

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC  
UNIDADE ACADÊMICA DE HUMANIDADES, CIÊNCIAS E  
EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**JACIRA APARECIDA DE SOUZA WAGNER ZANATTA**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE GRANALHA DE AÇO  
UTILIZADA EM JATEAMENTO DE PEÇAS METÁLICAS**

**CRICIÚMA  
2016**



**JACIRA APARECIDA DE SOUZA WAGNER ZANATTA**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE GRANALHA DE AÇO  
UTILIZADA EM JATEAMENTO DE PEÇAS METÁLICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin  
Coorientador: Prof. Dr. Clandio Favarini Ruviaro

**CRICIÚMA  
2016**

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Z27a Zanatta, Jacira Aparecida de Souza Wagner.

Análise do Ciclo de Vida de granalha de aço utilizada em jateamento de peças metálicas / Jacira Aparecida de Souza Wagner Zanatta ; orientador : Adriano Michael Bernardin ; coorientador: Clandio Favarini Ruiaro. – Criciúma, SC : Ed. do Autor, 2016.

104 p. : il.; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2016.

1. Resíduos sólidos. 2. Impacto ambiental – Avaliação.  
3. Granalha de aço – Reaproveitamento. 4. Avaliação do Ciclo de Vida. I. Título.

CDD. 22ª ed. 363.7285



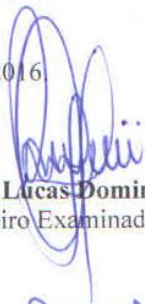
Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC  
Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão  
Unidade Acadêmica de Humanidades, Ciências e Educação  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

---

## PARECER

Os membros da Banca Examinadora homologada pelo Colegiado de Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (Mestrado) reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de MESTRADO apresentada pela candidata **JACIRA APARECIDA DE SOUZA WAGNER ZANATTA** sob o título: “Análise do ciclo de vida de granalha de aço utilizada em jateamento de peças metálicas”, para obtenção do grau de **MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, os membros são de parecer pela “**APROVAÇÃO**” da Dissertação.

Criciúma/SC, 31 de agosto de 2016.



Prof. Dr. Lucas Dominguini  
Primeiro Examinador



Prof. Dr. Jairo José Zocche  
Segundo Examinador



Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin  
Presidente da Banca e Orientador



Ao Antônio, meu esposo, e aos  
meus filhos Rafael, Sarah e Lucas.





## AGRADECIMENTOS

A Deus, figura abstrata, mas sempre presente em todos os momentos de minha vida.

A meu pai, meus avós e meus sogros, meus mestres, pois a sabedoria transcendeu às barreiras entre o existente e o não existente.

À minha mãe, presença marcante e constante em minha vida e a meus irmãos, cunhados e sobrinhos que sempre unidos, nunca me deixaram desanimar.

Ao Antônio, meu marido e aos meus filhos Rafael, Sarah e Lucas, que estiveram sempre ao meu lado, sem cobrança, felizes com minhas vitórias, ansiosos e tristes com as derrotas.

À família UNIBAVE e funcionários da empresa, objeto deste estudo, pelo apoio e ajuda em todos os momentos.

Enfim, a todos os amigos e professores e, especialmente, à professora Viviane, professor Jairo e professor Michelangelo, por participarem de minha banca de qualificação e muito contribuírem para esta dissertação com suas observações. Ao meu orientador professor Adriano, coorientador professor Cláudio, partilhando e compartilhando seus conhecimentos e à Isadora, secretária do PPGCA e coordenação do curso, sempre muito efetiva em suas considerações no decorrer do mestrado.



“Riscos ambientais devem ser identificados e enfrentados; nunca omitidos ou contornados”.

Cyro Eyer do Valle



## RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na perspectiva ambiental é empregada para orientar ações de melhoramento no desempenho e inovação no sistema produtivo, objetivando o desenvolvimento sustentável. Esta pesquisa apresenta a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida de forma simplificada, elaborada de forma manual, e propõe alternativas para o destino correto do resíduo oriundo do jateamento de peças metálicas com granalha de aço, com vistas à adequação ambiental da empresa fabricante de implementos rodoviários. Buscaram-se, por meio de formulários aplicados ao corpo técnico da empresa, os dados relativos à massa, ao gasto energético e aos resíduos gerados. A partir dos especialistas técnicos e da área ambiental, efetuou-se a pesquisa para uma análise qualitativa de produtos para jateamento na perspectiva ambiental. Para o jateamento abrasivo, a granalha de aço foi o produto que recebeu a melhor pontuação no quesito ambiental. Na ACV comparativa, viu-se que o impacto maior era quando se empregava areia, abrasivo utilizado anteriormente pela empresa, recebendo 48 pontos, e a granalha de aço, abrasivo usado atualmente, é a que gera menos impacto, com 79 pontos. Na observação dos resíduos gerados, viu-se um primeiro cenário com o descarte deles sem o cuidado ambiental adequado. Relativo ao quesito resíduos gerados, observou-se a importância do emprego da granalha, pois ela é passível de reutilização por 400 vezes, na média, contra 2 vezes da areia e, no final do processo, o uso da areia gera um passivo ambiental a ser estudado com mais profundidade, enquanto que a granalha de aço pode ser descontaminada e reciclada, voltando às aciarias para a fabricação de um novo produto. Verificou-se que o pó de granalha era descartado via sucateiro, mesmo sendo enquadrado como resíduo classe I, sem o acompanhamento de sua destinação. Propôs-se, então, um segundo cenário com a reciclagem do pó de granalha. Na alternativa proposta serão objetos de descarte somente os contaminantes existentes os quais, segundo os engenheiros responsáveis pela área de jateamento da empresa, são na ordem de 6 a 10% dos resíduos gerados. Observou-se desta forma uma redução substancial na geração de resíduos a serem descartados, propiciando à empresa melhor alternativa de adequação à legislação ambiental. Vê-se então a importância da ACV para a gestão ambiental visando à sustentabilidade dos processos e indiretamente do planeta.



**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Meio ambiente. Reutilização. Reciclagem. Impacto ambiental.





## ABSTRACT

The Life Cycle Assessment (LCA) in environmental perspective is used to orient the performance improvement action and the innovation in the production system to get sustainable development. This research presents the Life Cycle Assessment in a simple way, which was manually prepared and it proposes alternatives for the right destination of residues from steel grit blasting to obtain environmental adaptation of a road implements manufacturer company. Through documents from the technical personnel of the company the data about the mass, energetic waste and generated residue was obtained. With technical specialists from the environmental department, the research was issued to get a qualitative analysis of products used for blasting in an environmental perspective. Regarding the abrasive blasting, the steel grit was the product that received the best evaluation about environmental. In the comparative LCA the biggest impact was when sand, the abrasive used before in the company, was used, receiving 48 points. The steel grit, the abrasive currently used in the company, is the one that presents the least problems, receiving 79 points. Checking the generated residue, it was not discarded with the correct environmental care. About generated residue, the grit usage is important, because it can be reused about 400 times while sand can be reused only 02 times and at the end of the process the sand is an environmental liability to be studied carefully, while steel grit can be decontaminated and recycled going back to the steel works to produce a new product. It was found that the grit powder was discarded by a scrap dealer, even though it was being classified as class 1, without the tracking of the destination. It was proposed the recycling of the grit powder then. In the proposed alternative, only the contaminants will be object of discard, because according to the responsible engineers for the blasting area of the company they range from 6 to 10 % of the generated residue. In this case, it was observed that a relevant amount of generated residue without the correct discard has decreased, adapting the company to the environmental legislation. Therefore, LCA is important to make environmental management aiming the planet sustainability.

**Keywords:** Solid Residue, Environment, Reusage, Recycling, Environment



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia de prioridade para os resíduos propostos pela PNRS .....	37
Figura 2 - Representação esquemática da ACV: consumo de recursos naturais e energia nas diversas etapas do ciclo de vida de um produto e as emissões associadas a todas as etapas .....	39
Figura 3 - Fluxograma dos processos inicial e final da granalha de aço em uma empresa de implementos rodoviários .....	62
Figura 4 - Fluxo da etapa de jateamento .....	63
Figura 5 - Contêiner para acondicionamento do resíduo de granalha de aço .....	79
Figura 6 - Briquetes oriundos de pós metálicos .....	81
Figura 7 - Briquetadeira PBH-D-60T especial para pó de ferro e aço com óleo mineral e celulose em pó (meio filtrante).....	82



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Pontuação do ciclo de vida de produtos utilizados para jateamento, segundo pesquisa realizada com especialistas. ....	59
Gráfico 2 - Pontuação relativa ao ciclo de vida de produtos com ação abrasiva, segundo pesquisa realizada com especialistas .....	60
Gráfico 3 - Primeira etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço - Extração .....	70
Gráfico 4 - Segunda etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço - Implantação.....	71
Gráfico 5 - Terceira etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço - Operação .....	72
Gráfico 6 - Quarta etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço – Transporte/embalagem.....	74
Gráfico 7 - Quinta etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço – Disposição final.....	75
Gráfico 8 - Total dos impactos em cada etapa do ciclo de vida .....	76



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais softwares de ACV disponíveis .....	52
Quadro 2 - Principais bancos de dados de ACV disponíveis .....	52
Quadro 3 - Matriz de avaliação de produto ambientalmente responsável .....	53
Quadro 4 - Classificação da análise dos produtos ambientalmente responsável em cada um de seus estágios de ciclo de vida. ....	65
Quadro 5 - Análise comparativa entre a utilização de areia e granalha de aço para jateamento de peças metálicas. ....	69
Quadro 6 - Demonstrativo da movimentação da granalha entre os meses de janeiro/2015 a junho/2016 em tonelada.....	77





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEN	Associação Brasileira de Energia Nuclear
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
ACV	Avaliação do Ciclo e Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CF	Constituição Federal
CG <sub>par</sub>	Classificação Geral do Produto Ambientalmente Responsável
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
EMPA	<i>Swiss Federal Laboratories for Testing and Research</i>
GAPA	Grupo Avaliador de Projeto Ambiental
GRI	<i>Global Initiative Reporting</i>
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IPAT	Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCM	<i>Life Cycle Management</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
NBR	Norma brasileira
PLA	<i>Produkt-Linien-Analyse</i>
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
RS	Rio Grande do Sul
SBRT	Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: UMA FERRAMENTA IMPORTANTE PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.</b> .....	<b>31</b>
2.1 SUSTENTABILIDADE.....	31
<b>2.1.1 Impactos dos resíduos sobre o meio ambiente</b> .....	<b>34</b>
2.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	36
2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA .....	38
<b>2.3.1 A evolução da ACV</b> .....	<b>40</b>
<b>2.3.2 A importância da ACV para as empresas</b> .....	<b>44</b>
<b>2.3.3 Itens fundamentais para o entendimento da Análise do Ciclo de Vida dos Produtos</b> .....	<b>46</b>
<b>2.3.4 Metodologia de ACV</b> .....	<b>47</b>
2.3.4.1 Definição do objetivo e escopo .....	47
2.3.4.2 Inventário do Ciclo de Vida– ICV .....	49
2.3.4.3 Avaliação dos Impactos Ambientais do Ciclo de Vida (AICV) .....	49
2.3.4.4 Interpretação.....	50
2.3.4.5 Relatório Final e Revisão Crítica .....	50
<b>2.3.5 Formas de Avaliação do Ciclo de Vida de um Produto</b> .....	<b>51</b>
2.3.5.1 Avaliação do Ciclo de Vida por meio de métodos computacionais.....	51
2.3.5.2 Avaliação do Ciclo de Vida de forma simplificada e manual utilizando a matriz de Graedel e Allenby .....	53
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>57</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS</b> .....	<b>59</b>
4.1 RESULTADOS DA PESQUISA SOBRE A ACV EM UMA PERSPECTIVA AMBIENTAL .....	59
4.2 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E DO ESCOPO DA ACV .....	61
4.3 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA AREIA E DA GRANALHA DE AÇO.....	61
4.4 MATRIZ DE AVALIAÇÃO DE PRODUTO AMBIENTALMENTE RESPONSÁVEL.....	64
4.5 DESTINO ATUAL DO RESÍDUO DE GRANALHA DE AÇO ...	77
4.6 MEDIDAS ALTERNATIVAS PARA REUSO DOS RESÍDUOS DE GRANALHA DE AÇO.....	79
<b>4.6.1 Adição de resíduo em pó de granalha de aço a concreto e massa asfáltica</b> .....	<b>80</b>
<b>4.6.2 Descontaminação do pó de granalha de aço</b> .....	<b>80</b>



<b>4.6.3 Fabricação de briquetes.....</b>	<b>80</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO A – QUADRO COM AS NORMAS SOBRE ACV PRODUZIDAS PELO TC 207/SC05.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO B - QUESTIONÁRIO DE COLETA DE DADOS SIMPLIFICADO.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO C – CLASSIFICAÇÃO DO RESÍDUO DA GRANALHA DE AÇO EFETUADO PELO IPAT.....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE A – FORMULÁRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELOS PRODUTOS UTILIZADOS PARA JATEAMENTO.....</b>	<b>99</b>



## 1 INTRODUÇÃO

No decorrer da história, viu-se que o homem, desde a sua existência na Terra, tudo tem feito para melhorar sua forma de viver neste planeta de maneira criativa. Utilizou os recursos naturais sem a preocupação de que a natureza não é propriamente infinita, mas desgastase, diminui e pode desaparecer (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

Avista-se, também, que há um aumento desregrado pelo consumo, pela exploração de recursos naturais, como se não existissem limites, e, com o avanço da tecnologia, com a troca de informação de forma rápida e precisa, a geração de novos produtos se multiplica em progressão geométrica. Há um aumento significativo da competitividade em âmbito mundial, bem como problemas relativos ao meio ambiente, como: o aquecimento global, altos índices de desmatamento e poluição, e a falta de alguns recursos naturais, como a água potável e a geração de resíduos. Os resíduos gerados constituem-se uma das principais preocupações ambientais a serem enfrentadas pela sociedade que pretende alcançar o desenvolvimento de forma sustentável. Após inúmeros problemas ambientais, o poder público, por meio de legislações ambientais e de seus órgãos fiscalizadores, pressionou os fabricantes a se responsabilizarem pelos resíduos que geram (LEITE, 2009).

Para uma análise do impacto ambiental, em todo o ciclo de vida, têm-se realizado estudos da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), compostos de balanços materiais e energéticos, do berço ao túmulo, ou seja, inicia com a extração da matéria prima se prolongando até a destinação final do produto visando estudar as etapas pelas quais passa o produto e qual sua influência em relação ao meio ambiente (VALT, 2004).

O interesse pelo tema surgiu após uma visita de estudos feita pelos alunos e professores do mestrado em Ciências Ambientais da UNESC à empresa, quando a engenheira ambiental da organização salientou sua dificuldade em dar o destino correto ao resíduo gerado no processo de jateamento. Vislumbrou-se a possibilidade de se efetuar uma ACV para determinar os impactos ambientais em todo o processo de jateamento, não se atendo somente ao destino dos resíduos, pois foi efetuada pesquisa na base de dados do Scopus para o intervalo entre os anos de 1987 a 2016; verificou-se que na área ambiental havia somente 29 pesquisas relativas à granalha de aço e nenhuma versava sobre a sua ACV.

Como a empresa utilizava anteriormente a areia como abrasivo, e há muitas empresas na região que ainda a utilizam, vislumbrou-se a

importância de efetuar uma ACV comparativa entre os abrasivos areia e granalha, objetivando visualizar as semelhanças/diferenças existentes na utilização destes abrasivos e a destinação adequada para o resíduo de granalha de aço gerado.

Teve-se como objetivo analisar o ciclo de vida da areia e da granalha de aço utilizadas no processo de jateamento de implementos rodoviários em uma empresa da região sul catarinense na perspectiva ambiental. Como objetivos específicos: inventariar o ciclo de vida da granalha de aço e da areia; verificar o destino dado atualmente para o resíduo de granalha de aço e propor medidas alternativas para o uso do resíduo em pó da granalha de aço resultante do processo de jateamento.

Como problema de pesquisa tem-se: quais os resultados gerados pela ACV simplificada comparativa, dos impactos ambientais dos abrasivos areia e granalha de aço utilizado para o jateamento de peças metálicas?

Buscou-se por meio de literatura, análise de documentos e pesquisa de campo em uma empresa fabricante de implementos rodoviários, elaborar uma ACV de forma simplificada, visando oportunizar uma visão ampla dos impactos ambientais gerados na utilização dos dois abrasivos.



## 2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: UMA FERRAMENTA IMPORTANTE PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O desenvolvimento sustentável ocorre, segundo Montibeller Filho (2007), quando há crescimento econômico oportunizando qualidade de vida à população e cuidado com o meio ambiente. Partindo desta premissa, discorre-se sobre os temas relativos à sustentabilidade e Análise do Ciclo de Vida na perspectiva ambiental.

### 2.1 SUSTENTABILIDADE

A Revolução Industrial propiciou um aumento desenfreado da produtividade, proporcionando grande parte dos problemas ambientais enfrentados atualmente (DEMAJOROVIC, 2003). No século XX houve o maior e mais rápido avanço tecnológico da história da humanidade, bem como uma das maiores agressões ao meio ambiente, não se levando em conta a finitude dos recursos naturais (SCHRAMM, 1999).

Há, segundo Boff (2011), uma busca desenfreada pelo lucro incessante por parte das empresas, juntamente com políticas públicas, protegendo o capital que está levando o planeta Terra a entrar em colapso. Nesse sentido, Montibeller Filho (2000. p. 130) afirma que:

[...] os preceitos de equidade social, econômica e ambiental, sincrônica e diacrônica, inerentes ao paradigma do Desenvolvimento Sustentável anseio da maioria das sociedades, no mundo de hoje – são inatingíveis no sistema capitalista.

Segundo Moura (2006), ocorre uma tensão entre o crescimento econômico de forma ilimitada, com a extinção dos recursos ambientais. Infere-se que esse modelo de desenvolvimento vigente provoca a insustentabilidade. De acordo com Miller Júnior (2007 p. 9), deve-se atentar à pegada ecológica *percapita*, que é a “quantidade de água e terra biologicamente produtiva necessária para fornecer a cada pessoa os recursos que ela usa e para absorver os resíduos gerados com o uso desses recursos”. O autor afirma também que ela ultrapassa cerca de 21% da capacidade da terra de absorver os resíduos repondo os recursos renováveis.

O passo fundamental à compreensão da sustentabilidade é o reconhecimento de que todas as formas de vida que habitam a Terra têm

o direito a esta existência (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002). O conceito de sustentabilidade, “deve ser focado na troca entre os seres humanos e a natureza, e deveria representar o significado literal de ‘sustentabilidade’, isto é, uma humanidade suportável pela biosfera” (WINTER, 2009, p. 22).

Um importante documento que versa sobre este tema é a Carta da Terra. Ela foi retificada pelo UNESCO e aprovada pela ONU em 2002:

Devemos somar forças para gerar uma sociedade sustentável global baseada no respeito pela natureza, nos direitos humanos universais, na justiça econômica e numa cultura da paz. Para chegar a este propósito, é imperativo que nós, os povos da Terra, declaremos nossa responsabilidade uns para com os outros, com a grande comunidade da vida, e com as futuras gerações (CARTA DA TERRA, 2002).

O objetivo principal do desenvolvimento sustentável é a satisfação das necessidades do ser humano, pois ele é um processo que busca transformar a direção dos investimentos, a exploração dos recursos e o desenvolvimento tecnológico em processos harmônicos, para atender todas as necessidades e aspirações humanas (DIAS, 2007). O estudo de Pires (1999, p. 125) corrobora: “[...] pensar o ambiente de forma integrada, constitui em assegurar o equilíbrio entre o homem e o espaço que este ocupa”.

Na década de 80, a expressão desenvolvimento sustentável se consolidou com o documento intitulado Nosso Futuro Comum, também conhecido como relatório Brundtland, apresentado pela Comissão Mundial da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e presidida por Gro Harlem Brundtland e Monsour Klaclem 1987, no qual o termo sustentável é proposto como uma estratégia de desenvolvimento. A definição de desenvolvimento sustentável inserida neste relatório é “aquele que procura satisfazer as necessidades da geração atual sem comprometer as necessidades das gerações futuras” (MORALES, 2012, p. 63).

O relatório Brundtland aponta para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo. Cabe aqui salientar que o modelo proposto pelo documento Nosso Futuro Comum não está sugerindo a parada do crescimento econômico, mas sim que haja conciliação com o social e o ambiental. Quando se pensa em

desenvolvimento de uma localidade, deve-se ter como prioridade atender às necessidades básicas, ofertando melhorias na qualidade de vida para todos os atores, afirma Barbosa (2008).

Deve-se manter em equilíbrio o social, o econômico e o ambiental (DIAS, 2007). Cabe aqui salientar que os pilares social, econômico e ambiental estão previstos na Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988). Devem-se promover os resultados esperados com o menor custo possível (ROSA, 2014). Aliado ao econômico, é preciso ter a responsabilidade para com a sociedade e o meio ambiente, buscando reduzir ou evitar possíveis riscos e danos sem a redução nos lucros (MACHADO; ELISEU, 2005).

As empresas, sejam elas de pequeno ou grande porte, ainda tomam suas decisões pautadas em aspectos econômico-financeiros. Porém, o peso desses aspectos sofre alterações com a crescente deterioração dos ecossistemas e com a escassez de recursos naturais. Convém aqui salientar que o desrespeito à resiliência ambiental e a ausência de contemplação de questões sociais representam riscos ao negócio, na forma de passivos ambientais e da legislação cada vez mais restritiva. As empresas começam, então, a planejar suas ações, englobando a sustentabilidade econômica, ambiental e social, de forma conjunta e sempre que possível, por motivos competitivos e estratégicos (LEITE, 2009).

As estratégias de algumas empresas já observam essa realidade, trazendo conceitos como: ética, responsabilidade social, visão crítica e desenvolvimento sustentável (DEMAJOROVIC, 2003; TACHIZAWA; ANDRADE, 2008).

O desafio das organizações é o de adaptar sua gestão às demandas do meio ambiente. Vê-se que não existe espontaneidade nas preocupações relativas ao meio ambiente, pois elas são influenciadas pelo governo, sociedade e mercado que interagem de forma recíproca (BARBIERI, 2007). Há, portanto, necessidade de fortalecer os movimentos ambientalistas e sociais para que eles exerçam pressão no Estado e na economia de modo a amenizar a degradação oriunda das atividades empresariais (MONTIBELLER FILHO, 2007).

A economicidade socioambiental será plena quando todos os atores envolvidos no processo se conscientizarem que não devem se ater somente à geração de lucros, mas também às relações sociais, à preservação dos recursos naturais, para proporcionar qualidade de vida a todas as pessoas, não só na atualidade, assim como às gerações futuras, conforme visto no documento Nosso Futuro Comum (1988); Cen (2008).

Todos os atores sociais devem se preocupar com os aspectos ambientais e entre eles têm-se os impactos que os resíduos gerados em sua atividade produtiva causam ao meio ambiente. Em um processo produtivo, somente parte das matérias-primas e da energia são convertidos em produtos úteis, o restante se transforma em rejeitos, e para que haja desenvolvimento sustentável é necessário diminuir os impactos adversos sobre a água, ar, solo entre os demais elementos naturais, para se conservar um ecossistema com integridade (NOSSO FUTURO COMUM, 1988).

Na Rio 92, como acentua Cen (2008), foi que o desenvolvimento sustentável passou a ser associado a resíduos sólidos e a sua gestão é direita do cidadão. Deve-se ter presente a exiguidade de espaço e recursos no meio ambiente e é preciso pôr fim às dificuldades que o atual modelo de desenvolvimento expõe. Se não forem considerados esses fatores elencados, será difícil a implementação dos

Princípios assumidos na Agenda 21, de 1992, Relatório Brundtland, ao Clube de Roma, em 1987, a Declaração do Rio, a Convenção sobre Diversidade Biológica e a Convenção sobre Mudanças Climáticas em 1992, e as Metas para o Milênio (STRAUCH; ALBUQUERQUE, 2008, p. 213).

### **2.1.1 Impactos dos resíduos sobre o meio ambiente**

O crescente lançamento de novos produtos, modelos, formatos e marcas, nos últimos anos, geram um novo conceito de consumo na sociedade. Também aumentam as atividades de produção e consumo, juntamente com a geração de resíduos lançados na atmosfera, nas águas e nos solos, sendo que eles possuem capacidade fixa de assimilação (LEITE, 2003).

Na criação de produtos e serviços por minas, fábricas, fazendas e negócios, há a geração de resíduos sólidos de forma direta ou indireta. A maioria dos resíduos gerados representa um desperdício dos recursos preciosos da Terra e causa a poluição do ar, da água e a degradação deste planeta. Pode-se reduzir a geração de resíduo em 75% a 90% por meio de um bom gerenciamento, com a diminuição do consumo ou com a reprojeção dos produtos fabricados para que simulem o tratamento que a natureza dá aos resíduos. Outra forma é o reaproveitamento e a reciclagem (MILLER JÚNIOR, 2013).

A redução da geração de resíduos ocorre quando se adota um modelo que emprega matérias-primas que geram menores volumes de resíduos ou com métodos de produção alternativos, facilitando o tratamento ao fim da vida útil do produto (MOURA, 2006).

O quesito reutilizar contempla o consumo de produtos que possam ser reaproveitados ao fim de sua vida útil. Existem várias formas de se reutilizar. Há formas simples, em que os produtos não precisam ser reparados, apenas limpos; ou mais complexas, as quais exigem reparação ou renovação (ROSA; FRACETO; CARLOS, 2012). O reuso oportuniza a extensão da vida útil de um produto pelo qual os impactos relativos à produção primária são aproveitados por mais tempo, causando assim impacto menor por unidade funcional (ARAUJO, 2013).

Em relação à reciclagem, afirma-se que é o “aproveitamento do material de que um produto é feito, normalmente após a descaracterização química ou física e fabricação de outros produtos e, às vezes, do mesmo produto do resíduo original” (ROSA; FRACETO; CARLOS, 2012, p. 347). Há dois ciclos na reciclagem: o fechado “*closed loop*”, que ocorre quando o material é reciclado com a finalidade do produto original, e o ciclo aberto “*open loop*”, se o material é utilizado para outra finalidade e/ou suas propriedades são alteradas (ARAUJO, 2013).

As empresas envolvidas com a questão ambiental buscam um produto oriundo de matéria-prima renovada ou que possa ser reciclável, com baixo consumo de energia no processo e sem agressão ao meio ambiente; com controle eficaz relativo à emissão de poluição; com uma geração mínima de resíduos e com a qual os colaboradores trabalhem sem riscos. Infere-se já uma crescente preocupação com o desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos (DONAIRE, 1999). Observa-se que todos esses pontos são discutidos pelas organizações que verificam “[...] os impactos de suas políticas e ações em seus empregados, clientes, comunidades e na sociedade como um todo” (VILELA JÚNIOR; DEMAJOROVIC, 2010, p. 16).

Assim sendo, segundo Montibeller Filho (2007), há dois eixos a considerar relativos à gestão econômico-ambiental por parte das organizações: um voltado às restrições de sua atividade imposta pela legislação vigente, e o outro relativo às oportunidades mercadológicas. Para efetuar a venda de seus produtos, há cada vez mais a exigência, por parte dos consumidores, de que as empresas produtoras atendam aos quesitos ambientais quanto ao seu processo produtivo.

## 2.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), “o descarte inadequado de resíduos tem produzido passivos ambientais capazes de colocar em risco e comprometer os recursos naturais e a qualidade de vida das atuais e futuras gerações” (BRASIL, 2006, p. 13).

Os resíduos gerados podem seguir destinos diferentes: serem descartados em aterros sanitários, lixões a céu aberto ou aterros controlados; serem lançados na natureza, poluindo o meio ambiente, ou retornar por meio de uma cadeia de distribuição reversa. Quando não há condições de serem reutilizados é que se deve enviá-los aos aterros sanitários. No entanto, são inúmeros os resíduos encaminhados aos aterros sanitários indevidamente (SHIBAO; MOORI; SANTOS, 2010).

A logística reversa pode ser vista como um novo paradigma no processo produtivo, pois reduz a exploração de recursos naturais, recupera materiais para o seu retorno aos ciclos produtivos e diminui o volume da poluição proveniente dos materiais descartados indevidamente no meio ambiente (BARBIERI; DIAS, 2002).

Para que haja um gerenciamento eficaz dos resíduos, foi promulgada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no Brasil (2010), a qual versa sobre a importância do cuidado com os resíduos que devem ser observados por todos os atores que geram resíduos em todo o ciclo de vida do produto (ARAUJO, 2013).

A promulgação, em 2 de agosto de 2010, da Lei federal n°. 12.305 (BRASIL, 2010b), que cria a PNRS, propicia um arcabouço legal para a gestão de resíduos no Brasil,

[...] para os quais é demandada a logística reversa e o adequado tratamento que deve seguir uma ordem de preferência estipulada pela hierarquia de gestão de resíduos (ARAUJO, 2013, p. 6).

Em relação à destinação dos resíduos sólidos, consta na PNRS (BRASIL, 2010a) que primeiramente devem ser tentadas todas as probabilidades para o seu tratamento e recuperação, pelos diferentes meios tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, tendo como última opção a disposição final ambientalmente adequada como ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Hierarquia de prioridade para os resíduos propostos pela PNRS



Fonte: Adaptado de Araújo (2013).

A função da hierarquia exposta na Figura 1 é mostrar “as prioridades das opções de tratamento ou destinação dos resíduos, servindo, dessa forma, de visão orientadora para a inovação e para as ações que visam incentivar a ascensão na hierarquia” (CEN, 2008, p. 108).

Deve-se ter presente que seguir a hierarquia proposta pela PNRS resultará na geração de menor quantidade de resíduos, bem como economia, pois quanto maior for a hierarquia maior é o custo econômico, ressalta o autor (CEN, 2008).

A PNRS dispõe sobre gestão integrada, gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, bem como sobre as diretrizes referentes à responsabilidade dos geradores, do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Estão sujeitos à observância dessa lei todos os envolvidos na cadeia, seja pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsáveis de forma direta ou indireta pela geração de resíduos (BRASIL, 2010b).

Um dos principais objetivos da PNRS é o de estabelecer metas para a não geração, à redução, à reutilização e à reciclagem de resíduos sólidos, para diminuir a quantidade de rejeitos gerados pela sociedade (BRASIL, 2010b). Ela garante a todos os cidadãos do presente e das futuras gerações o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado; impõe ao Poder Público e à coletividade a corresponsabilidade de protegê-lo e preservá-lo (JARDIM; YOSHIDA; MACHADO FILHO, 2012).

Houve, com a PNRS, a inovação de alguns conceitos, como o da responsabilidade compartilhada e o da responsabilidade pelo ciclo de vida do produto (BARBIERI, 2013; JARDIM; YOSHIDA; MACHADO

FILHO, 2012). Com ela “[...], o fabricante é responsável pelo destino de seus produtos após a entrega aos clientes e pelo impacto ambiental provocado pelos resíduos gerados em todo o processo produtivo, e também após seu consumo” (CAMARGO; SOUZA, 2005, p. 138). Essa responsabilidade contempla as atribuições de forma individualizada e encadeada, do berço ao túmulo, dos produtos fabricados, e impõe aos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos a atribuição de diminuir a quantidade dos resíduos sólidos e rejeitos gerados, como também incentiva boas práticas de responsabilidade socioambiental, para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental, decorrentes do ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010b; HIRATUKA et al., 2013).

Um produto durante o seu ciclo de vida passa por inúmeras etapas e a ACV é uma ferramenta que demonstra de forma quantitativa e qualitativa os impactos existentes em cada etapa de acordo com D’Azevedo [2009].

### 2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

O conceito em inglês *Life Cycle Management* (LCM), ou seja, gerenciamento do ciclo de vida, no Brasil, é denominado “Análise ou Avaliação do Ciclo de Vida” (ACV) segundo Coltro et al. [2007] e Cherubini (2014).

O conceito sobre Análise de Ciclo de Vida, elencado por Chehebe (2002, p. 10), é

[...] avaliação dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final (túmulo).

Outro conceito de ACV bem difundido é o da “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a). A ACV é considerada uma abordagem holística, analisa todo o ciclo de vida, processos ou atividades relativos a um produto, “abrangendo matérias-primas, manufatura, transporte, distribuição, uso, manutenção, reciclagem e descarte final”, (VESILIND; MORGAN, 2011, p. 343)



sendo que esse ciclo compõe-se de “estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais à disposição final” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009b).

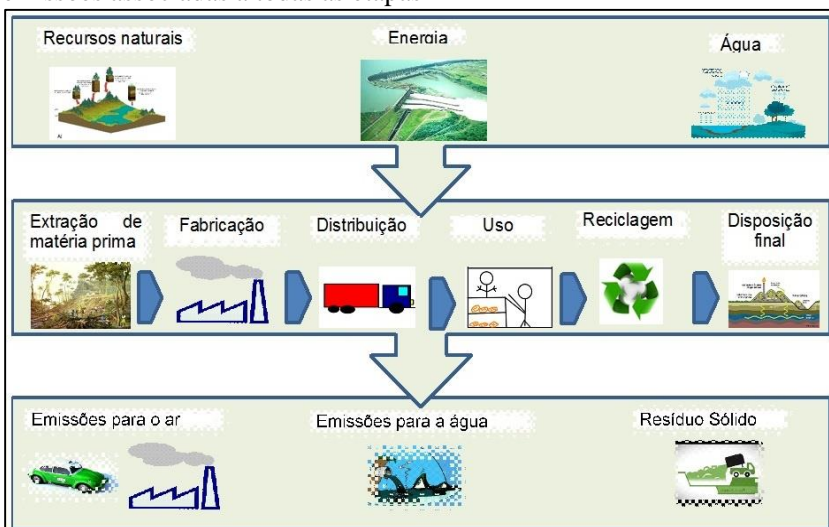
Para se elaborar uma ACV e para um gerenciamento sustentável, é necessário

Compreender de onde vieram as matérias-primas utilizadas, para onde irão os produtos fabricados, os subprodutos e os resíduos de processo, bem como os efeitos das emissões geradas para o meio ambiente, ou seja, entender o Ciclo de Vida do produto (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002, p. 8).

Uma “ACV deve produzir uma imagem completa do impacto ambiental de um produto” (VESILIND; MORGAN, 2011, p. 343).

A compreensão de todos os itens avaliados em uma ACV é fundamental para sua realização, por isto a Figura 2 exhibe a cadeia completa que compõe o ciclo de vida de um produto.

Figura 2 - Representação esquemática da ACV: consumo de recursos naturais e energia nas diversas etapas do ciclo de vida de um produto e as emissões associadas a todas as etapas



Fonte: Adaptado de Mourad, Garcia e Vilhena (2002).

A ACV é um instrumento que permite efetuar uma contabilização ambiental, considerando-se as retiradas de recursos naturais e energia, as devoluções e avaliar os impactos potenciais de entrada e saída do sistema. O início da contabilidade na natureza refere-se à utilização de água, minérios, florestas, petróleo e atmosfera, considerando todas as transformações intermediárias necessárias à confecção do produto estudado, como o seu processamento, a distribuição, o transporte, a reciclagem e a disposição final. O final da contabilidade é expresso em termos dos resíduos gerados, subprodutos e emissões para a água, terra e ar. Quanto às emissões do sistema, essas são avaliadas em relação aos impactos potenciais no que se refere ao uso de recursos naturais, saúde humana e consequências ecológicas, como o efeito estufa, o uso de recursos renováveis ou acidificação, entre outros (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

Vê-se que a inclusão dos impactos ambientais no ciclo de vida dos produtos oportuniza pela ACV uma visão que abrange os aspectos ambientais do produto ou processo bem como o *trade-off* (balanço entre prós e contras) relativo ao produto e seleção de processos (WILLERS; RODRIGUES; SILVA 2012).

Segundo Valt (2004), a metodologia ACV oportuniza identificar as oportunidades de melhorias dos aspectos ambientais levando em conta as fases relativas a um sistema de produção, gerando uma diminuição do consumo de recursos naturais e da geração de resíduos.

De forma tradicional “a ACV cobre somente os impactos ambientais” (ARAÚJO, 2013, p. 97). Entretanto, salienta o autor, a análise dos problemas contemporâneos requer a inclusão dos problemas sociais e dos custos relativos a esses problemas.

A ACV ambiental tem seu foco nos impactos relacionados com o fluxo físico dos processos, e na Análise do Ciclo de Vida Social (ACVS) o foco está nas pessoas. Seu relacionamento é com as atividades do ciclo de vida que afetam as pessoas (ARAÚJO, 2013).

### **2.3.1 A evolução da ACV**

Entre o fim da década de 1960 e início da década de 1980 ocorreu o impulso inicial do que atualmente é chamado de Análise de Ciclo de Vida (ACV), decorrente da primeira crise do petróleo em função do boicote internacional, quando o preço do barril de petróleo saltou de US\$ 2,23 para US\$ 34,00. Aconteceu uma crise na economia mundial, o que gerou uma busca de forma incessante pela redução dos custos

operacionais relacionados ao consumo de energia e de matéria-prima de processos produtivos por fontes alternativas ao uso de combustíveis e materiais de fontes fósseis. Houve um despertar para a necessidade de uma melhor utilização dos recursos naturais devido à crise econômica (CHEHEBE, 2002).

Em 1965, a Coca-Cola financiou um estudo realizado pelo *Midwest Research Institute* (MRI), objetivando uma comparação entre diferentes tipos de embalagens para os refrigerantes, a fim de determinar qual revelava índices mais adequados de emissão ao meio ambiente e melhor preservação com relação aos recursos naturais. A metodologia utilizada quantificando os recursos naturais e os índices de emissão denominou-se *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA). Essa metodologia foi aprimorada em 1974 pelo MRI, e é considerada a precursora da ACV, que é utilizada nos dias atuais (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

Foi na década de 1980, segundo Chehebe (2002), que os ambientalistas, em sua maioria da Europa, efetuaram um movimento para analisar as questões ambientais de forma holística, não somente centrada no sistema produtivo industrial. Segundo esses, a maior poluição do meio ambiente ocorria na entrega dos produtos, na sua utilização e no descarte. Mesmo com o sistema produtivo gerando impactos ambientais, havia a geração também no ato do consumo do produto.

Nesse mesmo período, “[...] a Holanda, Alemanha e Suécia propuseram um esquema político com o objetivo de reduzir o uso amplo e não sustentável dos recursos naturais e também reduzir os índices de poluição” (CHEHEBE, 2002, p. 12).

Em 1984, o Instituto Suíço *Swiss Federal Laboratories for Testing and Research* (EMPA) efetuou a análise do impacto potencial das emissões inventariadas por meio de um modelo simplificado que calculava o volume de ar e de água necessário para reduzir a emissão e concentrações abaixo do nível ambientalmente significativo, conhecido como “critério do volume crítico” (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

A análise efetuada pelo EMPA em 1984 e o banco de dados atualizado em 1991 deram origem ao primeiro *software* denominado *Okobase I e II*. Para o desenvolvimento da metodologia empregada na Análise do Ciclo de Vida (ACV), além dos estudos de caráter quantitativo, também se efetuaram estudos de caráter qualitativo, como o *Produkt-Linien-Analyse - PLA* (PROJEKTGRUPPE OKOLOGISCHE WIRTSCHAFT, 1985), incluindo os parâmetros sociais e econômicos no modelo (CHEHEBE, 2002).

Todavia, para Usón (2006), a primeira definição oficial do ACV ocorreu em 1993. Nessa definição, a ACV é um processo objetivo para aferir cargas ambientais associadas a um produto, processo ou atividade, identificando a energia, materiais utilizados e os resíduos gerados, determinando o impacto do uso da energia e materiais, avaliando e implementando práticas de melhora ambiental.

Entre os anos de 1991 e 1993, segundo Chehebe (2002, p. 7),

Um grupo estratégico denominado SAGE trabalhou dentro da *International Organization for Standardization* (ISO), procurando identificar os elementos principais para a possível elaboração de normas internacionais sobre o meio ambiente.

Esse grupo, como salienta o autor, trabalhava com a lógica do gerenciamento orientado para a preservação ambiental, pois as grandes corporações de vários países, como a Inglaterra e o Canadá, já possuíam normas sobre esse assunto.

Na União Europeia, já se elaboravam, na época, dois instrumentos de forma voluntária: um, sobre Rotulagem Ambiental, que estudava sobre os selos ecológicos, em 1992; e, o outro, sobre Auditoria Ambiental, em 1993. Havia, então, uma grande preocupação com os instrumentos gerados na União Europeia, pois as certificações e os rótulos ambientais concedidos com base em normas nacionais poderiam constituir barreiras técnicas ao livre comércio. A harmonização internacional dos instrumentos deveria ser elaborada com urgência para evitar desconforto (CHEHEBE, 2002).

No decorrer do ano de 1993, os temas trabalhados, segundo afirma Chehebe (2002), eram sobre duas lógicas distintas: de um lado, a organização das empresas; de outro, os produtos da empresa, sendo que um grupo trabalhou a harmonização das normas nacionais e regionais sobre o sistema de gerenciamento ambiental, e o outro os produtos e serviços, voltando-se para a certificação ecológica de produtos.

Constatou-se que muitos estudos aparentemente iguais chegavam a diferentes conclusões devido às considerações feitas, fronteiras adotadas, logística do abastecimento de matérias-primas e matriz energética. Havia diferenças na própria interpretação relativa ao sistema mais adequado para o meio ambiente. Esse fato oportunizou estudos tendenciosos com base na metodologia ACV, atendo-se somente aos resultados que lhes interessavam, impactando o mercado de produtos concorrentes (VESILIND; MORGAN, 2011).

Alguns autores denominaram este período como a fase de guerra das ACVs e quase chegou a comprometer essa ferramenta de avaliação. Havia uma frequente diferença entre os resultados divulgados, sendo um caso bastante discutido o relativo a uma comparação detalhada entre dois estudos feitos sobre embalagens de papelão, publicados em 1992 pela empresa Ekvall, que havia sido contratada para descobrir as razões dos casos conflitantes. Havia diferenças consideráveis nos resultados, com 30% nas necessidades de energia térmica, 60% nas necessidades de energia elétrica, 30% nas emissões de forma geral e 80% nos resíduos sólidos. Verificou-se que os dados foram tratados de formas diferentes. Esse caso ilustra a importância da qualidade dos dados de entrada, bem como o reflexo da matriz energética para o resultado do estudo. Constatou-se, então, a necessidade proeminente de padronização da metodologia e do estabelecimento de critérios rígidos que disciplinassem a forma como os estudos dessa natureza deveriam ser efetuados e levados ao conhecimento público (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

Com relação ao Ciclo de Vida do Produto, as diferenças existentes nos resultados decorrentes da avaliação do mesmo produto, bem como as diferentes metodologias utilizadas geraram inconvenientes e serviram como justificativa para a urgência da padronização de termos e critérios a serem utilizados (CHEHEBE, 2002).

A *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) foi a instituição que mais contribuiu para o debate científico referente ao ACV. Elaboraram o SETAC *Guidelines for Life Cycle Assessment*, primeiro documento voltado à padronização da metodologia. Desse modo, a padronização internacional tornou-se prioritária, criando a série de normas ISO 14.000, pois os estudos feitos nos mais diversos países poderiam tornar-se uma barreira comercial devido a não padronização da metodologia e das normas (MOURAD et al., 2002).

“As normas ISO definem requisitos gerais para a condução de ACVs e estabelecem critérios éticos para a divulgação dos resultados ao público”, afirma Chehebe (1992, p. 8). Seu objetivo é fornecer às empresas ferramentas para a tomada de decisões, bem como a avaliação das opções relativas aos métodos de manufatura afirma o autor.

As ISOs relativas à gestão ambiental da série 14.000 são separadas em grupos de normas, os quais abrangem os sistemas de gestão ambiental, a auditoria ambiental, a rotulagem ambiental, a avaliação de desempenho ambiental, a avaliação do ciclo de vida, os termos e definições, os aspectos ambientais em normas de produtos, a comunicação ambiental e os gases de efeito estufa (VALLE, 2012).

A normatização internacional da ACV pela ISO foi elaborada por mais de 300 especialistas de 29 países. No Brasil, a norma NBR ISO 14.040 (2001) foi compilada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) mediante o trabalho desenvolvido pelo subcomitê de Avaliação do Ciclo de Vida SC05 do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental, ABNT/CB-38 (COLTRO et al., 2007).

Da série da ISO 14.000, as que versam sobre a avaliação do ciclo de vida (ACV) em vigor são as ABNT NBR ISO 14040:2001 Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura; e ABNT NBR ISO 14044:2009 Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e orientações (VALLE, 2012; CONMETRO, 2010). (Anexo A)

### **2.3.2 A importância da ACV para as empresas**

Nos países da União Europeia houve movimentos que objetivavam estimular as empresas a fornecerem informações de seus produtos ao mercado consumidor. Na Europa, os Selos Verdes, e, no Brasil, os Rótulos Ambientais, levaram as empresas a um esforço no sentido de compreensão melhor e gerenciamento do ciclo de vida de seus produtos. Sua preocupação inicial era a proteção de seus produtos das declarações feitas por competidores e organizações não governamentais. Porém, havia empresas que procuravam por ferramentas técnicas que levassem em conta as questões ambientais para o desenvolvimento de seus produtos. Elas perceberam que, com a utilização da ACV, poderiam quantificar e efetuar comparações, de forma integrada, do desempenho de seus produtos em relação à concorrência (CHEHEBE, 2002).

A ACV é atualmente considerada uma das ferramentas mais modernas de gestão ambiental estratégica, contribuindo com informações importantes à tomada de decisão. Essa ferramenta trata o ciclo de vida do produto em toda a sua extensão, de forma sistêmica, abrangendo desde o projeto do produto até o processo produtivo e todas as atividades inerentes ao ciclo de vida. Possibilita que empresas e organizações avaliem a sustentabilidade de seus produtos, serviços e ações, tomando como base os impactos que eles geram no decorrer de seus ciclos de vida. Ao projetar um determinado produto, já se devem contabilizar os consumos de recursos e geração de resíduos emitidos para o meio ambiente, desde a extração da matéria-prima, sua manufatura e a fase relativa ao uso até a destinação final (COLTRO et al., 2007).

Com a ACV, as empresas tomam decisões estratégicas para diminuir os impactos ambientais gerados por seus processos produtivos;

ela é apontada como a melhor ferramenta de gestão ambiental (ARAUJO, 2013).

A aplicação da ACV na área empresarial é de suma importância para desenvolver produtos com maior sustentabilidade, avaliar estrategicamente seus produtos frente a concorrentes, analisar alternativas à redução de impactos na cadeia de valor, conhecer melhor todo o processo produtivo, gerir a cadeia produtiva, atender às exigências de mercados interno e externo, atender às leis e políticas ambientais (por exemplo: Política Nacional de Resíduos Sólidos), melhorar a imagem do setor frente à sociedade (*Marketing verde*), elaborar relatórios de sustentabilidade (exemplo: *Global Initiative Reporting*, GRI), criar rótulos ambientais (como Declarações Ambientais de Produto, DAP). Na área governamental, ela é vista como um critério diferencial nas licitações para aquisição de serviços e produtos pela administração pública, e como um instrumento para o cumprimento de aspectos legais e metas de redução de impactos ambientais (CHERUBINI, 2014).

As empresas, ao implantarem a ACV, devem iniciar com poucos projetos pilotos de pequena escala, com a coordenação de líderes motivados e disponíveis; elaborar programas de médio e longo prazo para a organização de bancos de dados; formar grupos internos de *experts*; realizar programas educacionais; compor manuais internos de procedimentos e o uso de forma sistemática da ACV, com o objetivo de estabelecer uma base técnica de conhecimento; realizar uma integração do enfoque de todo o ciclo de vida em níveis estratégico, tático e operacional (CHEHEBE, 2002).

Em resumo, afirma Chehebe (2002, p. 16),

A análise do Ciclo de Vida de Produtos pode ser utilizada para obter-se um entendimento melhor de todo o sistema utilizado para produzir aquele produto e, conseqüentemente, aprimorá-lo.

O autor salienta também que todos os colaboradores da empresa devem ser conscientizados sobre a importância de sua atividade para a implantação da ACV, pois até as mais simples ações podem gerar melhorias significativas relativas à eficiência no uso de recursos e prevenção da poluição.

A análise por processos pressupõe a compilação de muitos dados e frente a este fato pode ser feita uma ACV Simplificada (*Streamlined LCA*). Porém, esta avaliação não estará de acordo com a ISO 14000 (GUINÉE et al., 2002 apud ARAUJO, 2013).

### **2.3.3 Itens fundamentais para o entendimento da Análise do Ciclo de Vida dos Produtos**

Existem quatro itens de fundamental importância para o entendimento da ACV, que são: unidade funcional, fronteiras do sistema, alocação, qualidade dos dados e coleta dos dados (COLTRO et al., 2007).

O autor ainda afirma que a unidade funcional serve como unidade de referência do estudo na qual todos os fluxos de entrada e saída na ACV estão relacionados. Deve-se tomar um produto objeto do estudo e quantificar. Ex.: 1.000 kg de arroz branco pronto para a distribuição, 1.000 kg de granalha de aço pronta para uso. Em relação às fronteiras, estas devem ser estabelecidas na fase de definição do objetivo e escopo. Elas são os limites para o estudo e podem sofrer variações no decorrer da ACV; possuem dimensões que especificam o início e o final do sistema em estudo, a delimitação da área na qual está inserida, o sistema a ser estudado, a perspectiva de tempo do estudo, se passado, presente ou futuro, o relacionamento das atividades que constam no ciclo de vida, especificando as que foram excluídas, bem como quando o processo produtivo gera diversos produtos com uma carga ambiental que deve ser distribuída entre todos os produtos (COLTRO et al., 2007).

A alocação diz respeito à divisão da carga ambiental entre os diversos produtos gerados em um processo. Ela ocorre com a interligação entre os ciclos de vida de produtos diferentes. Coltro et al. (2007) ainda salienta que a ISO 14041 (1998) recomenda, nesses casos, que a fronteira seja expandida, absorvendo os coprodutos gerados. Esse fato ajuda na identificação de dados importantes e específicos do produto. Exemplificando ciclos de vida interligados, tem-se o queijo e leite, o óleo diesel e a gasolina, entre outros.

Quanto à qualidade e coleta dos dados, deve ser esclarecido se obtiveram os dados diretamente no processo produtivo ou por meio de literatura, e explicitados, na fase de definição, o objetivo e escopo do estudo, antes do início do inventário. A ISO 14041 (1998), substituída pela ISO 14044 (2006), estabelece que precisam ser revelados: a idade dos dados objeto da pesquisa, a área geográfica, o tipo de tecnologia utilizada, a precisão relativa à variância dos dados, a porcentagem de empresas fornecedoras dos dados primários, e qual a sua representatividade em relação à visão temporal, geográfica e tecnológica adotada. Prevê também que, após a conclusão do estudo, deve-se fazer uma revisão à descoberta de dados importantes para o estudo ou



estabelecer restrições quanto à amplitude das conclusões do estudo (COLTRO et al., 2007).

Para que seja feita uma Avaliação do Ciclo de Vida de um produto, processo ou mesmo da planta da empresa, é necessário seguir um método padronizado para que os resultados não sejam conflitantes.

### **2.3.4 Metodologia de ACV**

A ACV é um método de avaliação de impacto ambiental de produtos e sistemas de produção, que considera todo o ciclo de vida, desde a aquisição de matérias-primas até a disposição final. Adotar a ACV auxilia tanto no ganho de produtividade do sistema quanto no Sistema de Gestão Ambiental (BARBOSA JUNIOR, 2008; COLTRO et al., 2007).

O método ACV é de fundamental importância, de acordo com Coltro et al. (2007), pois trata com clareza das questões ambientais de forma quantitativa e qualitativa. Entre os diferentes temas complexos, nos quais pode ser utilizada essa ferramenta, estão os relativos aos cuidados e gerenciamento do meio ambiente; busca pelos pontos críticos presentes em um processo produtivo ou em um determinado produto; melhoria nos sistemas de produção; criação de novos serviços e produtos; melhoria em sistemas de reciclagem mecânica ou energética. Além disso, pode-se atribuir parâmetros aos rótulos ambientais para produtos (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

A ISO 14040 estabelece que a Análise de Ciclo de Vida de Produtos deve incluir a definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados (CHEHEBE, 2002).

#### **2.3.4.1 Definição do objetivo e escopo**

O início de um estudo de ACV é feito com a definição de objetivo e escopo do estudo. Essa fase contempla os procedimentos necessários à garantia da sua qualidade (ARAUJO, 2013). Na definição do objetivo, deve-se declarar de forma clara e inequívoca a aplicação pretendida, o porquê de se conduzir a pesquisa e para qual público-alvo serão comunicados os resultados (COLTRO et al., 2007).

Segundo Araújo (2013), também se deve informar o processo e revisão crítica que se pretende adotar. Nessa fase, descrevem-se: a unidade funcional adotada, as fronteiras do sistema, as estimativas e

limitações, os métodos de alocação que serão utilizados e as categorias de impactos que serão consideradas no estudo.

Devido à amplitude de um estudo de ACV, o qual contempla todas as etapas do ciclo de vida de um sistema de produção, isto é, do berço ao túmulo, deve-se, na prática, delinear o contorno a ser estudado com muito cuidado, pois, à medida que se adicionam detalhes relativos à profundidade e largura, juntamente é adicionada a complexidade, as despesas e a utilidade reduzida. Salienta o autor que se pode efetuar um estudo aos poucos, até atingir a sua plenitude. Por essa razão, regras devem ser adotadas para determinar os limites do sistema e quais insumos, matérias-primas, energias e materiais auxiliares são relevantes para inclusão (CHEHEBE, 2002).

O objetivo e o escopo devem ser delineados com clareza, pois se o estudo for para escolher a matéria-prima mais apropriada, terá objetivo e escopo diferente de um estudo realizado para fornecer informações ambientais para fora da empresa (CHEHEBE, 2002).

Quanto ao escopo, a norma ISO 14040 estabelece que se observem, no mínimo, três dimensões, que são: onde iniciar e parar o ciclo de vida (extensão da ACV), quantos e quais subsistemas serão incluídos (largura da ACV) e o nível de detalhes que serão contemplados (profundidade da ACV). Seu estabelecimento deve ser feito de forma compatível com os objetivos. É no escopo que se esclarece de onde virão os dados, como será feita a atualização do estudo, a manipulação das informações e o local da aplicação dos resultados (ARAUJO, 2013).

Ainda, segundo esse autor, é nesta fase que se define o que se pretende, se é comparação entre produtos ou com um padrão como o selo verde; se haverá melhoria ambiental para um determinado produto ou ainda obter mais informações relativas ao seu produto. Deve contemplar também se a ACV será visualizada somente dentro da empresa ou terá seus dados divulgados para um público externo, que nesse caso deverá ter obedecido a vários requisitos das Normas ISO série 14040 (ARAUJO, 2013).

Para definição do objetivo e escopo, consideram-se: o sistema a ser estudado e seus limites, as unidades de processo, estabelecimento da função da unidade funcional, formas de alocação, requisitos de dados, hipóteses e limitações, definição sobre a realização ou não da avaliação de impacto e da fase de interpretação com os seus métodos, o tipo e formato do relatório e a definição dos critérios para revisão crítica quando necessária.

### 2.3.4.2 Inventário do Ciclo de Vida– ICV

Nesta fase, compila-se um inventário. São coletados os dados e efetuados os cálculos quantificando as entradas e saídas (consumo de recursos naturais e energia, emissões para o ar, água e solo) pertinentes ao sistema ao qual o produto está integrado (COLTRO et al., 2007).

Há dois princípios de modelagem de ICV utilizados: o atribucional, ou tradicional, que se baseia em uma fronteira estática do sistema de produto, e o consequential, que acomoda as mudanças geradas em outros sistemas de produto (VESILIND; MORGAN, 2011).

Estabeleceu-se na Norma ISO 14040 que deve ser elaborado um esquema geral para o inventário, contemplando a apresentação do sistema de produto, limites considerados e unidades de processo de entradas e saídas. Caso o estudo seja comparativo, deve-se especificar a base de comparação. Com relação à base de coleta de dados e cálculo, devem-se indicar os procedimentos. Por fim, deve possuir os elementos indispensáveis à correta interpretação pelo leitor dos resultados relativos à análise do inventário (CHEHEBE, 2002).

Os procedimentos relativos à fase de análise de inventário devem ser iniciados com as seguintes atividades: preparação para a coleta de dados, coleta de dados, refinamento dos limites do sistema, determinação dos procedimentos de cálculo, procedimentos de alocação (ARAUJO, 2013).

A coleta de dados envolve o envio de questionários para os atores participantes do ciclo de vida do produto, e, nesse caso, recomenda o autor, os questionários devem ser redigidos de forma simplificada conforme anexo B, evitando-se os questionários extensos que podem atrasar a coleta de informações, bem como o seu não preenchimento (ARAUJO, 2013).

A ISO 14041, substituída pela ISO 14044, estabelece uma série de parâmetros a serem seguidos, seja na Avaliação de Ciclo de Vida de Produtos (ACV), seja para o Inventário do Ciclo de Vida de Produtos (ICV). Nessa etapa, faz-se um fluxograma do sistema em estudo, estabelecendo as fronteiras técnicas com os processos e/ou atividades que serão avaliados e definidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001; COLTRO et al., 2007).

### 2.3.4.3 Avaliação dos Impactos Ambientais do Ciclo de Vida (AICV)

A AICV é feita por meio da interpretação dos dados, relacionando-os aos impactos ambientais (por exemplo, acidificação, eutrofização,

mudanças climáticas, etc.). A AICV se realiza em duas etapas: a da classificação e a da caracterização. Na classificação, os dados do inventário são selecionados e atribuídos à categoria de impactos específicos. Na caracterização, os dados do inventário são multiplicados por fatores de equivalência para cada categoria de impacto. Exemplificando: 1kg de N<sub>2</sub>O é equivalente à emissão de 296kg de CO<sub>2</sub>. Após a caracterização, os parâmetros são somados e obtém-se o resultado da categoria de impacto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001; COLTRO et al., 2007).

Essa etapa baseia-se nos resultados alcançados no decorrer da análise do inventário, representando “um processo qualitativo/quantitativo de entendimento e avaliação da significância, e, opcionalmente, magnitude dos impactos ambientais, baseada nos resultados obtidos na análise de inventário” (ARAUJO, 2013, p. 88).

De acordo com a norma ISO 14042 (2000), essa é a última etapa dos elementos obrigatórios dessa fase (COLTRO et al., 2007).

#### 2.3.4.4 Interpretação

Na fase de interpretação dos resultados, utiliza-se a combinação de todas as fases anteriores, com o objetivo de alcançar conclusões e recomendações, a fim de reduzir os impactos ambientais significativos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Ela consiste na identificação e análise dos resultados decorrentes do inventário e da avaliação de impacto, respeitando o que foi estipulado na fase relativa ao estabelecimento do objetivo e do escopo com vistas ao alcance de conclusões e recomendações para os tomadores de decisão. Nesta fase se verificam se todas as informações e dados importantes estão disponíveis, avalia-se a confiabilidade dos resultados e se as suposições, métodos e dados estão em consonância com o objetivo e o escopo (ARAUJO, 2013).

#### 2.3.4.5 Relatório Final e Revisão Crítica

Um relatório com os resultados de ACV tem que ser desenvolvido com precisão, de forma justa e completa. Sua elaboração já deve estar estipulada na fase de definição do objetivo e escopo do estudo e necessita contemplar, no mínimo, os conceitos básicos de transparência (relativos aos seus resultados, dados, métodos, hipóteses e limitações) e de desagregação, de modo a facilitar a interpretação de tais conceitos (CHEHEBE, 2002).

Sobre a Revisão Crítica, ela será elaborada sempre que a ACV refletir afirmações comparativas entre produtos que serão divulgadas ao público. O grupo formado para realizar a revisão crítica pode ser de especialistas da própria empresa, independentes ou das partes interessadas pelo resultado do estudo. Alguns especialistas afirmam que, para assegurar a credibilidade, deveria ser formado por um grupo independente. A revisão deve assegurar que: seguiram-se as Normas da série ISO 14040; utilizaram-se os métodos válidos cientificamente; os dados usados foram os apropriados para o estudo; as interpretações contêm as limitações e os objetivos do estudo; o relatório final é consistente e transparente (CHEHEBE, 2002).

### **2.3.5 Formas de Avaliação do Ciclo de Vida de um Produto**

Para a avaliação do ciclo de vida de um produto, existem os métodos computacionais seguindo a ISO 14040, 14044 e a elaborada de forma qualitativa, manual seguindo a matriz de Graedel e Allenby (1995 apud JACOVELLI; FIGUEIREDO, 2003).

#### **2.3.5.1 Avaliação do Ciclo de Vida por meio de métodos computacionais**

A partir da década de 1980, incentivos das legislações ambientais permitiram o desenvolvimento e a criação de banco de dados para ACV com uma grande concentração inicial na Suíça, Alemanha e Suécia (ARAUJO, 2013).

O desenvolvimento de banco de dados no Brasil iniciou em 2006, com o programa de “Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira”, coordenado pelo do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). Elaboraram-se também inventários relativos ao diesel brasileiro, à energia elétrica gerada pela usina de Itaipu, entre outros (LAMB, 2011). Esse programa servirá como base para que sejam feitos outros, objetivando efetuar a ACV de produtos brasileiros exportados para mercados que exigem a avaliação ambiental (ARAUJO, 2013).

Há no mercado, atualmente, diversos tipos de *softwares* específicos à realização de ACVs, os quais trabalham com bancos de dados e possuem informações referentes a diversos processos produtivos (matérias-primas, energia, transporte, resíduos, entre outros). Esses bancos de dados são escolhidos pelo usuário para elaborar um sistema de

produto relacionado às respectivas categorias de impacto ambiental. Depois de efetuados os cálculos por meio de modelos de caracterização, os valores de impacto ambiental do produto de cada uma das categorias escolhidas são apresentados pelo *software* (ENCICLO, 2015).

Com relação aos *softwares* para ACV, segundo Araújo (2013), os principais estão expostos no Quadro 1:

Quadro 1 - Principais softwares de ACV disponíveis

<b>SOFTWARE</b>	<b>SITE</b>
SIMAPRO	<a href="http://www.pre.nl">www.pre.nl</a>
GaBi	<a href="http://www.pe-international.com">www.pe-international.com</a>
UMBERTO	<a href="http://www.umberto.de">www.umberto.de</a>
CML	<a href="http://www.cmlca.eu">www.cmlca.eu</a>

Fonte: Araújo (2013).

E os principais bancos de dados disponíveis no mercado são enumerados no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais bancos de dados de ACV disponíveis

<b>BANCO DE DADOS</b>	<b>SITE</b>
<i>Ecoinvent</i>	<a href="http://www.ecoinvent.org/">www.ecoinvent.org/</a>
<i>Danish Input Output database</i>	<a href="http://www.lca-net.com/io-databases/">www.lca-net.com/io-databases/</a>
<i>Dutch Input Output database</i>	<a href="http://www.pre.nl">www.pre.nl</a>
<i>LCA Food</i>	<a href="http://www.lcafood.dk/">http://www.lcafood.dk/</a>
<i>BUWAL 250</i>	<a href="http://www.bafu.admin.ch/">http://www.bafu.admin.ch/</a>
<i>IDEMAT 2001</i>	<a href="http://www.io.tudelft.nl/">www.io.tudelft.nl/</a>
<i>FRANKLIN US LCI</i>	<a href="http://www.fal.com/">www.fal.com/</a>
<i>GEMIS</i>	<a href="http://www.gemis.de">www.gemis.de</a>
<i>US LCI database</i>	<a href="http://www.nrel.gov/lci">www.nrel.gov/lci</a>
<i>Japanese Input Output database</i>	<a href="http://www.pre.nl/simapro/Toshiba-IOdata.htm">http://www.pre.nl/simapro/Toshiba-IOdata.htm</a>
<i>BOUSTEAD</i>	<a href="http://www.boustead-consulting.uk">www.boustead-consulting.uk</a>

Fonte: Curran *et al.* (2006 apud ARAUJO, 2013).

Cada uma dessas soluções computacionais possui características que devem ser observadas antes da aquisição. Há versões para avaliação antes da aquisição. Esses *softwares* possuem variações de preço de acordo com o uso que lhes é dado. O SimaPro® e o Umberto® NXT possuem

versões para utilização educacional ou profissional, temporária ou definitiva. Há também o *software* Open LCA 1.4, gratuito, (ACVBRASIL, 2015). Em pesquisa na *internet* constatou-se que a OPENLCA lançou o LCA 1.5.0, versão beta 1, em março de 2016.

### 5.3.5.2 Avaliação do Ciclo de Vida de forma simplificada e manual utilizando a matriz de Graedel e Allenby

De forma manual, elabora-se um sistema de avaliação simplificado com uma matriz 5×5 de avaliação de produto ambientalmente responsável. Nas colunas são inseridos os estágios de vida e nas linhas os aspectos ambientais considerados, conforme Quadro 3 (GRAEDEL; ALLENBY, 1995 citado por RIBEIRO; GIANNETI; ALMEIDA, 2003).

Nesta matriz os estágios de Vida do produto recebem a numeração:

Extração = 1

Fabricação = 2

Embalagem/Transporte = 3

Utilização = 4

Reciclagem/Descarte = 5

Os aspectos ambientais recebem também numeração conforme descrito abaixo:

Escolha de Materiais = 1;

Uso de Energia = 2;

Resíduos Sólidos = 3;

Resíduos Líquidos = 4;

Resíduos gasosos = 5.

Quadro 3 - Matriz de avaliação de produto ambientalmente responsável

<b>Estágio de Vida</b>	<b>Escolha de Materiais</b>	<b>Uso de Energia</b>	<b>Resíduos Sólidos</b>	<b>Resíduos Líquidos</b>	<b>Resíduos Gasosos</b>
Extração	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Fabricação	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Embalagem/ Transporte	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Utilização	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5
Reciclagem / Descarte	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5

Fonte: Adaptado de Ribeiro, Gianneti e Almeida (2003); Jacovelli, Figueiredo (2003).

Nessa matriz, os elementos (i,j) são identificados pela linha (i) e pela coluna (j) a que pertencem. Tomando por base os estágios de vida nela citados e de acordo com seus autores, avalia-se o produto em cada um dos estágios, atribuindo um número de 0 a 4 onde:

- 0 significa de alto impacto, com uma avaliação considerada muito negativa;
- 1 impacto de média proporção, com uma avaliação negativa;
- 2, pequeno impacto, com uma avaliação média;
- 3 impacto muito pequeno, com uma boa avaliação; e,
- 4 baixo impacto ou nulo, com uma ótima avaliação.

Dessa forma, produz-se uma medida de mérito para representar o resultado estimado de inventário convencional da ACV, juntamente com os estágios de análise de impacto. Porém, para a determinação do valor de cada elemento citado na matriz, os possíveis itens a serem avaliados devem ser estabelecidos em planilhas ou *checklists*. Exemplificando: Para o elemento 1,1 – extração de recursos, escolha de material – poderão incluir-se questionamentos referentes à toxicidade ou ambientalmente preferíveis, projeto com a diminuição do uso de materiais, utilização de material reciclado. Com relação ao elemento 3,2 – embalagem/transporte, uso de energia –, poder-se-ia questionar se a embalagem faz uso intensivo de energia para sua fabricação, a distribuição de produtos é feita de maneira a diminuir a utilização de energia (RIBEIRO; GIANNETI; ALMEIDA, 2003; JACOVELLI; FIGUEIREDO, 2003).

Esse processo é elaborado de forma qualitativa. Assim que cada elemento da matriz recebe sua pontuação, efetua-se a soma para se obter a Classificação Geral do Produto Ambientalmente Responsável (CG<sub>par</sub>). O valor máximo obtido é 100, pois há 25 elementos na matriz. Melhorase a complexidade da avaliação, utilizando-se informações de impacto ambiental detalhado e aplicando-se pesos aos elementos da matriz (JACOVELLI; FIGUEIREDO, 2003; RIBEIRO; GIANNETI; ALMEIDA, 2003).

Com relação à avaliação de um processo Ribeiro, Gianneti e Almeida (2003) afirmam que os estágios de vida do produto são substituídos pelos estágios do processo: extração, implantação, operação, processos complementares, remanufatura, reciclagem e descarte, sendo que no primeiro estágio deve-se preferir a utilização de materiais reciclados em lugar dos virgens. No estágio relativo à implantação, incluem-se a manufatura e a instalação de equipamentos, bem como outros recursos que se fizerem necessários. Quando um processo estiver em operação, carece ser projetado para ser ambientalmente responsável,



devendo limitar o uso de materiais tóxicos, diminuir o uso de energia, evitar ou diminuir a geração de resíduos de qualquer natureza, bem como assegurar que os resíduos gerados sejam reaproveitados. Deve-se evitar a geração de resíduos com toxicidade que se sobreponha a sua reciclagem ou descarte.

Quanto aos processos complementares, devem-se levar em conta os impactos ambientais gerados por eles (por exemplo, limpeza, lavagens). Quando há obsolescência do equipamento, deve-se prever que a sua reutilização seja de módulos ou materiais. Deve-se fazer um *checklist* para avaliar cada elemento da matriz. Ao considerar o elemento operação de processos, pode-se questionar se é evitado o uso de materiais tóxicos ou radioativos, ou se ao menos se procura diminuí-lo, assim como se o projeto do processo evita o consumo de grande quantidade de água. No quesito relativo às implicações dos processos complementares e os resíduos líquidos, pode-se questionar sobre a diminuição ou substituição no uso de solventes ou óleos, oportunidade de venda para os resíduos líquidos e utilização de líquidos reciclados.

Também se pode aproveitar a ACV para avaliar as instalações de empresas ambientalmente responsáveis, levando em conta, nesse caso, a seleção do local, seu desenvolvimento e infraestrutura, seus produtos e processos relativos à sua atividade principal e suas interações ambientais relacionadas às operações da empresa (RIBEIRO; GIANNETI; ALMEIDA, 2003).

As indústrias encontram grandes dificuldades em adquirir inventários detalhados relativos ao ciclo de vida, o que aumenta quando buscam relacionar com uma análise de impacto defensável. O grau de dificuldade cresce quanto à transformação dos resultados dos dois primeiros estágios em ações adequadas, devido ao fato de os inventários de ciclo de vida abrangente serem onerosos e necessitarem de bastante tempo para serem efetuados com informações de forma quantitativa, com medições analíticas *in loco* e inspeções detalhadas em arquivos e registros. Há, também, o fator relativo à controvérsia que se refere à análise de impacto ambiental, devido ao fato desse impacto envolver juízo de valor na comparação e estimativa de diferentes impactos (JACOVELLI; FIGUEIREDO, 2003; RIBEIRO; GIANNETI; ALMEIDA, 2003).

Assim sendo, o método de Graedel e Allenby (1995) propõe uma análise mais rápida e de fácil entendimento por parte do grupo de pessoas envolvidas no processo, denominada de Grupo Avaliador de Projeto Ambiental (GAPA). Esta metodologia é realizada com objetivo profissional e serão identificados pelo GAPA em torno de 80% de “ações

úteis que poderiam ser conectadas e sintonizadas com as atividades da empresa e a quantidade de tempo e dinheiro consumidos seriam suficientemente pequenos”, segundo Jacovelli e Figueiredo, (2003, p. 9), e as análises têm uma boa e real chance de serem entendidas e implementadas, afirmam os autores.

### 3 METODOLOGIA

Para analisar os impactos ambientais causados durante o processo de jateamento dos implementos rodoviários, utilizando-se a granalha de aço, comparando-a com a areia é que se propôs esta pesquisa. Usou-se como método a pesquisa de campo realizada em uma empresa fabricante de implementos rodoviários de médio porte, situada na região sul do estado de Santa Catarina, que usava areia e atualmente utiliza a granalha de aço para jateamento dos implementos rodoviários. Efetuou-se também uma pesquisa em fontes secundárias relativa ao jateamento com areia.

Nesta pesquisa a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) teve como base a metodologia simplificada elaborada por Graedel e Allenby (1995 apud JACOVELLI; FIGUEIREDO, 2003), pois a avaliação do ciclo de vida é complexa e demanda muito tempo para todo o processo. Então, optou-se por efetuar a ACV simplificada, com o objetivo de encontrar respostas que têm a precisão de 80% em relação à efetuada por *software* e banco de dados seguindo as ISO 14040/14044, segundo Jacovelli e Figueiredo (2003).

Devido ao fato de a empresa atualmente usar a granalha de aço, obtiveram-se dados primários relativos à aquisição da granalha e à geração de resíduos para o período entre janeiro/2015 e junho/2016.

Com relação à areia, utilizada anteriormente pela empresa, conseguiram-se os dados secundários em bibliografias e pesquisas junto a técnicos com experiência na área.

Antes, a areia era empregada para o jateamento, mas se substituiu pela granalha de aço. Esta troca foi efetuada por força de uma lei, já aprovada pela Câmara Federal, que proíbe o uso de areia em trabalhos de jateamento abrasivo. O uso de areia a seco ou a úmido já foi proibido desde 19 de outubro de 2004 pela Portaria n.º 99 da Secretaria de Inspeção do Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego. O motivo da Portaria é que o pó da areia contém sílica livre cristalina ( $\text{SiO}_2$ ), que provoca silicose, e pessoas com silicose são mais propensas a contrair câncer de pulmão (MEJIA JÚNIOR, 2014).

A ACV simplificada comparativa entre a granalha e a areia foi elaborada visando verificar os impactos ambientais gerados pelos dois abrasivos, demonstrando a importância da substituição, haja visto o fato de que na região ainda há empresas que utilizam a areia mesmo após sua proibição.

Aplicou-se o formulário exposto no Apêndice A para determinar a percepção de engenheiros ambientais, engenheiros químicos e engenheiros mecânicos do município em que está inserida a empresa,

objeto desta pesquisa, e com grau de instrução de especialistas, mestres e doutores, sobre qual produto seria o mais adequado para jateamento, sob o ponto de vista ambiental.

Dando sequência ao estudo sobre a ACV, realizou-se uma análise de forma qualitativa do ciclo da granalha no interior da empresa, utilizando-se como instrumento de pesquisa um formulário fornecido aos colaboradores da empresa ligados diretamente ao processo de jateamento, bem como aos ligados aos setores de compras e ambiental, cujo modelo consta no Anexo B, para verificar os estágios do ciclo de vida que geram impactos maiores e que devem ser tomadas decisões para que estes sejam eliminados e, quando não for possível, diminuídos.

Realizaram-se visitas à empresa para reuniões técnicas com os responsáveis pelos setores de jateamento, ambiental, compras e recebimento de materiais, porém somente uma visita efetivou-se no setor de fabricação da empresa, devido a restrições feitas pelo seu setor jurídico. A visita ao setor de fabricação ocorreu especificamente no jateamento dos implementos rodoviários, com a finalidade de observar o processo e coletar dados para a elaboração do inventário.

Efetivou-se também uma entrevista semiestruturada para verificar o destino proposto atualmente à granalha de aço pelo setor ambiental da empresa, bem como para determinar a visão dos engenheiros de produção, ambientais e mecânicos em relação à utilização da areia e da granalha no processo de jateamento.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Ver-se-á na sequência os resultados relativos a pesquisa sobre ACV realizada, juntamente com o levantamento da quantidade adquirida e do resíduo gerado da granalha de aço, e se propõem ações relativas à destinação adequada do pó de granalha.

### 4.1 RESULTADOS DA PESQUISA SOBRE A ACV EM UMA PERSPECTIVA AMBIENTAL

Os Gráficos 1 e 2 trazem a percepção de técnicos que trabalham diretamente com jateamento e de especialistas da área ambiental sobre a ACV dos seis produtos mais empregados atualmente no Brasil para jateamento, segundo Mejia Júnior (2014). Esta pesquisa foi respondida em forma de pontuação e de forma qualitativa (Apêndice A). A pontuação variou de 0 a 4, onde 0 (zero) significava grande impacto ambiental e 4 (quatro) pouco ou nenhum impacto ambiental. A pontuação obtida pode ser observada nos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 - Pontuação do ciclo de vida de produtos utilizados para jateamento, segundo pesquisa realizada com especialistas.

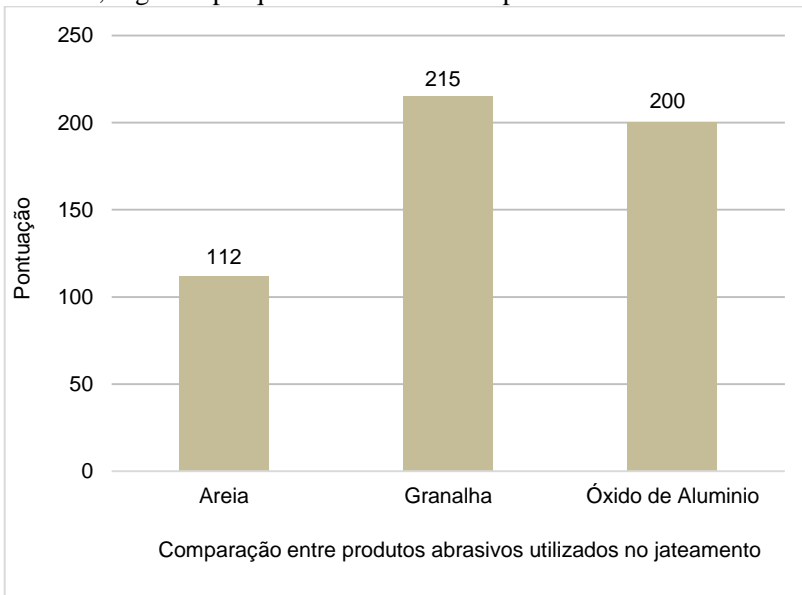


Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2016).

Vê-se no Gráfico 1 que a microesfera de vidro obteve uma pontuação superior às demais. Porém, mesmo sendo um produto usado para jateamento, ela não possui ação abrasiva e não pode ser utilizada para o jateamento de implementos rodoviários, segundo Brasibras (2014).

Assim sendo, elaborou-se o Gráfico 2 que contém somente os produtos com ação abrasiva e que poderiam ser utilizados nas empresas que necessitam deste procedimento.

Gráfico 2 - Pontuação relativa ao ciclo de vida de produtos com ação abrasiva, segundo pesquisa realizada com especialistas



Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2016).

Nota-se no Gráfico 2 que a granalha de aço, objeto desta pesquisa, obteve uma pontuação superior aos demais e a areia a mais baixa pontuação. Partindo desta constatação, pode-se verificar que no momento, a granalha de aço é o que menos gera impactos ambientais, segundo a opinião dos especialistas entrevistados.

Com a pesquisa efetivada junto a técnicos e ambientalistas, e com os dados disponibilizados pela empresa, verificou-se que, em relação à escolha de material para o processo de jateamento, a granalha é um dos abrasivos que menos impactam o meio ambiente e a saúde do trabalhador.

Entretanto, seu resíduo é classificado como Classe I, perigoso conforme Anexo C e deve ser acondicionado e reutilizado em consonância com uma série de normas conforme a ABNT 12235/1998.

#### 4.2 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E DO ESCOPO DA ACV

Para verificar os impactos ambientais que a granalha de aço e a areia causam, fez-se a ACV simplificada seguindo-se as etapas para sua elaboração que, segundo Araújo (2003), prevê que em primeiro lugar deve-se elaborar o objetivo e o escopo.

Para este estudo, o objetivo foi obter dados e informações relativas a possíveis impactos ambientais oriundos do processo de jateamento de peças metálicas com areia e granalha de aço em uma empresa de jateamento de equipamentos rodoviários.

Observou-se que, em relação ao processo de jateamento, houve uma mudança relativa ao produto abrasivo utilizado. Anteriormente era empregada a areia e atualmente se utiliza granalha de aço, sendo que o processamento pode ser feito de forma automatizada ou manual.

Verificou-se também que a granalha usada é obtida da reciclagem de peças de aço oriundas da empresa Tupy, sendo que a sua fabricação pode sofrer variações em relação à utilização de fontes energéticas diferentes, causando impactos maiores ou menores ao meio ambiente.

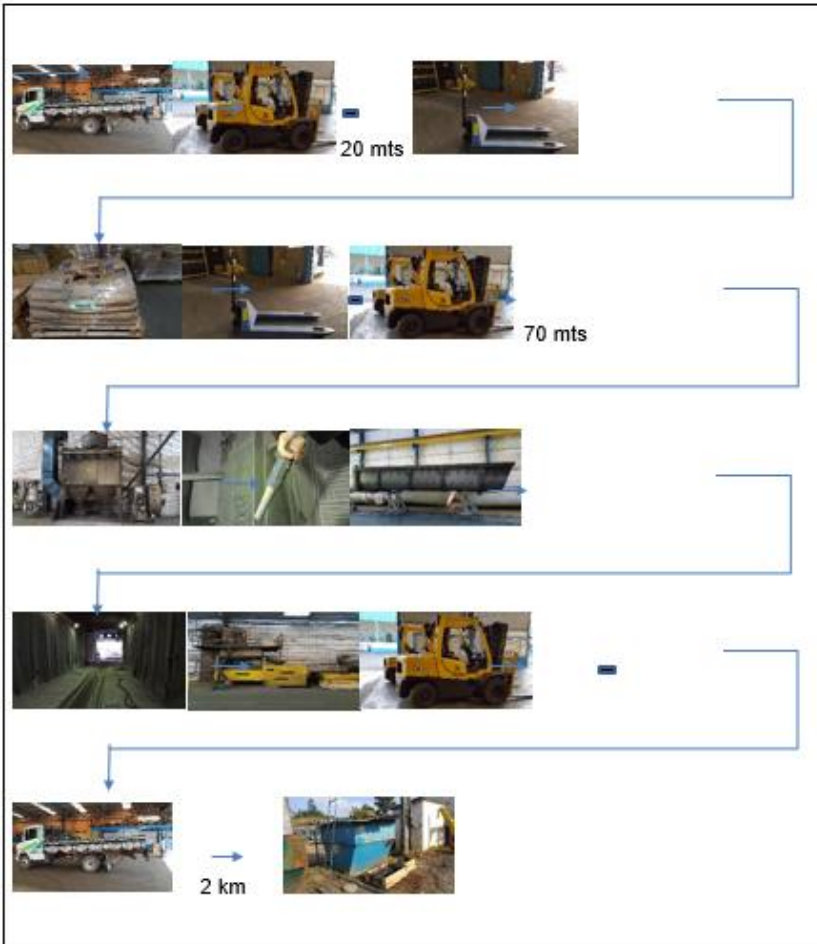
Com relação ao escopo, avaliaram-se o transporte da granalha e da areia dentro da empresa, isto é, desde sua chegada ao setor de recebimento até o acondicionamento do resíduo à espera do descarte. As unidades de processos serão a areia e a granalha utilizada para o jateamento de implementos rodoviários em uma empresa localizada na região sul de Santa Catarina.

#### 4.3 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA AREIA E DA GRANALHA DE AÇO

Um inventário, segundo Chehebe (2002), precisa conter uma série de itens. Porém, neste inventário suprimiram-se itens como: fontes de literaturas publicadas e procedimentos para a coleta de dados, pois este é um estudo para fins didáticos e muitos dados do inventário já foram citados anteriormente. Os itens relativos a princípios e procedimentos de alocação, bem como a documentação e justificativa dos procedimentos foram eliminados por não terem sido observados.

Para a descrição da unidade de processo, elaborou-se um fluxograma representativo do ciclo de vida da granalha de aço, Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma dos processos inicial e final da granalha de aço em uma empresa de implementos rodoviários



Fonte: Cedida pela empresa (2016).

Conforme exposto no fluxograma da Figura 3, vê-se que o maior trajeto percorrido é para o descarte do resíduo, situado a 2 km da planta onde ocorre o jateamento, em local onde são depositados outros materiais para descarte.

Em relação à areia, para criar o fluxograma, utilizaram-se as referências bibliográfica e entrevista semiestruturada com profissionais

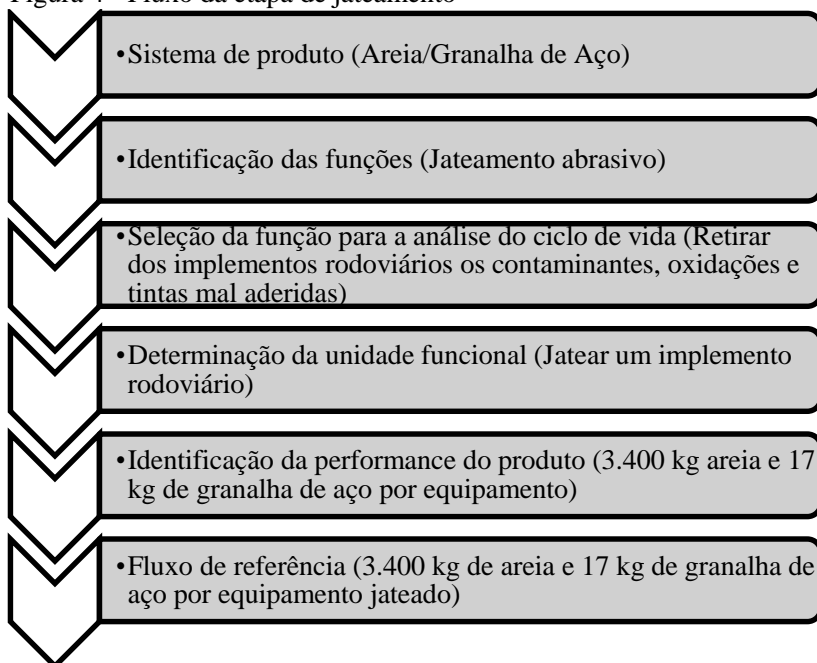


que já utilizaram este tipo de jateamento. O fluxo difere ao da granalha de aço em relação à armazenagem, pois a areia é depositada *in natura*, sem embalagem e coberta por uma lona plástica. Ela é levada para a jateadora acondicionada em *bags* ou *contêineres*. Outra diferença é sua disposição final, pois a areia abrasiva não é passível de reciclagem.

Para efetuar uma comparação entre dois produtos, Chehebe (2013) salienta que os fluxos das etapas devem ser bem definidos para os produtos analisados. Assim todos os atores poderão ver de forma clara e concisa as diferenças/semelhanças existentes entre eles.

A Figura 4 apresenta o fluxo existente no jateamento de peças metálicas.

Figura 4 - Fluxo da etapa de jateamento



Fonte: Adaptado de Chehebe (2002).

Segundo a empresa Sinto (2016), uma turbina de 10HP remete 105 kg/m de abrasivo, e como o tempo médio para o jateamento de um veículo é de 65 minutos e a média de utilização da granalha é de 400 vezes, são utilizados 17kg de granalha por equipamento, em comparação a

aproximadamente 3.400kg de areia por equipamento com uma média de 2 utilizações.

O resíduo sólido gerado neste quesito é de 6% a 10% a mais do que o produto que foi adicionado inicialmente, pois a fricção pelo jateamento retira do equipamento contaminante, oxidação e tintas mal aderidas, gerando então um resíduo de aproximadamente 18 kg para granalha de aço e de aproximadamente um kg a mais no caso da utilização de areia, utilizando o percentual médio. O tempo de duração da granalha até virar resíduo varia de 350 ciclos (granalha de aço angular) e 450 ciclos (granalha de aço esférica) e o da areia é de 2 vezes, conforme destaca Mejia Júnior (2014).

Em relação aos procedimentos, para os cálculos elaboraram-se planilhas, de forma manual, devido ao fato de não se ter acesso a *softwares* especializados e às dificuldades na coleta de dados. Esta alternativa é eficiente para decisões profissionais rápidas, segundo Jacovelli e Figueiredo (2003) e Ribeiro, Gianneti e Almeida (2003).

Receberam-se os dados referentes à granalha dos técnicos da empresa e descartaram-se as informações não obtidas. Com relação aos procedimentos não foi possível verificar se houve uniformidade, devido à restrição jurídica da presença da pesquisadora no interior da empresa no decorrer da pesquisa.

Conforme Chehebe (2002), há a necessidade de enumerarem-se os itens que não foram seguidos ou foram suprimidos para um maior entendimento do estudo de ACV.

#### 4.4 MATRIZ DE AVALIAÇÃO DE PRODUTO AMBIENTALMENTE RESPONSÁVEL

Os estágios de vida do produto podem ser substituídos pelos estágios do processo: extração, implantação, operação, processos complementares, remanufatura, reciclagem e descarte. Neste estudo, retirou-se o item relativo à remanufatura, pois é inexistente; em processos complementares observou-se o item transporte e embalagem (RIBEIRO; GIANNETI; ALMEIDA, 2003)

Ao se utilizar a matriz, fez-se a análise do ciclo de vida da granalha *gate to gate* de forma manual e qualitativa. Esta matriz apresenta um ciclo completo e serviu para analisar um único processo, o de jateamento. A pontuação empregada foi de 0 a 4.

O Quadro 4 ostenta a matriz com a classificação da análise dos produtos ambientalmente responsáveis em cada um de seus estágios de ciclo de vida. A numeração existente no índice é proveniente das etapas

do ciclo de vida. Pode-se perceber que na coluna Índice do elemento na matriz 1,1 é proveniente da etapa extração e seleção do material, o 1,2, da etapa extração e uso de energia e assim sucessivamente.

Quadro 4 - Classificação da análise dos produtos ambientalmente responsável em cada um de seus estágios de ciclo de vida.

Definição do elemento	Índice do elemento na matriz	Areia		Granalha de aço	
		Valor do elemento	Explicação	Valor do elemento	Explicação
Extração Seleção do Material	1,1	0	Produto virgem	4	Produto reciclado
Uso de Energia	1,2	1	Produto virgem utilizado é considerado energo-intensivo (grande qtde.)	3	Produto reciclado
Resíduos Sólidos	1,3	3	Produto virgem com baixa quantidade de resíduo	3	Produto reciclado com baixa quantidade de resíduo
Resíduos Líquidos	1,4	4	A extração gera quantidade insignificante de resíduo	4	A reciclagem gera quantidade insignificante de resíduo
Resíduos Gasosos	1,5	3	A extração gera pequena quantidade de resíduo	3	O processo de reciclagem gera quantidade insignificante de resíduo

<b>Definição do elemento</b>	<b>Índice do elemento na matriz</b>	<b>Areia</b>		<b>Granalha de aço</b>	
Implantação Seleção de material	2,1	2	Jateadora manual	2	Jateadora manual
Uso de Energia	2,2	2	Alto uso de energia	2	Alto uso de energia
Resíduos Sólidos	2,3	3	Média geração	3	Média geração
Resíduos Líquidos	2,4	4	Não foi observada a geração, sendo que o produto não entra em contato com a água	4	Não foi observada a geração, sendo que o produto não entra em contato com a água
Resíduos Gasosos	2,5	0	O processo gera particulados altamente prejudiciais à saúde humana	4	Geração de particulados insolúveis em valores inferiores do que o permitido
Operação Seleção do Material	3,1	0	Produto Virgem	4	Produto reciclado
Uso de Energia	3,2	2	Intenso uso de energia elétrica	2	Intenso uso de energia elétrica
Resíduos Sólidos	3,3	0	Resíduo não reciclável	3	Resíduo com reutilização e reciclável
Resíduos Líquidos	3,4	4	Não há geração	4	Não há geração
Resíduos Gasosos	3,5	0	Geração de resíduos particulados insolúveis	4	Baixa geração de resíduos
Transporte/ Embalagem	4,1	0	Produto virgem	4	Produto reciclado

Definição do elemento	Índice do elemento na matriz	Areia		Granalha de aço	
Uso de Energia	4,2	2	O transporte rodoviário utilizado é energo-intensivo	2	O transporte rodoviário utilizado é energo-intensivo
Resíduos Sólidos	4,3	4	Não utiliza embalagem	3	Pequena quantidade de embalagem reciclada
Resíduos Líquidos	4,4	4	Insignificante geração	4	Insignificante geração
Resíduos Gasosos	4,5	2	Substancial emissão de gases (efeito estufa)	2	Substancial emissão de gases (efeito estufa)
Disposição Final Seleção de material	5,1	0	Material não reciclável	3	Maioria do material é reciclável
Uso de Energia	5,2	4	Não há uso de energia	2	Uso de energia elétrica para a separação do material e seus contaminantes
Resíduos Sólidos	5,3	0	Não reciclável	3	Contaminantes difíceis de serem reciclados
Resíduos Líquidos	5,4	0	Óleo em quantidade superior à permitida gerando um resíduo classe 1, sem possibilidade de separação atualmente.	3	Óleo em quantidade superior à permitida gerando um resíduo classe 1, porem com possibilidade de separação e reutilização.

Definição do elemento	Índice do elemento na matriz	Areia		Granalha de aço	
		Resíduos Gasosos	5,5	4	Mínima geração de resíduos

**Legenda relativa ao valor do elemento na matriz**

0 significa de alto impacto, com uma avaliação considerada muito negativa;

1 impacto de média proporção, com uma avaliação negativa ;

2, pequeno impacto, com uma avaliação média ;

3 impacto muito pequeno, com uma boa avaliação e

4 baixo impacto ou nulo, com uma ótima avaliação.

Fonte: Adaptado de Jacovelli e Figueiredo (2003)

Esta análise demonstra para os atores que todos os elementos da matriz são importantes, pois receberam a mesma pontuação, variando de zero a quatro. O fato do acréscimo da explicação na nota atribuída aumenta de forma leve a complexidade da análise, porém pressupõe-se que aumente sua utilidade.

Vislumbra-se de forma clara como se efetuou a análise e qual a etapa que ocasiona maior impacto. Muitas vezes, um produto é projetado de forma ambientalmente correta, porém em outra fase de seu ciclo de vida gera impactos consideráveis. Também se verifica a carga resultante em um dos elementos da análise e a valoração daquele que gera um risco maior. Exemplificando, se o aquecimento global gera um risco maior que o resíduo sólido, pode-se aumentar a valoração para o uso de energia e diminuir no resíduo sólido.

A avaliação efetuada com areia e granalha de aço demonstra de forma clara a importância desta análise, feita de forma simplificada, de fácil entendimento por todos os envolvidos no processo, o que oportuniza uma rápida tomada de decisão, como se verifica no Quadro 5, que apresenta os dados sem as justificativas, porém com a pontuação total proporcionando maior clareza para a análise.

Quadro 5 - Análise comparativa entre a utilização de areia e granalha de aço para jateamento de peças metálicas.

Estágio de vida	Escolha de materiais	Uso de energia	Resíduos sólidos	Resíduos líquidos	Resíduos gasosos	Total
Extração						
Areia	0	1	3	4	3	11/20
Granalha de aço	4	3	3	4	3	17/20
Implantação						
Areia	2	2	3	4	0	11/20
Granalha de aço	2	2	3	4	4	15/20
Operação						
Areia	0	2	0	4	0	06/20
Granalha de aço	4	2	3	4	4	17/20
Transportes/Embalagens						
Areia	0	2	4	4	2	12/20
Granalha de aço	4	2	3	4	2	15/20
Disposição Final						
Areia	0	4	0	0	4	08/20
Granalha de aço	3	2	3	3	4	15/20
Total						
Areia	2/20	11/20	10/20	16/20	9/20	48/100
Granalha de aço	17/20	11/20	15/20	19/20	17/20	79/100

Fonte: Adaptado de Jacovelli e Figueiredo (2003).

Verifica-se que no item seleção de material houve maior pontuação para a granalha em relação à areia, pois a granalha é considerada um material abrasivo ambientalmente mais adequado, sendo utilizada na forma reciclada. Como a areia é utilizada *in natura* causa grande impacto ambiental.

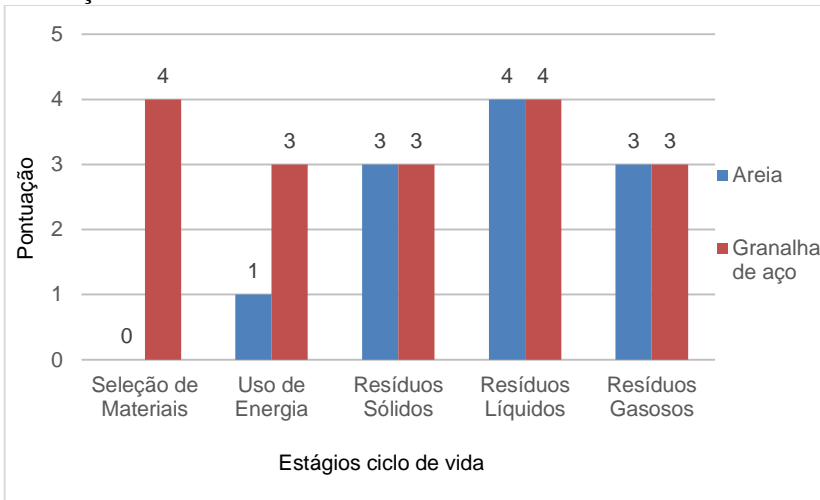
No item utilização de energia, houve pouca diferença na pontuação entre os abrasivos, sendo que o processo de jateamento com os dois produtos abrasivos utiliza a mesma matriz energética, com gastos muito

próximos. Cabe aqui salientar que a matriz energética do Brasil emprega principalmente energia hidrelétrica e é considerada uma energia limpa.

Observou-se que o item *resíduos* requer maior atenção. O pó de granalha pode ser reciclado ou mesmo reutilizado, enquanto a areia é reutilizada somente mais uma vez. Seu resíduo gera um grande passivo ambiental, ocupando assim a última hierarquia relativa aos resíduos, ou seja, o envio a aterros sanitários devido ao fato dela possuir contaminantes não passíveis de separação, segundo Mejia Júnior (2014).

A seguir evidencia-se uma análise detalhada de cada uma das etapas do ciclo de vida da areia e da granalha.

Gráfico 3 - Primeira etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço - Extração



Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2016).

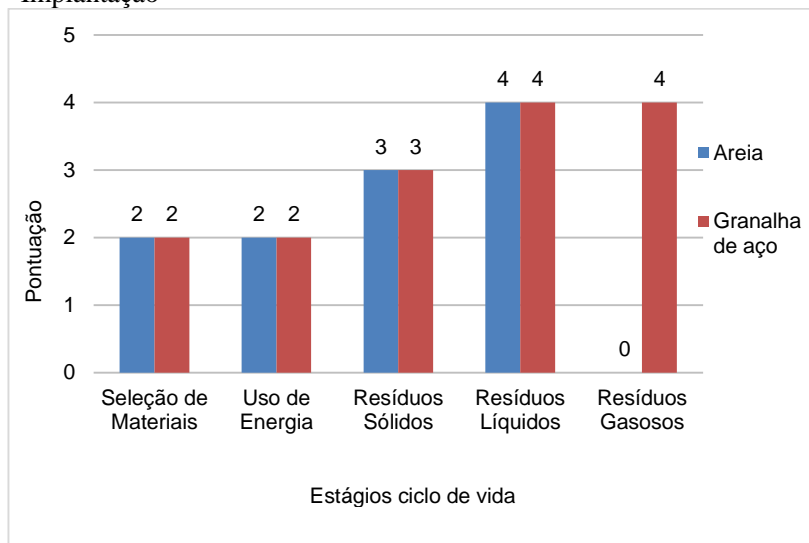
Em relação a extração, primeiro estágio do ciclo de vida (Gráfico 3), observa-se que a utilização da granalha de aço, por ser feita de material reciclado, gera pontuação menor na seleção de material e uso de energia. A pontuação menor para a areia é devido a ela ser oriunda de um produto extraído das reservas naturais *in natura* e ser considerado engero intensivo.

Vê-se que na extração os resíduos gerados pouco impactam devido à geração insignificante dos mesmos.

O Gráfico 4 areia e granalha de aço retrata a pontuação da segunda etapa do ciclo de vida dos abrasivos empregadas no jateamento.



Gráfico 4 - Segunda etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço - Implantação



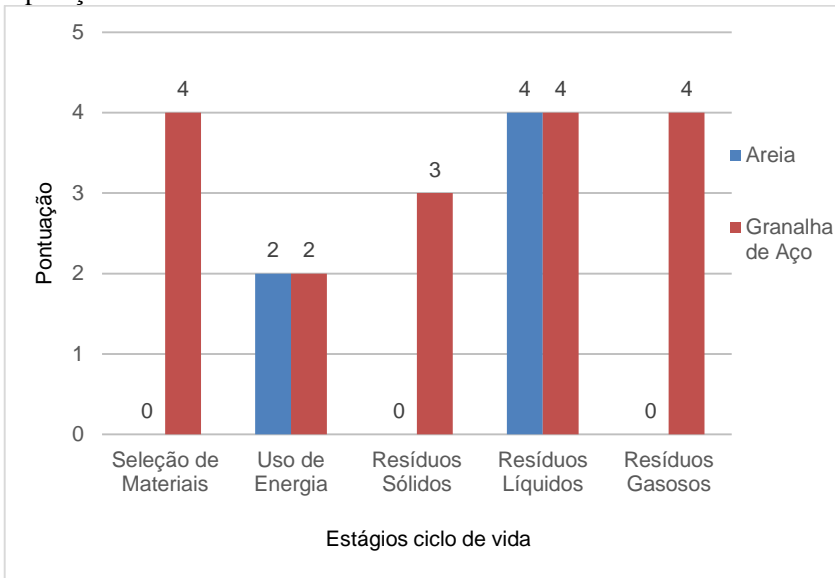
Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2016).

No estágio de implantação (Gráfico 4), considerou-se a máquina jateadora em pleno uso e analisaram-se os equipamentos adotados no item relativo à seleção de materiais. Na empresa em estudo, nesta etapa pode-se optar pelo processo manual ou o automático para ambos os produtos. No manual é necessária a presença de colaboradores no interior da cabine para o jateamento, e, no automático, o colaborador permanece na parte externa da cabine e somente o implemento fica no interior da sala, sendo jateado.

Tanto para o uso de areia quanto de granalha de aço, a máquina jateadora consome energia elétrica e gera em quantidades semelhantes os resíduos líquidos e sólidos. Com relação ao resíduo gasoso, há elevado grau de periculosidade à saúde dos colaboradores com o uso de areia, pois se geram particulados insolúveis em grande escala na utilização de areia e em baixa escala no caso de granalha de aço. Desta forma, o jateamento sem a presença humana seria o processo ideal.

O Gráfico 5 representa a avaliação da terceira etapa do ciclo de vida dos abrasivos.

Gráfico 5 - Terceira etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço - Operação



Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2016).

Em relação ao terceiro estágio de ciclo de vida, operação (Gráfico 5), observou-se que houve troca de material abrasivo para a operação de jateamento. A areia foi substituída por granalha de aço.

Constata-se neste ciclo que a empresa busca alternativas melhores e mais adequadas para um melhor desempenho ambiental.

Em relação ao gasto energético, a energia elétrica consumida pela empresa provém das Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC). A emissão de CO<sub>2</sub> para geração de energia elétrica no Brasil é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Emissões de CO<sub>2</sub> da energia elétrica no Brasil

<b>Fonte</b>	<b>Emissões (g/kWh)</b>	<b>Média (g/kWh)</b>
Usina nuclear	5 a 33	19
Hidrelétricas	4 a 36	20
Eólica	10 a 38	24
Solar	78 a 217	147,5
Gás natural	399 a 644	521,5
Óleo combustível	550 a 946	748
Carvão mineral	838 a 1.231	1.035,5

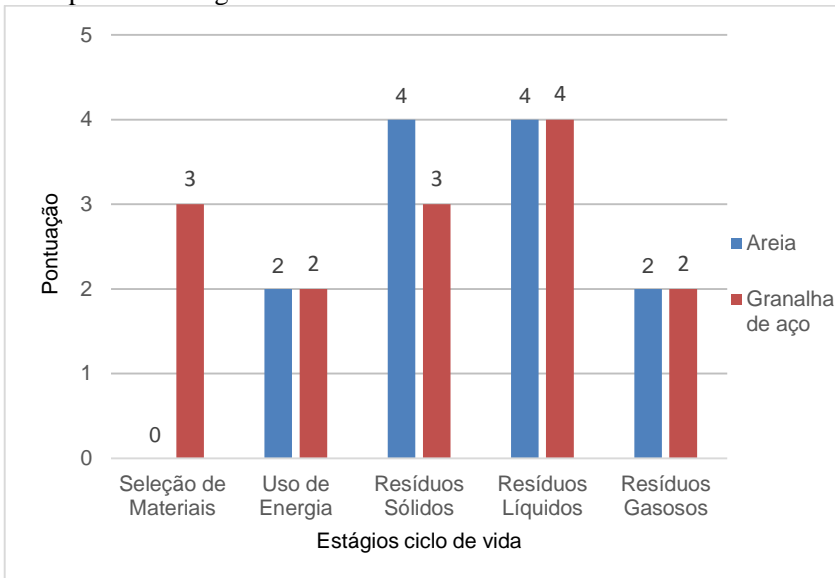
Fonte: Associação Brasileira de Energia Nuclear (2008 apud CARVALHO, 2011).

No processo de jateamento o equipamento gasta 100 kW/hora de energia elétrica. Como é uma empresa que fabrica peças customizadas e não em série, o tempo de utilização varia entre uma peça e outra devido ao tamanho e complexidade das peças, e como a energia elétrica pode ser considerada limpa, devido a ser em grande parte gerada pelas hidrelétricas, segundo técnico da Celesc, a pontuação ficou no nível intermediário.

A granalha de aço contém 0,29 mg/m<sup>3</sup> de particulados insolúveis ou de baixa insolubilidade. Segundo a norma da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH, 2015), o padrão de limite de tolerância é de 3 mg/m<sup>3</sup> particulados insolúveis. Esta análise foi feita pelo Serviço Social da Indústria (SESI), segundo o setor de segurança do trabalho. Neste estágio do ciclo de vida, a granalha obteve a maior pontuação em relação à areia, pois a empresa buscou por um produto com qualidade e o mais ambientalmente correto em relação aos outros produtos abrasivos que poderiam ser adotados.

Os pontos da quarta etapa do ciclo de vida estão contidos no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Quarta etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço – Transporte/embalagem



Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2016).

No quarto estágio do ACV para a empresa em estudo (Gráfico 6), denota-se que o transporte utilizado é o modal rodoviário e a locomoção da granalha é feita até o almoxarifado, com uma empilhadeira a diesel que consome 2 L por mês para esta atividade e uma paleteira manual. É usado também um caminhão de porte pequeno que gasta aproximadamente 1,14 L de óleo diesel para fazer o trajeto entre a planta e o *contêiner*, onde o resíduo é depositado duas vezes por mês, atualmente.

A empilhadeira a diesel é geradora de CO<sub>2</sub> em quantidade superior à de gás natural. Devido ao transporte rodoviário ser energético-intensivo, sugere-se a aquisição de um caminhão dentro das novas normativas, com a utilização de um aditivo denominado Arla 32, que diminui a emissão de CO<sub>2</sub>. Segundo o setor ambiental da empresa, a empilhadeira a óleo é atualmente empregada devido ao fato de que as empilhadeiras a gás, utilizadas anteriormente, serem frágeis e permanecerem muito tempo em manutenção, pois a carga é muito pesada e elas não suportavam.

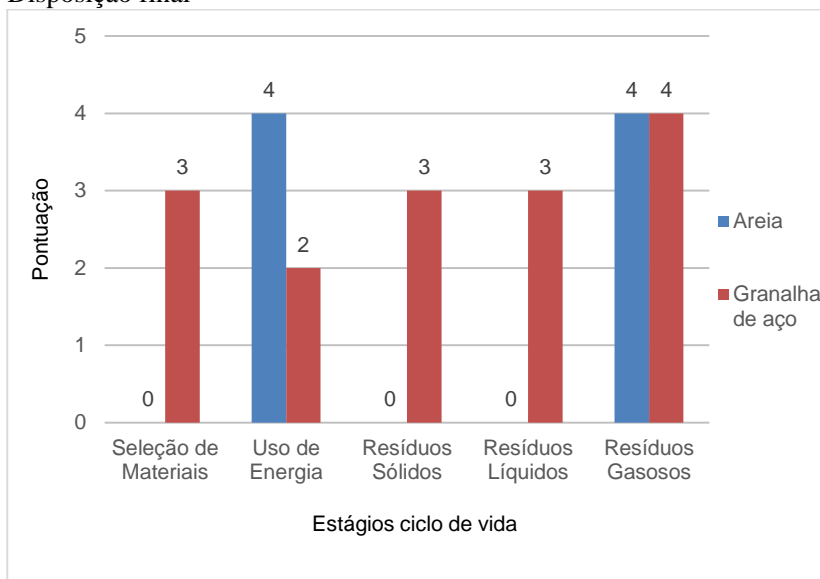
Com relação à embalagem, percebeu-se que a granalha de aço estava embalada em sacos de papel sobre *pallets*, perfazendo um total de 1.000 kg cada *pallet*. Há uso de energia na confecção dos *pallets* de madeira e dos sacos de papelão. Os sacos de papelão que acondicionam a

granalha são reciclados, bem como os *pallets*, que após a vida útil são descartados e vendidos para carroceiros. Os resíduos gerados são sólidos (embalagens).

Com relação à seleção de materiais, a granalha de aço diferencia-se de forma substancial da areia, pois a extração da última gera elevado impacto ambiental e a reciclagem da granalha gera médio impacto.

Segue-se a análise, expondo no Gráfico 7 a quinta etapa da ACV.

Gráfico 7 - Quinta etapa do ciclo de vida da areia e da granalha de aço – Disposição final



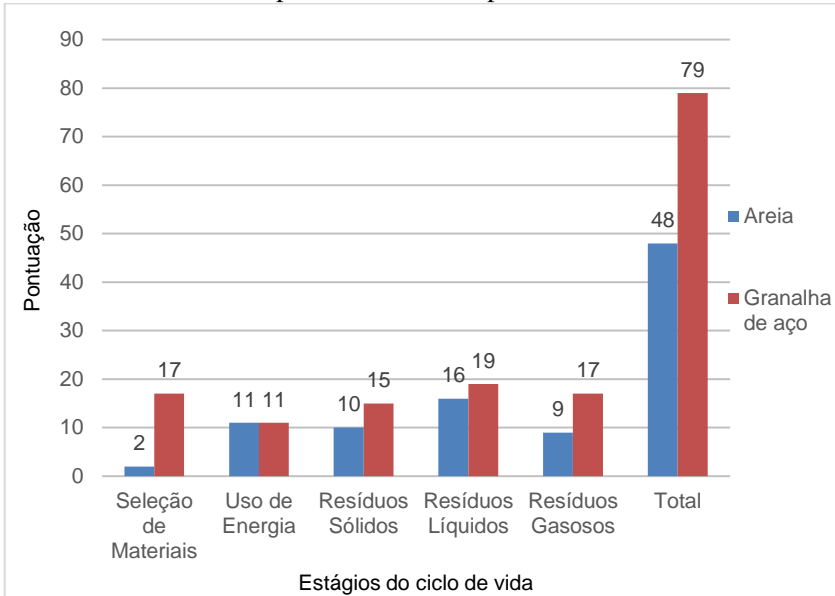
Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2016).

Com relação à disposição final, quinta etapa do ciclo (Gráfico 7), percebe-se novamente a importância do uso de material reciclado bem como a possibilidade de seu reaproveitamento. É possível reciclar a granalha de aço, o que não ocorre com a areia. Os contaminantes existentes nos resíduos da areia não são aproveitados requerem um tratamento especial e envio para aterros sanitários em sua totalidade.

No item *resíduos líquidos*, a pontuação gerou diferença substancial, pois o óleo existente na granalha é passível de separação e reaproveitamento.

O Gráfico 8 mostra a totalização dos pontos em cada etapa do ciclo de vida dos dois produtos abrasivos que mais causam impactos ao meio ambiente.

Gráfico 8 - Total dos impactos em cada etapa do ciclo de vida



Fonte: Elaborado pela pesquisadora (2016).

Com a metodologia de ACV simplificada, demonstra-se de forma clara para todos os envolvidos no processo a responsabilidade inerente a cada produto no quesito ambiental, podendo-se tomar decisões de forma rápida. Poder-se-ia utilizar a comparação entre as duas para a sensibilização das empresas que ainda utilizam de jateamento com areia, conforme verificação *in loco* efetuada pela pesquisadora a empresas na região. A troca de produto para o jateamento trará benefícios nos quesitos ambiental, social e econômico. Em relação ao meio ambiente, o passivo ambiental relativo aos resíduos que serão levados a aterros sanitários de acordo com Mejia, (2014) será menor. No quesito social, evitar-se-ia a doença ocupacional denominada silicose, altamente cancerígena, segundo Castro e Bethlem (1995), e no econômico, reduzir-se-iam os gastos, pois segundo Brasibras (2014) o custo da areia é aproximadamente 6 vezes mais do que o da granalha.

Cabe aqui salientar que esta metodologia deve ser empregada no âmbito da empresa, pois não é considerada pelas normas ISO 14040 e 14044, que tratam do ACV de maneira mais minuciosa.

No decorrer desta pesquisa, verificou-se que sempre há formas de diminuir os impactos ambientais em todo o ciclo. A empresa na qual se desenvolveu este estudo deve tomar medidas urgentes em relação à disposição final do pó de granalha de aço. Sugere-se que ela se adapte à legislação ambiental em vigor, e, para se adequar a possíveis restrições mercadológicas, efetue a ACV com base nas ISO vigentes para este tema.

Muitos consumidores condicionam as suas compras à garantia de que a empresa atende os preceitos ambientais tanto relativos ao produto como ao processo produtivo (MONTIBELLER FILHO, 2004). A certificação proporcionar-lhe-á um aumento em seu mercado consumidor, podendo inclusive obter a rotulagem ambiental junto a ABNT (D'AZEVEDO, [2009]).

Além da determinação da ACV, examinou-se também o atual destino para o resíduo de granalha aço, visando, após a análise dos dados, propor alternativas para sua destinação final.

#### 4.5 DESTINO ATUAL DO RESÍDUO DE GRANALHA DE AÇO

O Quadro 6 apresenta a pesquisa documental efetuada na base de dados da empresa, para averiguar a quantidade de granalha de aço adquirida e a descartada.

Quadro 6 - Demonstrativo da movimentação da granalha entre os meses de janeiro/2015 a junho/2016 em tonelada.

<b>Data</b>	<b>Aquisição de granalha (ton)</b>	<b>Resíduo gerado (ton)</b>
Janeiro 2015	8,54	-
Fevereiro 2015	1,15	-
Março 2015	3,56	8,13
Abril 2015	10,8	3,5
Mai 2015	1	-
Junho 2015	7,36	-
Julho 2015	8	-
Agosto 2015	4	4,02
Setembro 2015	4	-
Outubro 2015	5	-
Novembro 2015	3	-

<b>Data</b>	<b>Aquisição de granalha (ton)</b>	<b>Resíduo gerado (ton)</b>
Dezembro 2015	8	4,58
Janeiro 2016	1,4	-
Fevereiro 2016	5,5	-
Março 2016	7,5	15,98
Abril 2016	3	-
Maio 2016	6	2,56
Junho 2016	2,8	-

Fonte: Cedido pela empresa pesquisada (2016).

Quando questionados sobre a quantidade de resíduos gerados, os engenheiros responsáveis pelo jateamento afirmaram que o percentual de resíduo gerado é aproximadamente 6% a 10% da granalha utilizada devido à incorporação de carepas e óleo provenientes dos implementos antes destes serem jateados.

O resíduo de granalha de aço gerado na empresa em estudo foi analisado e classificado pelo Laboratório de Resíduos Sólidos do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) (ANEXO C).

Foi classificado como Classe I devido à presença de óleos e graxas com concentração de 6.022 mg/kg, equivalendo a 9.455 mg/l. Conforme a ABNT NBR 10.004:2004 (Anexo B), óleos lubrificantes usados ou contaminados, fluído e óleos hidráulicos usados, óleos usados em isolamento elétrico, térmico ou de refrigeração com código de identificação F100, F130, F230, F330 e F430, respectivamente, são classificados como Classe I, sem referência quanto a valores. Com relação ao lançamento de efluentes, a Resolução CONAMA nº. 430, de 13 de maio de 2011, que complementa e altera a Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005, parágrafo único, Seção II, Art. 16, letra e, define para óleos e graxas as concentrações de até 20mg/l de óleos minerais e até 50 mg/l de óleos vegetais e gorduras animais.

Os resíduos *Classe I* devem ser armazenados em área autorizada pelo órgão de controle ambiental à espera da destinação adequada. Precisam ser acondicionados em contêineres, tanques, tambores ou a granel, colocados em cima de uma base de concreto, e, preferencialmente, em galpões cobertos até o seu destino final, segundo a ABNT NBR 12235 (1992). Na empresa, o tratamento não é adequado desde o acondicionamento até o seu descarte final (Figura 5), uma vez que há alternativas ambientalmente corretas para este tipo de resíduo. Apesar do



resíduo de granalha de aço em pó ser classificado como Classe I, ele fica estocado a céu aberto, conforme se observou *in loco*.

Figura 5 - Contêiner para acondicionamento do resíduo de granalha de aço



Fonte: Acervo da pesquisadora (2016).

Após se acumular uma quantidade expressiva de resíduo, ele é vendido para um sucateiro por R\$ 0,03 o kg, e misturado às demais sucatas, segundo informações do setor ambiental. Entende-se que o descarte é inadequado e não é feita a sua reciclagem, sendo que o seu destino é desconhecido.

#### 4.6 MEDIDAS ALTERNATIVAS PARA REUSO DOS RESÍDUOS DE GRANALHA DE AÇO

Nota-se, então, que dar um destino correto para o pó de granalha de aço é muito importante visando adequação à lei em vigor e ao cuidado com o meio ambiente. Para tal, pesquisaram-se alternativas que podem ser seguidas pelas empresas que geram o pó de granalha.

A reciclagem é o “aproveitamento do material de que um produto é feito, normalmente após sua descaracterização química ou física, para fabricação de outros produtos e, às vezes, do mesmo produto a partir do resíduo original” (ROSA; FRACETO; CARLOS, 2012, p. 347). É a quarta etapa na hierarquia de valor e o pó de granalha de aço pode ser reciclado, conforme o Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT (2012). Verificou-se que a reciclagem do mesmo pode ser feita de diferentes formas. Seguem sugestões para a reciclagem dos resíduos de granalha de aço.

#### **4.6.1 Adição de resíduo em pó de granalha de aço a concreto e massa asfáltica**

Pode-se adicionar o resíduo em pó de granalha de aço a tijolos de concreto ou à massa asfáltica. Pesquisadores do Centro Universitário Barriga Verde, UNIBAVE, mostraram (pesquisa não publicada) que é possível esta adição. Os resultados serão analisados após testes com corpos-de-prova. Neste caso, a empresa deveria fazer um convênio com universidades e institutos de pesquisa para firmar uma parceria para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

#### **4.6.2 Descontaminação do pó de granalha de aço**

Há empresas que fazem a descontaminação da granalha e utilizam o aço novamente para a confecção de seus produtos. Segundo o SBRT (2012), o resíduo gerado no processo de jateamento possui um alto teor de ferro e pode ser reciclado e reintegrado à cadeia produtiva industrial.

De acordo com resposta técnica emitida pela SBRT (2012), entre as empresas que reciclam o pó de granalha, estão: a Gerdau Riograndense, Resistec Comércio de Ferramentas Ltda, GBM Reciclagem e Vtinox.

#### **4.6.3 Fabricação de briquetes**

O resíduo proveniente do jateamento com granalha de aço pode ser reciclado pelo processo de briquetagem, diminuindo a utilização da fonte natural não renovável, bem como diminuindo a quantidade dos resíduos que necessitam de disposição final em aterros sanitários.

O pó formado após o jateamento com granalha de aço pode ser reciclado conforme etapas a serem cumpridas (SBRT, 2012), iniciando com análises laboratoriais feitas na recicladora para detectar as características físico-químicas do material. Em seguida, é iniciado o processo de reciclagem, que consiste em um processo industrial de secagem para eliminação de umidade e líquidos livres considerados contaminantes. Efetua-se então a correção da composição química e de tamanho de partícula. Assim, os resíduos transformam-se em um pó metálico, seco e com características físico-químicas pré-determinadas. Encaminha-se este pó para ser briquetado após os controles dos lotes, determinando-se a condição de trabalho e controlando-se a qualidade dos briquetes a serem fabricados.

Outra forma de fabricação de briquetes, segundo Pirani (2006), é por meio de uma composição contendo cal hidratada, melaço de cana-de-

açúcar e resíduos metálicos recicláveis. Inicialmente deve-se separar o pó metálico de partículas inservíveis para o processo por meio de peneiras vibratórias. Em um silo, deve-se adicionar cal hidratada e o melaço em um tanque vertical. Os materiais são selecionados de forma automatizada e controlados por válvulas medidoras de vazão e balanças eletrônicas e depositados em um misturador horizontal até a massa ficar homogênea e ser conduzida à briquetagem.

A Figura 6 mostra o formato dos briquetes que poderão ser produzidos.

Figura 6 - Briquetes oriundos de pós metálicos



Fonte: Tecnobriq (2016).

Os briquetes poderiam ser enviados a companhias siderúrgicas, aciarias ou fundições para a fabricação de aço novamente. O pó proveniente de jato de granalha possui um custo menor que outros tipos de pós, pois o resíduo é praticamente seco e possui um alto teor de ferro total (mesmo que seja na forma de óxidos) (TECNOBRIQ, 2016).

Sugere-se que a empresa envie amostras para testes de briquetagem à empresa Tecnobriq, vendedora de máquinas para briquetagem conforme ilustra a Figura 7. Assim, ela poderia fazer parcerias ou mesmo comprar uma máquina e iniciar um novo processo produtivo, adquirindo o pó de outras unidades produtivas da região.

Figura 7 - Briquetadeira PBH-D-60T especial para pó de ferro e aço com óleo mineral e celulose em pó (meio filtrante)



Fonte: Tecnobriq (2016).

Aqui cabe salientar que, mesmo utilizando a reciclagem como alternativa ao descarte, ainda existirão contaminantes no resíduo, porém a quantidade é de 6% a 10% em relação à granalha, e o acondicionamento correto destes resíduos gerará um impacto ambiental menor em relação a esta quantidade.

## 5 CONCLUSÃO

A busca pelo desenvolvimento sustentável deve ser uma constante para todos, pois o descaso levará o planeta a um colapso entre 50 a 100 anos, caso os seres humanos não busquem alternativas que imitem a natureza em relação ao reaproveitamento dos bens descartados (MILLER, 2007).

As empresas aperfeiçoam-se para se adaptarem à competição acirrada, gerando produtos de qualidade com preços atrativos que devem ser também sustentáveis, devido ao crescente número de pessoas que atualmente buscam produtos sustentáveis e que não agridam o meio ambiente. Aplicar a metodologia de ACV é uma alternativa que as empresas devem buscar para terem o rótulo ambiental e disponibilizar um produto ambientalmente correto.

Utilizar a ACV oportuniza as empresas a verificarem os impactos adversos que seus produtos causam no meio ambiente, agindo para corrigi-los de forma contínua (BARRETO et al., 2007).

Na avaliação efetuada de forma manual e simplificada do ciclo de vida, constatou-se que a empresa efetuou a substituição do abrasivo areia pela granalha de aço. Pode-se com a ACV comparativa entre a utilização de areia e granalha vislumbrar o impacto ambiental, social e econômico gerado pela areia, pois a mesma gera um passivo ambiental de alto custo na hierarquia de resíduos sólidos e todo o resíduo gerado deve ser descartado no último patamar na hierarquia de tratamento dos resíduos, ou seja, no aterro sanitário. A areia impacta na qualidade de vida dos colaboradores, causando a silicose e seu custo é em torno de seis vezes superior ao da granalha. Já a granalha de aço é um produto abrasivo com menos impacto no quesito ambiental. Não gera particulados livres em nível superior ao permitido, seus resíduos podem ser reciclados e viu-se que é um produto oriundo de reciclagem.

Recomendou-se alternativas para o destino correto ao pó da granalha, resíduo gerado no processo de jateamento, obedecendo a legislação vigente.

A empresa em estudo deve buscar por parcerias com as universidades e centros de pesquisa da região, para a utilização do pó da granalha, realizando ensaios de caracterização do resíduo e teste de uso em novos produtos, sendo que já está em fase de andamento o uso em massa asfáltica e em tijolos de concreto. A amostra do pó de granalha poderia ser enviada à empresa Tecnobriq, verificando a possibilidade de fazer briquetes, que poderão ser novamente fundidos e utilizados para a confecção de novos produtos. As diferentes formas expostas para a

destinação correta dos resíduos contribuirão significativamente para uma gestão ambiental ainda melhor.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se efetivar uma ACV do processo de fabricação de seus implementos, utilizando *software* de ACV segundo a norma ISO.

Sugere-se que a empresa procure com ABNT uma rotulagem ambiental, oportunizando a venda para o nicho de mercado crescente de clientes preocupados com a questão ambiental, bem como para a exportação de seus produtos, haja vista que esta certificação é aceita em todo o mundo.

## REFERÊNCIAS

ACVBRASIL. **Institucional**. [2007]. Disponível em:  
<<http://www.acvbrasil.com.br/institucional/>>. Acesso em: 05 jul. 2015.

ARAUJO, M. G. **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil**. 2013. 232 f. Tese (Doutorado) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR (ABEN). **Análise comparativa das alternativas energéticas**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12235: 1992**. Armazenamento de resíduos sólidos perigosos – Procedimento. Disponível em:  
<<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=2926>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 10004: 2004**. Resíduos Sólidos – Classificação. Disponível em:<<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=936>>. Acesso em: 20 jun.2016.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 14041:1998**. Avaliação do ciclo de vida: Objetivos e escopo, definições e análise de inventários.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 14042:2000**. Avaliação do ciclo de vida: Avaliação de impacto do ciclo de vida.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 14040:2009. Versão Corrigida: 2014**.Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Disponível em:<<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 16 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida:2014**. Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Disponível em:<<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em: 16 jun. 2015.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e Instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2007.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

\_\_\_\_\_; DIAS, M. Logística reversa como instrumento de programas de produção e consumo sustentável. **Tecnológica**. São Paulo, n. 77, p. 58-69, out. 2002.

BARBOSA JUNIOR A. F. *et al.*. Conceitos e aplicações da Análise de Ciclo de Vida (ACV) no Brasil. **Revista Gerenciais**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 39-44, 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=331227111005>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

BARBOSA G. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**. 4. ed. n. 4, v. 1, jan/jun2008.

BOFF, L. **Capitalismo: risco de ecocídio e de biocídio**. 2011.

Disponível em:

<<http://leonardoboff.wordpress.com/2011/03/15/capitalismorisco-de-ecocidio-e-de-biocidio/>>. Acesso em: 28 set. 2014.

BRASIBRAS INDUSTRIA DE EQUIPAMENTOS LTDA (São Paulo). **Granalha de Aço**. [2014]. Disponível em:

<<http://www.brasibras.com.br/index.php/granalhas-de-aco/>>. Acesso em: 07 jun. 2016.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**.

Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompila.do.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompila.do.htm)>. Acesso em: 23 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. **Gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde**. Brasília: MS, 2006.

\_\_\_\_\_. Lei nº. 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 ago. 2010b. Disponível em:



<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 22 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Resolução COMANA 430/2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>>. Acesso em: 03 maio 2015.

CAMARGO, I.; SOUZA, A. E. Gestão dos resíduos sob a ótica da logística reversa. In: ENCONTRO NACIONAL DE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE 2005, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: Engema, 2005, p. 119-145.

CARTA DA TERRA. **Organização das Nações Unidas**. 2002. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/\\_arquivos/carta\\_terra.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/carta_terra.pdf)>. Acesso em: 21 jul. 2016.

CARVALHO, C H R **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. 2011 IPEA. Disponível em: <[http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td\\_1606.pdf](http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf)>. Acesso em: 07 jul. 2016.

CASTRO, H. A; BETHLEM, E. P. A. Silicose na indústria naval do estado do Rio de Janeiro: análise parcial. In: JORNAL DE PNEUMOLOGIA. **Doenças Ocupacionais**. vol. 21, n. 1, jan.- fev. /1995.

CEN, Y. Características das inovações no setor de gestão de resíduos e o padrão distinto do uso da incineração de resíduos na China. In: STRAUCH, M.; ALBUQUERQUE, P. P. (Org.). **Resíduos: como lidar com recursos naturais**. São Leopoldo RS: Oikos, 2008. p. 105-143.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

CHERUBINI, E. **Entenda o que é ACV**. 2014. Disponível em: <<http://blog.enciclo.com.br/entenda-o-que-e-acv/>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

COLTRO, L. *et al.* **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão.** Disponível em: <[http://cetea.ital.sp.gov.br/publicacoes/adi\\_25/](http://cetea.ital.sp.gov.br/publicacoes/adi_25/)>. Acesso em: 23 jun. 2015.

D'AZEVEDO, R. T. **Análise do Ciclo de Vida do Produto - instrumento de Gestão Ambiental.** [2009]. Disponível em: <<http://naturlink.pt/article.aspx?menuid=6&cid=34613&bl=1&viewall=true>>. Acesso em: 21 jul. 2016.

DEMAJOROVIC, J. **Sociedade de risco e responsabilidade socioambiental:** perspectivas para educação corporativa. São Paulo: SENAC, 2003.

DREYER, L.; HAUSCHILD, M.; SCHIERBECK, J. A Framework for Social Life Cycle Impact Assessment (10 pp). **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.88-97, 18 ago. 2005.

DIAS, R. **Gestão ambiental:** responsabilidade social e sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2007.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa.** São Paulo: Atlas, 1999.

ENCICLO SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS. **5 softwares para realizar análise de ciclo de vida (ACV) dos seus produtos.** Disponível em: <<http://blog.enciclo.com.br/5-softwares-para-realizar-analise-de-ciclo-de-vida-acv-dos-seus-produtos/>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

GRAEDEL, T. E., ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology**, New Jersey: Prentice Hall, 1995.

HIRATUKA, C. *et al.* **Logística reversa:** para o setor de medicamentos. Brasília: ABDI, 2013.

JACOVELLI, S. J; FIGUEIREDO P. J. M. Avaliação do Ciclo de Vida simplificada aplicada a evolução de tornos. **XXIII Encontro Nac. de Eng. De Produção**, Ouro Preto, Outubro 2003. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003\\_TR1002\\_1393.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR1002_1393.pdf)>. Acesso em: 28 jul. 2016.

JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; MACHADO FILHO, J. V. **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Barueri: Manole, 2012.

LAMB, C. Projeto brasileiro Inventário do Ciclo de Vida para Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira (SICV Brasil) **II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida**, Florianópolis, nov. /2010. Disponível em: <[http://www.ciclodevida.ufsc.br/congresso/16\\_00h\\_Mesa\\_Redonda\\_4\\_Celina\\_Lamb.pdf](http://www.ciclodevida.ufsc.br/congresso/16_00h_Mesa_Redonda_4_Celina_Lamb.pdf)>. Acesso em: 28 jul. 2016.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MACHADO, J.; ELISEU, V. **Incorporação da dimensão sócio-ambiental ao *Balanced Scorecard***. São Paulo: Prisma, 2005.

MEJIA JUNIOR, A. P. **Jateamento abrasivo**. *Prod.* [online]. 2014. Disponível em: <<http://www.aprietojato.com/wp-content/uploads/2014/08/Jateamento-Abrasivo-Rev.pdf>> Acesso em: 07 jul. 2016.

MILLER JÚNIOR, G. T. **Ciência ambiental**. São Paulo: Cengage, 2013.

MONTIBELLER-FILHO, G. Ecomarxismo e capitalismo. **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, n. 28, p.107-132, out., 2000.

\_\_\_\_\_. Crescimento econômico e sustentabilidade. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, MG, p.81-89, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadedenatureza/article/view/9343/5723>>. Acesso em: 01 out. 2014.

MORALES, A. G. **A formação do profissional educador ambiental: reflexões possibilidades e constatações**. 2. ed. Ponta Grossa: UEP, 2012.

MOURA, B. **Logística: conceitos e tendências**. Lisboa: Centro Atlântico, 2006.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do ciclo de vida**: princípios e aplicações. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

NOSSO FUTURO COMUM. **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: FGV, 1988.

PIRANI, E. de R. **Processo para obtenção de briquetes através de resíduos metálicos e produto obtido**. BR n. PI0601259-0, 10 jan. 2006, 12 set. 2006. Disponível em: <[https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=BR&NR=PI0601259A&KC=A&FT=D&date=20060912&DB=EPODOC&locale=en\\_EPr](https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=BR&NR=PI0601259A&KC=A&FT=D&date=20060912&DB=EPODOC&locale=en_EPr)>. Acesso em: 11 jul. 2016

PIRES, C. L. Z. **A interdisciplinaridade na gestão ambiental**. Boletim Gaúcho de Geografia. Porto Alegre, 1999. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/bgg/article/view/39755>>. Acesso em: 21 jul. 2016.

RIBEIRO, C. M; GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. Avaliação do ciclo de vida (ACV): uma ferramenta importante da ecologia industrial. **Revista de Graduação da Engenharia Química**, v. 11, p. 13-23, 2003. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm>>. Acesso em: 05 jul. 2015.

ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; CARLOS, V. M. **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

SCHRAMM, F. R. **A moralidade das biotecnologias**. Rio de Janeiro: ANBio, 1999.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Reciclagem de resíduo de granalha de aço**. 2012. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/resposta-tecnica?rt=MjMwMTU=>>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Briquetes**. 2013. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/resposta-tecnica?rt=MjMwMTU=>>>. Acesso em: 11 jul. 2016

SINTO BRASIL PRODUTOS LTDA. **Granalhas de aço**. Disponível em: <<http://sinto.com.br/pt/nfe/pdf-produtos/granalhas-jateamento.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

SHIBAO, F. Y; MOORI, R. G; SANTOS, M. R. dos. A logística reversa e a sustentabilidade empresarial. **Semead: Seminários em Administração**, São Paulo, v. 13, p. 1-17, set. /2010. Disponível em: <[http://ucbweb2.castelobranco.br/webcaf/arquivos/114487/11297/A\\_LOGISTICA\\_REVERSA\\_E\\_A\\_SUSTENTABILIDADE\\_EMPRESARIAL.pdf](http://ucbweb2.castelobranco.br/webcaf/arquivos/114487/11297/A_LOGISTICA_REVERSA_E_A_SUSTENTABILIDADE_EMPRESARIAL.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2014.

STRAUCH M.; ALBUQUERQUE, P. P. **Resíduos**: como lidar com recursos naturais. São Leopoldo, RS: Oikos, 2008.

TACHIZAWA, T; ANDRADE, R O L de. **Gestão socioambiental**: estratégias na nova era da sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

TECNOBRIQ. **Reciclando**: pós metálicos. Disponível em: <<http://www.tecnobriq.com/reciclando>>. Acesso em: 11 jul. 2016.  
\_\_\_\_\_. **Briquetadeiras**: transformando resíduos em matéria prima (Briquetadeira: PBH-D-60T especial). Disponível em: <<http://www.tecnobriq.com/reciclando>> Acesso em: 11 de jul. 2016.

TEIXEIRA, J. de A. **Design e materiais**. Curitiba: CEFET-PR, 1999.

USÓN, A. A. *et al.*. **El análisis de ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial**. Madrid, Espanha: Fundacion Confemetal, 2006.

VALLE, C. E. do. **Qualidade ambiental ISO 14000**. São Paulo: SENAC, 2012.

VALT, R. B. G.. **Análise do ciclo de vida de embalagens de pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. 208 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

VESILIND, P.A.; MORGAN S.M. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

VILELA JÚNIOR, A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e Ferramentas de Gestão Ambiental: desafios e perspectivas para as organizações**. 2. ed. São Paulo: Senac, 2010.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Produção**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.436-447, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132012005000037>.

WINTER, G. **Desenvolvimento sustentável, OGM e responsabilidade civil na União Europeia**. Campinas: Millenium, 2009.

## **ANEXOS**

**ANEXO A – QUADRO COM AS NORMAS SOBRE ACV  
PRODUZIDAS PELO TC 207/SC05**

<b>Nº da Norma ano</b>	<b>Título</b>	<b>Descrição</b>
ISO 14040:2006	Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estruturas	Proporciona os elementos gerais e metodologias requeridas para uma ACV de produtos e serviços.
ISO14041:1998	Avaliação do ciclo de vida: Objetivos e escopo, definições e análise de inventários	Guia para determinar as metas e o escopo de um estudo de ACV e para o inventário de LCA. Substituída pela ISO14044:2006
ISO14042:2000	Avaliação do ciclo de vida: Avaliação de impacto do ciclo devida	Guia para a fase de avaliação de impacto de um estudo de ACV. Substituída pelaISO14044:2006
ISO14043:2000	Avaliação do ciclo de vida: Interpretação do ciclo devida	Proporciona guia para interpretar os resultados de um estudo de ACV. Substituída pela ISO14044:2006
ISO 14044:2006	Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Requerimentos e diretrizes	Especifica requisitos e proporciona um guia para a avaliação do ciclo de vida, incluindo exemplos. Incorpora os temas tratados nas normas ISO 14041, 14042 e14043.



<b>Nº da Norma ano</b>	<b>Título</b>	<b>Descrição</b>
ISO TS14048:2002	Avaliação do ciclo de vida: Informações sobre apresentação de dados para um estudo de avaliação do ciclo de vida	Proporciona informação sobre o formato dos dados para suporte de uma ACV.
ISO TR14049:2000	Avaliação do ciclo de vida: Exemplos para aplicação da norma ISO14041	Ilustra com exemplos como aplicar as normas ISO14041.
ISO TR14062:2002	Gestão ambiental: Integração dos aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos: Exigências e diretrizes	Descreve conceitos e práticas usadas para integrar aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos e serviços.
ISO TR14047:2003	Avaliação do ciclo de vida: Exemplos para aplicação da norma ISO14042	Ilustra com exemplos como aplicar a norma ISO14042.

Fonte: Barbieri e Cajazeira (2009, p. 8).

## ANEXO B - QUESTIONÁRIO DE COLETA DE DADOS SIMPLIFICADO

<b>FOLHA DE DADOS</b>		
<b>PROCESSO:</b>	<b>DATA:</b>	
<b>BALANÇO DA MASSA</b>		
ENTRADA DE MATÉRIAS-PRIMAS	kg/	SAÍDAS
		t
		Produto principal:
		Subprodutos:
		Resíduos sólidos:
OUTRAS ENTRADAS	kg/t	
Comentários		
<b>ENTRADA DE ENERGIA</b>		
FONTES ENERGÉTICAS	kg/t	GJ/t
Comentários		
<b>TRANSPORTES</b>		
ATIVIDADES DE TRANSPORTES	MEIO	DISTÂNCIA
CARGA (t)		
(por t de produto principal)		
(rodoviário, ferroviário, marítimo, aéreo) km		
<b>DADOS AMBIENTAIS (EMIÇÃO DE RESÍDUOS)</b>		
EMIÇÕES PARA O AR	kg/t	
Comentários		
EMIÇÕES PARA A ÁGUA	kg/t	
Comentários		
EMIÇÕES PARA A TERRA	kg/t	
Comentários		

Fonte: Adaptado de Chehebe (2002).

## ANEXO C – CLASSIFICAÇÃO DO RESÍDUO DA GRANALHA DE AÇO EFETUADO PELO IPAT



**Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC**  
**Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT**  
**Laboratório de Resíduos Sólidos**

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo a norma **ABNT NBR 10.004:2004 - Anexo A – Resíduos perigosos de fontes não específicas** como óleos lubrificantes usados ou contaminado, fluido e óleos hidráulicos usados, óleos usados em isolamento elétrico, térmico ou de refrigeração com código de identificação: F100, F130, F230, F330 e F430 respectivamente são classificados como classe I - perigosos, porém não cita referências quanto a valores. Conclui-se que materiais contaminados pelos resíduos acima sejam perigosos.

A concentração de óleos e graxas encontrada na massa bruta foi de 6022 mg/kg (9.455 mg/L).

A **Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011** que complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes – parágrafo único, Seção II, Art. 16, letra e, defini para óleos e graxas as seguintes concentrações:

- óleos minerais: até 20mg/L
- óleos vegetais e gorduras animais: até 50mg/L.

Percebe-se que a concentração de óleos e graxas na massa bruta do resíduo esta acima da recomendada pela resolução, o que leva a classificá-lo como **classe I – perigoso**.

Portanto, considerando o resultado obtido no ensaio de óleos e graxas, o resíduo (**Pó de granalha de aço**) é classificado como **classe I - perigoso** segundo a norma **ABNT NBR 10004:2004**.

A identificação dos constituintes (parâmetros) avaliados na caracterização foi estabelecida de acordo com o processo que deu origem ao resíduo, matérias-primas, insumos e a segregação do mesmo. Conforme dados fornecidos pelo interessado.

**CLASSIFICAÇÃO: RESÍDUO CLASSE I – PERIGOSO.**

  
 Responsável Técnico  
 Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109

Criciúma, 23 de agosto de 2013.

Página 7 de 7 / R.E.: 43/2013

Rod. Jorge Lacerda, km 4.5 - Bairro Sangão - Criciúma - SC - Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000 - Fone/Fax: (048) 3444-3731/3444-3709

**APÊNDICE**

## APÊNDICE A – FORMULÁRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELOS PRODUTOS UTILIZADOS PARA JATEAMENTO.

Formulário para compor a dissertação de mestrado em Ciências Ambientais de Jacira Aparecida de Souza Wagner Zanatta sobre “ANÁLISE SOBRE O CICLO DE VIDA DE GRANALHA DE AÇO UTILIZADA EM JATEAMENTO DE PEÇAS METÁLICAS”

Formação:.....  
Grau de escolaridade: .....  
Função atual:.....  
Idade:.....

O preenchimento deste formulário visa identificar o impacto que a utilização dos produtos para jateamento, provocam no meio ambiente.

Os produtos mais usados em operações de jateamento no Brasil segundo as empresas Brasibras<sup>1</sup> e Aprieto<sup>2</sup> são: areia, granalhas de aço e óxido de alumínio. Utiliza-se também escória de cobre, bauxita sinterizada e microesfera de vidro (Descrição de cada produto em anexo).

**Favor preencher o quadro abaixo<sup>3</sup>, dando uma nota variando de 0 a 4, sendo 0 de alto impacto ambiental e 4 de baixo impacto ambiental.**

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://www.brasibras.com.br/>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

<sup>2</sup> Mejia Jr. Jateamento Abrasivo, 2014.

<sup>3</sup> Adaptado de Ribeiro, Gianneti e Almeida (2003).

Itens avaliados em relação ao LCA (Análise do Ciclo de Vida do Produto) <sup>4</sup>		A-reia	Granalha de aço	Óxi-do de alu-mínio	Escó-ria de Cobre	Bauxita Sinteri-zada	Microes-fera de Vidro
Origem do Material <sup>5</sup>	Virgem						
	Recicla-do	NA *					
Tipo de Embalagem <sup>6</sup>	A granel						
	Sacas de papel	NA *					
Tipo de transporte <sup>7</sup>	Rodovi-ário						
Utilização <sup>8</sup>	Virgem						
	Recicla-do	NA *					
Itens avaliados em relação ao LCA (Análise do Ciclo de Vida do Produto) <sup>9</sup>		A-reia	Granalha de aço	Óxi-do de alu-mínio	Escó-ria de Cobre	Bauxita Sinteri-zada	Microes-fera de Vidro
Resíduos Sólidos <sup>10</sup>							
Resíduos líquidos <sup>11</sup>							
Poluição do ar (gasosos) <sup>12</sup>							
Uso de energia <sup>13</sup>							
Descarte <sup>14</sup>							

NA = não se aplica

## **Características dos produtos utilizados para jateamento Areia**

<sup>4</sup> Estudo sobre os impactos ambientais que um produto gera do berço ao túmulo.

<sup>5</sup> Produto é o mais adequado sob o ponto de vista ambiental.

<sup>6</sup> Embalagem utilizada é de baixo impacto na geração de resíduos.

<sup>7</sup> Utilização do transporte ideal o sob o ponto de vista de geração de resíduos.

<sup>8</sup> Material e equipamentos para a operacionalização do jateamento são os mais adequados.

<sup>9</sup> Estudo sobre os impactos ambientais que um produto gera do berço ao túmulo.

<sup>10</sup> Há geração de resíduo sólido.

<sup>11</sup> Há geração de resíduo líquido.

<sup>12</sup> Polui o ar.

<sup>13</sup> Menor gasto energético possível e de fontes renováveis.

<sup>14</sup> É feito o descarte correto de acordo com a legislação.

A areia é um abrasivo natural, proveniente de rios ou de jazidas. É de baixo custo. Seu uso só é recomendado com proteção respiratória, em campo aberto, onde não há restrições, pois possui alto teor de sílica livre, que pode provocar problemas respiratórios e silicose. O impacto contra a superfície provoca a quebra das partículas produzindo poeira. Após o jateamento, cerca de 70 % da areia resulta em pó e a sua reciclagem chega, no máximo, a dois ciclos. Depois disso a areia é transformada em pó e não é mais possível o seu aproveitamento. No caso de jateamento de tintas velhas contendo metais pesados, o descarte do pó é um grande problema. Por estes motivos de saúde, a areia é proibida em todo o território brasileiro. A poeira pode ser prejudicial também a equipamentos elétricos e mecânicos. A areia para uso na preparação de superfícies por jateamento deve ser: isenta de sais, de umidade, de argila, de mica, de carvão e de conchas. O uso de areia em cabinas se torna antieconômico, pois o seu custo final é cerca de 6 vezes mais caro do que o das granalhas. Há uma lei, já aprovada pela Câmara Federal que proíbe o uso de areia em trabalhos de jateamento abrasivo. Na verdade, o uso de areia a seco ou a úmido já foi proibida desde 19 de outubro de 2004 através da Portaria n°. 99 da Secretaria de Inspeção do Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego. O motivo da Portaria é que o pó da areia contém sílica livre (SiO<sub>2</sub>), provoca silicose e pessoas com silicose são mais propensas a contrair câncer de pulmão.

### **Granalhas de aço**

Há sistemas de recuperação automáticas das granalhas, com piso gradeado, transportadores helicoidais, elevadores de canecas e sistema de purificação das granalhas.

O sistema mais simples, de recuperação manual, é muito penoso para o operador, pois uma pá de granalhas pesa quase 10 kg. As granalhas são feitas com um tipo especial de aço, de alta dureza, em dois formatos, esféricas (*shot*) e angulares (*grit*).

*Shot* tem dureza de 40 a 50 Rockwell C e podem ser recicladas até 450 vezes. *Grit* de 55 a 60 Rockwell C e podem ser recicladas até 350 vezes.

Para estruturas costuma-se utilizar as granalhas S-330 até S-230 e G-18 até G-40.

### **Escória de Cobre**

Também conhecida como "CopperSlag" este material é gerado no processo de fusão e refino do minério concentrado de cobre. Durante o processo, o ferro contido no concentrado reage e se estabiliza em um

silicato ferroso denominado Fayalita, que é o principal constituinte da escória. Na unidade de granulação, a escória líquida em elevada temperatura, entra em contato com um jato de água e se solidifica na forma de pequenos grãos, que são enviados para os secadores rotativos e sistema de peneiramento, que promovem, respectivamente a secagem e a classificação granulométrica.

A escória de cobre é um material granulado, de cor negra, seco, constituído de silicatos estáveis e livre de materiais voláteis. É um material não higroscópico (não absorve água) e com igual ou maior dureza do que algumas areias, sendo, portanto, eficaz no processo de jateamento. Segundo o fabricante Caraíba Metais, a escória de cobre é classificada como sendo não tóxica, não causando danos ao meio ambiente por ser isenta de ferro livre, cloretos livres ou sais solúveis em água.

Escória de cobre (Caraíba Metais). Sua densidade é 3,30 a 3,90 g/cm<sup>3</sup> e dureza Mohs > 6

### **Óxido de Alumínio**

O óxido de alumínio é um material obtido a partir da bauxita, que é o principal minério de alumínio, com alto teor de óxido de Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). A grande vantagem deste material é não conter Sílica cristalina livre (SiO<sub>2</sub>). Constituído basicamente de óxido de alumínio marrom e ferro silício, este abrasivo não apresenta sílica livre, prejudicial à saúde. A liga ferro-siliciosa é constituída de aproximadamente 85% de ferro e 15% de silício.

Segundo o fabricante (Mineração Curimbaba), a dureza Mohs do Óxido de alumínio é 9.

### **Bauxita sinterizada**

Bauxita é o minério de alumínio com alto teor de óxido de alumínio. Há dois tipos de abrasivos produzidos a partir da bauxita e utilizados em jateamento: a redonda (sinterball) e a angular (sinterblast).

Segundo o fabricante, a dureza Mohs da sinterizada é 9.

Obtido da bauxita sinterizada, com mais de 80% de óxido de alumínio, não contém sílica. É um material duro, leve e não enferruja. Pode ser usada com pressões mais baixas (60 a 70 Lbs/pol<sup>2</sup>). Produz pó preto quando usada com pressões altas. Pequena porção do material fica engastada no aço o que torna a coloração da superfície pouco mais escura do que em uma jateada com areia ou granalha. No entanto este material encravado não prejudica a aderência das tintas nem causa problemas de corrosão por que não é metálico e por isso não causa corrosão galvânica.



### Microesfera de Vidro

Compostas por óxidos inorgânicos, sendo cerca de 70% de Óxido de Silício, as microesferas de vidro são abrasivos artificiais produzidos em fornos de temperaturas entre 1500-1650°C. A altíssima temperatura garante que esse material seja isento de sílica livre.

As Microesferas de Vidro são abrasivos esféricos, granulados, brancos, inertes e insolúveis em água.

Podem ser usadas em limpeza de matrizes de extrusão, retíficas de motores, eliminação de carepas e outras diversidades de peças e também em gravações artísticas em vidros são as grandes particularidades desse material que possibilita jateamentos com grande homogeneidade de rugosidade.

São oferecidas em várias granulometrias e por não ser ferrosa é indicado para jateamento em peças não ferrosas, por não causar contaminação, como: aço inox, alumínio, cobre e outras metais não ferrosos.

Cada Material para Jateamento tem um comportamento peculiar.

Materiais	Comportamento operacional					
	Ação Abrasiva	Contaminação Superficial	Geração de Pó	Uniformidade de acabamento	Eficiência p/ Limpeza	Custo Operacional
Esferas de Vidro	Praticamente Nula	Nula	Baixa	Ótimo	Alta	Baixo
Granalha de aço esférica	Média	Baixa	Baixa	Ótimo	Alta	Baixo
Granalha de aço angular	Alta	Baixa	Baixa	Bom	Alta	Baixo
Óxido de alumínio	Muito Alta	Baixa	Alta	Bom	Alta	Médio
Materiais Orgânicos	Nula	Baixa	Baixa	-	Baixa	Médio
Quartzo	Alta	Média	Alta	Regular	Alta	Alto
Areia	Alta	Alta	Muito Alta	Mau	Alto	Alto

Fonte: Brasibras (2014).