprimido.pdf>. Acesso em 11 junho 2010.

NASCIMENTO, Silvia Cremonese; HYPOLITO, Raphael; RIBEIRO, André Afonso. **Disponibilidade de metais pesados em aterro de indústria siderúrgica**. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v11n3/a02v11n3.pdf>>. Acesso em 15 junho 2011.

NATUME, R. Y.; SANT'ANNA F. S. .P. . In: 3RD INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2011, São Paulo. **Resíduos eletroeletrônicos: Um desafio para o desenvolvimento sustentável e a nova lei da política nacional de resíduos sólidos.** Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5B/6/Natume_RY%20-%20Paper%20-%205B6.pdf>. Acesso em 11 junho 2011.

PINHEIRO, Eualdo Lima; MONTEIRO, Márcio Augusto; FRANCO, Rosana G. Pereira. **PGIREE – Plano de gerenciamento integrado de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.** Governo de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008. 30 p. Disponível em: <http://www.projettoreciclar.ufv.br/docs/cartilha/pgi_equipamentos_eletronicos.pdf>. Acesso em 11 junho 2011.

PORTUGAL, Susane Meyer; DANTÉS, Gabriela Büchi. Diagnóstico da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) 2010. **Resíduos em referência: Gestão de Resíduos e Sustentabilidade.** 2010. Disponível em: <<http://www.redeambiente.org.br/REVISTA%20FINAL.pdf>>. Acesso em 12 junho 2011.

PMJ – PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. Disponível em: <<http://www.joinville.sc.gov.br/>>. Acesso em 19 junho 2011.

RIBEIRO, Catarina; FERREIRA, José F.; PARTIDÁRIO, Paulo. Life Cycle Assessment of a Multi-Material Car Component. **The International Journal Life Cycle Assessment**, 2007, volume 12, número 5, p 336 – 345. Disponível em <<http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1038/1/LIFECYCLE.pdf>>. Acesso em 02 de novembro de 2011.

ROGERS, Dale S; TIBBEN-LEMBKE, Ronald S. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices.** University of Nevada, Reno. Center for Logistics Management. 1998. Disponível em <<http://www.rlec.org/reverse.pdf>>. Acesso em 12 de junho de 2011.

SANTOS, Lino José Cardoso. **Avaliação do ciclo de vida e custeio do ciclo de vida de evaporadores para usinas de açúcar.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SÃO PAULO. Lei n. 13.576 de 06 de julho de 2009. Institui normas e procedimentos para reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico. **Lex: Legislação do estado de São Paulo.** Disponível em <<http://www.legislacao.sp.gov.br/legislacao/dg280202.nsf/ae9f9e0701e533aa032572e6006cf5fd/86e5ff9c24b94a5f032575ec004d0d2a?OpenDocument&Highlight=0,13.576,2009>>. Acesso em 11 junho 2011.

SCHULZ. **Compressores alternativos e de pistão: Treinamento técnico e comercial.** 2003. Disponível em: <<http://instemaq.com/manualtreinamento/--025.0414-0%20-%20Trein.%20T%E9c.%20Comercial%20-%20Compr.%20Alter.%20de%20Pist.pdf>>. Acesso em 11 junho 2011.

SIMBOLI, Alberto, et al. **Product end-of-life in the motorcycle industry. Defining scenarios.** Life Cycle Management Conference, Berlim, 2011.

SEO, Emilia Satoshi Miyamaru; KULAY Luiz Alexandre. Avaliação do ciclo de vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão. **InterfacEHS Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente.** 2006. Disponível em: <<http://pintassilgo2.ipen.br/biblioteca/2006/15451.pdf>>. Acesso em 10 maio 2011.

SOUSA, Danielle Maia; RUBINGER, Sabrina Dionísio. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2005, Campo Grande, MS. **Implementação da metodologia de análise do ciclo de vida na gestão de resíduos sólidos urbanos.** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-089.pdf>>. Acesso em 27 maio 2011.

SOUSA, Sabrina Rodrigues. **Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida.** 2008. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

UNEP. **Compressors and compressed air systems**. 2006. Disponível em:

<<http://www.retscreen.net/.../Compressors%20and%20Compressed%20Air%20Systems.pdf%20->>. Acesso em 11 junho 2011.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de janeiro de 2003. Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). **Lex: EUR-Lex** – Acesso ao direito da União Européia. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0024:0038:es:PDF>>. Acesso em 11 junho 2011.

USEPA (Org.). **Life cycle assessment: Principles and practice**. 2006. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf>>. Acesso em 07 maio 2011.

ZANGHELINI, Guilherme Marcelo. **Análise de ciclo de vida de um reservatório componente de um compressor de ar**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ZAPPAROLI, I. D.; SILVA, S. S. In: 3RD INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2011, São Paulo. **Desenho da Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Etanol Combustível pelo Método CML 2000 com SimaPRO**. Disponível em <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5A/2/Zapparoli_ID%20-%20Paper%20-%205A2.pdf>. Acesso em 01 de novembro de 2011.

ZOLDAN, Marcos Aurélio. **Análise dos requisitos organizacionais para a avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos madeireiros**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. Disponível em:

<http://www.pg.cefetpr.br/ppgep/dissertacoes/diss_2008/marcos_ppgep.pdf>. Acesso em 10 maio 2011.