



**Universidade Federal do Rio de Janeiro**  
**Escola Politécnica & Escola de Química**  
**Programa de Engenharia Ambiental**

Danielle de Souza Bonifácio

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE MISTURAS EXPLOSIVAS COM NITRATO DE AMÔNIO

Rio de Janeiro  
2017



UFRJ

Danielle de Souza Bonifácio

## ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE MISTURAS EXPLOSIVAS COM NITRATO DE AMÔNIO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Assed Naked Haddad  
Coorientador: Erick Braga Ferrão Galante

Rio de Janeiro  
2017

Bonifacio, Danielle Souza

Análise Do Ciclo De Vida De Misturas Explosivas Com Nitrato De Amônio / Danielle de Souza Bonifácio. – 2017.

97 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2017.

Orientador: Assed Naked Haddad e Erick Braga Ferrão Galante

1. ANFO. 2. ACV. 3. Análise do ciclo de vida. 4. Explosivos. I. Haddad, Assed Naked. II. Galante, Erick Braga Ferrão. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. IV. Mestrado.



## ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE MISTURAS EXPLOSIVAS COM NITRATO DE AMÔNIO

Danielle Souza Bonifacio

Orientador: Assed Naked Haddad

Coorientador: Erick Braga Ferrão Galante

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela banca:

Presidente: Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc, UFRJ

Prof. Erick Braga Ferrão Galante, D.Sc, CRANFIELD

Prof. Letivan Gonçalves de Mendonça Filho, D.Sc, IME

Prof. Wellington Kiffer de Freitas, D.Sc, UFF

Prof. Eduardo Linhares Qualharini, D.Sc, UFRJ

Rio de Janeiro

2017

Dedico esta dissertação à minha mãe – Elisabeth de Oliveira Souza – que foi a grande impulsionadora e me fez sempre manter a chama do crescimento intelectual, pessoal e profissional. Sem ela eu não teria chegado até aqui.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço em primeira oportunidade a Deus por ter me privilegiado com tantas oportunidades e ter ficado ao meu lado por todo esse árduo caminho da sabedoria.

Agradeço também ao meu amigo e orientador, Assed Naked Haddad, por guiar-me neste caminho de pesquisa e conhecimento. Sem o seu incentivo esta jornada não se teria concretizado.

Agradeço ao meu amigo e coorientador, Erick Galante, por todo companheirismo, incentivo, dedicação, apoio extremo e carinho despendido desde o momento que nos conhecemos. Meu tutor no trabalho, na vida e agora acadêmico.

Meus eternos agradecimentos aos meus amigos – Aline e Bruno - amigos que sempre me acompanharam, que estiveram comigo nas horas mais difíceis, não me deixaram desistir desse desafio, entenderam a minha ausência por esse período de tempo e hoje comemoram comigo esta grande conquista.

## RESUMO

BONIFÁCIO, Danielle de Souza. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE MISTURAS EXPLOSIVAS COM NITRATO DE AMÔNIO. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

A presente dissertação aborda a análise do ciclo de vida – ACV - para cinco misturas explosivas do tipo ANFO – nitrato de amônio e óleo combustível - verificando a performance ambiental do ciclo de vida desde a produção das matérias primas até o seu uso final, no caso do explosivo a detonação. Estas não são composições usuais para o explosivo ANFO e elas se originaram de um trabalho técnico relativo ao uso do explosivo em si, o qual foi a fonte dos dados químicos para este trabalho. Durante a apresentação da metodologia da ACV foi feito um breve levantamento sobre os estudos já existentes englobando os materiais que fazem parte do escopo deste trabalho e os métodos escolhidos para a avaliação. Essa verificação foi a base estatística para a escolha dos métodos de avaliação utilizados nesta pesquisa. Para inventário do ciclo de vida dos compostos em estudo aproveitou-se as informações, por completo, da base de dados do programa de simulação de ACV. E a fim de reduzir as incertezas dos resultados, avaliou-se o ciclo de vida das misturas explosivas em quatro métodos distintos, considerando as mesmas categorias. Os resultados foram obtidos e analisados de forma normalizada, ou seja, recebendo o mesmo percentual de relevância e de forma acumulada, sob o índice de pontuação única. Em todos eles a performance ambiental foi unanime, elegendo os explosivos à base de óleo diesel e biodiesel como a melhor alternativa ambiental.

Palavras Chave: 1. ANFO. 2. ACV. 3. análise do ciclo de vida. 4. Explosivos.

## **ABSTRACT**

BONIFÁCIO, Danielle de Souza. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE MISTURAS EXPLOSIVAS COM NITRATO DE AMÔNIO. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The present dissertation approaches the life cycle analysis - ACV - for five explosive mixtures of the type ANFO - ammonium nitrate and fuel oil - verifying the environmental performance of the life cycle from the production of the raw materials until its final use, in the case of explosive to the detonation. These are not usual compositions for the ANFO explosive and they originated from a technical work on the use of the explosive itself, which was the source of the chemical data for this work. During the presentation of the ACV methodology, a brief survey was made on the existing studies, including the materials that are part of the scope of this work and the methods chosen for the evaluation. This verification was the statistical basis for the choice of evaluation methods used in this research. For the life cycle inventory of the compounds under study, the information was completely taken from the database of the ACV simulation program. To reduce the uncertainties of the results, the life cycle of the explosive mixtures was evaluated in four different methods, considering the same categories. The results were obtained and analyzed in a standardized way, that is, receiving the same percentage of relevance and in a cumulative form, under the single punctuation index. In all of them the environmental performance was unanimous, choosing the diesel-based and biodiesel-based explosives as the best environmental alternative.

Key Words: 1. ANFO. 2. ACV. 3. Life cycle assessment. 4. explosives.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Classificação geral dos explosivos .....	8
Figura 2.2 Ciclo de vida dos produtos .....	14
Figura 3.1 Modelo esquemático do processo produtivo.....	15
Figura 4.1 Fases da ACV .....	17
Figura 4.2 Fases das interpretação .....	23
Figura 4.3 Midpoint x Endpoint .....	26
Figura 4.4 Métodos mais utilizados .....	28
Figura 4.5 Abordagem mais utilizada .....	29
Figura 5.1 Sistema de produto .....	39
Figura 5.2 Normaização EDIP 2003 .....	54
Figura 5.3 Normalização ReCiPe .....	55
Figura 5.4 Normalização Impact 2002+ .....	56
Figura 5.5 Normalização CML 2000 .....	57
Figura 5.6 Pontuação única EDIP 2003.....	57
Figura 5.7 Pontuação única ReCiPe.....	58
Figura 5.8 Pontuação única Impact 2002+ .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 Composições de ANFO .....	16
Tabela 4-1 Elementos da AICV .....	22
Tabela 4-2 Softwares de ACV .....	24
Tabela 4-3 Principais métodos e suas características .....	27
Tabela 4-4 Associação das categorias de impactos .....	29
Tabela 4-5 Correlação método x categorias de impactos .....	32
Tabela 5-1 Unidade funcional.....	38
Tabela 5-2 Fronteiras dos sistema de produto.....	40
Tabela 5-3 Área geografica .....	42
Tabela 5-4 Horizonte temporal .....	43
Tabela 5-14 Relação proporção volumétrica e mássica para o Biodiesel .....	51
Tabela 5-16 Cálculo das distâncias percorridas nos transportes .....	52
Tabela 5-20 Pontuação única consolidada .....	60

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto da Análise de Ciclo De Vida
ANFO	<i>Ammonium Nitrate Fuel Oil</i> (Nitrato de amônia com óleo combustível)
ANP	Agencia Nacional de Petróleo
CO <sub>x</sub>	Óxidos de carbono
EEW	<i>Effective Explosive Weight</i> (peso explosivo efetivo)
GEE	Gases do efeito estufa
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HC	Hidrocarbonetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Denominação de normas da ABNT
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
PDF	<i>Potentially Disappeared Fraction</i>
PEA	Programa de Engenharia Ambiental
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SO <sub>x</sub>	Óxidos de enxofre
TNT	Trinitrotolueno
TNT <sub>e</sub>	Equivalente de TNT
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivo geral	3
1.1.2	Objetivo específico	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1	Explosivos	4
2.2	TNT equivalente	5
2.3	Aplicações	6
2.3.1	Explosivos Comerciais	6
2.3.2	ANFO	7
2.4	Combustíveis alternativos	9
2.5	Ciclo de vida	12
<b>3</b>	<b>CASO DE ESTUDO: PRODUÇÃO DE ANFO</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>17</b>
4.1	Fases da ACV	17
4.1.1	Definição de objetivo e escopo	18
4.1.2	Análise de inventário	21
4.1.3	Avaliação do impacto do ciclo de vida	21
4.1.4	Interpretação	22
4.2	Software	23
4.3	Métodos de AICV	25
4.3.1	Escolha dos métodos	26
4.3.2	Categorias de impactos relacionadas ao estudo	29
4.3.3	Métodos selecionados	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>34</b>
5.1	Definição de objetivo e escopo	34
5.1.1	Objetivo	34
5.1.2	Função de produto	35
5.1.3	Unidade funcional	36
5.1.4	Sistema de produto	38
5.1.5	Fronteiras do sistema de produto	40
5.1.6	Procedimentos de alocação	44

5.1.7	Tipos de impacto, metodologia de AICV e interpretação.....	44
5.1.8	Requisitos dos dados .....	44
5.1.9	Suposições .....	45
5.1.10	Limitações .....	46
5.1.11	Tipo de análise crítica.....	47
5.1.12	Formato do relatório requerido para o estudo.....	47
<b>5.2</b>	<b>Análise de inventário do ciclo de vida.....</b>	<b>47</b>
5.2.1	Nitrato de amônio .....	47
5.2.2	Óleo diesel.....	48
5.2.3	Bagaço da cana de açúcar .....	48
5.2.4	Sabugo de milho.....	49
5.2.5	Casca de arroz .....	50
5.2.6	Biodiesel.....	50
5.2.7	Transportes envolvidos.....	51
5.2.8	Infraestrutura da planta de fabricação.....	53
5.2.9	Detonação .....	53
<b>5.3</b>	<b>Avaliação do impacto do ciclo de vida.....</b>	<b>53</b>
5.3.1	Indicador de normalização.....	54
5.3.2	Indicador de pontuação única.....	57
<b>5.4</b>	<b>Interpretação .....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>
7.1	<b>BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>
7.2	<b>NORMATIVAS.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>69</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O primeiro dado histórico sobre uso de explosivos remonta à China, com uso de pólvora negra em pirotecnia. Desde então materiais explosivos tem sido usado como artifício para fragmentar e obter rochas. Os meios mecânicos utilizados para corte no desmonte de rochas ainda não conseguem índices de rendimento, custo e agilidade melhores que o uso de explosivos.

Um percentual elevado de trabalhos executados em mineração utiliza ANFO – mistura explosiva à base de nitrato de amônio e óleo combustível - na sua mais tradicional versão, nitrato de amônio e óleo combustível apenas. A partir da década de 70 e influenciada pela crise do petróleo entre outros conflitos de cunho internacional e na região do Oriente Médio a busca por materiais não derivados de petróleo tem sido impulsionada. O óleo diesel utilizado no ANFO é um destes materiais. (MUNARETTI 2002)

Aliado a isto, outro fator impulsionador para a mudança é o crescente aumento de legislações a cerca do uso de produtos químicos e suas consequências no meio ambiente. A preocupação com as questões ambientais vem sendo uma realidade no Brasil, haja vista a vasta quantidade de órgãos de controles criados, no âmbito nacional e estadual, para fiscalização direta e sanções previstas em caso de descumprimento das leis criadas para proteção e preservação do meio ambiente.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) consiste de uma metodologia para definir os encargos ambientais decorrentes de um produto ou processo, se dispõe a identificar e quantificar a utilização de energia e emissões atmosféricas, avaliar os impactos dos resíduos no ambiente e oportunidades para melhorias ambientais ao longo de todo o ciclo de vida. A ACV tornou-se um instrumento de decisão para a promoção de combustíveis alternativos, é muito importante estudar sistematicamente o ciclo de vida do combustível em termos de eficiência energética, impactos ambientais e custos antes de implementar uma política de combustível. Muitos estudos de ACV têm sido realizados com combustíveis alternativos como o biodiesel, Metanol, etanol e células de combustível, entre outros. Em sua maioria, os estudos a cerca de combustíveis alternativos concentraram-se na economia de energia, economia de combustível e emissões atmosféricas além da viabilidade técnica envolvendo o desempenho dos motores alimentados a biocombustível (Hu et al. 2008).

Como o desmonte de rocha com explosivos representa uma parcela importante no custo final de tonelada de brita produzida, essa etapa precisa ser constantemente otimizada e para maximizar o processo de desmonte, a seleção correta do agente explosivo é vital (MUNARETTI 2002).

Dentre os materiais energéticos de uso no mercado civil o ANFO - sigla em inglês para nitrato de amônio e óleo diesel - se destaca dos demais por duas características fundamentais em termos de produção industrial: fator econômico e facilidade de produção. Além disto, este explosivo possui uma rota produtiva simplificada e de baixo custo de fabricação. Ainda sim, diversos trabalhos sobre a pesquisa da composição ideal para o ANFO, modificando os tipos de combustíveis utilizados, foram feitos. Todos eles tiveram como foco a determinação dos parâmetros técnicos ideais que conduzem o melhor trabalho durante o desmonte de rocha, e que pudessem fornecer a fragmentação adequada do maciço rochoso pelo menor custo possível.

É importante ter em mente que, apesar das vantagens que caracterizam o uso de biocombustíveis, sua produção e uso final podem ter graves impactos ambientais, tais como o uso demasiado de água, destruição das florestas, a redução da produção de alimento e o aumento da degradação do solo. Uma ferramenta útil para determinar o impacto ambiental de produtos e serviços, tais como o uso de biocombustíveis, é a análise do ciclo de vida (ACV), qual seja, a avaliação do consumo e impacto em todas as etapas do ciclo de vida o produto (Escobar et al. 2009).

Através da ACV identifica-se e quantificam-se os impactos durante cada fase da produção. Para isto tem-se a metodologia da série ISO 14040 (BSI British Standards 2006; ISO - International Organization for Standardization 2006), mediante a qual realiza-se a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto; executa-se a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas e faz-se a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos (ISO 14040).

Segundo a Norma ISO14040, a ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto, desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos

ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas.

No trabalho de (RESENDE 2011) são estudados, tecnicamente, os desempenhos de diversas composições explosivas para uso em conjunto com o nitrato de amônio. No trabalho base são elencados cinco diferentes combustíveis para verificação do funcionamento em termos de velocidade de detonação e grau de dispersão das britas produzidas, são eles: óleo diesel, biodiesel, bagaço da cana de açúcar, casca de arroz e sabugo de milho. A pesquisa de base abordou a escolha da mistura explosiva ao qual se obtinha os melhores resultados segundo os parâmetros estipulados.

Esta dissertação irá abordar as mesmas composições estudadas, porém com foco na análise do ciclo de vida das composições explosivas, variando-se os combustíveis utilizados.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

- Avaliar conforme a ISO 14040 o ciclo de vida de diferentes formulações para o ANFO.

### **1.1.2 Objetivo específico**

- Elencar as composições com menor impacto ambiental para uso na fabricação de ANFO.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Explosivos

Os explosivos são substâncias sólidas ou líquidas, isoladas ou misturadas uma com a outra, que estão em estado metaestável e são capazes, por esta razão, de sofrer uma rápida reação química sem a participação de reagentes externos tais como oxigênio atmosférico. A reação pode ser iniciada por meios mecânicos (impacto, atrito), pela ação do calor (faíscas, chamas, fontes aquecidas) ou por choque. A resistência do estado metaestável ao calor é conhecida como estabilidade e a facilidade com que a reação química pode ser iniciada é conhecida como sensibilidade (Meyer & Köhler 2007; Akhavan 2011; Cooper 1996).

O conceito de liberação de energia térmica a partir de reações químicas remonta às origens da humanidade, entretanto a liberação de energia mecânica através do uso de explosivos apareceu apenas recentemente, a partir de reações químicas. Foi por volta de 1630 que a pólvora negra (inventada pelos chineses desde os nossos primeiros séculos) é usada pela primeira vez devido às suas características em uma mina na Hungria (Zeng 1995). Em 1846, o químico italiano A. Sobrero descobriu um novo produto, a nitroglicerina, que tem propriedades diferentes daqueles materiais que utilizam carvão (tais como a pólvora negra). Mesmo em pequenas quantidades o material explosivo, sob a forma líquida, explodia mais violentamente. Esta descoberta mostrou um novo processo de substâncias explosivas: a detonação. Dez anos mais tarde, Alfred Nobel desenvolveu um novo tipo de grão iniciador que provocou a explosão da nitroglicerina o que levou a grande capacidade de fragmentação originada pela onda de choque (Zeng 1995).

Os produtos de uma reação explosiva são predominantemente gasosos. A onda de choque do material explosivo após a detonação pode ser muito mais lenta do que a velocidade do som (exemplo de deflagração ou queima de pólvora) ou pode ser supersônica (detonação). Explosivos são substâncias sólidas, líquidas ou gelatinosas ou misturas de substâncias individuais, que foram fabricadas para propósitos de explosão ou propulsão (Meyer & Köhler 2007; Akhavan 2011; Cooper 1996).

Todos os explosivos são basicamente feitos de dois componentes: oxidantes e combustível. Os explosivos puros, ou chamados ideais, têm ambos estes componentes ligados ao nível da molécula, enquanto misturas explosivas ou explosivos não ideais têm ambos os componentes mecanicamente misturados (por exemplo, nitrato de amônio e óleo combustível). Sob o efeito da onda de choque durante a detonação, oxidante e combustível passam por reação mútua na zona de reações químicas. A velocidade da reação química para explosivos ideais e, portanto, a velocidade de detonação, têm valores maiores devido a condições mais favoráveis, resultando em uma eficiência muito maior. A maior velocidade de detonação tem, portanto, uma quantidade maior de energia liberada, que está em proporção direta ao impulso de explosão e à sobrepressão de explosão. Durante a detonação de explosivos ideais, o dano aos objetos é resultado da sobrepressão da explosão, enquanto que durante a detonação dos explosivos não ideais, o efeito mais provável seria o lançamento de objetos. Por esta razão, para a demolição de objetos firmes, mas relativamente leves, é necessária uma grande sobrepressão, enquanto que para a demolição de objetos pesados, mas relativamente fracos (parede de tijolo) é necessário um grande impulso (Jeremić & Bajić 2006).

O peso explosivo efetivo (EEW) é um dos parâmetros básicos para estimar a segurança pirotécnica nos processos de fabricação, armazenamento e manipulação com material explosivo. Para sua obtenção, os valores de equivalentes de TNT ( $TNT_e$ ) para explosivos de um material explosivo devem ser conhecidos. TNT foi escolhido como base devido às diversas abordagens para este explosivo, o valor unitário do TNT equivalente é baseado em parâmetros de detonação, que, por sua vez, são obtidos a partir de cálculos termoquímicos (Jeremić & Bajić 2006).

## **2.2 TNT equivalente**

Simplificadamente, equivalente em TNT é uma medida de energia baseada na energia liberada pela explosão de TNT em uma câmara controlada. Toma-se este explosivo como base por ser o material com maior número de informações experimentais a respeito sobre sua explosão.

A definição de equivalência TNT é complexa. Existem muitas bases experimentais para comparação de explosivos, tais como o calor de combustão (mais

relevante para pressão em volumes confinados); calor de detonação (mais relevante para pico de pressão); energia de detonação medida por brisância, testes de fragmentação, testes de pêndulo balísticos ou testes de cilindros; energia de detonação calculada a partir da velocidade e densidade de detonação; ou detonação e pós-combustão medida pela pressão de explosão. Infelizmente, os dados para comparar muitos explosivos não estão disponíveis para a maioria destes testes, e em muitos casos quando os dados estão disponíveis para comparação nem sempre são consistentes (Maienschein 2002).

De acordo com o padrão (DoD 1999),  $TNT_e$  são determinados pela comparação dos valores da sobrepressão de explosão e impulso de vários explosivos com relação ao TNT. Porém quando os dados necessários estão faltando os valores de calor de detonação são comumente usados (Jeremić & Bajić 2006).

## **2.3 Aplicações**

Além do desmonte de rochas, o uso de explosivo em ambiente externo ao militarismo se diversifica. Em 1913, a produção de carvão em minas carvoeiras britânica no seu pico obteve o valor de 287 milhões de toneladas, consumindo mais do que 5000 toneladas de explosivos anualmente, e em 1917, 92% desses explosivos tinham como base o nitrato de amônio (Akhavan 2011).

### **2.3.1 Explosivos Comerciais**

As principais aplicações com uso de explosivo no mercado civil são nas áreas de mineração e construção civil. Desde muito tempo, a extração mineral é uma atividade importante para o desenvolvimento social e econômico. Ela é a base da formação da cadeia produtiva, do processo de transformação de minérios até os produtos industrializados e, na medida em que as cidades crescem, criam-se demandas por infraestrutura e serviços, o que induz a instalação de indústrias de transformação (Filho & Silva 2010). Neste contexto, a mineração é reconhecida internacionalmente como atividade propulsora do desenvolvimento, tendo grande participação no desenvolvimento econômico de muitas das principais nações do mundo (Pontes et al. 2013).

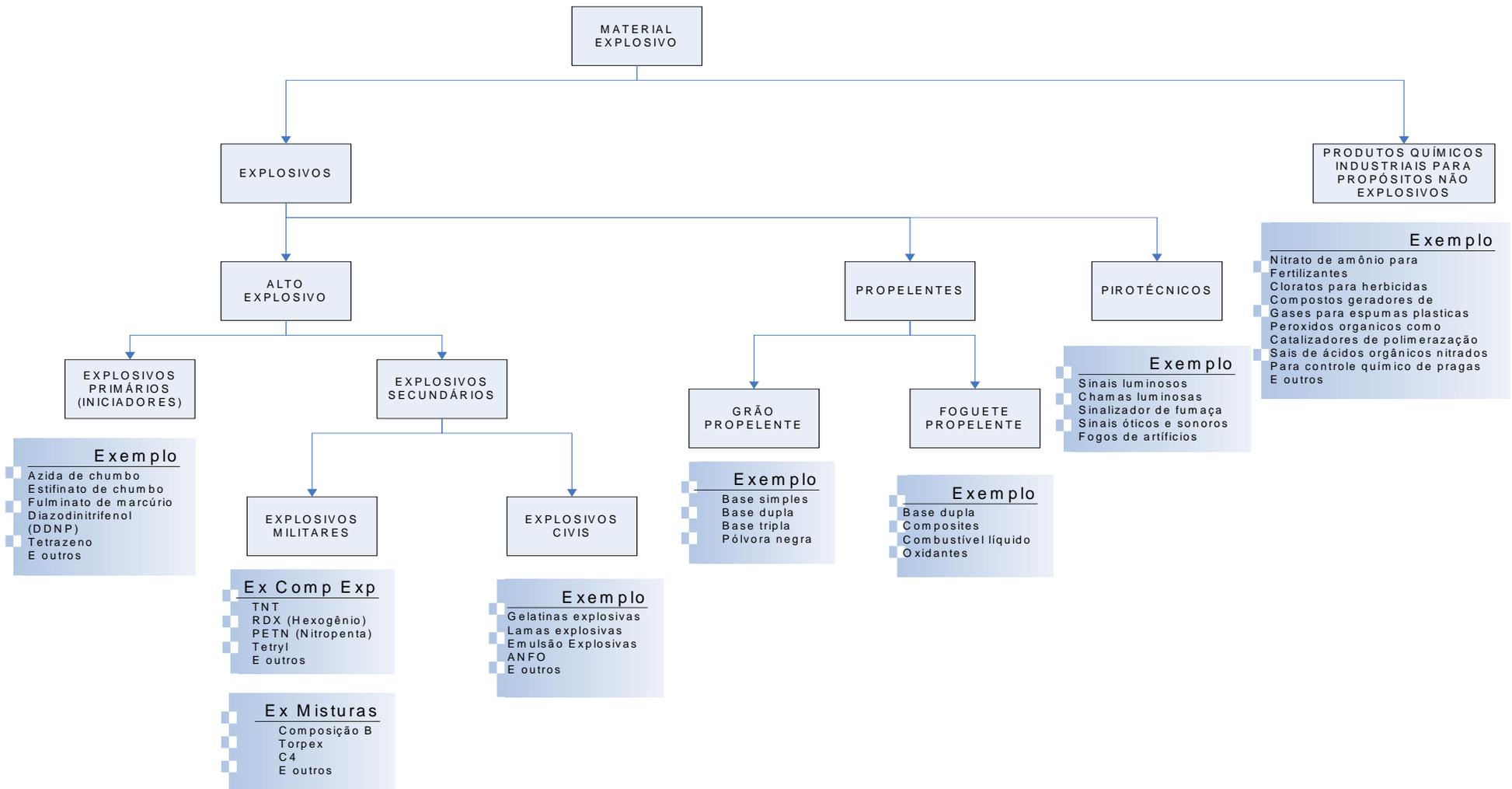
Desmonte de rochas com explosivos é, particularmente, uma importante parte da maioria das operações mineiras, representando pelo menos 20% do custo por tonelada de minério produzido (MUNARETTI 2002).

Explosivos também são usados na demolição de ruínas ou estruturas danificadas. Utilizando cargas explosivas de alta energia na forma de cones é possível cortar quase qualquer elemento estrutural em uma explosão. Esta técnica de "carga moldada" facilita a demolição de uma ponte ou implosão de um edifício. Segundo (MEYERS & SHANLEY 1990), quando puder ser aplicada, a técnica de demolição com explosivos geralmente é o método mais eficaz e consideravelmente menos perigoso para os trabalhadores do que as técnicas convencionais de demolição.

### **2.3.2 ANFO**

ANFO é uma abreviatura criada para representar a mistura entre nitrato de amônio ("ammonium nitrate") e óleo combustível ("fuel oil"). Para se preparar ANFO, são necessários 5,5% em peso de óleo combustível e 94,5% de nitrato de amônio poroso do tipo agrícola ou industrial, caracterizando-o como um explosivo não ideal – ou seja, os componentes combustíveis e oxidantes são misturados mecanicamente.

Explosivos a base de nitrato de amônio e óleo combustível tiveram grande importância no desenvolvimento da indústria mineira durante o século XX. Esse material explosivo mostra-se de incalculável valor para a sociedade, já que tem permitido redução dos custos de desmonte de rocha, aumento na segurança e desenvolvimento de novas atividades de mineração, as quais talvez não pudessem ter sido viáveis sem essa tecnologia. (MUNARETTI 2002). A Figura 2.1 mostra a classificação geral dos materiais energéticos. Nela é possível verificar o enquadramento do explosivo objeto deste estudo (ANFO).



**Figura 2.1 Classificação geral dos explosivos**  
(Meyer & Köhler 2007)

## 2.4 Combustíveis alternativos

Sabe-se que todo e qualquer produto ou serviço, independente do material ou da tecnologia, provoca um impacto no meio ambiente, que pode vir do seu processo produtivo ou da sua criação, das matérias-primas que consome ou devido ao seu uso ou execução e descarte. Por conta disso, as indústrias têm investido cada vez mais na busca por alternativas mais limpas, construindo assim uma relação mais sustentável com a natureza. Nessa linha e com o objetivo de reduzir o custo das composições explosivas, os fabricantes foram adicionando ao nitrato de amônio componentes mais baratos para a formulação da mistura explosiva. Como o nitrato de amônio executa a função de oxidante, a variação se dá em termos dos combustíveis.

Caracteriza-se o uso de explosivos como meio eficaz em combate de guerra, porém mesmo as munições que não são utilizadas para disputas entre países podem ter um impacto em longo prazo sobre o meio ambiente. Estes impactos já são objetos de estudos das forças armadas ao redor do mundo. Abordar eficazmente as preocupações relativas à poluição atmosférica (especialmente os impactos na saúde da poluição do ar), mudanças climáticas e abastecimento de combustível provavelmente exigirá mudanças radicais nas tecnologias de tudo que é direto ou indiretamente ligado ao uso de combustíveis fósseis. O objetivo de se alavancar emissões quase nulas de poluentes atmosféricos e gases com efeito de estufa e uma diversificação do sistema de combustível de transporte depende do desenvolvimento de soluções alternativas, como o uso de combustível de fontes renováveis ou geração de energia a partir de biomassa.

O avanço em pesquisas a respeito de biocombustíveis tem proporcionado a diminuição de descartes através do uso de resíduos como matéria prima para a geração de produtos energéticos, conhecidos como coprodutos. Os resíduos da biomassa podem ser considerados excelentes coprodutos para a geração de energia seja na forma de biogás, bio-óleo, biodiesel ou na cogeração de produtos compactados, briquetes ou pellets (CAPOTE 2012).

Biocombustível é o combustível gerado a partir da biomassa e tem como vantagem a contribuição da diminuição dos gases do efeito estufa (GEE). Todo material orgânico gera energia, mas o biocombustível é fabricado em escala comercial a partir de produtos

agrícolas como a cana-de-açúcar, mamona, soja, canola, babaçu, mandioca, milho, beterraba e algas (Junior & Pinho 2015).

Um dos principais métodos para a utilização de resíduos é a sua utilização como fonte de energia. Para serem utilizados como fonte de energia, os resíduos precisam conter em sua estrutura energia química. Este conteúdo energético depende do tamanho da fração (orgânica) combustível e do teor de umidade. Para melhor utilização da energia intrínseca contida nos resíduos, foram desenvolvidos também combustíveis alternativos que são misturas de diferentes resíduos (Mokrzycki & Bochenczyk 2003).

Para a obtenção das mais variadas fontes de energia, a biomassa pode ser utilizada de maneira direta ou indireta. O menor percentual de poluição atmosférica global é o principal benefício de sua utilização. Igualmente, em relação a outras formas de energias renováveis, a biomassa, como energia química, tem posição de destaque devido à alta densidade energética e pelas facilidades de armazenamento, conversão e transporte (Junior & Pinho 2015).

#### *2.4.1.1 Bagaço da cana de açúcar*

O bagaço da cana de açúcar consiste em aproximadamente 50% de celulose e 25% de hemicelulose e lignina, cada. Devido ao seu baixo teor de cinzas, possui inúmeras vantagens em comparação com outros resíduos tais como palha de arroz e palha de trigo, cujo teor de cinzas é de 17,5% e 11,0%, respectivamente, para bioconversão utilizando culturas microbianas. Além disso, em comparação com outros resíduos agrícolas, o bagaço da cana de açúcar pode ser considerado como uma rica armazenagem de energia solar devido a sua elevada produtividade (cerca de 80 t/ha em comparação com cerca de 1, 2 e 20 t/ha para o trigo, outras gramíneas e árvores, respectivamente) e rápida capacidade de regeneração anual (Pandey et al. 2000).

O bagaço de cana é um combustível de alto valor energético apenas se estiver seco. O calor de combustão inferior do bagaço cru é de apenas 5,4MJ/kg. Tipicamente, a cada 100 t de açúcar bruto extraído da cana de açúcar são gerados 270 t de bagaço de cana-de-açúcar e 67,5t (ou 25%) de resíduos (Zandersons et al. 1999).

#### 2.4.1.2 Casca de arroz

O Brasil é considerado anualmente um dos maiores produtores de arroz, cerca de 12 milhões de toneladas segundo os dados do acompanhamento de safra da Companhia Nacional do Abastecimento para a safra de 2013 (LUZZIETTI et al. 2013).

Conforme Aneel (2012), dentre as fontes renováveis de energia, a biomassa é responsável por 7,17% da energia elétrica, com 431 empreendimentos em operação. Ainda conforme banco de dados sobre geração elétrica, há oito usinas de biomassa da casca de arroz, que juntas geram 32.608 kW, representando 0,03% do total da produção energética Nacional (Silva et al. 2012).

Em função da necessidade de se adequar o descarte do resíduo gerado pela beneficição do arroz, busca-se cada vez mais o aproveitamento e desenvolvimento de tecnologias mais limpas para utilização do rejeito.

#### 2.4.1.3 Sabugo de milho

Os resíduos da agricultura e das agroindústrias são os subprodutos do cultivo e processamento de produtos agrícolas como arroz, milho, feijão e amendoim. Embora esses resíduos possam conter materiais valiosos, seus valores econômicos são inferiores aos custos aparentes de coleta, transporte e processamento para beneficiamento do uso. Portanto, eles são frequentemente descarregados como resíduos. Em Taiwan, durante a década de 1980 a expansão das plantações de milho foi incentivada pelo Governo e inevitavelmente seguida pela geração de grandes quantidades de resíduos agrícolas de milho, chegando à aproximadamente 18 kg de espiga de milho por 100 kg da produção de grãos de milho. Muitas abordagens para processamento de milho foram sugeridas, tais como fertilizantes para aplicação no solo; como fonte de energia por combustão; como substrato biológico para a produção de proteína entre outros (Tsai et al. 2001).

#### 2.4.1.4 Biodiesel

O Biodiesel é um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel mineral, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou

etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente (Barbosa et al. 2008).

Como combustível o biodiesel possui algumas características que representam vantagem sobre os combustíveis derivados do petróleo, tais como, virtualmente livre de enxofre de compostos aromáticos, alto número de cetano; teor médio de oxigênio, maior ponto de fulgor, menor emissão de partículas, HC, CO e CO<sub>2</sub> (RESENDE 2011). Este combustível surge como uma opção para substituição do diesel mineral nos seus diversos usos.

Vários países começaram a incentivar o uso de biodiesel, por meio de programas mandatórios de adição do biodiesel ao diesel, para reduzir o potencial impacto ambiental do derivado de petróleo (Sieira et al. 2014). Com isso tem-se verificado uma grande expansão da produção em nível mundial (Junior & Pinho 2015).

Observa-se que a produção de biocombustíveis constitui-se principalmente por matérias-primas agrícolas e, por conseguinte, muitos países podem produzi-los obtendo diversos benefícios, tais como diversificação das fontes de energia e agricultura, desenvolvimento acelerado das zonas rurais com as consequentes oportunidades de emprego nestas áreas. Além disso, os países que produzem uma grande quantidade de biomassa não são países produtores de combustíveis fósseis. Consequentemente, novos países entrarão no mercado global de energia, o que reduziria a dependência dos poucos países que possuem reservas de petróleo. É importante observar que nem todos os países possuem condições climáticas, topográficas e de solo adequadas para a produção de biocombustíveis em larga escala. A viabilidade econômica destes combustíveis depende das culturas utilizadas, sua realização e a eficiência do seu processamento (Escobar et al. 2009).

## **2.5 Ciclo de vida**

A crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos, tanto na sua fabricação quanto no consumo, têm aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e lidar com aqueles impactos. Uma das técnicas em desenvolvimento com esse objetivo é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (Chaves et al. 2014; Stano et al. 2009).

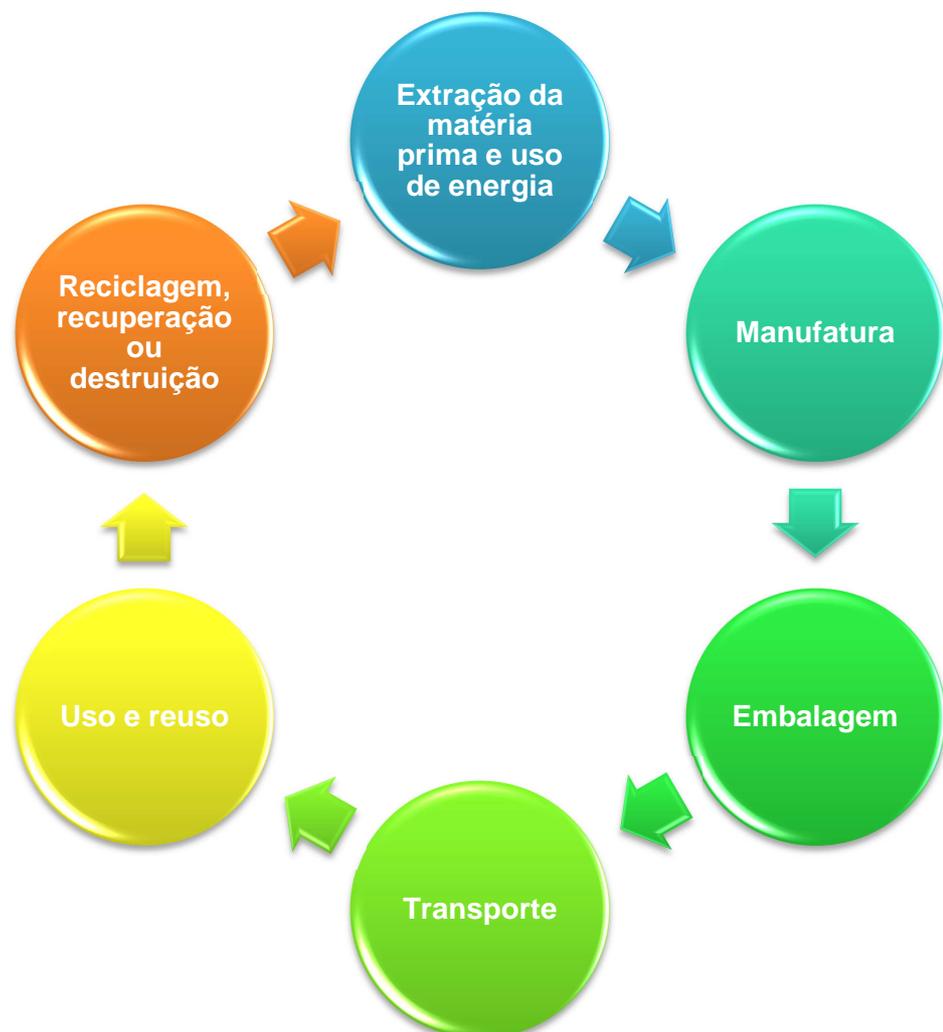
A primeira dessas avaliações foi criada por Harry Teasley, Jr. na Coca-Cola Company por volta de 1970. A Coca-Cola precisava tomar a decisão entre produzir internamente ou adquirir externamente suas garrafas de vidro. A empresa também estava considerando a substituição de suas garrafas retornáveis por latas descartáveis e estava examinando uma nova garrafa de plástico para seus refrigerantes. O rápido desenvolvimento da preocupação pública com o meio ambiente levou a empresa a explorar os impactos ambientais das suas escolhas de embalagens (Duda & Shaw 1997).

A padronização de ACV começou no Comitê Técnico da ISO (TC 207) Subcomitê em Paris em novembro de 1993 (Marsmann, 1997). O padrão foi inspirado diretamente no Código desenvolvido pela SETAC, a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (Lecouls, 1999). A necessidade desses padrões foi acelerada com o aumento do reconhecimento da vantagem do uso do ACV como um instrumento metodológico para o processo contínuo na identificação dos impactos ambientais dentro de uma estrutura no âmbito do Sistema da gestão ambiental de acordo com a ISO 14001. O fluxograma reconhecido globalmente da série ISO 14040 tomou forma em torno de quatro etapas distintas que incluem o objetivo e a definição de escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação. E por isto mesmo que essas quatro etapas formaram os textos de cada um dos seguintes documentos: 14040 Princípios Gerais em 1997, 14041 *Life Cycle Inventory Analysis* (LCI) em 1998, bem como ambas as Avaliação do Impacto do Ciclo (AICV) e Interpretação 14043 em 2000. Internamente, a estrutura da ISO 14040 segue o padrão estabelecido com a ISO 14001 (isto é, escopo, objetivo, termos e definições, e assim por diante). Outro propósito atrás da elaboração da norma estava na sua posição em relação à família de padrões ISO 14000. A série ISO 14040 foi concebida como uma Ferramenta de um Sistema de Gestão Ambiental global (EMS) centrada na ISO 14001. Pode-se afirmar que um objetivo, da série ISO 14040 é informar a ISO 14001 no que diz respeito à exigência de melhoria contínua para manter a conformidade com a norma. (Pryshlakivsky & Searcy 2013).

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma metodologia pela qual os fabricantes ou prestadores de serviços podem analisar os impactos ambientais e os efeitos de seus produtos e serviços. A duração desta avaliação se estende por todo o ciclo de vida dos produtos e serviços. A Figura 2.2 Ciclo de vida dos produtos mostra esquematicamente estas etapas. Este processo permite a comparação de produtos e tomada de decisões estratégicas em relação às entradas e saídas sistêmicas, bem como o desenvolvimento e incorporação de estratégias de projeto de fim de vida. Uma estrutura sistêmica para o

desenvolvimento de ACV foi produzida pela *International Organization for Standardization* (ISO) durante o período de 1997 e 2000, resultando nas normas ISO 14040, 14041, 14042 e 14043. As atualizações destas normas foram concluídas em 2006, de modo que as normas anteriores foram agrupadas nas normas ISO 14040 e 14044 (Pryshlakivsky & Searcy 2013).

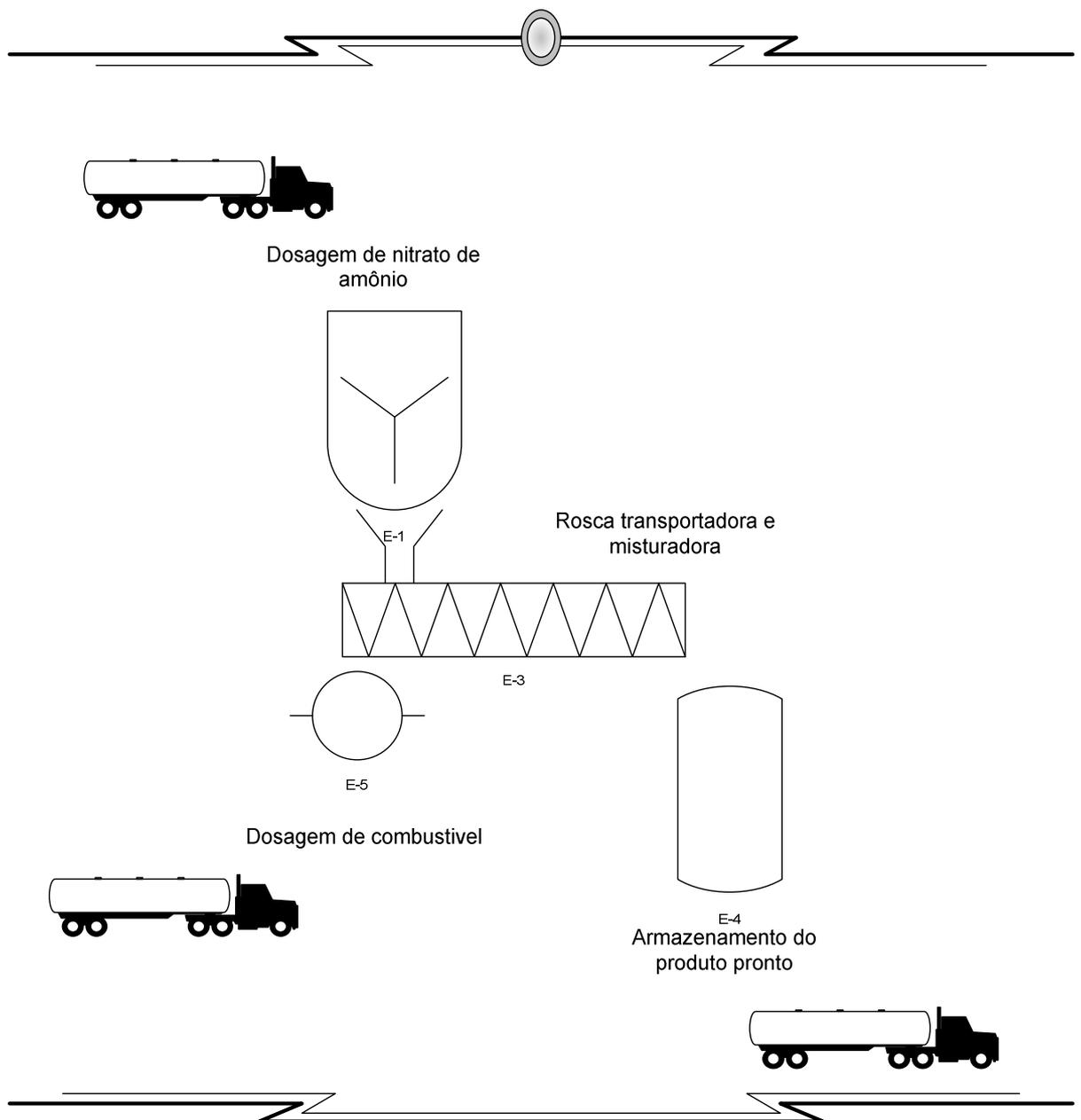
No Brasil, as normas ISO 14040 e ISO 14044 são correspondentes às normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009, ambas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.



**Figura 2.2** Ciclo de vida dos produtos

### 3 CASO DE ESTUDO: PRODUÇÃO DE ANFO

O ANFO, conforme mostrado no item 2.3.2 acima, é um dos explosivos de maior facilidade de produção devido à sua composição se constituir apenas pela mistura de dois materiais químicos – oxidante e combustível. A Figura 3.1 Modelo esquemático do processo produtivo mostra um esboço do processo produtivo internamente à fábrica para produção deste explosivo.



**Figura 3.1 Modelo esquemático do processo produtivo**

As composições de ANFO objeto deste estudo tem como origem o trabalho realizado por (RESENDE 2011), no qual são selecionados os combustíveis, utilizando métodos de amostragem para preparação de amostras, efetuando-se a análise elementar e calculando-se a fórmula mínima do combustível para, então, se chegar à fórmula mínima de reação de combustão. Estequiometricamente, a partir da equação de reação balanceada chegou-se à proporção de cada material para produção de ANFO calculando a proporção ideal da mistura. Do trabalho em referência, extraem-se as proporções entre material oxidante e combustível conforme mostra a Tabela 3-1.

**Tabela 3-1 Composições de ANFO**

Composições	Matérias-primas	Proporções
#1	Óleo diesel	5,5%
	Nitrato de amônio	94,5%
#2	Sabugo de milho	5,9%
	Nitrato de amônio	94,1%
#3	Casca de arroz	22,8%
	Nitrato de amônio	77,2%
#4	Bagaço de cana	14,9%
	Nitrato de amônio	85,1%
#5	Biodiesel	8,9%
	Nitrato de amônio	91,1%

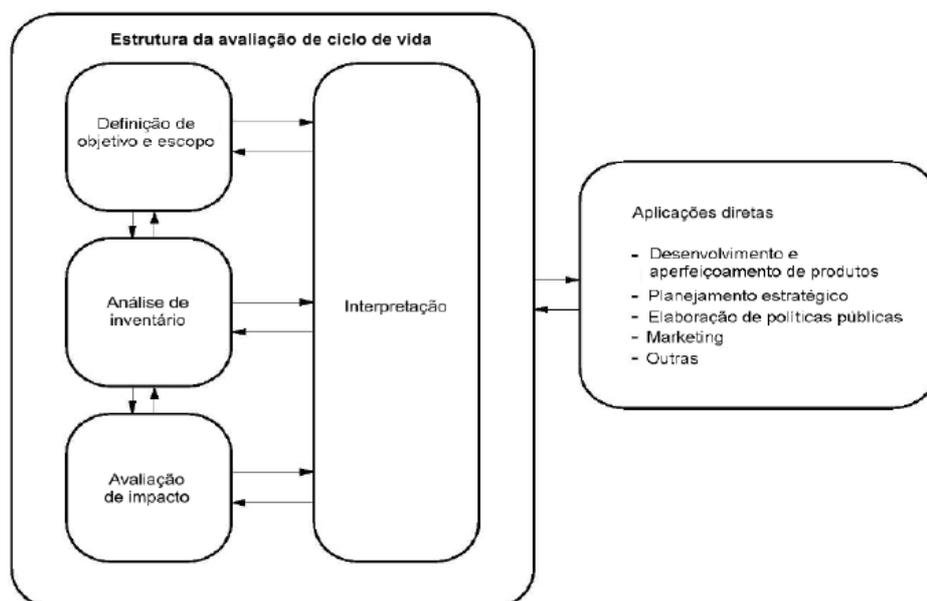
Fonte: (RESENDE 2011)

## 4 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a análise de ciclo de vida foi organizada seguindo as diretrizes das normas NBR ISO 14040 (ABNT 2014) e ISO 14044 (ISO 2006). A metodologia será baseada sob a forma preconizada em ambas as normas segundos as quatro etapas. Este Capítulo apresenta as etapas metodológicas para a aplicação do estudo de caso realizado neste trabalho.

### 4.1 Fases da ACV

O processo de ACV é uma abordagem sistemática separada em quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário de ciclo de vida (ICV), avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e a interpretação, como se ilustra na Figura 4.1 Fases da ACV.



**Figura 4.1 Fases da ACV**

O desenvolvimento de um estudo de ACV não segue, necessariamente, um fluxo único e direto, pois em cada fase as definições tomadas podem ser redefinidas. Afinal, o conhecimento sobre o produto em estudo aumenta conforme se obtém mais informações sobre o mesmo, podendo ser necessários reajustes de meta e escopo (Silva 2012).

#### 4.1.1 Definição de objetivo e escopo

A primeira fase inclui definição do objetivo e do escopo do estudo. Ao se definir o objetivo, deve-se deixar claro qual a intenção da aplicação, quais são as razões para realizar o estudo, qual o público-alvo e se o estudo será usado para fins comparativos. A definição de escopo possui subdivisões que devem evidenciar os seguintes itens:

a) **Função e unidade funcional:** Um sistema pode ter várias funções possíveis e aquela selecionada para um estudo é dependente dos objetivos e do escopo do estudo. O propósito principal de uma unidade funcional é fornecer uma referência para a qual as entradas e saídas são relacionadas. Esta referência é necessária para assegurar a comparabilidade de resultados da ACV. Ou seja, deve haver uma base comum.

b) **Sistema de produto a ser estudado**

c) **Fronteiras do sistema de produto:** As fronteiras do sistema determinam quais unidades de processo devem ser incluídas na ACV. A seleção de entradas e saídas, o nível de agregação numa categoria de dados e a modelagem do sistema devem ser consistentes com o objetivo do estudo. Os critérios usados no estabelecimento das fronteiras do sistema devem ser identificados e justificados no escopo do estudo. Assim, (Tillman et al. 1994) indicam que os limites dos sistemas devem ser especificados nas dimensões: fronteiras entre o sistema tecnológico e a natureza; área geográfica; horizonte temporal; produção de bens de capital; fronteiras entre o ciclo de vida do produto estudado e ciclos de vida relacionados de outros produtos.

i) **as fronteiras entre o sistema tecnológico e a natureza:** se referem às etapas do ciclo de vida do produto, considerando seus processos característicos e podem ser divididas em “do berço ao portão” (*cradle-to-gate*) - escopo que envolve extração de recursos, que pode incluir algumas operações de fabricação ou operações de serviço, mas excluindo todas as fases subsequentes (Campos 2012); “do berço ao túmulo” (*cradle-to-grave*) - considera os impactos em cada estágio do ciclo de vida de um produto, desde o momento no qual os recursos naturais são extraídos do solo e processados através de cada estágio posterior de manufatura, transporte, uso do produto, reciclagem e, finalmente, disposição. (Silva & Oliveira 2014); “do portão ao portão” (*gate-to-gate*) - escopo que envolve um processo em que todas as fases de produção ocorrem dentro de um local (indústria). Processos fora dos portões do local definido não estão incluídos

(Campos 2012); “do portão ao túmulo” (*gate-to-grave*) - escopo que inclui processos de distribuição, o uso e o descarte final do produto (Campos 2012).

- ii) **área geográfica:** que pode ser delimitada considerando as várias partes de um produto podem ser produzidas em qualquer lugar do mundo; ou as infraestruturas, como a produção de eletricidade, a gestão de resíduos e os sistemas de transporte, difere em diferentes regiões; ou a sensibilidade do meio ambiente aos poluentes varia de uma área para outra (Tillman et al. 1994). Entretanto, o principal é que o ACV deve ser geograficamente restrito.
- iii) **horizonte temporal:** As ACVs são feitas porque estamos preocupados com o impacto ambiental presente e futuro da produção e consumo atual de produtos. Por isso, eles devem se concentrar mais no impacto ambiental presente e futuro, do que no impacto que já ocorreu. O horizonte temporal do inventário é restrito ao período de tempo durante o qual a tecnologia pode ser pesquisada. Muitas vezes, os poluentes têm um impacto durante um período mais longo. Assim, a avaliação de impacto deve olhar mais para o futuro do que o inventário, levando em consideração os efeitos futuros das emissões atuais (Tillman et al. 1994).
- iv) **produção de bens de capital:** Se o principal objetivo da ACV é os efeitos ambientais futuros decorrentes da produção e do consumo presentes, os investimentos feitos no passado são pouco interessantes. No entanto, uma ACV pode analisar se é ambientalmente benéfico investir em novos equipamentos de processo, a fim de reduzir as emissões de um processo. Assim, a produção de bens de capital deveria ser incluída apenas quando os investimentos são claramente e significativamente diferentes nas alternativas comparadas. Isso é consistente com o princípio de excluir atividades idênticas (Tillman et al. 1994).
- v) **fronteiras entre o ciclo de vida do produto estudado e ciclos de vida relacionados de outros produtos:** A maioria das atividades no sistema tecnológico global estão inter-relacionadas, os limites devem ser estabelecidos entre o ciclo de vida do produto estudado e outros ciclos de vida associados (Tillman et al. 1994).

d) Procedimentos de alocação: Repartição dos fluxos de entrada ou de saída de uma unidade de processo no sistema de produto sob estudo são necessários quando se lidam com sistemas que envolvem produtos múltiplos (por exemplo, produtos múltiplos do refino de petróleo). Os fluxos de materiais e de energia, assim como as liberações ao ambiente associadas, devem ser alocados aos diferentes produtos de acordo com procedimentos claramente estabelecidos, que devem ser documentados e justificados.

e) Tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada: Nessa fase, o método escolhido de avaliação de impacto de ciclo de vida, as categorias de impactos, e as abordagens e indicadores devem ser abordados. Caso haja inclusão de elemento opcional da AICV, também deve ser informado nesta etapa.

f) Suposições: Trata-se das suposições elencadas para o estudo de ACV. As suposições são consequências das limitações encontradas durante o estudo, como por exemplo, ausência de base de dados, estabelecimento de cenários, definições técnicas feitas para todos os níveis, desde o sistema de produto como um todo até as especificidades por unidade de processo. É necessário que cada suposição apresentada esteja embasada.

g) Limitações: Subjetividade da natureza das escolhas e suposições; limitações dos modelos usados para análise de inventário ou para avaliar impactos ambientais; resultados globais ou regionais podem não ser apropriados para aplicações locais; exatidão dos estudos pode ser limitada pela acessibilidade ou disponibilidade/qualidade de dados; a falta de dimensões espaciais e temporais dos dados do inventário usados para avaliar o impacto introduz incerteza nos resultados dos impactos.

h) Requisitos da qualidade dos dados iniciais: Os requisitos da qualidade dos dados especificam em termos gerais as características dos dados necessários ao estudo. Convém que os requisitos da qualidade dos dados abordem: período de tempo coberto; área geográfica coberta; tecnologias cobertas; precisão, completeza e representatividade dos dados; consistência e reprodutibilidade dos métodos usados ao longo da ACV; fontes dos dados e sua representatividade; incerteza da informação.

i) Tipo de análise crítica, se aplicável: Análise crítica é uma técnica para verificar se um estudo da ACV satisfaz os requisitos desta Norma quanto à metodologia, aos dados e ao relatório.

j) Tipo e formato do relatório requerido para o estudo. Os resultados da ACV devem ser relatados ao público-alvo de forma fiel, completa e exata. Devem ser definidos o tipo e o formato do relatório na fase de escopo do estudo. Os resultados, dados, métodos, suposições e limitações devem ser transparentes e apresentados com detalhe suficiente para permitir ao leitor compreender as complexidades inerentes ao estudo da ACV.

### **4.1.2 Análise de inventário**

A análise de inventário é a fase de coleta e quantificação de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólidos, etc.), envolvidas durante o ciclo de vida de um produto, processo ou atividade (Huijbregts et al. 2000; Huijbregts et al. 2001; ISO - International Organization for Standardization 2006; Augusto & Alvarenga 2010; ISO 2006).

O processo de condução de uma análise do inventário é iterativo. Na medida em que os dados são coletados e é conhecido mais sobre o sistema, podem ser identificados novos requisitos ou limitações para os dados que requeiram uma mudança nos procedimentos de coleta de dados, de forma que os objetivos do estudo ainda sejam alcançados. Às vezes, podem ser identificadas questões que requeiram revisões de objetivo ou do escopo do estudo (ABNT 2014).

### **4.1.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida**

A terceira fase, a avaliação de impacto, tenta traduzir os dados de inventário em efeitos sobre a saúde humana, saúde ecológica e esgotamento de recursos. Isso é feito classificando os itens de estoque em grupos "estressores" ou "conjuntos de condições que podem levar a um impacto". A lista de inventário para liberações de dióxido de enxofre, por exemplo, será classificada durante a fase de impacto como um "estressor" contribuindo para a chuva ácida. Os estressores são então priorizados de acordo com a severidade percebida de seus efeitos (Duda & Shaw 1997).

Os dados de inventário são correlacionados com categorias e indicadores de impacto ambiental mediante a utilização de métodos técnico-científicos, através de três etapas mandatórias: seleção, classificação e caracterização. Além destes três elementos obrigatórios, também há os elementos opcionais de uma ICV, que são: a normalização, o agrupamento e a ponderação (Silva 2012). A Tabela 4-1 Elementos da AICV resume o significado de cada elemento.

A fase de avaliação do impacto da ACV (AICV) é dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. Em geral, este processo envolve a associação de dados de inventário com

impactos ambientais específicos e a tentativa de compreender estes impactos. O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e as metodologias usadas dependem do objetivo e do escopo do estudo (ABNT 2014).

**Tabela 4-1 Elementos da AICV**

Elementos mandatórios	Seleção	A partida se dá com a seleção das categorias de impactos mais relevantes para o estudo de caso do trabalho. Para isto, devem ter vinculação com o sistema de produto e baseando-se pelo objetivo e o escopo do trabalho.
	Classificação	Nesta são atribuídos às categorias de impacto o consumo de recursos e as emissões de substâncias relacionadas no inventário, e são classificadas de acordo com a sua capacidade de contribuir com os diferentes problemas ambientais. Quando se utiliza software de ACV esta etapa é executada automaticamente a partir da escolha do método de AICV
	Caracterização	O cálculo dos resultados dos indicadores (caracterização) envolve a conversão dos resultados do ICV para unidades comuns e a agregação dos resultados convertidos dentro da mesma categoria de impacto. Essa conversão utiliza fatores de caracterização. O resultado do cálculo é um resultado numérico do indicador.
Elementos opcionais	Normalização	Cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria com relação a informações de referência
	Agrupamento	Agregação e possível hierarquização das categorias de impacto
	Ponderação	Definida como fatores que indicam a relevância que as diferentes categorias de impactos ou áreas de proteção podem ter, indicando impactos com um valor global.
	Análise da qualidade dos dados	Melhor entendimento da confiabilidade da coleção de resultados dos indicadores, o perfil da AICV.

Fonte: (ABNT 2014)

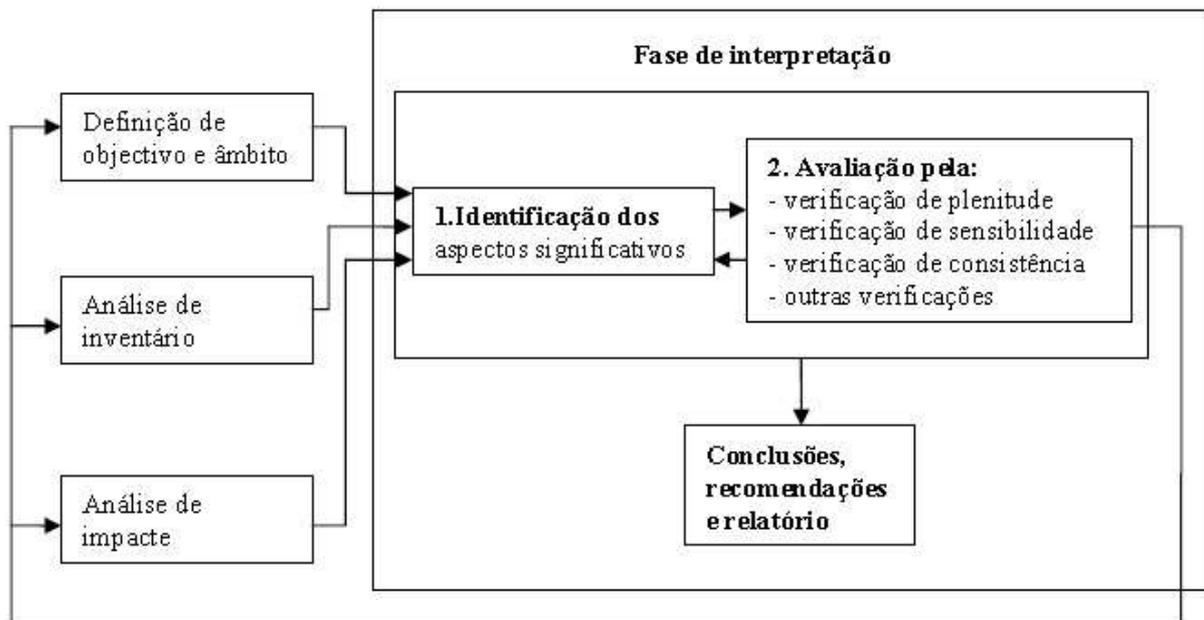
#### 4.1.4 Interpretação

A última fase da ACV é a Interpretação. Nesta etapa é feita a identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário e avaliação de impactos de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo. Neste ponto são tomadas as conclusões, recomendações e limitação do estudo (Silva 2012).

A fase de interpretação do ciclo de vida de um estudo de ACV inclui diversos elementos, tais como (ABNT 2014):

- a) Identificação das questões significativas com base nos resultados das fases de ICV, AICV da ACV;
- b) Uma avaliação do estudo, considerando verificações de completeza, sensibilidade e consistência;
- c) Conclusões, limitações e recomendações.

Segundo (Ferreira 2004), as etapas da interpretação podem ser esquematizadas conforme a Figura 4.2 Fases das interpretação.



**Figura 4.2 Fases das interpretação**

## 4.2 Software

Softwares de ACV servem para facilitar a gestão operacional em estudos do gênero. Afinal, os trabalhos de ciclo de vida, em geral, são complexos, pois requerem uma grande quantidade de dados a serem gerenciados, e demandam por bases de dados dos mais variados produtos.

Vários programas computacionais com suas próprias bases de dados têm sido desenvolvidos para apoiar a condução de estudos de Análise de Ciclo de Vida. A Tabela 4-2 Softwares de ACV mostra os principais softwares existentes cuja característica comum é o apoio para a Análise do Ciclo de Vida.

**Tabela 4-2 Softwares de ACV**

<b>Software</b>	<b>Web site</b>
SimaPro®	( <a href="http://www.pre.nl">http://www.pre.nl</a> )
KCL-ECO	( <a href="http://www.kcl.fi/eco/">http://www.kcl.fi/eco/</a> )
ACViT	( <a href="http://www.ACVit.com">http://www.ACVit.com</a> )
GaBi	( <a href="http://www.gabi-software.com/software.html">http://www.gabi-software.com/software.html</a> )
Umberto	( <a href="https://www.ifu.com/en/umberto/">https://www.ifu.com/en/umberto/</a> )

Segundo (Ferreira 2004), SimaPro® é o nome dado a uma família de diferentes versões de "software", tais como, versão "designer", analista, multi-utilizador, extra utilizador, educacional singular e multi.-utilizador e uma versão demo. Desde que foi introduzido em 1990, este "software" tem sido o mais utilizado para análise ambiental dos produtos com vista a uma tomada de decisão no desenvolvimento de produtos e política de produto. O SimaPro® (PRé Sustainability 2015), desenvolvido pela empresa PRé Consultants, é uma ferramenta para coletar dados e analisar o desempenho ambiental de produtos e serviços. Neste software é possível modelar e analisar ciclos de vida complexos, seguindo as recomendações da série ISO 14040 (ISO - International Organization for Standardization 2006).

Este software apresenta duas bases de dados principais: uma de inventário e uma de avaliação. Apresentando 2048 processos de fabricação distribuídos em diferentes bancos de dados, 500 produtos, 3800 sistemas de produtos, 508 inventários de materiais e 750 materiais (Ribeiro et al. 2013). Segundo os autores, esta ferramenta pode ser editada e expandida sem limitação. Devido a essas características e sua aplicação demo, este software é o mais utilizado em pesquisas acadêmicas no país até o presente momento. (Zocche 2014). Neste âmbito, este trabalho irá utilizar a versão SimaPro® 7.2 Multi user disponibilizado pelo Programa de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

### 4.3 Métodos de AICV

Os métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) são utilizados na terceira fase da Análise do Ciclo de Vida (ACV), onde através do procedimento escolhido é avaliada a significância ambiental dos resultados obtidos na fase de inventário.

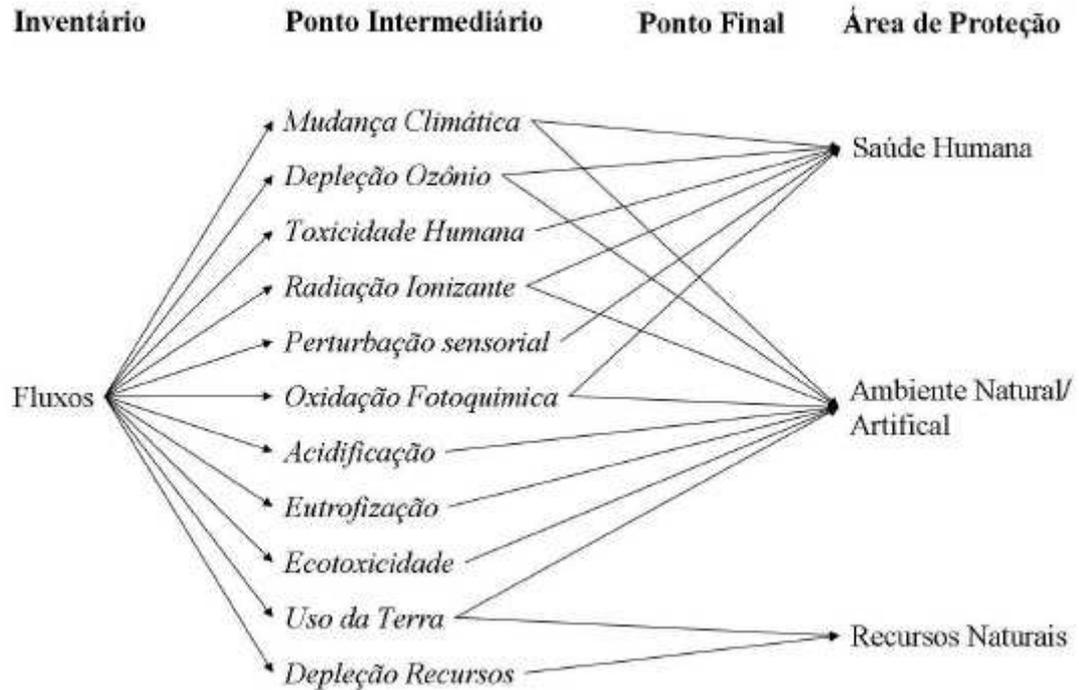
De acordo com a abordagem, cada método pode ser enquadrado em um dos seguintes níveis de avaliação: *midpoint* (ponto médio), *endpoint* (ponto final) e combinado (ponto médio e ponto final). O tipo de abordagem adotado em um estudo de ACV irá atuar como facilitador na escolha do método de AICV.

Ao nível *midpoint* todas as substâncias referentes ao ICV são adequadamente agregadas em categorias de impacto de acordo com uma característica comum na cadeia de causa efeito do mecanismo ambiental. Estas características não representam as consequências finais sobre o percurso ambiental das emissões listadas no inventário do ciclo de vida (ICV), mas são indicadores de impacto em potencial (Piekarski et al. 2012).

A modelagem *endpoint* considera todo o mecanismo ambiental até o seu ponto final, ou seja, refere-se a um dano específico relacionado com a área mais ampla de proteção, que pode ser saúde humana, ambiente natural ou recursos naturais. Sendo a área de proteção um conjunto de pontos finais da categoria de valor reconhecido pela sociedade, a saber, saúde humana, recursos naturais, ambiente natural e, às vezes, ambiente antrópico.

O método combinado utiliza as abordagens dos outros dois métodos citados.

Devido ao fato dos métodos *endpoint* serem direcionados ao dano, estes são geralmente considerados mais compreensíveis para os tomadores de decisão, apresentando mais relevância na tomada de decisão, no entanto, possuem alta subjetividade. Já, os métodos *midpoint* apresentam menor subjetividade, mas também possuem menor relevância no suporte à tomada de decisão (Piekarski et al. 2012). A Figura 4.3 mostra a correlação entre as abordagens *midpoint* e *endpoint* considerando as categorias de impactos e os danos associados.



**Figura 4.3 Midpoint x Endpoint**

Fonte: (Rodrigues 2015)

Uma das dificuldades encontradas na avaliação de impacto em estudos de ACV no Brasil é a falta de métodos que condizem com as especificidades brasileiras. Na tentativa de minimizar as incertezas geradas neste tipo de avaliação alguns estudos desenvolvidos, como Cavalett (Mendes et al. 2013)), sugerem a adoção de mais de um método de AICV. Segundo (Piekarski et al. 2012) ressalta que a utilização de mais de um método na avaliação de impactos é importante, pois permite verificar se os resultados obtidos variam conforme o método adotado, e quais as diferentes conclusões percebidas.

### 4.3.1 Escolha dos métodos

A escolha do método de AICV que será utilizado é um ponto crucial e traz diferenças significativas para que os resultados obtidos apresentem maior confiabilidade. Devido às especificidades brasileiras se faz necessário conhecer a fundo cada método antes de utilizá-lo, para atender as necessidades do estudo e também para que se possa justificar discrepâncias nos resultados e estimar impactos negligenciados. (Zocche 2014).

Os métodos a serem escolhidos devem retratar as categorias de impactos que melhor reproduzem a particularidade do ciclo de vida dos materiais estudados.

Considerando o escopo desta pesquisa, foram levantados trabalhos já publicados sobre ACV relacionando os combustíveis e métodos adotados. A Tabela 4-3 relaciona os métodos disponíveis no software SimaPro® 7.2, a abordagem adotada e os relacionam com os combustíveis adotados neste trabalho. Os dados foram extraídos de pesquisas de ACV em que os combustíveis escolhidos para este trabalho exerciam o componente energético dos referidos estudos.

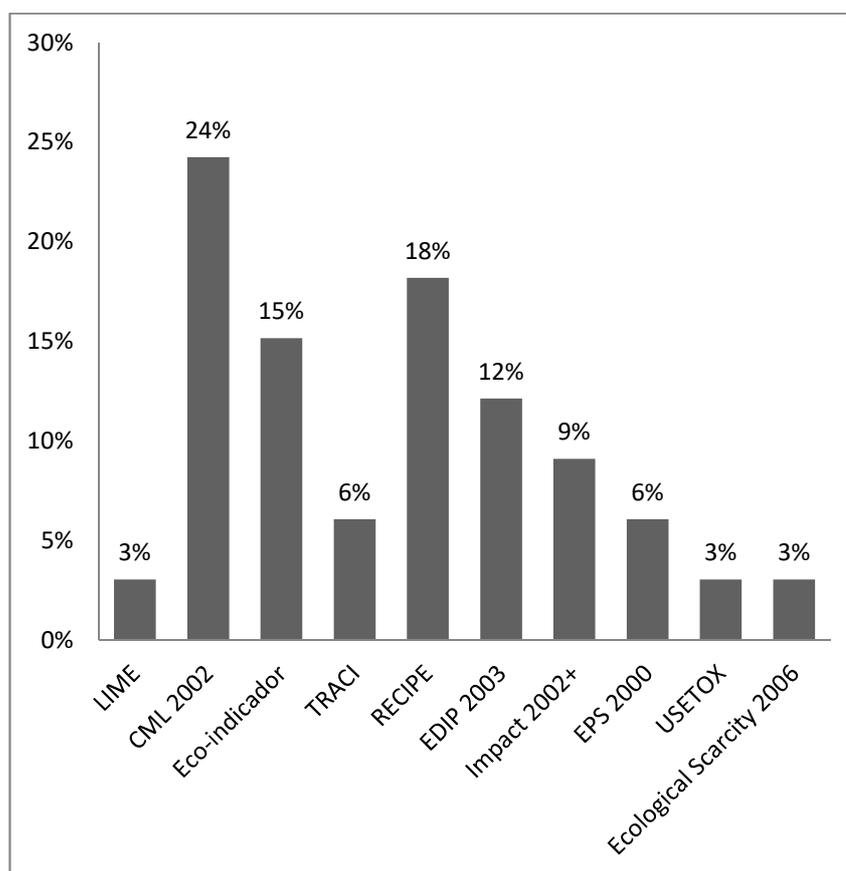
Segundo (Mendes et al. 2013) é possível observar que as versões mais atuais dos métodos de AICV apresentam níveis de avaliação *midpoint* ou combinado. Isso se justifica pelo fato de as avaliações no nível *endpoint* apresentarem modelagem com complexidade e incertezas claramente maiores do que a modelagem *midpoint*.

**Tabela 4-3 Principais métodos e suas características**

<b>Combustível</b>	<b>Referências</b>	<b>Método</b>	<b>Nível de avaliação de impacto</b>
<b>Biodiesel</b>	(Rewlay-ngoan et al. 2013)	LIME	Combinado
	(Harding et al. 2008)	CML 2002/ EPS 2000	<i>Midpoint</i>
	(Wei et al. 2010)	Eco-indicador 99	<i>Endpoint</i>
	(Xue et al. 2012)	TRACI	<i>Midpoint</i>
	(Castanheira et al. 2015)	ReCiPe/ USETOX	Combinado/ Midpoint
<b>Óleo diesel</b>	(Maraver et al. 2009)	Ecological Scarcity 2006/ EDIP 2003/ EPS 2000/ IMPACT 2002+	Combinado/ Midpoint/ Endpoint
	(Scachetti et al. 2013)	ReCiPe	Combinado
	(Kulay et al. 2014)	ReCiPe	Combinado
	(Colossi 2012)	ReCiPe	Combinado
	(Renó et al. 2011)	CML 2002	<i>Midpoint</i>
<b>Bagaço de Cana de açúcar</b>	(Lopes Silva et al. 2014)	EDIP 2003	<i>Midpoint</i>
	(Ramjeawon 2015)	CML 2002/ Eco-indicador 99	Midpoint/ Endpoint
	(Renó et al. 2009)	CML 2002	<i>Midpoint</i>
	(Nishihara Hun et al. 2017)	CML 2002	<i>Midpoint</i>
	(Lestari et al. 2013)	Eco-indicador 99	<i>Endpoint</i>
<b>Sabugo de milho</b>	(Thrane et al. 2014)	Impact 2002 +	Combinado
	(Siegl et al. 2011)	CML 2002	<i>Midpoint</i>
	(Silalertruksa & Gheewala 2009)	CML 2002	<i>Midpoint</i>
	(Ingrao et al. 2016)	Impact 2002 +	Combinado

Combustível	Referências	Método	Nível de avaliação de impacto
Casca de arroz	(Shafie et al. 2012)	Eco-indicador 99	Endpoint
	(Ariyaratna et al. 2016)	ReCiPe	Combinado
	(Prateep Na Talang et al. 2016)	CML 2002	Midpoint
Resíduo de Pneu	(Feraldi et al. 2013)	TRACI	Midpoint
	(Cobert 2009)	EDIP 2003/ Eco-indicador 99	Midpoint/ Endpoint
	(Khoo 2009)	EDIP 2003	Midpoint
	(Bartolozzi et al. 2015)	ReCiPe	Combinado

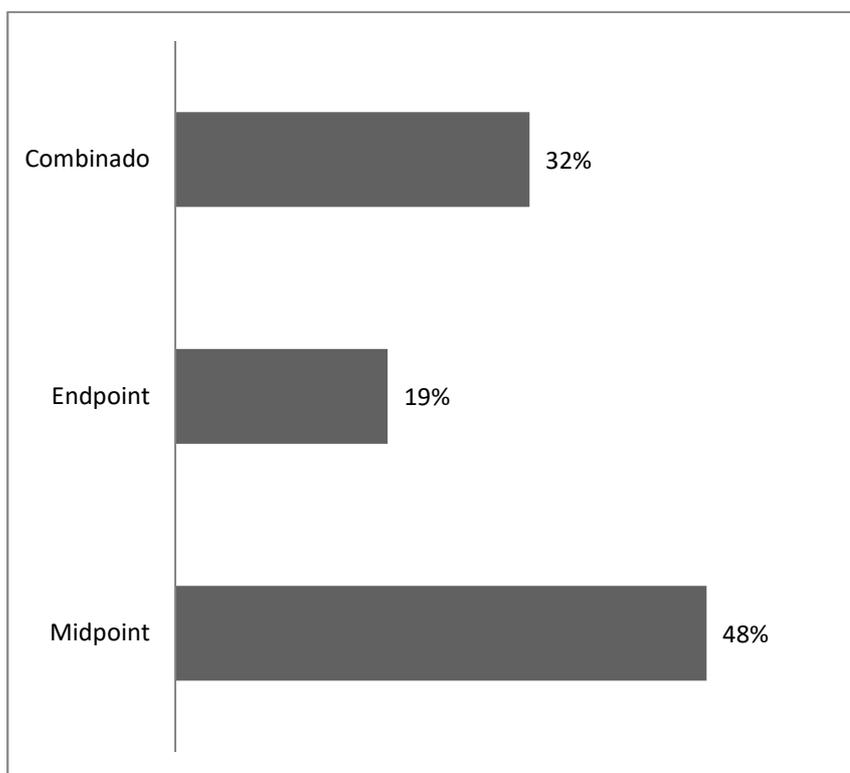
A Figura 4.4 mostra sumariamente o percentual de cada método utilizado, considerando a abrangência dos trabalhos contidos na referida tabela.



**Figura 4.4 Métodos mais utilizados**

A Figura 4.5 mostra a abordagem com maior índice de uso dentre os trabalhos pesquisados sobre os combustíveis. Dentre os dados obtidos, a abordagem com o maior número de vezes em estudo de ACV foram as abordagens *midpoint* e combinado. Embora em diferentes abordagens diversos métodos possam apresentar categorias de impactos

semelhantes. Sendo assim, a AICV a ser executada nesta pesquisa será realizada nestas duas abordagens.



**Figura 4.5 Abordagem mais utilizada**

### 4.3.2 Categorias de impactos relacionadas ao estudo

Os principais temas relacionados à produção dos insumos das composições do ANFO e à dos combustíveis alternativos analisados foram levantados. Em resumo, a Tabela 4-4 mostra a correlação entre a fabricação e as categorias de impactos associadas para os produtos objeto de estudo.

**Tabela 4-4 Associação das categorias de impactos**

Material	Categorias de impacto associadas
Nitrato de amônio	Os componentes principais para produção de nitrato de amônio são ácido nítrico e amônia. Da produção deles é que pode-se destacar as principais categorias de impactos associadas à sua produção. Segundo (Ahlgren et al. 2008), para a produção de amônia e ácido nítrico tem-se as seguintes categorias de impactos envolvidas: uso do solo, aquecimento global, eutrofização e acidificação.

<b>Material</b>	<b>Categorias de impacto associadas</b>
Óleo diesel	O uso destes combustíveis como componente de uma mistura explosiva, gera, após a detonação, a liberação de CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , material particulado e gases de efeito estufa. Todas estas emissões contribuem, além do efeito estufa e das mudanças climáticas, para a formação de ozônio fotoquímico. O biodiesel, por possuir em sua composição álcool derivado de material orgânico, além de contribuir com as emissões citadas anteriormente ainda se enquadra como gerador dos contaminantes citados abaixo.
Biodiesel	
Bagaço da cana de açúcar	Em termos de plantação, os principais agentes envolvidos são o uso do solo, uso de pesticidas, fertilizantes e uso da água. Segundo (Silva 2012), o uso de pesticidas e fertilizantes contribuem significativamente para eutrofização, aquecimento global, ecotoxicidade e toxicidade humana.
Sabugo de milho	
Casca de arroz	

Para melhor visualização, a seguir são descritas como as categorias de impactos podem ser definidas bem como sua unidade de medida:

- a. Uso da terra: O impacto da mudança da cobertura do solo ao ecossistema é bastante significativo, não apenas localmente. O cálculo dos índices de caracterização destes impactos é baseado em observações empíricas de número de espécies em diferentes ecossistemas terrestres, extrapolações de dados de laboratório e modelamento computacional. Esta categoria é expressa em área arável afetada por ano (PASSUELLO 2007).
- b. Mudança climática: provocadas pelo acúmulo de determinados gases na atmosfera que retêm parte da radiação infravermelha emitida pela Terra, provocando o aumento das temperaturas médias globais. (Zocche 2014);
- c. Toxicidade humana, Ecotoxicidade aquática, Ecotoxicidade terrestre: decorrente do descarte de rejeitos tóxicos no meio ambiente. Em geral é considerada em separado a toxicidade humana e assim chamada ecotoxicidade, que pode ser aquática e terrestre. (Zocche 2014).
- d. Formação de foto-oxidantes: É a formação de compostos químicos reativos, como o ozônio, pela ação da luz solar sobre certos poluentes atmosféricos primários. Esses

compostos podem prejudicar a saúde humana, os ecossistemas, materiais e culturas. (Renó et al. 2011; Renó et al. 2009).

- e. Acidificação terrestre: A deposição ácida, resultante da emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre para a atmosfera, para o solo ou para a água pode conduzir a mudanças na acidez da água e do solo, com efeito, tanto sobre a fauna quanto sobre a flora. A chuva ácida pode, ainda, colaborar na deterioração de monumentos e edificações. O indicador da categoria pode ser expresso em máxima liberação de prótons ( $H^+$ ) ou fração potencialmente desaparecida (Potentially Disappeared Fraction - PDF). O fator de caracterização é o potencial de acidificação de cada emissão ( $kg\ SO_2\ eq/kg\ emissão$ ) ou é relacionado à fração potencialmente desaparecida por metro quadrado por ano ( $PDF.\ m^2.\ ano/kg\ emissão$ ) (PASSUELLO 2007).
- f. Acidificação aquática: A acidificação é o impacto causado em certa área de ecossistema desprotegido, por substâncias acidificantes. As deposições ácidas são o resultado dos fenômenos atmosféricos que carregam certas substâncias emitidas (partículas e gases como  $SO_2$ ,  $NO_x$  e  $NH_3$ ) que se transformam na atmosfera em outras substâncias acidificantes e são depositados em outro lugar. As principais emissões dos gases e partículas causadores da acidificação aquática são a queima de combustíveis fósseis, aplicação de fertilizantes minerais, emissões da pecuária intensiva, manipulação de esterco e fertirrigação de esterco. (Sallaberry 2009)
- g. Eutrofização terrestre e Eutrofização aquática: Em ecossistemas aquáticos, o crescimento elevado de algas promove o desenvolvimento dos consumidores primários e eventualmente de outros elementos da teia alimentar. Isto pode levar a diminuição do oxigênio dissolvido na água, provocando a morte de muitos organismos, deteriorando a qualidade da água e a alteração do ecossistema. Além dos macronutrientes, as emissões de matéria orgânica têm um efeito similar, portanto, também devem ser consideradas dentro desta categoria (Hischier et al. 2010). A eutrofização é um fenômeno que pode influenciar ambientes aquáticos e terrestres. Nitrogênio e fósforo são os nutrientes que mais implicam na eutrofização. Potências de eutrofização são expressos em  $PO_4^{3-}$  equivalentes (Leme 2010).
- h. Aquecimento global: Os potenciais de aquecimento global, GWP (Global Warming Potential) desenvolvidos pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), são recorrentemente utilizados. O GWP de uma substância é a relação entre a

contribuição para a absorção do calor de radiação resultante da descarga instantânea de 1 kg de um gás com efeito de estufa e igual emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) integrada ao longo do tempo (Ferreira 2004).

### 4.3.3 Métodos selecionados

Os métodos a serem escolhidos deverão representar as abordagens previamente selecionadas: *midpoint* e combinada. Dentre as abordagens *midpoint* os métodos CML 2002, TRACI e EDIP 2003 apareceram um maior número de vezes nos trabalhos, conforme Tabela 4-3 Principais métodos e suas características. E na abordagem combinada, foram os métodos ReCiPe e Impact 2002+.

Aliado a isto, deve-se também considerar as categorias de impactos relacionadas à produção de ANFO e aos combustíveis alternativos selecionados para este estudo. Diante deste cenário, a AICV será executada utilizando os métodos CML 2002, EDIP 2003, ReCiPe e Impact 2002+.

A Tabela 4-5 Correlação método x categorias de impactos mostra a relação dos métodos com a suas respectivas categorias de impactos e indicam área de abrangência de método de AICV. O método com abrangência global reflete uma aplicação internacional, considerando valores obtidos de diversos continentes e ponderando as diferenças existentes.

**Tabela 4-5 Correlação método x categorias de impactos**

Categorias de impactos	CML 2002	EDIP 2003	ReCiPe	Impact 2002+	Escolhida
Depleção de recursos abióticos	x				Não
Depleção de recursos bióticos	x				Não
Depleção do ozônio estratosférico	x	X	x	x	Não
Uso da terra	x		x	x	Sim
Mudança climática	x		x		Sim
Toxicidade humana	x	X	x	x	Sim
Ecotoxicidade aquática	x	X	x	x	Sim
Ecotoxicidade terrestre	x	X	x	x	Sim
Formação de foto-oxidantes	x		x		Sim
Acidificação terrestre	x	X	x	x	Sim

Categorias de impactos	CML 2002	EDIP 2003	ReCiPe	Impact 2002+	Escolhida
Acidificação aquática	x	X		x	Sim
Eutrofização terrestre	x	X		x	Sim
Eutrofização aquática	x	X	x	x	Sim
Aquecimento global		X		x	Sim
Formação de ozônio fotoquímico		X		x	Sim
Formação de matéria particulada			x		Não
Esgotamento de combustíveis fósseis			x		Não
Esgotamento de recursos minerais			x		Não
Esgotamento de recursos de água doce			x		Não
Uso de energia não renovável				x	Não
Extração mineral				x	Não
Abrangência	Global/ Europa	Global/ Europa	Global/ Europa	Europa	

A última coluna da Tabela 4-5 indica as categorias de impactos que estão diretamente relacionadas à produção de ANFO e dos combustíveis alternativos objetos deste trabalho e são as categorias escolhidas para análise dos resultados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Definição de objetivo e escopo

#### 5.1.1 Objetivo

O objetivo da análise do ciclo de vida é avaliar, conforme a ISO 14040, o ciclo de vida de cinco composições de ANFO. Através do inventário dos aspectos ambientais pode-se quantificar os impactos ambientais dentro de categorias de impacto pré-definidas utilizando a ferramenta de AICV do software SimaPro®, comparar as formulações e elencar as composições com melhor desempenho ambiental.

De posse do resultado desta pesquisa pretende-se:

- a. Demonstrar aos fabricantes e consumidores, quantitativamente, os resultados ambientais decorrentes do uso de combustíveis para produção de explosivos;
- b. Subsidiar a tomada de decisão para escolha de combustíveis menos agressivos ao meio ambiente no desenvolvimento de novos produtos (*ecodesign*);
- c. Incentivar as Instituições de Pesquisa a abordar análises ambientais relacionados a explosivos para uso no meio civil e militar;
- d. Fomentar o uso da metodologia da análise do ciclo de vida como indicador de qualidade e ferramenta de gestão nas indústrias químicas.

Esse trabalho aborda ambientalmente as características das composições de ANFO desenvolvidas no trabalho do (RESENDE 2011), visando explicitar os impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida do explosivo utilizando combustíveis de diferentes origens.

O público alvo desta pesquisa são as empresas fabricantes de explosivos, os consumidores de explosivos nas diversas áreas de mineração e construção civil, os fabricantes dos materiais utilizados como combustíveis para este trabalho: óleo diesel, biodiesel, bagaço da cana de açúcar, casca de arroz e sabugo de milho, já que 60% deles são considerados rejeitos da sua produção principal.

### 5.1.2 Função de produto

O crescimento da mineração a céu aberto, motivado por uma crescente demanda de minerais (especialmente agregados, combustível e pedras ornamentais), levou a um aumento considerável no uso de explosivos. Os explosivos são uma fonte eficiente de energia para quebrar e cortar rocha. Um explosivo detonado em confinamento libera imediatamente uma grande quantidade de energia sob pressão e temperatura (Avarez-Vigil et al. 2012).

Na exploração em pedreiras, a utilização de explosivos tem como objetivo principal fatiar parte da formação rochosa original, retirando pedaços de pedra. Após retirarem-se algumas fatias, os pedaços de rocha são reduzidos aos tamanhos requeridos por outros tipos de processos, que podem ser novamente através de explosivos ou por processos mecânicos de quebra. O objetivo principal do uso de explosivo é, assim, extrair a maior quantidade possível de pedras do maciço rochoso a um custo mínimo.

Além disso, há também o uso de explosivo na construção civil. O número de estruturas antigas que estão na fase final da sua vida média aumentou em grande quantidade nos últimos anos. Muitos delas são destruídas para posterior reconstrução, e para a demolição de tais estruturas, é indispensável escolher e projetar controle e métodos eficientes. Um modo tecnicamente eficaz para destruição de ruínas em alvenaria, concreto armado e estruturas em aço é com uso de explosivos. O processo de implosão utiliza explosivos de valor energético capazes de permitir o colapso da estrutura em curtíssimo tempo, com tamanho de escombros ideal para o transporte de retirada. Essa eficácia de trabalho produz menores perturbações nos entornos da vizinhança (Uenishi et al. 2010).

Um novo processo de solda de metais em estado sólido - que usa a energia explosiva para criar uma ligação metalúrgica entre dois componentes de metal - foi desenvolvido na década de 60 por uma empresa fabricante de explosivos, tal processo chama-se cladeamento por explosão. O cladeamento por explosão de uma camada relativamente fina de uma liga resistente à corrosão utilizada como revestimento em uma chapa de metal de custo mais baixo, chamada base, provou ser uma alternativa extremamente vantajosa e de alta confiabilidade. Para muitos tipos de combinações de metais, espessuras, e exigências técnicas, o cladeamento por explosão proporciona um custo reduzido. O processo caracteriza-se por um impacto oblíquo de alta velocidade entre dois metais, produzindo energia suficiente para fazer com que as superfícies metálicas em colisão fluam dinamicamente para intimamente promover a ligação de estado sólido. As

superfícies metálicas são comprimidas juntas sob alta pressão da explosão, e uma ligação atomística entre os metais diferentes será realizada. O processo é feito à temperatura ambiente e revela-se um adequado método para soldar metais que não podem ser soldados por processos convencionais, como titânio-aço, alumínio-aço e alumínio-cobre. Também pode ser usado para soldar metais compatíveis, como aços inoxidáveis e ligas de níquel em aço. Os metais de revestimento são tipicamente aço inoxidável, aço duplex, titânio, alumínio, cobre, ligas de cobre, níquel, ligas de níquel, tântalo e zircônio.

Todos estes são alguns dos possíveis usos do explosivo ANFO em diversas áreas, mostrando-o assim a sua vasta aplicação de uso para beneficiamento de bens para a sociedade em geral.

### **5.1.3 Unidade funcional**

Unidade funcional é o desempenho quantificado de um sistema de produto para uso como uma unidade de referência num estudo de avaliação do ciclo de vida (ABNT 2014). No presente trabalho o estudo de diferentes composições de explosivos remete, como unidade de referencia, a uma unidade de energia, uma vez que esta é uma qualidade inerente a qualquer material energético.

Conforme visto no item 2.2, uma possível unidade de comparação entre explosivos se faz através do equivalente de TNT ( $TNT_e$ ), embora este valor não seja de fácil dedução. Dado que as misturas aqui apresentadas não trata-se de explosivos convencionais, os valores de  $TNT_e$  das composições não estão disponíveis em literatura. Entretanto, na falta do valor teórico de  $TNT_e$  o calor específico da mistura pode ser utilizado como fonte de comparação, conforme (Maienschein 2002).

As misturas explosivas aqui estudadas são consideradas misturas não ideais, pois o componente oxidante e o componente combustível se apresentam em materiais diferentes. Nelas há apenas a presença destas duas peças: oxidante e combustível, na qual o oxidante não se modifica, permanecendo sempre presente o nitrato de amônio em proporções variadas.

O calor específico ou poder calorífico é a quantidade de calor necessária para que cada grama de uma substância sofra uma variação de temperatura correspondente a 1°C.

Essa grandeza é uma característica de cada tipo de substância e indica o comportamento do material quando exposto a uma fonte de calor.

O calor específico pode ser medido através de um equipamento chamado calorímetro. O calorímetro consiste de um vaso termicamente isolado, com termômetro acoplado, e preenchido comumente com água. Para se determinar a temperatura de equilíbrio entre duas substâncias basta alimentar o calorímetro com um corpo de massa e temperatura conhecidas. Como a massa e o calor específico da água são conhecidos e a variação da temperatura pode ser medida, pode-se então determinar o calor cedido pelo corpo para a água através da Fórmula 1.

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

**Fórmula 1 - Calorimetria**

O poder calorífico pode ser expresso em termos do poder calorífico superior e poder calorífico inferior. O poder calorífico é função da composição de resíduos e principalmente da umidade, a qual interfere negativamente no Poder Calorífico Inferior (PCI). (Leme 2010). O teor de umidade, o teor de cinzas, a densidade e o poder calorífico são aspectos considerados essenciais para potencializar a produção de compactados da biomassa com finalidade energética. O poder calorífico é inversamente proporcional à umidade do produto energético, pois quanto maior o poder calorífico menor o teor de umidade. A porcentagem de água presente no produto compactado interfere no ciclo energético, pois parte da energia que seria utilizada na etapa de combustão é usada para a secagem do produto. (CAPOTE 2012).

O poder calorífico superior (PCS) é determinado em laboratório e pode ser compreendido como a mensuração de um nível mais elevado de calor quando comparado ao poder calorífico inferior (PCI). O poder calorífico superior também pode ser determinado quando ocorre a combustão e o volume permanece constante. Neste ponto a água gerada condensa de maneira que não ocorra perda de calor latente do vapor d'água. Para avaliar o poder calorífico inferior, é apenas considerado o calor do combustível realmente utilizado, pois o calor liberado durante a condensação da umidade presente na amostra é desconsiderado(CAPOTE 2012).

Dessa forma, para todo cálculo utilizando poder calorífico, este trabalho se reporta poder calorífico inferior.

Apesar da mistura explosiva ser formada pela combinação física de dois materiais distintos, o calor específico da mistura se difere da soma algébrica dos calores específicos individuais dos componentes químicos versus sua proporção na mistura. Porém, o erro associado a este cálculo será o mesmo para as cinco composições. Dado que o objetivo deste trabalho é uma avaliação relativa do ciclo de vida das diferentes combinações aqui apresentadas, a aproximação de cálculo não interferirá no resultado a ser alcançado.

Assim sendo, a unidade funcional do presente estudo será a liberação de 1.000 Kcal de energia a partir da detonação de cada mistura explosiva. Conforme visto no Capítulo 3, as proporções das composições de ANFO foram previamente definidas seguindo o estudo do (RESENDE 2011). A Tabela 5-1 Unidade funcional mostra a quantidade de cada composição explosiva necessária a se gerar a energia definida como unidade funcional. Para isto, a Fórmula 2 foi utilizada para cálculo da massa de cada composição.

$$C_{mist} = (\%comb \times C_{comb}) + (\%oxi \times C_{oxi})$$

*Fórmula 2 - Cálculo do Cp da mistura*

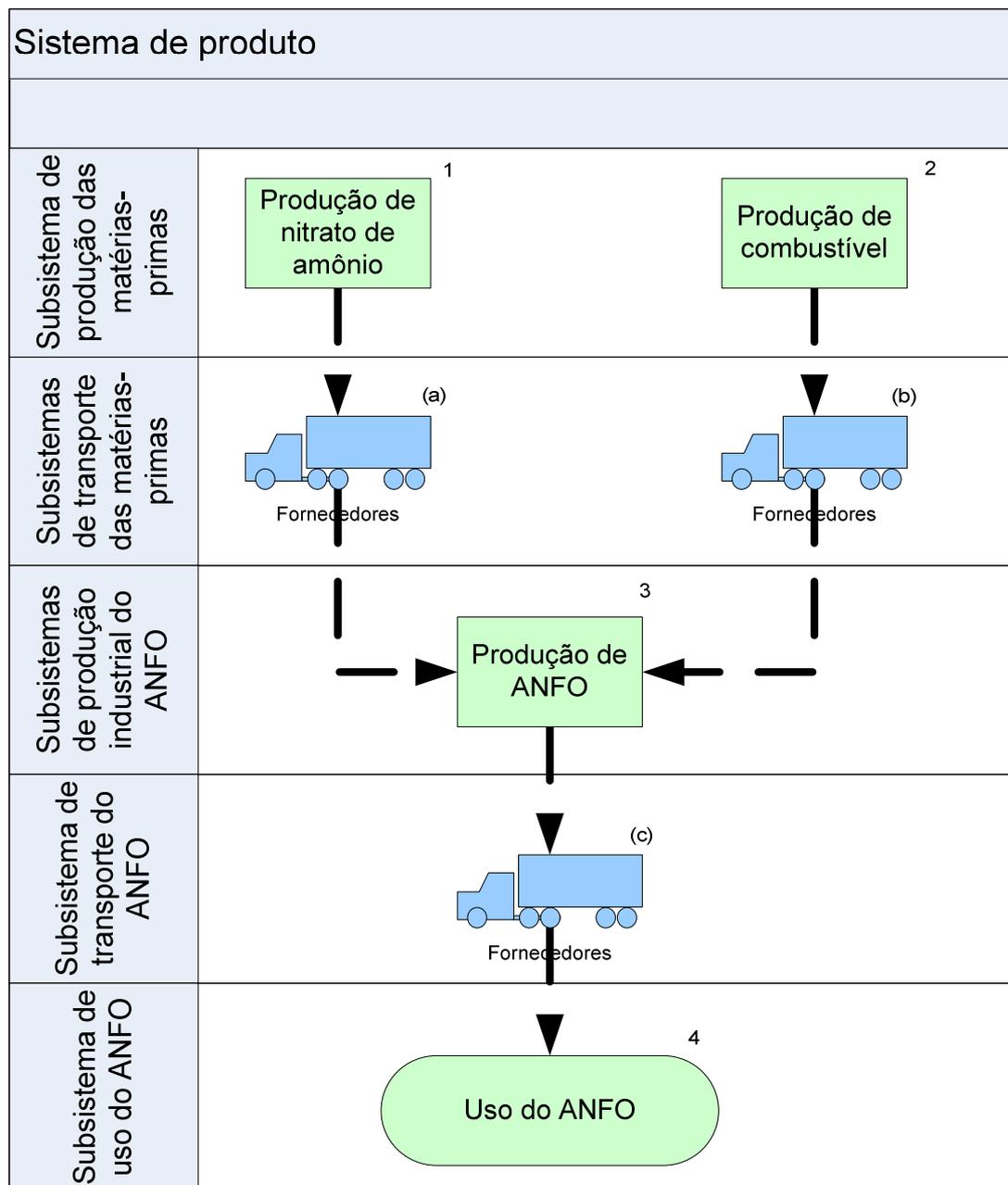
**Tabela 5-1 Unidade funcional**

Material	Energia específica do material (Kcal/Kg) – PCI	% de Combustível na mistura	Energia específica da mistura (Kcal/Kg)	Massa de ANFO necessária para geração de 1000 kcal (Kg)	Fonte (Dados energia específica)	
Oxidante	Nitrato de amônio	345			(Meyer & Köhler 2007)	
Combustíveis	Óleo diesel	9961	5,5%	873,88	1,14	(Barbosa et al. 2008)
	Sabugo de milho	4009,47	5,9%	561,20373	1,78	(SILVA et al. 2002)
	Casca de arroz	3300	22,8%	1018,74	0,98	(Silva et al. 2012)
	Bagaço de cana	3200	14,9%	561,795	1,78	(SILVA et al. 2002)
	Biodiesel	7652	8,9%	995,323	1,00	(Barbosa et al. 2008)

#### 5.1.4 Sistema de produto

A Figura 5.1 ilustra esquematicamente o sistema de produto para o ciclo de vida *cradle to grave* do ANFO, considerando, de forma geral, os subsistemas de produção de nitrato de amônio (oxidante) e os combustíveis analisados (óleo diesel, casca de arroz,

bagaço da cana de açúcar, sabugo de milho e óleo diesel). O detalhamento dos subsistemas de produção das matérias primas do ANFO está representado no item 4.3.2.



**Figura 5.1 Sistema de produto**

Na figura constam quatro subsistemas para o ciclo de vida do ANFO. Os subsistemas 1 e 2 são referentes à produção da matéria-prima, o subsistema 3 referente à produção industrial do ANFO, e o subsistema 4 relaciona-se à utilização do explosivo. Além destes há a referencia aos transportes que ligam os subsistemas ao sistema de produto estudado.

### 5.1.5 Fronteiras do sistema de produto

- a) Fronteiras entre o sistema tecnológico e a natureza e fronteiras entre o ciclo de vida do produto estudado e ciclos de vida relacionados de outros produtos

O sistema de produto apresentado na Figura 5.1 mostra uma abrangência *cradle to grave*. Desse modo, as relações entre o sistema de produto com o meio ambiente se fazem presentes desde a produção da matéria-prima passando beneficiamento industrial até seu uso final. Dado que o estudo representa valores relativos para a produção de ANFO, ou seja, interessa como resultado a diferença em termos de contribuição ambiental para o uso de cada mistura explosiva, foi estipulado como critério de corte para os dados entrarem ou não na avaliação a não repetibilidade deles ao longo da ACV. Assim sendo, os processos de beneficiamento industrial, embalagem e transporte de ANFO até seu uso final não foram contemplados no estudo, pois estes dados não afetariam o resultado relativo quando se comparam as misturas estudadas.

Mediante os critérios de exclusão estipulados, entre outras considerações que serão detalhadas à frente, os subsistemas incluídos na fronteira do estudo, assim como os excluídos estão apresentados na Tabela 5-2 Fronteiras dos sistema de produto.

**Tabela 5-2 Fronteiras dos sistema de produto**  
**Sistemas incluídos** **Sistemas excluídos**

<i>Produção de nitrato de amônio</i>	
Transporte dos insumos	Produção de amônia
Infraestrutura	Produção de ácido nítrico
	Tratamento dos efluentes industriais
	Tratamento dos catalisadores de produção e revestimentos
	Embalagem
<i>Produção de óleo diesel</i>	
Processos de refino de petróleo: destilação, craqueamento e reforma catalítica.	Emissões das instalações de combustão
Tratamento de águas residuais	Lavagem de carros de transporte nas estações de serviço
Emissões do processo	
Descarga direta para os rios	
Transporte até os pontos de abastecimento	

**Sistemas incluídos****Sistemas excluídos**

Emissões por evaporação  
Tratamento de efluentes da operação de armazenamento

---

*Produção de biodiesel*

---

Processos de refino de petróleo: destilação, craqueamento e reforma catalítica.	Emissões das instalações de combustão
Tratamento de águas residuais	Lavagem de carros de transporte nas estações de serviço
Emissões do processo	
Descarga direta para os rios	
Transporte até os pontos de abastecimento	
Emissões por evaporação	
Tratamento de efluentes da operação de armazenamento	

---

*Produção do bagaço de cana*

---

Processamento da cana de açúcar para açúcar, etanol, bagaço.	Tratamento de efluentes dos resíduos
Cultivo da cana de açúcar no Brasil	Embalagem
Uso de fertilizantes e pesticidas	
Óleo diesel das máquinas agrícolas	

---

*Produção da casca de arroz*

---

Cultivo do solo, semeadura, fertilizantes, pesticidas, irrigação e colheita.	Águas residuais
Transporte dos insumos	Tratamento de efluentes
Emissões diretas do campo	
Transporte dos produtos até centro de processamento	
Pré-lipemza, limpeza, acabamento, curativo químico, enchimento das embalagens.	

---

*Produção do sabugo de milho*

---

Semeadura, fertilização, pesticidas, colheitas.	Águas residuais
Emissões diretas do campo e uso da terra	Tratamento de efluentes
Transportes dos insumos	
Transporte da colheita até centro de abastecimento local de processamento	

<b>Sistemas incluídos</b>	<b>Sistemas excluídos</b>
Pré-lipemza, limpeza, acabamento, curativo químico, enchimento das embalagens.	

*Produção do ANFO*

Transporte dos insumos	Transporte dos produtos
Infraestrutura da unidade produtiva	energia elétrica
	Embalagem

b) Área geográfica:

Os dados obtidos para cálculo do transporte das matérias-primas para a fábrica modelo foram obtidos a partir de um levantamento de dados brasileiros nos portais de acesso à informação do governo federal. Assim, os valores aqui calculados representam a realidade brasileira.

Os dados utilizados para a simulação no programa SIMAPRO® foram obtidos através da base de dados do software – Ecoinvent. Trata-se de uma base de dados consagrada com informações confiáveis e utilizada por vários programas de ciclo de vida. Entretanto, os dados ali armazenados, em sua maioria, representam a realidade europeia, concentrando-se basicamente na Suíça. Algumas exceções podem ser encontradas, tais como os dados referentes ao bagaço da cana de açúcar que refere-se ao estilo de produção brasileira, uma vez que este país é a referencia mundial de produção deste item.

Na Tabela 5-3 Área geografica segue o extrato da área geográfica para coleta dos dados:

***Tabela 5-3 Área geografica***

<b>Processos/Produtos</b>	<b>Área Geográfica</b>
a) Transportes	Dados relativos à operação do veículo e à infraestrutura rodoviária refletem as condições suíças; Dados para a fabricação e manutenção de veículos representam dados genéricos europeus; Dados para a disposição dos veículos refletem a situação suíça.
b) Refino de diesel	Principais indicadores, como o uso de energia, foram estimados com base em uma pesquisa nas refinarias europeias. Outros dados e indicadores foram estimados com base em diferentes relatórios ambientais.

<b>Processos/Produtos</b>	<b>Área Geográfica</b>
c) Armazenamento de diesel	Dados das pesquisas coletados principalmente para DE e Suíça.
d) Etanol	O inventário é modelado para o Brasil.
e) Cultivo da cana de açúcar	O inventário é modelado para o Brasil
f) Processamento da cana de açúcar	Os dados são de vários produtores de açúcar e etanol no Brasil; Alguns dados são adaptados do produtor de açúcar em Suíça
g) Cultivo do arroz	refere-se a uma produção média nos EUA
h) Processamento do arroz	refere-se a uma produção média nos EUA
i) Nitrato de amônio	
j) Cultivo do milho	os valores referem-se à situação na Suíça.
k) Processamento do milho	os valores referem-se à situação na Suíça.
l) Infraestrutura da planta de explosivos	os valores referem-se à situação na Suíça
m) Uso (detonação)	os valores referem-se à situação na Suíça

c) Horizonte temporal

Na Tabela 5-4 Horizonte temporal segue o extrato do marco temporal assumido para coleta dos dados:

**Tabela 5-4 Horizonte temporal**

<b>Processos/Produtos</b>	<b>Marco Temporal</b>
a) Transportes	Dados não disponíveis
b) Refino de diesel	Período de tempo: os dados estatísticos para a produção e os volumes de produção estavam disponíveis para o ano de 2000.
c) Armazenamento de diesel	Período de tempo: a maioria das informações para o ano de 2000. Divisão das emissões de COVNM publicada em 1989.
d) Etanol	Período de tempo: hora das publicações.
e) Cultivo da cana de açúcar	Período de tempo: hora das publicações
f) Processamento da cana de açúcar	Período: Dados de 1994 a 2006, tecnologia atual para a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar
g) Cultivo do arroz	Período de tempo: os dados do rendimento foram coletados para os anos 2001-2006.
h) Processamento do arroz	Dados não disponíveis
i) Nitrato de amônio	Período de tempo: Ano em que a referência principal usada para este inventário foi publicada.
j) Cultivo do milho	Volume de produção: produção de sementes de milho Suíça 507 t, consumo Suíça 1557 t em 1999-2000

<b>Processos/Produtos</b>	<b>Marco Temporal</b>
k) Processamento do milho	Período de tempo: data das principais fontes de dados.
l) Infraestrutura da planta de explosivos	Dados não disponíveis
m) Uso (detonação)	Dados não disponíveis

### **5.1.6 Procedimentos de alocação**

O sistema de produto definido não apresenta multifuncionalidade, dessa forma este trabalho não contempla procedimentos de alocação.

### **5.1.7 Tipos de impacto, metodologia de AICV e interpretação**

No capítulo anterior foi abordada a forma de escolha dos métodos e as categorias de impactos selecionadas. Os métodos EDIP 2003, ReCiPe, Impact 2002+ e CML 2000 foram escolhidos por apresentarem um conjunto de características próprias para análise da diversificação dos combustíveis.

Os resultados da avaliação de impactos foram normalizados e também comparados através do indicador pontuação única. Através destes dois indicadores é possível qualificar, em um mesmo gráfico, mais de uma composição em diversas categorias de impactos. No indicador pontuação única, dentro os métodos escolhidos apenas o CML 2000 não possui este tipo de critério. Dessa forma, os resultados, no indicador pontuação única, foram mensurados em apenas três métodos: EDIP 2003, ReCiPe e Impact 2002+.

A interpretação adotada para os resultados oriundos da avaliação de impactos ateu-se ao resultado global comparativo dos indicadores. Desse exame pode-se chegar à mistura explosiva que possui a menor influencia negativa ao longo do seu ciclo de vida no meio ambiente.

### **5.1.8 Requisitos dos dados**

Os dados utilizados para análise de inventario são originários do banco de dados do *software* utilizado. O ecoinvent é uma ampla biblioteca de inventários com valores de cargas ambientais (entradas e saídas de materiais, substâncias e energia) associadas ao ciclo de

vida de um grande número de produtos, processos, sistemas de energia, de transporte, de disposição de resíduos, dentre outros.

A base de dados é de origem suíça e as informações foram coletadas para situações típicas da Europa. Para este trabalho, a única ressalva é para os dados utilizados no ICV do bagaço da cana de açúcar, os quais foram retirados da realidade de produção no Brasil.

Os dados para a casca de arroz e sabugo de milho tiveram que ser adaptados em relação aos dados existentes no banco de dados. Nessa base, as únicas informações disponíveis são à respeito do cultivo destes grãos e do seu beneficiamento.

Segundo (Andrade et al. 1996), para cada espiga de milho a divisão percentual mássica entre grão, sabugo e palha é de 70,60%, 14,64% e 14,75%, respectivamente. Assim sendo, o ICV realizado para a casca de arroz tomou como base 4,82kg de grãos produzidos, o que geraria 1kg de sabugo de milho.

Na produção de arroz, estima-se que 21,9% em peso do material seja relativo à sua casca (Sementes Ceratti 2017). Dessa forma, no ICV efetuado para a casca de arroz foi tomado como base a produção de 3,57kg de grãos de arroz, quantidade relativa geração de 1kg de casca.

### **5.1.9 Suposições**

- a) Proporções das misturas estudadas estão corretas: como já abordado no Capítulo 3, as proporções das misturas de ANFO foram extraídas de um trabalho técnico feito cujo escopo consistia em verificar o desempenho do explosivo no desmonte de rocha. Naquela pesquisa as composições foram obtidas a partir de análise química elementar. Dessa forma, em teoria, a proporção do combustível x oxidante se encontra adequada.
- b) Poder calorífico x TNTe: no item 5.1.9 foi abordado o método mais comum para comparação de explosivos. Este método comparativo baseia-se na equivalência de TNT – medida de energia desprendida durante uma explosão. Para cálculo do TNTe utiliza-se entre outros fatores o calor de explosão de substância. Este dado

não estando disponível, foi feita como base de comparação o poder calorífico, sendo uma referencia razoável.

- c) Poder calorífico da mistura: neste trabalho considerou-se que o poder calorífico da mistura se aproxima e não causa distorções graves calculando-o como a soma dos poderes caloríficos independentes.
- d) Utilização da base de dados Ecoinvent para a realidade brasileira: a base de dados Ecoinvent constitui-se de dados, em sua maioria, dos países da Europa, tais como Suíça e Holanda. Trata-se de uma base de dados completa e que possui os materiais objetos deste estudo. Consideraram-se os valores da base de dados para ACV na realidade brasileira.
- e) Etapas que foram consideradas iguais e foram desconsideradas não influenciam o resultado relativo: as etapas relativas ao processo de fabricação em si, ou seja, misturação, e o processo de embalagem foram desconsiderados da ACV. Como trata-se de uma avaliação comparativa, ou seja, relativa, considerou-se que os processos idênticos não influenciariam o resultado final.
- f) Escolha de vários métodos de AICV representa a realidade brasileira: Considerou-se que a avaliação de impactos por diferentes métodos atenuaria a inexatidão dos dados utilizados.

#### **5.1.10 Limitações**

- a) Inexistência de inventário de materiais brasileiros no banco de dados: este fato foi o motivo pelo qual optou-se por utilizar a base de dados Ecoinvent. Embora pudesse se obter alguns valores da realidade brasileira, o trabalho ainda não teria a sua completude com dados reais.
- b) Impossibilidade da determinação do calor de combustão: para uma melhor comparação entre as diferentes misturas químicas utilizadas, reconhece-se como fator ideal a análise em laboratório do calor de explosão dos ANFO estudados. Como este procedimento experimental não foi possível optou-se pela comparação através do poder calorífico teórico das composições.

### **5.1.11 Tipo de análise crítica**

A análise crítica se torna obrigatório em casos de comparação de produtos para divulgação pública. Apesar deste trabalho ser de domínio público, os materiais aqui comparados não são produtos comerciais, portanto a obrigatoriedade desta análise não se faz necessária.

### **5.1.12 Formato do relatório requerido para o estudo**

Os resultados da ACV devem ser relatados ao público-alvo de forma fiel, completa e exata (ABNT 2014). Este trabalho, apresentado sob a forma de dissertação de mestrado, contém os requisitos ora estipulados pela norma uma vez que os resultados aqui apresentados seguiram rigorosamente a metodologia prevista nas normas de Avaliação de Ciclo de Vida.

## **5.2 Análise de inventário do ciclo de vida**

A análise de inventário dos materiais objeto deste estudo foram os considerados da base de dados do programa SIMAPRO® – Ecoinvent. Nesse sentido, os tópicos abaixo mostram os dados considerados para ACV.

### **5.2.1 Nitrato de amônio**

O inventário do processo da unidade de fabricação leva em consideração a produção de nitrato de amônio a partir de amônia e ácido nítrico. São incluídos os transportes dos produtos intermediários para a fábrica de fertilizantes, bem como o transporte do produto fertilizante da fábrica para o armazém regional. O tratamento de efluentes da produção e tratamento de resíduos de catalisadores, revestimento e embalagem dos produtos fertilizantes finais não foi incluído. A infraestrutura foi incluída por meio de um módulo de aproximação dos dados. O valor de inventário refere-se a 1 kg N, ou seja, 2,86 kg de nitrato de amônio com um teor de N de 35,0%.

### **5.2.2 Óleo diesel**

Na produção de óleo diesel os processos considerados foram os processos no local da refinaria (exceto as emissões das instalações de combustão), tratamento de águas residuais, emissões atmosféricas oriundas dos processos e descargas de efluentes líquidos nos rios. A base de todos os fluxos de materiais e energia é direcionada para obtenção de 1 kg de petróleo bruto na refinaria. O petróleo bruto, no processo múltiplo de refino, gera os coprodutos: gasolina (sem chumbo), betume, óleo diesel, óleo combustível leve, óleo pesado, querosene, nafta, propano / butano, gás de refinaria, enxofre secundário e eletricidade. Os impactos do processamento são atribuídos aos diferentes coprodutos. Os principais indicadores, como o uso de energia, foram estimados com base em uma pesquisa nas refinarias europeias. Outros dados e indicadores foram estimados com base em diferentes relatórios ambientais.

Além dos processos da refinaria de produção de óleo diesel, considerou-se também o inventário para o ciclo de vida de armazenagem em depósitos distribuidores, uma vez que este é o procedimento padrão de distribuição de combustíveis no Brasil.

No inventário para a distribuição de produtos petrolíferos ao consumidor final (casa, carro, usina, etc.), incluindo todos os transportes necessários de armazenagem foram considerados os processos de transporte de produtos da refinaria para o usuário final, operação de tanques de armazenamento e postos de gasolina, emissões por evaporação e tratamento de efluentes (Excluindo as emissões da lavagem de carros nas estações de serviço). O volume de produção considerado foi de 258 mil milhões de toneladas em 2000.

### **5.2.3 Bagaço da cana de açúcar**

Os processos considerados foram o cultivo de cana-de-açúcar no Brasil, incluindo uso de diesel, máquinas, fertilizantes e pesticidas. Apesar de ter sido utilizado o banco de dadosecoinvent, para este produto o inventário cadastrado os dados são da literatura da produção brasileira.

Além do cultivo, é necessário incluir também o processo de refino da cana de açúcar. Este conjunto de dados inclui o transporte de cana-de-açúcar para a refinaria de açúcar e o processamento de cana-de-açúcar para açúcar, etanol (95% p / p), bagaço (79%

de matéria seca, excesso), excesso de eletricidade e vinhaça da produção de etanol. O limite do sistema está na refinaria de açúcar. O tratamento de efluentes de resíduos não está incluído (a maioria das águas residuais é espalhada pelos campos próximos) e a embalagem não está incluída.

O inventário refere-se à produção de 1 kg de açúcar, respectivamente, 1 kg de etanol (base seca a 95% p / p, ou seja, 1.05 kg de etanol hidratado com base em 95% molhado), 1 kg de bagaço em excesso (base úmida, 79% de matéria seca), 1 kWh de eletricidade e 1 kg de vinhaça. A cana-de-açúcar multiprocesso em refinaria de açúcar entrega o açúcar de coprodutos, da cana-de-açúcar, da refinaria de açúcar e do etanol, 95% em H<sub>2</sub>O, de melaço de cana-de-açúcar, refinaria de açúcar, bagaço de cana-de-açúcar. Alocação econômica com fator de alocação para estágios comuns de produção de açúcar de 80-85% para açúcar, 10-11% para etanol. Alocação de acordo com o balanço de carbono para o CO<sub>2</sub>.

#### **5.2.4 Sabugo de milho**

Os processos incluídos no inventário descreve a produção de semente de milho no campo. São incluídas semeaduras, fertilização, proteção de plantas e colheita, bem como emissões diretas de campo e uso do solo. Os transportes das entradas para a fazenda estão incluídos e o limite do sistema está no portão da fazenda.

A produção considerada refere-se a 1 kg de semente de milho (peso fresco com 12% de umidade). O rendimento de grãos é de 3000 kg / ha. E o volume de produção: produção de sementes de milho Suíça 507 t, consumo Suíça 1557 t em 1999-2000.

Neste inventário a semente produzida na fazenda é transportada para o centro de processamento, tratada (pré-limpeza, limpeza, acabamento, curativo químico e enchimento do saco), armazenada e posteriormente transportada para o centro de armazenamento regional. Não foram disponíveis dados sobre a produção de águas residuais. Os dados referem-se a 1 kg de semente de milho (peso fresco), com um teor máximo de água de 12%. E o consumo de sementes de milho na Suíça é de 1.963 t / ano, 79% importadas.

### **5.2.5 Casca de arroz**

O inventário inclui os processos de cultivo do solo, semeadura, controle de ervas daninhas, fertilização, controle de pragas e patógenos, irrigação e colheita. A infraestrutura da máquina e um galpão para abrigo de máquinas estão incluídos. Os insumos de fertilizantes, pesticidas e sementes, bem como seus transportes para a fazenda são considerados. As emissões diretas no campo também estão incluídas. O limite do sistema está no portão da fazenda.

Os dados referem-se à produção de 1 kg de arroz, na fazenda com um teor de umidade de 13%. A matéria fresca é produzida a 21% de umidade: 7452 kg / ha. O volume de produção considerado nos EUA foi de 9.632.866t entre 2001-2006.

Neste inventário a semente produzida na fazenda é transportada para o centro de processamento, tratada (pré-limpeza, limpeza, acabamento, curativo químico e enchimento do saco), armazenada e posteriormente transportada para o centro de armazenamento regional. O inventário refere-se a 1 kg de sementes de arroz, em armazém regional.

### **5.2.6 Biodiesel**

Os dois principais biocombustíveis líquidos usados no Brasil são o etanol obtido a partir de cana-de-açúcar e, em escala crescente, o biodiesel, que é produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais e adicionado ao diesel de petróleo em proporções variáveis. Em 2008, a mistura de biodiesel puro (B100) ao óleo diesel passou a ser obrigatória. Entre janeiro e junho de 2008, a mistura foi de 2%. Entre julho de 2008 e junho de 2009 foi de 3%. Entre julho e dezembro de 2009 foi de 4%. Entre julho e outubro de 2014 o teor de mistura de biodiesel ao óleo diesel foi de 6% e entre novembro de 2014 e fevereiro de 2017 foi de 7%. A partir de março de 2017 a mistura passou a ser de 8%, em volume, conforme Lei 13.263/2016.

Para composição do inventário do biodiesel foi escolhido o etanol para compor a fração renovável do combustível. A proporção de composição de ANFO se dá em valores mássicos, diante disso, a conversão da mistura de biodiesel, para valores em massa é dada na Tabela 5-5 Relação proporção volumétrica e mássica.

**Tabela 5-5 Relação proporção volumétrica e mássica para o Biodiesel**

	% em volume	Densidade	% em massa
Diesel	92%	0,853kg/L	93%
Álcool	8%	0,750kg/L	7%

Fonte: ANP

Na análise de inventário para o biodiesel, considerou-se separadamente a produção de óleo diesel e etanol, segundo os dados contidos no banco de dados da Ecoinvent. O inventário do ciclo de vida do óleo diesel foi descrito no item 5.2.2.

A produção de álcool tem o inventário é modelado para o Brasil. Neste inventário, os processos incluídos são: fermentação de cana-de-açúcar, incluindo materiais, usos energéticos, infraestrutura e emissões. O multiprocesso de "cana-de-açúcar, para fermentação" entrega os coprodutos de etanol, 95% em H<sub>2</sub>O, de cana-de-açúcar e eletricidade, bagaço, na planta de fermentação". A alocação para cada coproduto é baseada em critérios econômicos. A capacidade da planta é de 90000 t / a.

### 5.2.7 Transportes envolvidos

As matérias-primas são fornecidas de localidades distintas, o que gera a necessidade de se calcular a contribuição relativa ao transporte para cada material desde o distribuidor até a fábrica de explosivos.

No caso do nitrato de amônio, matéria-prima comum para as cinco composições estudadas, só há um fabricante nacional que fica instalado na cidade de Cubatão/SP e foi esta localidade a ser considerada no cálculo dos transportes.

O óleo diesel é comprado nos distribuidores próximos à fábrica modelo deste estudo. Neste caso, a cidade a ser considerada é o Rio de Janeiro. Já para o biodiesel, segundo a (ANP n.d.), os maiores produtores ficam instalados no estado do Rio Grande do Sul dividindo a produção entre as cidades de Alegrete, São Borja e Uruguaiana. Não foi possível identificar com razoável certeza qual das três cidades seria a fornecedora habitual da fábrica modelo. Desta forma, escolheu-se tomar o ponto médio – ou baricentro – do triângulo formado pela ligação entre as três cidades como referencia de distancia.

Os combustíveis advindos de plantios – casca de arroz, sabugo de milho e bagaço da cana – tiveram os dados obtidos segundo o site do (IBGE n.d.), onde é possível consultar a produção agrícola por anos e regiões chegando-se, assim, aos maiores produtores rurais cujo resíduo são estes insumos. No site foi possível chegar às cidades maiores produtoras de casca de arroz – Alegrete/RS, sabugo de milho – Jataí/SC e bagaço de cana – Morro Agudo/SP acessando os indicadores de produção agrícola e utilizando como base os dados de 2015 disponíveis.

Para inserção dos dados de transporte no programa é necessário calcular o valor tkm, ou seja, toneladas-km. Esta é uma unidade que associa o valor de massa do material à distância percorrida até seu destino de uso. Assim sendo, além da distância até a fábrica modelo já discorrida acima, é necessário utilizar a quantidade de cada material seguindo a unidade funcional de referência do estudo. A Tabela 5-6 mostra os dados consolidados.

**Tabela 5-6 Cálculo das distâncias percorridas nos transportes**

Composição	Material	Origem	Destino	Distância (Km)	Qtd (unid func kg)	tkm	Tipo de transporte	Fonte
c/ óleo diesel					1081,38	537447,93		
c/ casca de arroz					1676,75	833346,20		
c/ sabugo de milho	Nitrato de amônio	Cubatão/SP	Magé	497	757,79	376626,02		Interna
c/ bagaço de cana					1514,78	752849,34		
c/ resíduo					1106,24	549802,20		
c/ biodiesel					915,28	454894,54	Caminhão 32ton	Interna
	Óleo diesel	Rio de Janeiro	Magé	52	62,93	3272,76		
	Sabugo de milho	Jataí/SC	Magé	1380	223,80	308852,11		IBGE
	Casca de arroz	Alegrete/RS	Magé	1946	105,13	204585,24		IBGE
	Bagaço de cana	Morro Agudo/SP	Magé	781	265,22	207137,83		IBGE
	Biodiesel	Rio Grande do Sul	Magé	1700	89,41	152010,95		ANP

O inventário aqui utilizado refere-se a todo o ciclo de vida do transporte. Os dados relativos à operação do veículo e à infraestrutura rodoviária, bem como os dados para a disposição dos veículos refletem a situação suíça. Já os dados para a fabricação e manutenção de veículos representam dados genéricos dos países da Europa. Para a infraestrutura rodoviária, as despesas e as intervenções ambientais decorrentes da construção, renovação e eliminação de estradas foram alocadas com base no desempenho

de quilometragem bruta e as despesas decorrentes da operação da infraestrutura rodoviária, bem como o uso do solo foram alocadas com base no desempenho anual de quilometragem do veículo. Para a atribuição da participação do veículo ao desempenho do transporte, foi assumido um desempenho do tempo de vida do veículo de 540000 vkm / veículo. O combustível utilizado na modelagem foi o óleo diesel, e os processos incluídos, resumidamente, são: operação do veículo; produção de veículos, manutenção e eliminação de veículos; construção e manutenção e eliminação de estradas.

### **5.2.8 Infraestrutura da planta de fabricação**

Os processos inclui todo o processo de fabricação para produzir explosivo semelhante ao ANFO (fornecimento de matérias-primas, processo de mistura, embalagem, processos internos (transporte, etc.) e infraestrutura. Os dados do banco de dados foram em sua maioria assumidos a partir de literatura, somente as informações sobre a matéria-prima são entregues por escrito.

### **5.2.9 Detonação**

Neste inventário os processos incluídos foram a matéria-prima (explosivo semelhante ao ANFO) e as emissões (calculadas estequiométricas). Todas as emissões são calculadas com base na composição das matérias-primas e completadas pelo relatório "Emissionsfaktoren für stationäre Quellen". Nenhuma emissão da rocha explodida está incluída.

## **5.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida**

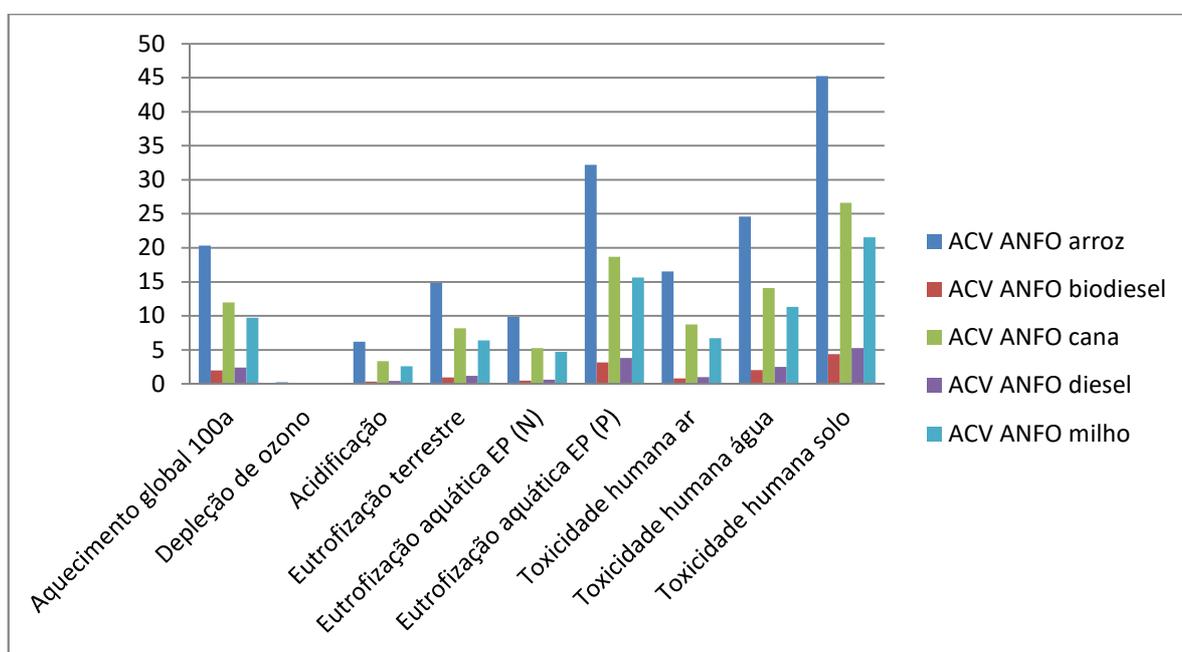
A seguir serão apresentados os resultados referentes aos impactos potenciais para os produtos avaliados, considerando as categorias de impacto ambientais escolhidas dentro dos métodos EDIP 2003, ReCiPe, Impact 2002+ e CML 2002. Os resultados foram alcançados através da correlação dos dados do inventário com as categorias de impactos ambientais, de acordo com valores de equivalência de cada método.

### 5.3.1 Indicador de normalização

A normalização é uma escolha opcional na avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) que pode ser usado para auxiliar na interpretação dos dados do inventário do ciclo de vida, e também dos resultados da avaliação de impacto do ciclo de vida. A normalização transforma a magnitude dos resultados ACV e AICV em contribuição relativa por substância e categoria de impacto do ciclo de vida. A normalização, portanto, pode influenciar significativamente as decisões baseadas em ACV quando existem escolhas a serem feitas.

#### 5.3.1.1 EDIP 2003

Dentre as categorias de impactos escolhidas para análise, as que se enquadram no método EDIP 2003 é aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, eutrofização terrestre, eutrofização aquática, toxicidade humana ar e solo. A Figura 5.2 Normaização EDIP 2003 mostra o resultado para todas as misturas objeto deste estudo avaliado segundo o método em questão. É perceptível que as que apresentaram melhor resultado foram as misturas contendo biodiesel e diesel, e as que apresentaram pior desempenho foram as que utilizaram casca de arroz, bagaço de cana e sabugo de milho, nesta ordem.

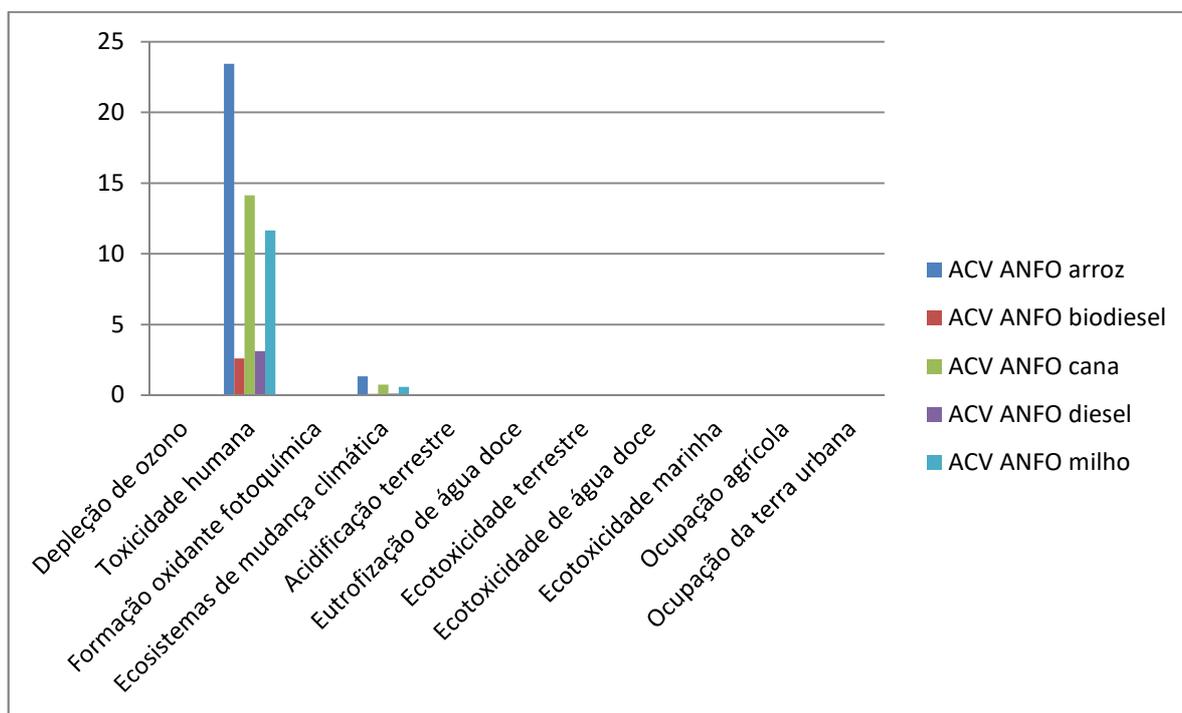


**Figura 5.2 Normaização EDIP 2003**

### 5.3.1.2 ReCiPe

Dentre as categorias de impactos escolhidas para análise, as que se enquadram no método ReCiPe são depleção de ozônio, toxicidade humana, formação de oxidante fotoquímico, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, ecotoxicidade terrestre, marinha e de água doce, ocupação agrícola e da terra urbana. O método ReCiPe utilizado foi do tipo endpoint, versão igualitária, mundial e refere-se aos valores de normalização do mundo como uma média ponderada.

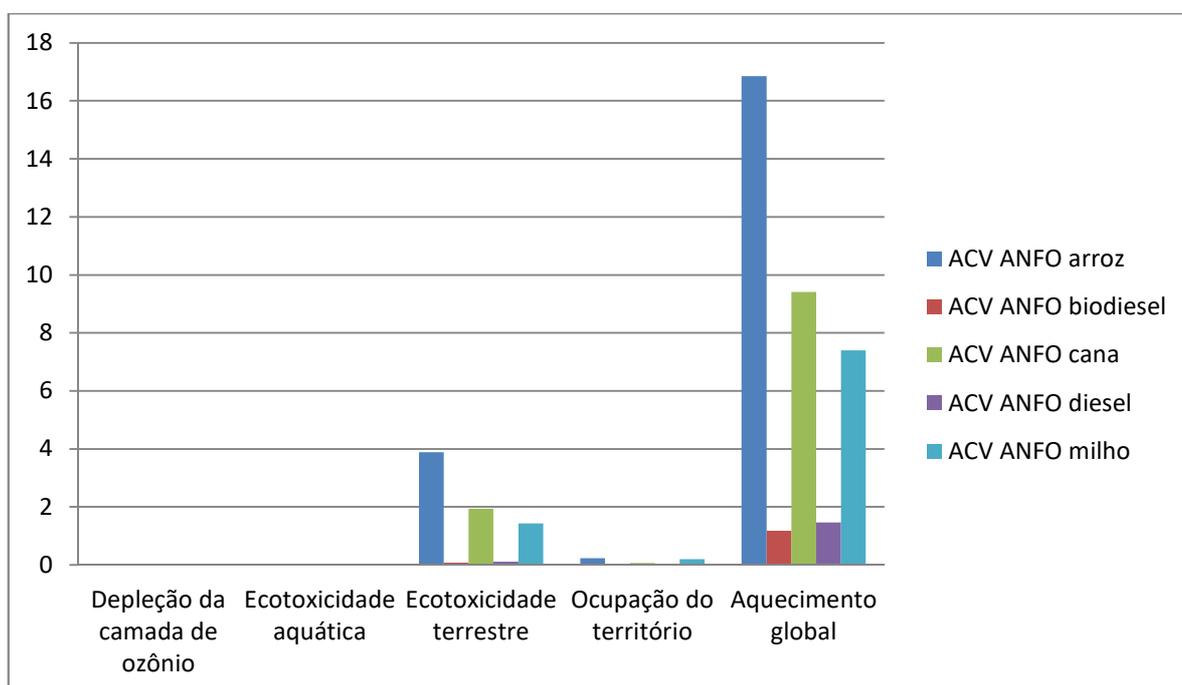
A Figura 5.3 Normalização ReCiPe mostra o resultado para todas as misturas objeto deste estudo avaliado segundo o método em questão. É perceptível que as que apresentaram melhor resultado foram as misturas contendo biodiesel e diesel, e as que apresentaram pior desempenho foram as que utilizaram casca de arroz, bagaço de cana e sabugo de milho, nesta ordem.



**Figura 5.3 Normalização ReCiPe**

### 5.3.1.3 Impacto 2002+

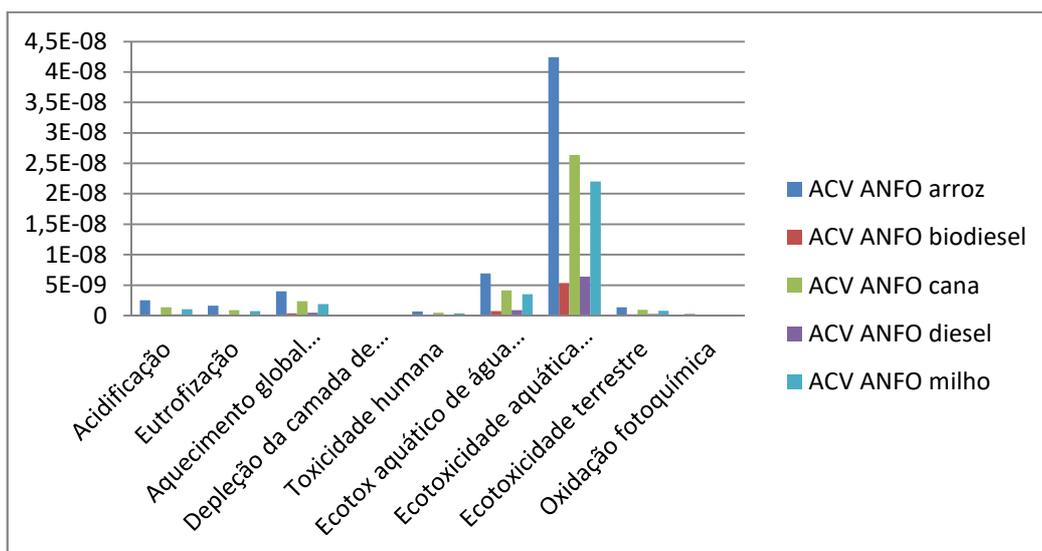
Dentre as categorias de impactos escolhidas para análise, as que se enquadram no método Impact 2002+ são a depleção da camada de ozônio, ecotoxicidade aquática e terrestre, ocupação do território e aquecimento global. A Figura 5.4 Normalização Impact 2002+ mostra o resultado para todas as misturas objeto deste estudo avaliadas segundo o método em questão. É perceptível que as que apresentaram melhor resultado foram as misturas contendo biodiesel e diesel, e as que apresentaram pior desempenho foram as que utilizaram casca de arroz, bagaço de cana e sabugo de milho, nesta ordem.



**Figura 5.4 Normalização Impact 2002+**

### 5.3.1.4 CML 2000

Dentre as categorias de impactos escolhidas para análise, as que se enquadram no método CML 2000 são acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática (água doce e salgada) e terrestre e oxidação fotoquímica. A Figura 5.5 Normalização CML 2000 mostra o resultado para todas as misturas objeto deste estudo avaliadas segundo o método em questão. É perceptível que as que apresentaram melhor resultado foram as misturas contendo biodiesel e diesel, e as que apresentaram pior desempenho foram as que utilizaram casca de arroz, bagaço de cana e sabugo de milho, nesta ordem.

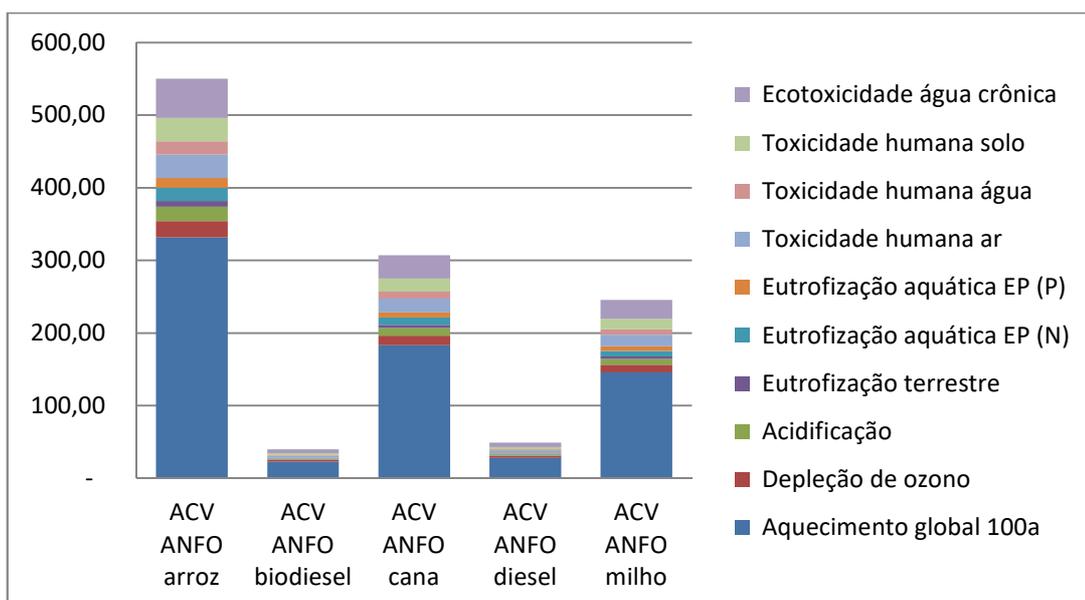


**Figura 5.5 Normalização CML 2000**

### 5.3.2 Indicador de pontuação única

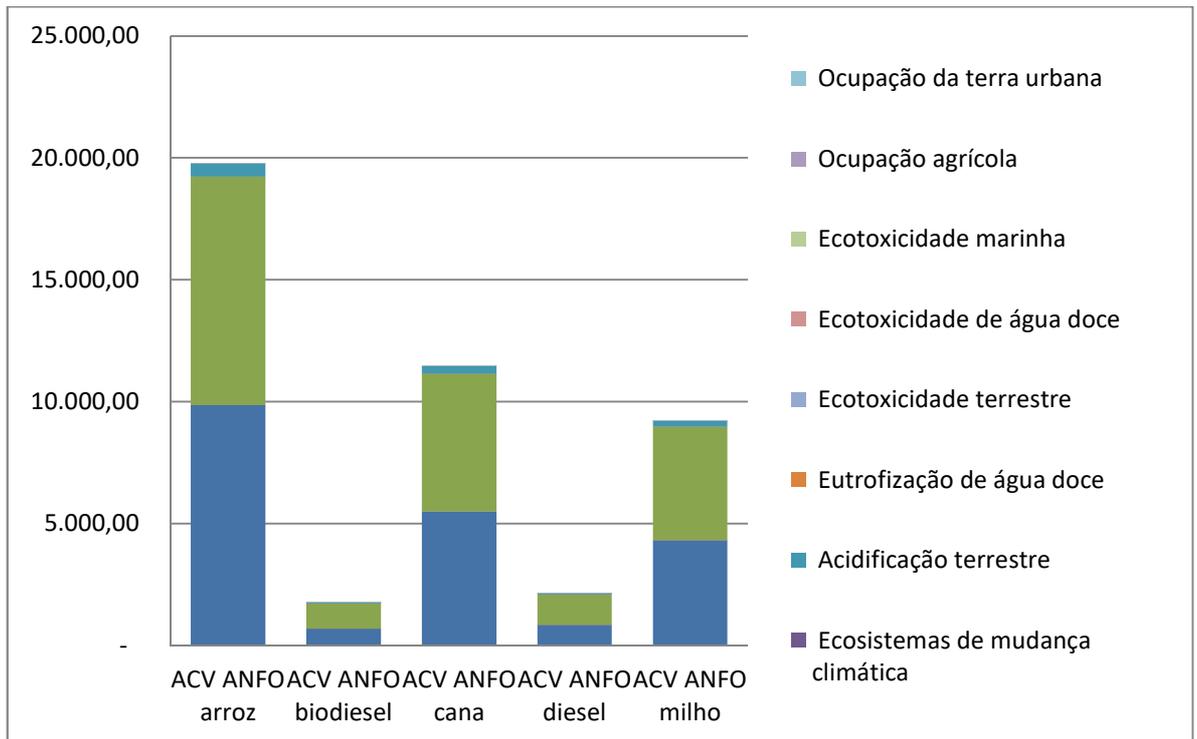
Atribuição e cálculo de diferentes categorias de impacto e recursos que refletem a sua importância relativa. O fato de os resultados do indicador de pontuação única se expressar na mesma unidade para cada pontuação de impacto torna mais fácil fazer comparações entre as pontuações de impacto de diferentes categorias de impacto.

#### 5.3.2.1 EDIP 2003



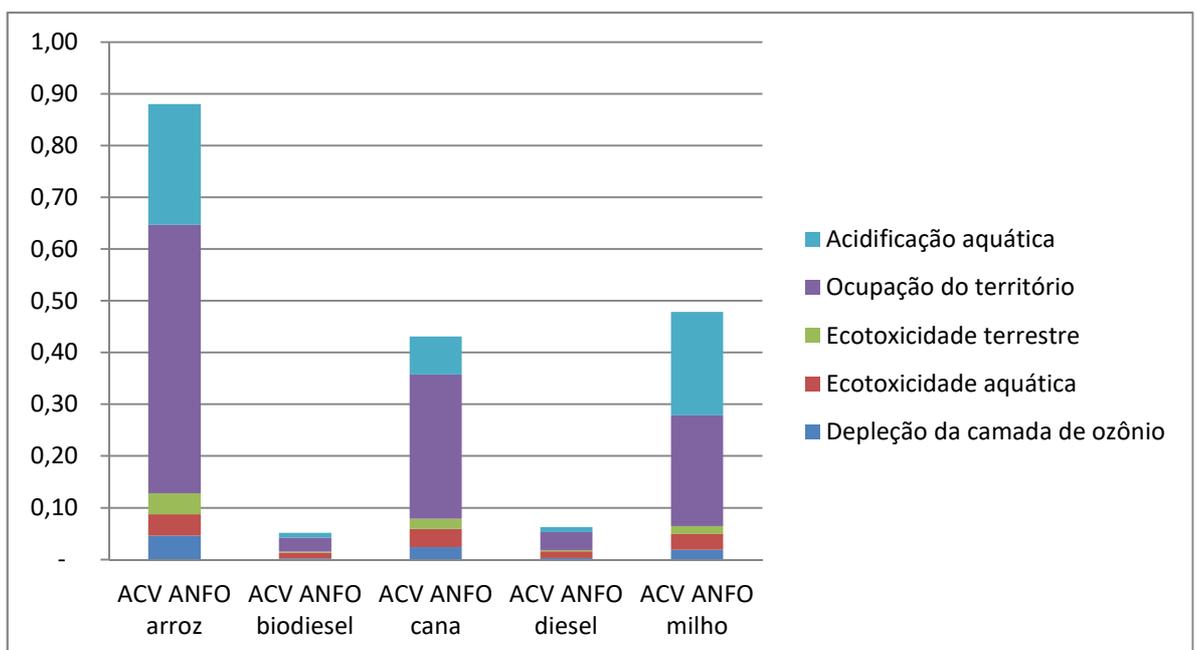
**Figura 5.6 Pontuação única EDIP 2003**

### 5.3.2.2 ReCiPe



**Figura 5.7 Pontuação única ReCiPe**

### 5.3.2.3 Impact 2002+



**Figura 5.8 Pontuação única Impact 2002+**

## 5.4 Interpretação

No presente estudo, para o indicador pontuação única somente um distinguiu no resultado para ANFO com combustível à base de sabugo de milho e bagaço de cana. Conforme já abordado, esses resultados confirmam que métodos de AICV diferentes podem levar a resultados distintos de ACV. Salienta-se a importância de se conhecer previamente o método antes de utilizá-lo, não só a fim de escolher aquele que atenda as necessidades do estudo, mas também para fundamentar alguns resultados distintos e estimar impactos negligenciados.

O indicador de normalização de ACV fornece um valor de referência da pressão sobre o meio ambiente para cada categoria de impacto ambiental. A normalização permite traduzir pontuações abstratas de impacto para cada categoria de impacto em contribuições relativas do produto para uma situação de referência. Esta situação de referência é a projeção de um perfil ambiental de um sistema econômico em que o ciclo de vida do produto é considerado parte.

Foram simulados a AICV para quatro diferentes métodos e cada método com a sua categoria de impacto específica. O sistema de produto com melhor – combustíveis à base de óleo diesel e biodiesel - e pior resultado – combustíveis à base de casca de arroz, bagaço de cana de açúcar e sabugo de milho - para todos os métodos nas categorias consideradas se repetiram.

As composições obtidas utilizando-se combustível derivado de biomassa tiveram o pior desempenho relativo entre as misturas de ANFO analisadas. Na categoria de impacto denominada uso do solo, este efeito se traduz de forma lógica uma vez que o combustível obtido depende da plantação de cana de açúcar, arroz e milho.

As substâncias que contribuem para a toxicidade humana são numerosas e não podem ser descritas por um número finito de grupos. Na categoria de impacto denominada toxicidade humana, para todos os métodos utilizados neste estudo, o desfecho da AICV mostra que as composições de ANFO que utilizaram combustíveis 100% renováveis apresentaram maiores índices nesta categoria.

Na categoria de ecotoxicidade, aquática ou terrestre, e eutrofização as composições de ANFO com combustíveis à base de óleo diesel e biodiesel apresentaram melhor desempenho em todos os métodos analisados.

Acidificação é considerada um efeito regional e é causada por liberações de prótons nos ecossistemas terrestres ou aquáticos. Nesta categoria, os piores desempenhos também foram relativas às misturas preparadas resíduos de plantações.

Na categoria de aquecimento global as composições com combustível derivados das plantações de cana de açúcar, arroz e milho também resultaram nos piores índices de AICV. Este fator liga-se primordialmente ao modelo de cálculo desta categoria, que valora as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes de processos de transformação de áreas em florestas primárias, ou seja, processo de desmatamento, pois avalia as emissões fósseis devido ao fato de que o carbono respectivo foi ligado durante um período de tempo muito mais longo do que em regiões sem florestas primárias. Além da contribuição direta para o aquecimento global, também é considerada chamada contribuição "indireta" ocorrida devido à conversão em dióxido de carbono.

O indicador de pontuação única, assim como a normalização, possui como unidade de medida um número adimensional chamado pontos. Esses pontos são calculados de acordo com os valores obtidos da caracterização e transformados em uma unidade única, sendo assim, podem ser somados para se obter um valor total. A Tabela 5-7 Pontuação única consolidada mostra a ordenação das composições de ANFO seguindo o indicador de pontuação única, considerando a melhor colocação para a mistura com menor pontuação, pois trata-se do sistema com menor impacto ambiental, e a pior colocação com a pontuação maior.

**Tabela 5-7 Pontuação única consolidada**

Composições de ANFO	EDIP 2003		ReCiPe		Impact 2002+		Ordem Final
	Pontuação	Ordem	Pontuação	Ordem	Pontuação	Ordem	
ACV ANFO arroz	550,17	5	19.790,28	5	0,88	5	5
ACV ANFO biodiesel	39,99	1	1.763,92	1	0,05	1	1
ACV ANFO cana	307,10	4	11.459,96	4	0,43	3	4
ACV ANFO diesel	49,31	2	2.147,12	2	0,06	2	2
ACV ANFO milho	245,53	3	9.230,81	3	0,48	4	3

É possível extrair destes resultados ainda o desempenho relativo entre os combustíveis derivados de biomassa apenas. Em torno desta análise verifica-se que a biomassa oriunda do cultivo do milho é responsável pela menor contribuição de degeneração ambiental.

Os resultados aqui obtidos vão de encontro às informações de performance de uso estudadas no trabalho de referencia. (RESENDE 2011) encontrou que as condições de contorno, tais como velocidade de detonação, para uso do explosivo em desmonte de rocha se deu de melhor forma na composição feita com óleo diesel. Os resultados deste trabalho ampliam o espectro de análise do uso de explosivos no meio da construção civil, garantindo assim, além do melhor resultado técnico, a sustentabilidade da exploração mineira.

## 6 CONCLUSÕES

Por mais completos que os métodos mais recentes possam ser, nenhum deles possui em sua metodologia a completude de todas as categorias de impactos, assim sendo, não há um método de AICV ideal para um determinado estudo, já que eles sempre terão vantagens e desvantagens. Como forma de mitigação, uma proposta relevante é a utilização de estudos de ACV com mais de um método de AICV. Esta sistemática vem sendo utilizada nos trabalhos de ACV e auxilia numa tomada de decisão mais confiável, já que não seria baseada somente em um método. Quando se obtém resultados correlatos, o uso de mais de método ratifica o resultado e conferindo maior credibilidade. Entretanto, em caso de resultados divergentes, caberá ao decisor definir previamente critérios de escolha do método ao qual irá aceitar como resposta final (afinidade das categorias de impacto ambiental, maior diferença nos resultados, etc) ou mesmo escolher um novo critério de decisão (social e/ou econômico, por exemplo).

Os métodos EDIP 2003, ReCiPe, Impacto 2002+ e CML 2000 se mostraram métodos de AICV relevantes de serem utilizados para estudo de combustíveis por gerarem resultados consistentes tanto para cada categoria de impacto ambiental quanto para uma pontuação única (para este último é necessário adotar um procedimento de agregação no método CML). Todos estes métodos contêm categorias de impactos ambientais significantes para o setor econômico tais como eutrofização e acidificação.

Quanto ao estudo de caso que comparou os diferentes cenários de produção de ANFO com modificação do combustível, apenas os métodos EDIP 2003 e CML 2000 não possui a categoria de impacto referente ao uso do solo – fundamental para análise de materiais oriundos de plantação.

Em síntese, pode-se afirmar, considerando as fronteiras, limitações e base de dados consideradas no presente estudo, que o ANFO à base de biodiesel é a melhor alternativa, em termos ambientais, para produção e uso do explosivo. Ressalta-se que o biodiesel aqui estudado é o combustível cujo álcool é produzido a partir do cultivo da cana de açúcar. Em seguida, o ANFO à base de diesel é a segunda melhor alternativa.

## 7 REFERÊNCIAS

### 7.1 BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, 2014. ABNT NBR ISO 14040 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, pp.1–22.
- Ahlgren, S. et al., 2008. Ammonium nitrate fertiliser production based on biomass - Environmental effects from a life cycle perspective. *Bioresource Technology*, 99(17), pp.8034–8041.
- Akhavan, J., 2011. *The Chemistry of Explosives* Third Edit., Norfolk: Biddles Ltd., Kings Lynn, Norfolk.
- Andrade, J.B. de et al., 1996. Porcentagem de grão, palha e sabugo na espiga de 20 cultivares de milho.
- ANP, Agência Nacional de Petróleo.
- Ariyaratna, S.M.W.T.P.K., Siriwardhana, H.P.D.S.N. & Danthurebandara, M., 2016. Life cycle assessment of rice processing in Sri Lanka: Modern and conventional processing. *2nd International Moratuwa Engineering Research Conference, MERCon 2016*, pp.297–302.
- Augusto, R. & Alvarenga, F.D.E., 2010. AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE AICV : AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE AICV.
- Avarez-Vigil, A.E. et al., 2012. Predicting blasting propagation velocity and vibration frequency using artificial neural networks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 55, pp.108–116.
- Barbosa, R.L. et al., 2008. DESEMPENHO COMPARATIVO DE UM MOTOR DE CICLO DIESEL BARBOSA, R. L. et al. UTILIZANDO DIESEL E MISTURAS DE BIODIESEL. , pp.1588–1593.
- Bartolozzi, I. a et al., 2015. Life cycle thinking in sustainable supply chains: The case of rubberized asphalt pavement. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(5), pp.1203–1215. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84944562046&partnerID=40&md5=6c2089225526943696ba03349c9c7a78>.
- BSI British Standards, 2006. *BS EN ISO 14040:2006 - Environmental management — life cycle assessment — Principles and framework*,
- Campos, M.G., 2012. Abordagem De Ciclo De Vida Na Avaliação De Impactos Ambientais No Processamento Primário Offshore. , pp.1–142.
- CAPOTE, F.G., 2012. *CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE CO-PRODUTOS COMPACTADOS DA BIOMASSA PARA FINS ENERGÉTICOS*. UNIVERSIDADE

FEDERAL DO PARANÁ.

- Castanheira, ?rica Geraldés et al., 2015. Life-cycle assessment of soybean-based biodiesel in Europe: Comparing grain, oil and biodiesel import from Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 102, pp.188–201.
- Chaves, P.S. et al., 2014. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE PROCESSOS QUÍMICOS. *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, XXXI(4), pp.71–82.
- Cobert, A., 2009. *Environmental Comparison of Michelin Tweel and Pneumatic Tire Using Life Cycle Analysis Approved*. Georgia Institute of Technology.
- Colossi, B.R., 2012. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Instituto De Pesquisas Hidráulicas E Escola De Engenharia Curso De Engenharia Ambiental.
- Cooper, P., 1996. *Explosives Engineering*, Wiley-VCH, Inc. United States of America.
- DoD, 1999. Ammunition and Explosives Safety Standards.
- Duda, M. & Shaw, J.S., 1997. Life cycle assessment. *Society*, 35(1), pp.38–43. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s12115-997-1054-x>.
- Escobar, C. et al., 2009. Biofuels: Environment , technology and food security. , 13, pp.1275–1287.
- Feraldi, R. et al., 2013. Comparative LCA of treatment options for US scrap tires: Material recycling and tire-derived fuel combustion. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), pp.613–625.
- Ferreira, J.R.V., 2004. Análise de ciclo de vida dos produtos. , p.80.
- Filho, J.B. & Silva, D., 2010. *Produção de biodiesel etílico de óleos e gorduras residuais (OGR) em reator químico de baixo custo*.
- Harding, K.G. et al., 2008. A life-cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the production of biodiesel. *Journal of Cleaner Production*, 16(13), pp.1368–1378.
- Hischier, R. et al., 2010. *Ecoinvent report No. 3, v2.2. - Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*, Dübendorf.
- Hu, Z. et al., 2008. Life cycle energy , environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China. , 33, pp.1654–1658.
- Huijbregts, M.A.J., Guinée, J.B. & Reijnders, L., 2001. Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. III: Export of potential impact over time and space. *Chemosphere*, 44(1), pp.59–65.
- Huijbregts, M. a J. et al., 2000. *Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. Part I: Calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA*,
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Ingrao, C. et al., 2016. A comparative Life Cycle Assessment of external wall-compositions for cleaner construction solutions in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 124,

- pp.283–298. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.112>.
- ISO, 2006. *ISO 14044 - Environmental Management: Life Cycle Assessment, Life Cycle Impact Assessment*, Geneva, Switzerland.: International Organisation for Standardization.
- ISO - International Organization for Standardization, 2006. *ISO 14040 International Standard. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*, Geneva, Switzerland.: International Organisation for Standardization.
- Jeremić, R. & Bajić, Z., 2006. An approach to determining the TNT equivalent of high explosives. , 3(1), pp.58–62.
- Junior, R.T. & Pinho, M., 2015. ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: Impactos de Novos Marcos Regulatórios e Tecnologias Sobre a Economia Brasileira. *FUNPEC-Editora*, p.498.
- Khoo, H.H., 2009. Life cycle impact assessment of various waste conversion technologies. *Waste Management*, 29(6), pp.1892–1900. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.12.020>.
- Kulay, L.A., Viñas, R.S. & Hespanhol, I., 2014. Avaliação de desempenho ambiental de sistemas para fornecimento de água quente para uso doméstico. *Revista Ambiente e Agua*, 9(3), pp.445–458.
- Leme, M.M.V., 2010. Avaliação das Opções Tecnológicas para Geração de Energia a Partir dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso. *Juno.Unifei.Edu.Br*, pp.0–138. Available at: <http://juno.unifei.edu.br/bim/0037110.pdf>.
- Lestari, R.L. et al., 2013. Life Cycle Assessment of Sugar from Sugarcane : A Case Study of Indonesia. , pp.17–20. Available at: <http://digilib.its.ac.id/life-cycle-assessment-of-sugar-from-sugarcane-a-case-study-of-indonesia-33945.html>.
- Lopes Silva, D.A. et al., 2014. Life cycle assessment of the sugarcane bagasse electricity generation in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, pp.532–547. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.056>.
- LUZZIETTI, M. et al., 2013. ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA CASCA DE ARROZ NA PRODUÇÃO DE BIOENERGIA NO MUNICÍPIO DE TURVO/SC. , pp.1–19.
- Maienschein, J.L., 2002. Estimating Equivalency Of Explosives Through A Thermochemical Approach.
- Maraver, D. et al., 2009. Comparison of the Environmental Impact and Economic Assessment of Biomass and. *Biomass*, (July), pp.1406–1412.
- Mendes, N.C., Buenoa, C. & Omettoa, A.R., 2013. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida : revisão dos principais métodos. , (x).
- Meyer, R. & Köhler, J., 2007. *Explosives Sixth.*,
- MEYERS, S. & SHANLEY, E.S., 1990. INDUSTRIAL EXPLOSIVES - A BRIEF HISTORY

- OF THEIR DEVELOPMENT AND USE. , 23, pp.183–201.
- Mokrzycki, E. & Bochenczyk, A.U.-, 2003. Alternative fuels for the cement industry. , 74, pp.95–100.
- MUNARETTI, E., 2002. *Desenvolvimento e avaliação de desempenho de misturas explosivas a base de nitrato de amônio e óleo combustível*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL Escola.
- Nishihara Hun, A.L., Mele, F.D. & P??rez, G.A., 2017. A comparative life cycle assessment of the sugarcane value chain in the province of Tucum??n (Argentina) considering different technology levels. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(4), pp.502–515.
- Pandey, A. et al., 2000. Biotechnological potential of agro-industrial residues . I: sugarcane bagasse. , 74.
- PASSUELLO, A.C.B., 2007. *Aplicação Da Avaliação Do Ciclo De Vida Em Embalagens Descartáveis Para Frutas: Estudo De Caso*. , p.147.
- Piekarski, C.M. et al., 2012. Revista Gestão Industrial MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA: ESPECIFICIDADES BRASILEIRAS LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT METHODS: A DISCUSSION OF METHODS ADOPTION IN BRAZILIAN SPECIFITIES. , pp.222–240.
- Pontes, J.C.D.E. et al., 2013. MINERAÇÃO E SEUS REFLEXOS SOCIOAMBIENTAIS: ESTUDO DE IMPACTOS DE VIZINHANÇA ( EIV ) CAUSADOS PELO DESMONTE DE ROCHAS COM USO DE EXPLOSIVOS. , pp.77–90.
- Prateep Na Talang, R., Pizzol, M. & Sirivithayapakorn, S., 2016. Comparative life cycle assessment of fired brick production in Thailand. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 38(3), pp.1–17.
- PRé Sustainability, 2015. SimaPro.
- Pryshlakivsky, J. & Searcy, C., 2013. Fifteen years of ISO 14040: a review. *Journal of Cleaner Production*, 57, pp.115–123. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.038>.
- Ramjeawon, T., 2015. Life cycle assessment of electricity generation from bagasse in Mauritius. *International Journal of ChemTech Research*, 7(1), pp.223–233.
- Renó, M. et al., 2009. Life Cycle Assessment of the Methanol Production From Sugarcane Bagasse Considering Two Different Alternatives of. Available at: <http://www.abcm.org.br/anais/cobem/2009/pdf/COB09-2524.pdf>.
- Renó, M.L.G. et al., 2011. A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. *Energy*, 36(6), pp.3716–3726. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.12.010>.
- RESENDE, S.A., 2011. *DESENVOLVIMENTO DE EXPLOSIVOS UTILIZANDO*

- COMBUSTÍVEIS NÃO-CONVENCIONAIS*. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Rewlay-ngoan, C. et al., 2013. Life Cycle Impact Modeling of Global Warming on Net Primary Production : A Case Study of Biodiesel in Thailand. , 11(1), pp.21–30.
- Ribeiro, I., Peças, P. & Henriques, E., 2013. A life cycle framework to support materials selection for Ecodesign: A case study on biodegradable polymers. *Materials & Design*, 51, pp.300–308.
- Rodrigues, T.O., 2015. Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento para Manutenção e Validação do Sistema de Inventários do Ciclo de Vida do Brasil. , p.190.
- Sallaberry, R., 2009. Emprego da Avaliação do Ciclo de Vida para Levantamento dos Desempenhos Ambientais do Biodiesel de Girassol e do Oleo Diesel. , pp.1–140. Available at: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/32462> <http://hdl.handle.net/10183/32462>.
- Scachetti, M.T. et al., 2013. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE ALGODÃO PARA EXTRAÇÃO DE NANOFIBRAS: SISTEMA DE PRODUÇÃO EM ROTAÇÃO COM SOJA E FORRAGEIRA Scachetti,. , pp.575–577. Available at: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/963585/1/2013AA24.pdf>.
- Sementes Ceratti, 2017. IRGA 424.
- Shafie, S.M. et al., 2012. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation from rice husk in Malaysia. *Energy Procedia*, 14, pp.499–504. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610211043815>.
- Siegl, S., Laaber, M. & Holubar, P., 2011. Green electricity from biomass, Part I: Environmental impacts of direct life cycle emissions. *Waste and Biomass Valorization*, 2(3), pp.267–284.
- Sieira, P. et al., 2014. Life cycle inventory of a biodiesel production unit in Brazil. *American Journal of Chemical Engineering*, 2(1), pp.1–7.
- Silalertruksa, T. & Gheewala, S.H., 2009. Environmental sustainability assessment of bio-ethanol production in Thailand. *Energy*, 34(11), pp.1933–1946. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.08.002>.
- Silva, D.A.L., 2012. *Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira mdp no brasil*. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.
- Silva, G.A. da & Oliveira, S.A. de, 2014. Glossário de Avaliação de Ciclo de Vida. , pp.1–96.
- SILVA, J.N., SOBRINHO, J.C. & SAIKI, E.T., 2002. UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA NA SECAGEM DE PRODUTOS AGRÍCOLAS VIA GASEIFICAÇÃO COM COMBUSTÃO ADJACENTE DOS GASES PRODUZIDOS. *CONBEA*, I, pp.405–411.
- Silva, O.H. da et al., 2012. POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA DA CASCA DE ARROZ NO BRASIL. , (1).
- Stano, L.C., Marta, M. & Vasconcelos, T., 2009. *Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de*

*vida - Requisitos e orientações,*

- Thrane, M. et al., 2014. Specialty Food Ingredients – Environmental Impacts and Opportunities. *9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014*, (October). Available at: <http://lcafood2014.org/papers/171.pdf>.
- Tillman, A.-M. et al., 1994. Choice of system boundaries in life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2(1), pp.21–29.
- Tsai, W.T. et al., 2001. Cleaner production of carbon adsorbents by utilizing agricultural waste corn cob. , 32, pp.43–53.
- Uenishi, K. et al., 2010. PC-based simulations of blasting demolition of RC structures. *Construction and Building Materials*, 24(12), pp.2401–2410. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.002>.
- Wei, P.C., May, C.Y. & Ngan, M.A., 2010. Life cycle assessment for the production and use of palm biodiesel (part 5). *Journal of Oil Palm Research*, 22(DECEMBER), pp.927–933.
- Xue, X. et al., 2012. Regional life cycle assessment of soybean derived biodiesel for transportation fleets. *Energy Policy*, 48, pp.295–303. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.025>.
- Zandersons, J. et al., 1999. Studies of the Brazilian sugarcane bagasse carbonisation process and products properties. , 17.
- Zeng, Q., 1995. *Optimisation de l'utilisation des explosifs en Génie civil*. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Zocche, L., 2014. *Identificação das limitações da acv sob a ótica de pesquisas acadêmicas*. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ PROGRAMA.

## **7.2 NORMATIVAS**

- ABNT, 2014. ABNT NBR ISO 14040 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, pp.1–22.
- ISO, 2006a. *ISO 14040 International Standard. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*, Geneva, Switzerland.: International Organisation for Standardization.
- ISO, 2006b. *ISO 14044 - Environmental Management: Life Cycle Assessment, Life Cycle Impact Assessment*, Geneva, Switzerland.: International Organisation for Standardization.

## ANEXOS

### Anexo 1 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO NITRATO DE AMÔNIO

Produtos	Quantidade	Unidade
<i>Nitrato de amônio, como N, em armazém regional / RER U</i>	1	kg
<i>Materiais / combustíveis</i>		
Transporte, frete, trilho / RER U	1,71	Tkm
Transporte, caminhão > 16t, média da frota / RER U	0,286	Tkm
Amônia, reformagem a vapor, líquido, na planta / RER U	0,609	kg
Ácido nítrico, 50% em H <sub>2</sub> O, na planta / RER U	2,25	kg
Planta química, orgânica / RER / IU	1,14E-09	P
<i>Emissões para o ar</i>		
Amônia	0,000571	kg
Partículas, > 10 um	0,000571	kg
Partículas, > 2.5 um e <10um	0,000286	kg
Particulares, <2,5 um	0,000571	kg
Calor, desperdício	-2,4	MJ
<i>Emissões para água</i>		
Amônio, íon	0,000736	kg

### Anexo 2 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DIESEL

Produtos	Quantidade	Unidade
<i>Diesel, na refinaria / RER U</i>	1	kg
<i>Recursos do solo</i>		
Cobalto, no solo	2,92E-08	kg
Água, rio	0,000672	M3
Água, refrigeração, origem natural não especificada / m3, rio	0,00384	M3
<i>Materiais / combustíveis</i>		
Água da torneira, no usuário / RER U	0,014592	kg
Cloreto de cálcio, CaCl <sub>2</sub> , na planta / RER U	1,56E-05	kg
Ácido clorídrico, 30% em H <sub>2</sub> O, na planta / RER U	8,54E-05	kg
Sulfato de ferro, na planta / RER U	0,000048	kg
Lime, hidratado, embalado, em planta / Suíça U	3,36E-05	kg
Óleo lubrificante, na planta / RER U	2,38E-05	kg
Nitrogênio, líquido, na planta / RER U	0,000791	kg
Sabão, na planta / RER U	2,57E-06	kg
Hipoclorito de sódio, 15% em H <sub>2</sub> O, na planta / RER U	0,000048	kg
Ácido sulfúrico, líquido, na planta / RER U	1,14E-05	kg
Transporte, caminhão > 16t, média da frota / RER U	0,000679	Tkm
Transporte, frete, trilho / RER U	0,00407	Tkm

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Petróleo bruto, produção RU, em transporte de longa distância / RER U	0,17848	kg
Petróleo bruto, produção RLA, em transporte de longa distância / RER U	0,011543	kg
Petróleo bruto, produção RME, em transporte de longa distância / RER U	0,24541	kg
Petróleo bruto, produção RAF, em transporte de longa distância / RER U	0,10476	kg
Petróleo bruto, produção NG, em transporte de longa distância / RER U	0,033077	kg
Petróleo bruto, produção NO, em transporte de longa distância / RER U	0,21825	kg
Petróleo bruto, produção GB, em transporte de longa distância / RER U	0,1746	kg
Petróleo bruto, produção NL, em transporte de longa distância / RER U	0,003259	kg
Eletricidade, média tensão, produção UCTE, na rede / UCTE U	0,024523	KWh
Gás de refinaria, queimado em forno / MJ / RER U	19.825	MJ
Óleo combustível pesado, queimado em forno de refinaria / MJ / RER U	0,68039	MJ
Gás de refinaria, queimado em flare / GLO U	0,083628	MJ
Refinaria / RER / IU	2,76E-11	P
Amônia, líquido, em armazém regional / RER U	1,93E-06	kg
Nafta, em armazenamento regional / RER U	0,038407	kg
Produtos químicos orgânicos, em planta / GLO U	0,000427	kg
Propilenoglicol, líquido, na planta / RER U	5,52E-07	kg
Molibdênio, em armazenamento regional / RER U	1,58E-08	kg
Zeólito, pó, na planta / RER S	3,37E-06	kg
Zinco, primário, em armazenamento regional / RER U	3,64E-08	kg
<i>Emissões para o ar</i>		
Amônia	7,06E-08	kg
Monóxido de Dinitrogênio	9,44E-07	kg
Óxidos de nitrogênio	2,21E-05	kg
Benzeno	5,17E-06	kg
Benzeno, etil-	1,29E-06	kg
Butano	5,17E-05	kg
Buteno	1,29E-06	kg
Etano	1,29E-05	kg
Ethene	2,59E-06	kg
Heptano	1,29E-05	kg
Hexano	2,59E-05	kg
Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificados	4,32E-11	kg
Hidrocarbonetos, alifáticos, insaturados	2,37E-12	kg
Hidrocarbonetos aromáticos	6,48E-13	kg
Metano, fóssil	3,86E-05	kg
Partículas,> 10 um	9,65E-06	kg
Pentane	6,47E-05	kg
Propano	5,17E-05	kg
Propeno	2,59E-06	kg
Tolueno	7,76E-06	kg
Xileno	5,17E-06	kg
Calor, desperdício	0,051837	MJ
Dióxido de enxofre	0,000168	kg

Produtos	Quantidade	Unidade
Emissões para água		
Alumínio, rio	1,23E-08	kg
Bário, rio	2,46E-08	kg
Boro, rio	9,79E-08	kg
Cálcio, íon, rio	1,23E-05	kg
Cloreto, rio	1,95E-05	kg
Cianeto, rio	4,25E-08	kg
Fluoreto, rio	1,09E-06	kg
Hidrocarbonetos aromáticos, rio	1,77E-07	kg
Ferro, ion, rio	1,23E-07	kg
Magnésio, rio	6,13E-06	kg
Manganês, rio	4,91E-08	kg
Mercúrio, rio	2,46E-11	kg
Molibdênio, rio	2,46E-09	kg
Nitrato, rio	2,02E-06	kg
Fósforo, rio	9,50E-08	kg
Potássio, íon, rio	2,46E-06	kg
Selênio, rio	3,68E-09	kg
Prata, ion, rio	1,23E-08	kg
Sódio, íon, rio	7,36E-05	kg
Sulfureto, rio	2,46E-08	kg
Sólidos suspensos, não especificados, rio	2,46E-06	kg
Tolueno, rio	2,45E-07	kg
Xileno, rio	2,46E-08	kg
Alumínio, oceano	2,13E-08	kg
Bário, oceano	4,26E-08	kg
Boro, oceano	1,71E-07	kg
Cálcio, íon, oceano	2,13E-05	kg
Cloreto, oceano	3,40E-05	kg
Cianeto, oceano	7,39E-08	kg
Fluoreto, oceano	1,91E-06	kg
Hidrocarbonetos aromáticos, oceano	3,07E-07	kg
Ferro, íon, oceano	2,13E-07	kg
Magnésio, oceano	1,07E-05	kg
Manganês, oceano	8,53E-08	kg
Mercúrio, oceano	4,26E-11	kg
Molibdênio, oceano	4,27E-09	kg
Nitrato, oceano	3,50E-06	kg
Fósforo, oceano	1,65 E-07	kg
Potássio, íon, oceano	4,26E-06	kg
Selênio, oceano	6,40E-09	kg
Sódio, ion, oceano	0,000128	kg
Estrôncio, oceano	2,99E-07	kg
Sólidos suspensos, não especificados, oceano	4,26E-06	kg
Éter metílico de t-butilo, oceano	1,35E-07	kg
Vanádio, ion, oceano	1,28E-08	kg
Zinco, íon, oceano	7,35E-08	kg
Amônio, íon, rio	1,63E-06	kg
Amônio, íon, oceano	2,85E-06	kg
AOX, halogênio orgânico adsorvível como Cl, rio	3,95E-09	kg
Benzeno, rio	5,58E-09	kg
HAP, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, rio	3,95E-09	kg

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Sulfato, rio	4,99E-05	kg
AOX, halogênio orgânico adsorvível como Cl, oceano	6,87E-09	kg
Benzeno, oceano	9,71E-09	kg
HAP, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, oceano	6,87E-09	kg
Sulfureto, oceano	4,34E-08	kg
Arsênico, íon, rio	2,43E-09	kg
Benzeno, etil-, rio	4,85E-11	kg
Cádmio, íon, rio	2,43E-09	kg
Cromo, íon, rio	5,42E-08	kg
Cobre, íon, rio	2,43E-09	kg
Conduzir, rio	7,68E-08	kg
Níquel, íon, rio	3,2E-09	kg
Estrôncio, rio	1,70E-07	kg
Vanádio, íon, rio	7,28E-09	kg
Zinco, íon, rio	4,19E-08	kg
Arsênico, íon, oceano	4,23E-09	kg
Benzeno, etil-, oceano	8,45E-11	kg
Cádmio, íon, oceano	4,23E-09	kg
Cromo, íon, oceano	9,44E-08	kg
Cobre, íon, oceano	4,23E-09	kg
Conduzir, oceano	1,34E-07	kg
Níquel, íon, oceano	5,58E-09	kg
Sulfato, oceano	8,45E-05	kg
Xileno, oceano	4,22E-08	kg
BOD5, Demanda Biológica de Oxigênio, rio	1,73E-06	kg
DOC, carbono orgânico dissolvido, rio	1,69E-08	kg
TOC, carbono orgânico total, rio	6,83E-06	kg
BOD5, Demanda Biológica de Oxigênio, oceano	3,00E-06	kg
DOC, carbono orgânico dissolvido, oceano	2,93E-08	kg
Tolueno, oceano	4,75E-07	kg
DQO, Demanda química de oxigênio, rio	1,75E-05	kg
DQO, Demanda química de oxigênio, oceano	3,04E-05	kg
Hidrocarbonetos, não especificados, rio	2,32E-08	kg
Nitrogênio, ligação orgânica, rio	1,12E-06	kg
Óleos, não especificados, rio	2,25E-07	kg
Hidrocarbonetos, não especificados, oceano	4,04E-08	kg
Nitrogênio, ligação orgânica, oceano	1,95E-06	kg
Óleos, não especificados, oceano	3,91E-07	kg
Fenol, rio	3,76E-08	kg
Fenol, oceano	6,53E-08	kg
<i>Gasto para tratamento</i>		
Eliminação, lodo de refinaria, 89,5% de água, aterro sanitário / Suíça U	0,00018	kg
Eliminação, lodo de refinaria, 89,5% de água, para incineração de resíduos perigosos / Suíça U	0,000192	kg
Eliminação, catalisador de redução de NOx, 0% de água, depósito subterrâneo / DE U	3,40E-07	kg

**Anexo 3 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA DISTRIBUIÇÃO DO ÓLEO DIESEL**

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
<i>Diesel, em armazenamento regional / RER U</i>	0,93	kg
<i>Materiais / combustíveis</i>		
Diesel, na refinaria / RER U	1	kg
Eletricidade, baixa tensão, produção UCTE, na rede / UCTE U	0,0067	KWh
Óleo combustível leve, queimado na caldeira 100kW, não modulante / Suíça U	0,000621	MJ
Água da torneira, no usuário / RER U	0,000689	kg
Transporte, caminhão > 16t, média da frota / RER U	0,0337	Tkm
Transporte, frete, trilho / RER U	0,032	Tkm
Transporte, cisterna cisterna / RER U	0,047	Tkm
Transporte, oleoduto, onshore / RER U	0,559	Tkm
Transporte, petroleiro transoceânico / OCE U	0,632	Tkm
Distribuição regional, produtos petrolíferos / RER / IU	2,48E-10	P
<i>Emissões para o ar</i>		
Calor, desperdício	0,0241	MJ
<i>Gasto para tratamento</i>		
Tratamento, esgoto, tratamento de águas residuais, classe 2 / Suíça U	6,89E-07	M3
Tratamento, armazenamento de óleo mineral da água da chuva, tratamento de águas residuais, classe 2 / Suíça U	0,000075	M3
Eliminação, resíduos sólidos urbanos, 22,9% de água, aterros sanitários / Suíça U	6,27E-06	kg
Eliminação, lodo separador, 90% de água, incineração de resíduos perigosos / Suíça U	0,000168	kg

**Anexo 4 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO CULTIVO DA CANA DE AÇÚCAR**

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
<b>Cana de açúcar, na fazenda / BR U</b>	1	kg
<i>Recursos</i>		
Dióxido de carbono, no ar	0,44943	kg
Energia, valor calorífico bruto, em biomassa	49.478	MJ
Transformação, de culturas arvenses, não irrigadas	0,14937	M2
Transformação, de arbustos, esclerofilos	0,001463	M2
Transformação, para culturas arvenses, não irrigadas	0,15083	M2
Ocupação, arável, não irrigado	0,13575	M2a
<i>Materiais / combustíveis</i>		
Sulfato de amônio, como N, em armazém regional / RER U	0,00013273	kg
Uréia, como N, no armazém regional / RER U	0,00039819	kg
Fosfato de nitrato de amônio, como N, em armazém regional / RER U	0,00013273	kg

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Fosfato de diamônio, como N, em armazém regional / RER U	0,00011614	kg
Nitrato de potássio, como N, em armazém regional / RER U	8,30E-06	kg
Fosfato de diamônio, como P2O5, em armazém regional / RER U	0,00034615	kg
Único superfosfato, como P2O5, em armazém regional / RER U	0,00022308	kg
Superfosfato triplo, como P2O5, em armazém regional / RER U	0,00012308	kg
Fosfato de rocha, como P2O5, beneficiado, seco, na planta / MA U	0,000038462	kg
Cloreto de potássio, como K2O, em armazém regional / RER U	0,0016259	kg
Sulfato de potássio, como K2O, em armazém regional / RER U	0,000016591	kg
Nitrato de potássio, como K2O, em armazém regional / RER U	0,000016591	kg
Cal, de carbonação, em armazém regional / Suíça U	0,0052036	kg
Vinhaça, de cana-de-açúcar, em fermentação / BR U	1,5083	kg
Ceniza, bagaço, na planta de fermentação / BR U	0,006	kg
Compostos de triazina, em armazém regional / RER U	9,35E-06	kg
Compostos de fenoxi, em armazém regional / RER U	2,31E-06	kg
Glifosato, no armazém regional / RER U	3,32E-06	kg
Diuron, no armazém regional / RER U	7,79E-06	kg
Pesticida não especificada, em armazém regional / RER U	0,000048919	kg
Fertilização, pela emissora / Suíça U	1,20E-06	Ha
Trabalhos de lavoura, trituradores, por grade de dentes de primavera / Suíça U	0,000009605	Ha
Labranza, arado / Suíça U	3,05E-07	Ha
Plantio / Suíça U	1,27E-07	Ha
Aplicação de produtos fitossanitários, por pulverizador de campo / Suíça U	2,63E-02	Ha
Colheita, por colheita completa, beterraba / Suíça U	3,71E-07	Ha
Carregamento de forragem, por trailer auto-carregável / Suíça U	0,000002467	M3
Transporte, trator e reboque / Suíça U	0,0051735	Tkm
Espessura de lama, por vácuo petroleiro / Suíça U	0,00033183	M3
Transporte, caminhão 3.5-16t, média da frota / RER U	0,00071572	Tkm
Transporte, caminhão > 16t, média da frota / RER U	0,012784	Tkm
Transporte, frete, trilho / RER U	0,0051199	Tkm
<i>Emissões para o ar</i>		
Amônia	0,000091825	kg
Monóxido de Dinitrogênio	0,000014887	kg
Óxidos de nitrogênio	3,13E-06	kg
Metano, biogênico	0,000286	kg
Monóxido de carbono, biogênico	0,03	kg
Partículas, > 10 um	0,003	kg
<i>Emissões para água</i>		
Fósforo	3,01E-06	kg
Fósforo	1,06E-06	kg
Nitrato	0,000028356	kg
<i>Emissões para o solo</i>		
Atrazina	9,35E-06	kg
2,4-D	2,31E-06	kg
Glifosato	3,32E-06	kg
Linuron	7,79E-06	kg
Arsênico	2,54E-02	kg
Aldrin	0,000035646	kg
Cádmio	2,81E-08	kg

Produtos	Quantidade	Unidade
Cromo	2,10E-07	kg
Cobre	1,30E-03	kg
Níquel	1,05E-07	kg
Conduzir	2,15E-07	kg
Lata	2,16E-02	kg

## Anexo 5 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO BENEFICIAMENTO DA CANA DE AÇÚCAR

Produtos	Quantidade	Unidade
Bagaço da cana de açúcar	1	kg
Materiais / combustíveis		
<b>Bagaço da cana-de-açúcar, em refinaria de açúcar / BR U</b>	1	kg
Recursos		
Dióxido de carbono, no ar	1,08850965	kg
Materiais / combustíveis		
Cana de açúcar, na fazenda / BR U	0,42917	kg
Dióxido de enxofre, líquido, na planta / RER U	0,00016094	kg
Transporte, caminhão 3.5-20t, média da frota / Suíça U	0,00085834	Tkm
Água da torneira, no usuário / RER U	0,40146	kg
Produtos químicos orgânicos, em planta / GLO U	2,64E-02	kg
Óleo lubrificante, na planta / RER U	0,000007672	kg
Calcário, moído, solto, em planta / Suíça U	0,00044675	kg
Transporte, caminhão > 16t, média da frota / RER U	0,0089225	Tkm
Refinaria de açúcar / GLO / IU	1,15E-08	P
Amônia, líquido, em armazém regional / RER U	4,61E-06	kg
Cloro, líquido, mistura de produção, na planta / RER U	1,84E-07	kg
Cloreto de sódio, em pó, na planta / RER U	2,30E-02	kg
Água, descarbonizada, na planta / RER U	0,00044207	kg
Unidade de Cogen 6400kWth, queima de madeira, construção / Suíça / IU	1,35E-06	P
Unidade de Cogen 6400kWth, queima de madeira, componentes comuns para calor + eletricidade / Suíça / IU	5,42E-10	P
Unidade de Cogen 6400kWth, queima de madeira, componentes para eletricidade somente / Suíça / IU	5,42E-10	P
<i>Emissões para o ar</i>		
Calor, desperdício	0,69229	MJ
Acetaldeído	3,43E-08	kg
Amônia	9,77E-07	kg
Arsênico	5,62E-10	kg
Benzeno	4,58E-07	kg
Benzeno, etil-	1,51E-08	kg
Benzeno, hexacloro	3,63E-15	kg
Benzo (a) pireno	2,52E-06	kg
Bromo	3,37E-08	kg
Cádmio	3,93E-10	kg
Cálcio	3,29E-06	kg

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Monóxido de carbono, biogênico	0,000003526	kg
Cloro	1,01E-03	kg
Cromo	2,22E-05	kg
Cromo VI	2,25E-11	kg
Cobre	1,24E-04	kg
Monóxido de Dinitrogênio	0,000001292	kg
Dioxinas, medidas como 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina	1,56E-14	kg
Flúor	2,81E-08	kg
Formaldeído	6,55E-08	kg
Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificados	4,58E-07	kg
Hidrocarbonetos, alifáticos, insaturados	1,56E-06	kg
Conduzir	1,40E-08	kg
Magnésio	2,03E-07	kg
Manganês	9,61E-08	kg
Mercúrio	1,69E-06	kg
Metano, biogênico	2,19E-07	kg
M-xileno	6,04E-08	kg
Níquel	3,37E-09	kg
Óxidos de nitrogênio	0,000049431	kg
NMVOOC, compostos orgânicos voláteis não metânicos, origem não especificada	3,07E-07	kg
HAP, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	5,54E-09	kg
Particulares, <2,5 um	0,000022618	kg
Fenol, pentacloro	4,08E-08	kg
Fósforo	1,69E-03	kg
Potássio	0,000013144	kg
Sódio	7,30E-07	kg
Dióxido de enxofre	1,40E-06	kg
Tolueno	1,51E-07	kg
Zinco	1,69E-03	kg
<i>Gasto para tratamento</i>		
Eliminação, óleo mineral usado, 10% de água, para incineração de resíduos perigosos / Suíça U	1,84E-06	kg
Eliminação, mistura de cinzas de madeira, pura, 0% de água, para pecuária / Suíça U	0,000074148	kg
Eliminação, resíduos sólidos municipais, 22,9% de água, à incineração municipal / Suíça U	1,84E-06	kg
Eliminação, mistura de cinzas de madeira, pura, 0% de água, à incineração municipal / Suíça U	0,000074148	kg
Eliminação, mistura de cinzas de madeira, puro, 0% de água, para aterro sanitário / Suíça U	0,00014886	kg
Tratamento, esgoto, tratamento de águas residuais, classe 2 / Suíça U	4,42E-07	M3

## **Anexo 6 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO MILHO**

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
<b>Semente de milho IP, na fazenda / Suíça U</b>	<b>1</b>	<b>kg</b>

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
<b>Recursos</b>		
Ocupação, arável, não irrigado	16.667	M2a
Transformação, de culturas arvenses, não irrigadas	23.667	M2
Transformação, de pastagem e prado	0,96667	M2
Transformação, para culturas arvenses, não irrigadas	33.333	M2
Dióxido de carbono, no ar	1.401	kg
Energia, valor calorífico bruto, em biomassa	16.216	MJ
<b>Materiais / combustíveis</b>		
IP de semente de milho, em armazém regional / Suíça U	0,005	kg
Semeadura / Suíça U	0,001167	Ha
Labranza, arado / Suíça U	0,000333	Ha
Trabalhos de lavoura, trituradores, por grade de dentes de primavera / Suíça U	0,001	Ha
Fertilização, pela emissora / Suíça U	0,001	Ha
Aplicação de produtos fitossanitários, por pulverizador de campo / Suíça U	0,000567	Ha
Corte, por cortador rotativo / Suíça U	0,002	Ha
Colheita / Suíça U	0,000333	Ha
Transporte, trator e reboque / Suíça U	0,01	Tkm
Secagem de grãos, baixa temperatura / Suíça U	0,35385	kg
Compostos de triazina, em armazém regional / RER U	0,00022	kg
Compostos de acetamida-anillida, em armazém regional / RER U	0,000197	kg
Organophosphorus-compounds, em armazém regional / RER U	8,33E-05	kg
Eletricidade, baixa voltagem, na grade / Suíça U	0,013	KWh
Nitrato de amônio, como N, em armazém regional / RER U	0,035363	kg
Superfosfato triplo, como P2O5, em armazém regional / RER U	0,021779	kg
Cloreto de potássio, como K2O, em armazém regional / RER U	0,015021	kg
Transporte, frete, trilho / Suíça U	0,017144	Tkm
Transporte, caminhão 20-28t, média da frota / Suíça U	0,017144	Tkm
Transporte, barcaça / RER U	0,1543	Tkm
Transporte, van <3,5t / Suíça U	0,00009	Tkm
Embarque verde IP, até abril / Suíça U	0,000333	Ha
<b>Emissões para o ar</b>		
Calor, desperdício	0,0468	MJ
Monóxido de Dinitrogênio	0,001991	kg
Amônia	0,000859	kg
Óxidos de nitrogênio	0,000418	kg
<b>Emissões para água</b>		
Fósforo	4,78E-05	kg
Nitrato	0,097693	kg
Fosfato	4,29E-05	kg
Fosfato	4,29E-05	kg
Cádmio, íon	1,10E-08	kg
Cromo, íon	1,11E-06	kg
Cobre, íon	8,08E-07	kg
Conduzir	7,95E-08	kg
Níquel, íon	7,83E-07	kg

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Zinco, íon	1,05E-06	kg
Cádmio, íon	1,52E-08	kg
Cromo, íon	6,46E-06	kg
Cobre, íon	9,58E-07	kg
Conduzir	1,62E-08	kg
Zinco, íon	4,62E-06	kg
Emissões para o solo		
Atrazina	0,00022	kg
Metolaclor	0,000197	kg
Glifosato	8,33E-05	kg
Cádmio	2,42E-06	kg
Cromo	5,10E-06	kg
Cobre	-3,2-E-07	kg
Conduzir	4,32E-07	kg
Níquel	2,35E-06	kg
Zinco	8,39E-06	kg

#### **Anexo 7 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO BENEFICIAMENTO MILHO**

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
<b>Semente de milho, em armazém regional / Suíça U</b>	1	kg
Recursos		
Ocupação, área industrial, construída	0,0002	M2a
Ocupação, construção	0,000008	M2a
Transformação, para área industrial, construída	0,000004	M2
Transformação, de desconhecido	0,000004	M2
Materiais / combustíveis		
Semente de milho IP, na fazenda / Suíça U	1	kg
Eletricidade, baixa voltagem, na grade / Suíça U	0,058	KWh
Transporte, caminhão 20-28t, média da frota / Suíça U	0,05	Tkm
Transporte, caminhão > 16t, média da frota / RER U	0,68	Tkm
Transporte, frete, trilho / RER U	0,03	Tkm
Edifício, multi-andares / RER / IU	0,00002	M3
Compostos de ftalamida, em armazém regional / Suíça U	0,0024	kg
Emissões para o ar		
Calor, desperdício	0,209	MJ

#### **Anexo 8 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO ARROZ**

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
<b>Arroz, na fazenda / US U</b>	1	kg
Recursos		
Energia, valor calorífico bruto, em biomassa	16.342	MJ

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Dióxido de carbono, no ar	14.603	kg
Ocupação, arável	14.586	M2a
Transformação, de culturas arvenses	14.586	M2
Transformação, para cultivar	14.586	M2
<b>Materiais / combustíveis</b>		
Semeadura / Suíça U	0,000163	Ha
Labranza, cultivo, cinz / Suíça U	0,000146	Ha
Trabalhos de lavoura, trituradores, por grade de dentes de primavera / Suíça U	0,000729	Ha
Labranza, arado / Suíça U	2,92E-05	Ha
Labranjamento, rolamento / Suíça U	0,000146	Ha
Aplicação de produtos fitossanitários, por pulverizador de campo / Suíça U	0,000948	Ha
Fertilização, pela emissora / Suíça U	0,000438	Ha
Colheita / Suíça U	0,000145	Ha
Secagem de grãos, baixa temperatura / Suíça U	0,1299	kg
Sementes de arroz, em armazém regional / US U	0,020599	kg
Amônia, líquido, em armazém regional / RER U	0,011447	kg
Urea, como N, no armazém regional / RER U	0,003959	kg
Nitrato de amônio, como N, em armazém regional / RER U	0,005468	kg
Fosfato de diamônio, como N, em armazém regional / RER U	0,001712	kg
Fosfato de diamônio, como P2O5, em armazém regional / RER U	0,004376	kg
Cloreto de potássio, como K2O, em armazém regional / RER U	0,003792	kg
Irrigação / US U	10.783	M3
Pesticida não especificado, no armazém regional / Suíça U	3,53E-05	kg
Compostos de acetamida-anillida, em armazém regional / Suíça U	0,000273	kg
N compostos ciclicos, em armazém regional / Suíça U	1,96E-05	kg
Compostos de fenoxilo, em armazém regional / Suíça U	2,57E-05	kg
Benzo [thia] compostos de diazole, em armazém regional / Suíça U	3,98E-06	kg
[Sulfonil] ureia-compostos, no armazém regional / Suíça U	3,51E-07	kg
Compostos de biperidilio, em armazém regional / Suíça U	1,79E-07	kg
Compostos organofosforados, em armazém regional / Suíça U	1,32E-05	kg
Glifosato, no armazém regional / Suíça U	1,42E-05	kg
MCPA, no armazém regional / Suíça U	4,95E-07	kg
[Thio] compostos de carbamato, em armazém regional / Suíça U	0,000166	kg
Compostos de dinitroanilina, em armazém regional / Suíça U	9,68E-06	kg
Transporte, caminhão> 16t, média da frota / RER U	0,004799	Tkm
<b>Emissões para o ar</b>		
Amônia	0,00147	kg
Dióxido de carbono, fóssil	0,006216	kg
Óxidos de nitrogênio	0,00012	kg
Monóxido de Dinitrogênio	0,000569	kg
Metano, biogênico	0,040671	kg
Clorato de sódio	3,51E-06	kg
<b>Emissões para água</b>		
Nitrato	0,007439	kg
Fósforo	0,000152	kg
Fosfato	0,000205	kg
Fosfato	1,02E-05	kg
Cádmio, íon	1,28E-07	kg
Cromo, íon	1,49E-05	kg

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Cobre, íon	1,08E-05	kg
Conduzir	1,83E-06	kg
Mercúrio	1,23E-09	kg
Níquel, íon	9,47E-06	kg
Zinco, íon	1,26E-05	kg
Cádmio, íon	5,51E-09	kg
Cromo, íon	2,71E-06	kg
Cobre, íon	4,00E-07	kg
Conduzir	1,16E-08	kg
Mercúrio	3,95E-11	kg
Zinco, íon	1,74E-06	kg
Emissões para o solo		
Cádmio	9,57E-08	kg
Cromo	-1,40E-05	kg
Cobre	2,20E-05	kg
Conduzir	-1,50E-06	kg
Mercúrio	-1,40E-09	kg
Níquel	-8,50E-06	kg
Zinco	-1,60E-05	kg
Azoxistrobina	3,54E-06	kg
Propiconazol	8,20E-07	kg
2,4-D	1,84E-05	kg
Mecoprop-P	9,37E-07	kg
Éster metílico de bensulfurão	1,24E-06	kg
Bentazona	3,98E-06	kg
Clomazona	1,87E-05	kg
Fenoxaprop	7,81E-08	kg
Glifosato	1,42E-05	kg
Halosulfurão-metilo	3,51E-07	kg
MCPA	4,95E-07	kg
Molinado	0,000105	kg
Paraquat	1,79E-07	kg
Pendimetalina	9,68E-06	kg
Propanil	0,000273	kg
Quinclorac	4,55E-06	kg
Thiobencarb	5,84E-05	kg
Triclopyr	6,32E-06	kg
Carbaryl	1,31E-06	kg
Carbofurano	1,20E-06	kg
Lambda-cialotrina	5,08E-07	kg
Malathion	1,85E-07	kg
Paratião	0,000013	kg

### Anexo 9 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO BENEFICIAMENTO ARROZ

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
<b>Sementes de arroz, em armazém regional / US U</b>	1	kg
Recursos		
Ocupação, área industrial, construída	0,0002	M2a

Ocupação, construção	0,000008	M2a
Transformação, para área industrial, construída	0,000004	M2
Transformação, de desconhecido	0,000004	M2
<b>Materiais / combustíveis</b>		
Arroz, na fazenda / US U	1	kg
Eletricidade, baixa tensão, na grade / US U	0,024	KWh
Transporte, caminhão> 16t, média da frota / RER U	0,2	Tkm
Edifício, multi-andares / RER / IU	0,00002	M3
Compostos de difenil éter, em armazém regional / RER U	0,0001	kg

## Anexo 10 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Etanol, 95% em H2O, de cana-de-açúcar, em planta de fermentação / BR U	0,07	kg
Água, rio	0,015494	M3
<i>Materiais / combustíveis</i>		
Cana de açúcar, na fazenda / BR U	14,89761	kg
Ácido sulfúrico, líquido, na planta / RER U	0,010786	kg
Lime, hidratado, embalado, em planta / Suíça U	0,035659	kg
Transporte, caminhão 3.5-16t, média da frota / RER U	0,023836	Tkm
Transporte, caminhão> 16t, média da frota / RER U	0,095345	Tkm
Transporte, caminhão> 28t, média da frota / Suíça U	0,014921	Tkm
Transporte, frete, trilho / RER U	0,01535	Tkm
Amônia, líquido, em armazém regional / RER U	2,23E-07	kg
Cloro, líquido, mistura de produção, na planta / RER U	8,93E-06	kg
Cloreto de sódio, em pó, na planta / RER U	0,000112	kg
Produtos químicos orgânicos, em planta / GLO U	0,000156	kg
Óleo lubrificante, na planta / RER U	0,002086	kg
Água, descarbonizada, na planta / RER U	0,021426	kg
Unidade de Cogen 6400kWth, queima de madeira, construção / Suíça / IU	6,56E-09	P
Unidade de Cogen 6400kWth, queima de madeira, componentes comuns para calor + eletricidade / Suíça / IU	2,63E-08	P
Unidade de Cogen 6400kWth, queima de madeira, componentes para eletricidade somente / Suíça / IU	2,63E-08	P
Planta de fermentação com etanol / Suíça / IU	6,61E-10	P
<i>Emissões para o ar</i>		
Acetaldeído	1,66E-06	kg
Amônia	4,74E-05	kg
Arsênico	2,72E-08	kg
Benzeno	2,48E-05	kg
Benzeno, etil-	8,17E-07	kg
Benzeno, hexacloro	1,96E-13	kg
Benzo (a) pireno	1,36E-08	kg
Bromo	1,63E-06	kg
Cádmio	1,91E-08	kg

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Cálcio	0,000159	kg
Monóxido de carbono, biogênico	0,000171	kg
Cloro	4,90E-06	kg
Cromo	1,08E-07	kg
Cromo VI	1,09E-09	kg
Cobre	5,99E-07	kg
Monóxido de Dinitrogênio	6,26E-05	kg
Dioxinas, medidas como 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina	8,44E-13	kg
Flúor	1,36E-06	kg
Formaldeído	3,54E-06	kg
Calor, desperdício	26,11402	MJ
Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificados	2,22E-05	kg
Hidrocarbonetos, alifáticos, insaturados	7,57E-05	kg
Conduzir	6,78E-07	kg
Magnésio	9,83E-06	kg
Manganês	4,66E-06	kg
Mercúrio	8,17E-09	kg
Metano, biogênico	1,18E-05	kg
M-xileno	3,27E-06	kg
Níquel	1,63E-07	kg
Óxidos de nitrogênio	0,002396	kg
NMVOC, compostos orgânicos voláteis não metânicos, origem não especificada	1,49E-05	kg
HAP, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	2,69E-07	kg
Particulares, <2,5 um	0,001222	kg
Fenol	2,21E-10	kg
Fósforo	8,17E-06	kg
Potássio	0,000637	kg
Sódio	3,54E-05	kg
Dióxido de enxofre	6,78E-05	kg
Tolueno	8,17E-06	kg
Zinco	8,17E-06	kg
Dióxido de carbono, biogênico	4.685.691	kg
<i>Gasto para tratamento</i>		
Eliminação, óleo mineral usado, 10% de água, para incineração de resíduos perigosos / Suíça U	8,93E-05	kg
Eliminação, mistura de cinzas de madeira, pura, 0% de água, para pecuária / Suíça U	0,003594	kg
Eliminação, mistura de cinzas de madeira, pura, 0% de água, à incineração municipal / Suíça U	0,003594	kg
Eliminação, mistura de cinzas de madeira, puro, 0% de água, para aterro sanitário / Suíça U	0,007214	kg
Eliminação, resíduos sólidos municipais, 22,9% de água, à incineração municipal / Suíça U	8,93E-05	kg
Tratamento, esgoto, tratamento de águas residuais, classe 2 / Suíça U	2,14E-05	M3

## **Anexo 11 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DOS TRANSPORTES**

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Transporte, caminhão 16-32t, EURO3 / RER U	1,00	Tkm

**Materiais / combustíveis**

Operação, caminhão 16-32t, EURO3 / RER U	0,17346	Km
Caminhão 28t / RER / IU	3,21-E-07	parte
Manutenção, caminhão 28t / Suíça / IU	3,21-E-07	parte
Estrada / Suíça / IU	0,00129	metro x ano
Operação, manutenção, estrada / Suíça / IU	0,00020	metro x ano
Gasto para tratamento		
Eliminação, caminhão 28t / Suíça / IU	3,21-E-07	parte
Eliminação, estrada / RER / IU	0,00129	metro x ano

**Anexo 12 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA PLANTA DE FABRICAÇÃO**

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Explosivos, ANFO, na planta / Suíça U	1	kg
Materiais / combustíveis		
Alumínio, mistura de produção, na planta / RER U	0,08	kg
Nitrato de amônio, como N, em armazém regional / RER U	0,161	kg
Nitrato de cálcio, como N, em armazém regional / RER U	0,0566	kg
Placa ondulada, fibra mista, parede única, na planta / RER U	0,002	kg
Diesel, queimado na máquina de construção / GLO U	0,0214	MJ
Eletricidade, média tensão, na grade / Suíça U	0,0863	KWh
Paletes EUR-flat / RER U	0,0004	P
Planta de produção explosiva / Suíça / IU	6,67E-09	P
Vidro plano, não revestido, na planta / RER U	0,03	kg
Máquina industrial, pesada, não especificada, na planta / RER / IU	0,000167	kg
Óleo combustível leve, queimado na caldeira 100kW, não modulante / Suíça U	0,156	MJ
Papel, madeira, LWC, na fábrica / RER U	0,0222	kg
Amido de batata, na planta / DE U	0,009	kg
Água da torneira, no usuário / RER U	5,64	kg
Transporte, frete, trilho / Suíça U	0,05	Tkm
Transporte, caminhão 20-28t, média da frota / Suíça U	0,0004	Tkm
Transporte, caminhão > 16t, média da frota / RER U	0,05	Tkm
Eletricidade / calor		
Transporte, coleta de lixo municipal, caminhão 21t / Suíça U	0,0756	Tkm
Emissões para o ar		
Calor, desperdício		0,311
Gasto para tratamento		
Eliminação, resíduos sólidos municipais, 22,9% de água, à incineração municipal / Suíça U	0,00606	kg
Eliminação, embalagem em papelão, 19,6% de água, à incineração municipal / Suíça U	0,0015	kg
Tratamento, esgoto, tratamento de águas residuais, classe 3 / Suíça U	0,00556	M3

### Anexo 13 – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA DETONAÇÃO

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Blasting / RER U	1	kg
Materiais / combustíveis		
Explosivos, tovox, na planta / Suíça U	1	kg
Emissões para o ar		
Alumínio	0,151	kg
Amônia	0,059	kg
Monóxido de carbono, fóssil	0,077	kg
Óxidos de nitrogênio	0,331	kg
agua	0,232	kg
NMVOOC, compostos orgânicos voláteis não metânicos, origem não especificada	0,06	kg
Particulares, <2,5 um	0,0054	kg
Partículas,> 10 um	0,0003	kg
Partículas,> 2.5 um e <10um	0,0003	kg