

**MARIA DA GRAÇA CARRARO BUSICA POPI**

**Avaliação da efetividade de arranjos processuais na melhoria do desempenho ambiental da produção de álcool laurílico etoxilado sulfatado**

São Paulo  
2015

**MARIA DA GRAÇA CARRARO BUSICA POPI**

**Avaliação da efetividade de arranjos processuais na melhoria do desempenho ambiental da produção de álcool laurílico etoxilado sulfatado**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
como requisito obrigatório para obtenção  
do título de Mestre em Engenharia

São Paulo  
2015

**MARIA DA GRAÇA CARRARO BUSICA POPI**

**Avaliação da efetividade de arranjos processuais na melhoria do desempenho ambiental da produção de álcool laurílico etoxilado sulfatado**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
como requisito obrigatório para obtenção  
do título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:  
Engenharia Química

Orientador:  
Prof. Dr. Luiz Alexandre Kulay

São Paulo  
2015

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência do seu orientador.

São Paulo, 10 de novembro de 2015

Assinatura do autor: \_\_\_\_\_



Assinatura do orientador: \_\_\_\_\_



### Catálogo-na-publicação

Popi, Maria da Graça Carraro Busica

Avaliação da efetividade de arranjos processuais na melhoria do desempenho ambiental da produção de álcool laurílico etoxilado sulfatado / M. G. C. B. Popi – versão corr. – São Paulo, 2015.  
161 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Ciclo de vida (avaliação) 2.Processos químicos 3.Álcool (Produção; Aspectos ambientais) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

Para meus queridos pais, maiores  
incentivadores e fontes de inspiração para  
encarar e superar mais este desafio.

Para o amor da minha vida, Fredy, que  
sempre me apoiou com tanto amor, carinho  
e paciência.

## **AGRADECIMENTOS**

Não poderia deixar de começar agradecendo a meu grande mestre, Prof. Dr. Luiz Alexandre Kulay, por ter sido, além de meu orientador, um amigo, conselheiro, apoiador e por ter acreditado em mim em absolutamente todos os momentos.

Ao meu amado Fredy que sempre me deu forças para continuar e confiou em minha capacidade quando eu mesma duvidava, com muita paciência, carinho e amor.

Agradeço também imensamente aos meus pais, Nicolaus e Valquiria, por todas as palavras de incentivo, pela confiança em mim depositada e pelo colo sempre disponível para todos os momentos.

À minha querida irmã Ana Carolina e minha amada sobrinha Luisa, que ansiando por companhia para brincar, precisou entender meus momentos de ausência.

À minha cunhada Kelly e meus sogros, que sempre torceram por mim e me enviaram pensamentos positivos em todos os momentos.

A todos os amigos do GP2, em especial à Ana, à Letícia e ao Alex, pelo tempo disponibilizado, apoio e incentivo sempre que precisei, e ao estimado Professor Gil, pelos seus sábios conselhos.

Aos colegas da Oxiteno, que me apoiaram e torceram pelo meu sucesso.

Por fim, não menos importante, agradeço aos meus anjos da guarda e aos meus anjos felinos, Teca, Lucy e July, pela companhia inseparável e por todas as boas vibrações e energias.

Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia. E se não ousarmos fazê-la, teremos ficado para sempre à margem de nós mesmos.

(Fernando Pessoa)

## RESUMO

Tensoativo aniônico com amplo espectro de utilização, o álcool laurílico etoxilado sulfatado (SLES) é um dos álcoois graxos mais consumidos nos segmentos de cosméticos e detergentes. Da forma como esse processamento ocorre no Brasil, a cadeia de produção compreende transformações nos segmentos agrícola e industrial, cujos consumos de recursos e geração de rejeitos podem proporcionar impactos ambientais significantes, que devem ser conhecidos e dimensionados. Este estudo realizou uma avaliação do desempenho ambiental da produção de SLES para o arranjo tecnológico médio praticado no país, utilizando, para tanto, a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Os resultados obtidos mostraram que os estágios responsáveis por impactos ambientais mais significativos são: (i) processamento de álcool laurílico a partir de óleo de palmiste produzido na Ásia; (ii) geração de energia térmica a partir de queima de combustíveis fósseis para uso em operações diversas nos processos industriais; e (iii) a produção de óxido de etileno a partir de ativos petroquímicos. A partir desta avaliação foram então concebidas e modeladas alternativas de processo cuja introdução na cadeia de produção resultaria, ao menos em tese, em melhoria do desempenho ambiental global do processamento de SLES. Cada solução foi então organizada dentro de um cenário específico; são eles: Cenário I: obtenção de SLES a partir de óleo de palmiste produzido no Brasil; Cenário II: produção de SLES a partir de álcool laurílico sintético; Cenário III: geração de energia térmica para os estágios industriais de processo a partir de queima de biomassa; e Cenário IV: produção de SLES tendo como ativo de formulação óxido de etileno derivado de cana-de-açúcar. A técnica de ACV foi, mais uma vez aplicada à situação com vistas a examinar os efeitos, em âmbito sistêmico, proporcionados pelas modificações. O estudo conclui que a substituição do óleo de palmiste importado da Ásia por equivalente produzido no Brasil ou mesmo, por forma alternativa derivada de fonte sintética traria melhorias no desempenho ambiental em praticamente todas as categorias de impacto analisadas. Já a alternativa de uso de biomassa para produção de energia térmica apresenta melhores desempenhos em termos de Mudanças Climáticas e Depleção de Recursos Fósseis, mas resultam em efeitos negativos em termos de Ocupação do Solo, Eutrofização e Ecotoxicidade em comparação à situação original. Por fim, a incorporação de óxido de etileno de origem renovável ao processo não se reverteu em vantagens expressivas para o desempenho ambiental global do processo em nenhuma das categorias de impacto avaliadas. Uma análise ampla efetuada em termos de Balanço de CO<sub>2</sub> para os cinco cenários avaliados demonstrou que a incorporação de ativos de fonte renovável resulta em alteração do perfil de impactos quanto à categoria de Mudanças Climáticas entre os cenários com relação às estimativas originais. Isso se deve essencialmente à incorporação ao balanço de parcelas referentes à fixação de CO<sub>2</sub> do ar via fotossíntese e emissões de CO<sub>2</sub> biogênico ocorridas durante o estágio agrícola, que passaram a ser consideradas por conta desta análise.

Palavras-chave: Álcool laurílico etoxilado sulfatado. Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Desempenho ambiental. Melhoria de processo.



## ABSTRACT

Sodium lauryl ether sulfate (SLES), a multi-purpose anionic surfactant, is one of the most used fatty alcohols for cleaning and personal care products. The chain of production in Brazil involves transformations in the agricultural and industrial sectors, tapping resources and generating waste, and can lead to significant environmental impact yet to be known and quantified. The present study assessed the environmental performance of the production of SLES for the average technological disposition in Brazil, using the methodology of Life Cycle Assessment (LCA). Results show that the stages responsible for the most significant environmental impact are: (i) processing of lauryl alcohol from palm kernel oil produced in Asia; (ii) generation of thermal energy from burning fossil fuel in various operations of the industrial process; and (iii) production of ethylene oxide from petrochemical sources. From this assessment, we designed alternative processes that if introduced in the chain of production, would in theory result in better global environmental performance of SLES processing. Each solution was then organized within specific scenarios, namely: Scenario I: obtainment of SLES from palm kernel oil produced in Brazil; Scenario II: production of SLES from synthetic lauryl alcohol; Scenario III: generation of thermal energy for the industrial stages of processing from burning biomass; and Scenario IV: production of SLES from ethylene oxide derived from sugarcane. LCA modeling was applied to examine the systemic effects made by these modifications. The study concludes that environmental performance improvements in virtually all impact categories analyzed could be achieved by replacing palm kernel oil imported from Asia by an equivalent produced in Brazil, or even by an alternative form derived from a synthetic source. The use of biomass for thermal energy, on the other hand, has better performance in terms of Climate Change and Fossil Depletion, but negative effects in terms of Agricultural Land Occupation, Eutrophication, and Ecotoxicity when compared to the original scenario. Finally, the incorporation of renewable origin ethylene oxide did not lead to expressive advantages for global environmental performance in any of the categories. A wide analysis of CO<sub>2</sub> Balance for the five analyzed scenarios showed that the incorporation of renewable sources would result in improvements in Climatic Change when compared to the original estimations. This is due, essentially, to the incorporation of the balance of percentages of air CO<sub>2</sub> fixation through photosynthesis and biogenic CO<sub>2</sub> emissions that occur during the agricultural stage, which are taken into account in this analysis.

**Keywords:** Sodium lauryl ether sulfate. Life Cycle Assessment (LCA). Environmental Performance. Process Improvement.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	OBJETIVOS .....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA .....	17
3.1	Álcool Graxo Etoxilado Sulfatado.....	17
3.1.1	Panorama de Mercado .....	19
3.1.2	Tecnologias de processamento.....	21
3.1.3	Impactos ambientais associados ao processo .....	28
3.2	Avaliação de Ciclo de Vida .....	30
3.2.1	Conceitos e Definições.....	30
3.2.2	Histórico e aspectos normativos da ACV .....	31
3.2.3	Método de ACV .....	33
3.3	Estudos de avaliação ambiental associados a álcool graxo etoxilado sulfatado e detergentes .....	41
4	MÉTODO DE TRABALHO .....	43
5	DIAGNÓSTICO INICIAL.....	46
5.1	Definição de Objetivo e Escopo .....	46
5.1.1	Definição de objetivo .....	46
5.1.2	Definição de escopo .....	46
5.2	Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do Álcool Laurílico Etoxilado Sulfatado	54
5.2.1	Cultivo de palma e extração de óleo de palmiste .....	55
5.2.2	Produção de álcool laurílico etoxilado 3EO sulfatado 70% (SLES 3EO) ..	58
5.3	Avaliação de Impactos Ambientais .....	58
6	PROPOSIÇÃO DE AÇÕES DE MELHORIA DE DESEMPENHO AMBIENTAL.....	62
6.1	Estudo de Cenários Alternativos.....	62
6.2	Cenário I – PKO Brasil.....	63
6.2.1	Definição de escopo .....	63
6.2.2	Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do SLES 3EO – Cenário I.....	68
6.2.3	Produção SLES 3EO – Cenário I .....	72
6.3	Cenário II – Álcool laurílico sintético .....	73
6.3.1	Definição de escopo .....	73
6.3.2	Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do SLES 3EO – Cenário II.....	77

6.3.3	Produção de SLES 3EO – Cenário II .....	78
6.4	Cenário III – Energia térmica a partir de biomassa .....	78
6.4.1	Definição de escopo .....	78
6.4.2	Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do SLES 3EO – Cenário III.....	82
6.4.3	Produção de SLES 3EO – Cenário III .....	82
6.5	Cenário IV – EO verde.....	83
6.5.1	Definição de escopo .....	83
6.5.2	Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do SLES 3EO – Cenário IV .....	87
6.5.3	Produção de SLES 3EO – Cenário IV .....	87
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
7.1	Avaliação efetividade – Cenário I – PKO Brasil .....	88
7.2	Avaliação efetividade – Cenário II – Álcool laurílico sintético.....	92
7.3	Avaliação efetividade – Cenário III – Energia térmica a partir de biomassa .....	94
7.4	Avaliação efetividade – Cenário IV – EO verde .....	96
7.5	Considerações sobre Balanço de Carbono.....	99
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	102
9	REFERÊNCIAS .....	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Reação de obtenção de álcoois graxos pelo processo Ziegler .....	23
Figura 2 - Reação de Hidroformilação de olefinas .....	25
Figura 3 - Reação de Transesterificação de triglicerídeos .....	27
Figura 4 – Fluxo esquemático representando o ciclo de vida de um produto .....	31
Figura 5 - Fases de um estudo de ACV .....	33
Figura 6 - Fluxograma de processo de produção de álcoois graxos .....	48
Figura 7 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário Base .....	49
Figura 8 - Perfil de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO – Cenário Base.....	59
Figura 9 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário I.....	64
Figura 10 - Modelo extração de óleo de palmiste e cogeração de energia: visão geral .....	69
Figura 11 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário II.....	74
Figura 12 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário III.....	79
Figura 13 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário IV .....	84
Figura 14 – Comparação de perfis de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO.....	89
Figura 15 – Comparação de perfis de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO.....	93
Figura 16 – Comparação de perfis de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO.....	95
Figura 17 – Comparação de perfis de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO.....	97
Figura 18 – Balanço de Carbono para a produção de 1t de SLES 3EO .....	100

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de álcoois graxos por tipo de derivados – 2012.....	18
Tabela 2 – Volumes de produção e consumo de Álcoois Graxos .....	20
Tabela 3 – Distribuições carbônicas dos óleos utilizados como matérias-primas para produção de álcoois graxos.....	26
Tabela 4 – Inventários de Referência <i>Ecoinvent</i> para cultivo de palma e extração PKO.....	57
Tabela 5 – Inventários de Referência <i>Ecoinvent</i> para transportes .....	57
Tabela 6 – Inventários de Referência <i>Ecoinvent</i> para produção de SLES 3EO.....	58
Tabela 7 - Perfil de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO – Cenário Base.....	59
Tabela 8 – Cenários alternativos testados para o processamento de 1 t de SLES 3EO .....	63
Tabela 9 – Elementos principais do balanço energético do sistema de cogeração energia - Cenário I.....	69
Tabela 10 – Inventários construídos e referências para Cenário I .....	71
Tabela 11 – Inventários de Referência <i>Ecoinvent</i> para transportes .....	72
Tabela 12 – Inventários adaptados e referências para Cenário II .....	77
Tabela 13 – Inventários de Referência <i>Ecoinvent</i> para transportes .....	77
Tabela 14 – Inventários construídos e referências para Cenário III .....	82
Tabela 15 – Inventários construídos e referências para Cenário IV .....	87
Tabela 16 – Impactos ambientais para a produção de 1t de SLES 3EO .....	88
Tabela 17 – Impactos ambientais para a produção de 1t de SLES 3EO .....	92
Tabela 18 – Impactos ambientais para a produção de 1t de SLES 3EO .....	94
Tabela 19 – Impactos ambientais para a produção de 1t de SLES 3EO .....	96
Tabela 20 – Balanço de Carbono para a produção de 1t de SLES 3EO.....	99

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial o desenvolvimento de tecnologias industriais vem intensificando transformações sobre o meio ambiente, não apenas pela natureza das atividades que a constituem, mas também, por conta dos impactos que dela decorrem. A depleção de recursos naturais e a poluição do ar, da água e do solo que resultam dessas intervenções tornaram-se objeto de preocupação crescente por parte da sociedade em geral após o alerta feito pelo Relatório de Brundtland (WCED, 1987).

O fato de não ser possível executar qualquer atividade industrial sem a geração de efeitos sobre o entorno induz à gestão ambiental. Em linhas bastante gerais esta prática predispõe identificar, quantificar e, com base no diagnóstico obtido, atuar sobre os focos de impacto ambiental com vistas a mitigá-los, reduzi-los, minimizá-los ou, na condição mais desejável, eliminá-los.

A gestão ambiental ocorre a partir de dois enfoques clássicos, mas não mutuamente excludentes. O primeiro deles, conhecido como enfoque reativo, concentra ações no atendimento de padrões legais a partir da implantação de ações de controle ambiental. O segundo enfoque, denominado de proativo, parte da premissa de que a legislação pertinente deve necessariamente ser atendida, mas amplia seu leque de atuação ao incorporar condutas e posturas que resultem no aumento de eficiências de processo.

Como resultado dessa mudança de paradigma constata-se o estabelecimento de um ciclo virtuoso de causa e efeito que se baseia na redução de desperdícios, de impactos ambientais que destes decorrem e, por conseguinte, de custos associados a estes últimos.

Aspectos como competitividade, globalização, e pressão de mercado vêm aos poucos influenciando o perfil comportamental das empresas. Há já indícios de que a forma de gestão ambiental exercitada por algumas das organizações brasileiras – em particular aquelas com potencial para competir por nichos de mercados internacionais, e/ou que se compõem em associações classistas de expressão – vem convergindo para uma postura proativa, fundamentando-se em modelos de responsabilidade ambiental.

Muito embora com vertentes variadas, a responsabilidade ambiental pode demonstrar contornos mais efetivos ao ser praticada de forma a priorizar e investir

em tecnologias mais limpas, no uso consciente de recursos naturais e, por fim, no desenvolvimento de produtos mais sustentáveis.

Em termos de amplitude de atuação é desejável que esta filosofia seja aplicada em âmbito sistêmico, com vistas a influenciar de maneira uniforme toda a cadeia de valor de um bem ou serviço com os mesmos paradigmas ambientais e, assim, agregar valor à estratégia de governança corporativa de todo o segmento.

O setor químico possui grande potencial propulsor de mudanças neste sentido, visto que fornece matérias-primas e intermediários para diversos setores produtivos, da agricultura ao aeroespacial.

Há diversos produtos químicos com potencial para implantação de ações visando mudanças de paradigma como as supracitadas, dentre estes, aqueles cujas tecnologias são consagradas com cadeias produtivas bem constituídas e que têm possibilidade de redução sistêmica de impactos ambientais ao permear diferentes elos da cadeia produtiva.

Insumos para o setor de detergentes - especialmente os tensoativos, que representam um consumo médio mundial de 8,2 milhões de toneladas/ano (JANSHEKAR *et al.*, 2013) - se destacam como uma classe importante de produtos ao serem utilizados para fabricação de bens de consumo de uso cotidiano, pois apresentam grande potencial de disseminação de conceitos de responsabilidade ambiental às suas cadeias, inclusive ao consumidor final.

Os álcoois graxos etoxilados sulfatados são os tensoativos mais utilizados em aplicações do segmento de detergentes e configuram-se como interessantes objetos de estudo para melhoria de desempenho ambiental, pois suas tecnologias são consagradas e suas cadeias bem constituídas, inclusive com potencial de associação com outro segmento de base, como o agrícola por exemplo.

O exercício da abordagem sistêmica, sobretudo para efeito de identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental – um dos passos essenciais da gestão ambiental proativa – predispõe a utilização de ferramentas consistentes e precisas. Neste sentido, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) aparece como alternativa atraente e efetiva, por ser capaz de quantificar impactos ambientais proporcionados pelo exercício de certa função por um produto, processo ou serviço, ao longo de todo seu ciclo de vida.

A ACV é uma técnica de diagnóstico e, é exatamente nessa característica, que reside seu principal benefício: o de possibilitar, a partir dos resultados que gera, a

incorporação da variável ambiental no processo de tomada de decisão nos níveis operacional, tático e estratégico das corporações.

Este processo se dá principalmente pela possibilidade que a metodologia permite de comparação entre diferentes alternativas de processamento potencialmente utilizáveis para a fabricação de um mesmo produto, que incluem, não apenas variantes tecnológicas, mas também de matérias-primas, de uso de utilidades e até, por associação, de logísticas de distribuição de insumos e mesmo do produto acabado.



## 2 OBJETIVOS

Tendo em vista o contexto apresentado no capítulo anterior, o presente estudo tem por objetivo geral avaliar os efeitos ambientais proporcionados pela implementação de variações processuais realizadas sobre a cadeia produtiva de álcoois graxos etoxilados sulfatados.

Como propósitos complementares, mas nem por isso menos importantes, este estudo busca ainda:

- Fornecer subsídios, no que se refere ao trato da variável ambiental, que permitam fundamentar ações de tomada de decisão gerencial associada a esse processamento;
- Avaliar a efetividade ambiental de ações potenciais de melhoria de desempenho do processo supramencionado previamente à sua implantação;
- Contribuir para a composição do banco de dados brasileiro de apoio a estudos de ACV.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Álcool Graxo Etoxilado Sulfatado

Álcoois graxos etoxilados sulfatados (AES) são os tensoativos aniônicos mais utilizados para aplicações em detergentes. Tais intermediários de processo são obtidos a partir etoxilação e posterior sulfatação de álcoois graxos alifáticos primários de alto peso molecular, contendo doze ou mais átomos de carbono por molécula e possuindo no mínimo 35% de sua cadeia linear (STACHE, 1996; JANSHEKAR, GREINER E INOBUCHI, 2013).

A caracterização dos álcoois graxos – em primários ou secundários; lineares ou ramificados; saturados ou insaturados – ocorre no curso dos processos de produção e a partir das matérias-primas utilizadas. Por exemplo, álcoois graxos de origens naturais, como óleos e gorduras, ou obtidos a partir do processo Ziegler – que sintetiza álcoois a partir de olefinas - são lineares, primários e com número par de carbonos na cadeia (NOWECK E GRAFAHREND, 2000).

As principais propriedades dos AES são: baixa sensibilidade à dureza de água, alta solubilidade e boa estabilidade em formulações líquidas armazenadas em baixas temperaturas (SMULDERS E SUNG, 2000).

Os tensoativos (ou surfactantes) podem ser divididos em quatro categorias, tendo em conta a carga elétrica transportada pela porção da molécula que possua atividade de superfície. São elas: catiônicos (ou carregados positivamente: +); aniônicos (ou seja, de carga negativa: -); não iônicos (sem carga); e os anfotéricos (cujas cargas variam com o pH do meio).

Dependendo das derivações sofridas pelos álcoois graxos, estes podem ser enquadrados como tensoativos não-iônicos (como é o caso dos álcoois graxos etoxilados), ou mesmo, como tensoativos aniônicos (caso dos álcoois graxos etoxilados sulfatados) (OS, 1998).

A classe composta pelos aniônicos representa a maior parcela de surfactantes comerciais, tanto em volume de produção, tanto em termos de valor econômico, sendo suas aplicações direcionadas principalmente ao mercado de processamento de detergentes domésticos (JANSHEKAR, GREINER E INOBUCHI, 2013).

Segundo Janshekar *et al.* (2013), as principais aplicações dos álcoois ocorrem em produtos lava-roupas (nas formas em pó e líquida), lava-louças (para máquinas e lavagem manual) e em limpadores domésticos diversos.

Os álcoois etoxilados sulfatados são considerados como os tensoativos aniônicos mais importantes da categoria de produtos sulfatados sendo empregados, em sua maioria, na formulação de detergentes líquidos e de cosméticos - como shampoos e sabonetes líquidos - e neste caso sempre em combinação com outros tensoativos (OS, 1998; ZAH E HISCHIER, 2007).

Em aplicações de detergentes, agentes tensoativos não iônicos complementam as propriedades de seus homólogos aniônicos mais frequentemente utilizados. Assim, muitas formulações desses produtos constituem-se de misturas de ativos de ambas as classes. Os surfactantes não iônicos podem ser divididos em éteres (que formam o maior de seus subgrupos), ésteres, amidas e surfactantes variados. Os éteres, de sua parte, são ainda classificados em: etoxilados de álcool linear (AE), etoxilados de alquifenol (APE), copolímeros em bloco de óxido de etileno / óxido de propileno (EO / PO) e outros éteres diversos (JANSHEKAR *et al.*, 2013).

A Tabela 1 traz quantificados os principais derivados de álcoois graxos com base no consumo mundial do intermediário em 2012 e uma projeção de crescimento médio até 2017. Destaca-se dentre os dados que os álcoois etoxilados e etoxilados sulfatados somam 69% de todo o volume de álcool graxo consumido para a síntese de derivados.

**Tabela 1 - Consumo de álcoois graxos por tipo de derivados – 2012**

<b>Derivado</b>	<b>Volume, mil toneladas</b>	<b>Taxa de crescimento médio anual (2012-2017), %</b>
Álcoois etoxilados (AE)	894	4,1
Álcoois etoxilados sulfatados (AES)	610	3,1
Álcoois sulfatados (AS)	262	0,5
Álcoois livres (inclusive cadeias C20+)	131	3,5
Outros derivados	283	2,7
<b>Total</b>	<b>2180</b>	<b>3,2</b>

Fonte: (GUBLER E INOBUCHI, 2013)

### 3.1.1 Panorama de Mercado

Nos últimos anos a produção de álcoois graxos para o segmento de detergentes diminuiu em regiões desenvolvidas do hemisfério norte – América do Norte, Europa Ocidental e Japão – à medida que novas fábricas foram instaladas em países localizados em regiões em desenvolvimento como a África do Sul, Brasil, Malásia e Indonésia, além da China. Ao que tudo indica essa tendência deverá se manter ao longo dos próximos anos (GUBLER E INOBUCHI, 2013).

Em países da América Latina como México, Brasil, Venezuela e Argentina, o consumo de surfactantes em 2012 foi de aproximadamente 1,1 milhão de toneladas, gerando uma receita da ordem de US\$ 2,8 bilhões. Some-se a esse desempenho o fato de que, durante o quadriênio 2009-2012, o consumo de surfactantes na região cresceu a uma taxa média anual de cerca de 5% (JANSHEKAR *et al.*, 2013).

O Brasil foi o principal responsável pela conquista desse crescimento. A demanda por surfactantes no país foi impulsionada, não apenas pelo aumento do poder aquisitivo do consumidor no período em referência e pela compra de produtos que integram a classe *premium* – ou seja, de maior qualidade e valor agregado – mas também devido a uma mudança expressiva de perfil de produto, a partir da qual os detergentes lava-roupas em pó passaram a dar lugar aos homólogos na forma líquida.

Essa variação resulta em aumento de consumo de surfactantes, uma vez que a formulação dos detergentes líquidos exige a incorporação de volumes mais elevados dessa classe de ativos. Segundo Janshekar *et al.* (2013) a aceitação dos detergentes líquidos pelo consumidor brasileiro foi bastante rápida. Tanto isso é verdade que o mercado de produtos para lavagem de roupas, que se compunha majoritariamente por detergentes em pó até 2010, passou a contabilizar cerca de 15% de derivados líquidos já em 2012.

A Oleoquímica Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. é a única produtora de álcoois graxos na América Latina. A unidade, localizada no estado da Bahia, tem uma capacidade instalada de produção de 77 mil toneladas e entrou em operação em setembro de 2008.

Ainda para o ano de 2015 a empresa norte-americana Biotechnological LS9, que é hoje parte do Renewable Energy Group, planeja a construção de mais uma usina de álcool graxo no Brasil, nesse caso com 68 mil toneladas de capacidade anual. A

unidade irá provavelmente ficar baseada em São Paulo. A LS9 tem a intenção de produzir álcool a partir de biomassa celulósica via fermentação microbiana e, conseqüentemente, a oferta de bagaço de cana-de-açúcar na região passa a ser fator decisivo para seleção do local de implantação da unidade.

A Codexis Inc., outra corporação norte-americana do setor de especialidades bioquímicas, estuda também a possibilidade de iniciar a produção comercial de álcoois graxos no Brasil ainda em 2015. A se confirmarem essas tendências, a oferta de álcoois graxos no Brasil registrada em 2012 – de cerca de 102 mil toneladas, das quais cerca de 35 mil toneladas foram adquiridas via importação – mais do que dobraria seu potencial em um período de apenas cinco anos. (JANSHEKAR, GREINER E INOBUCHI, 2013)

A Tabela 2 sumariza volumes de produção e consumo de álcoois graxos em 2012 por região do planeta. Além disso, o mesmo dispositivo traz uma estimativa de taxa de crescimento para esses mesmos ativos para o ano de 2017. A análise ocorre para os álcoois C12-C16, de alto grau de linearidade, e C16-C20, que em geral são absorvidos pelos segmentos de detergentes, cuidados pessoais e petróleo.

**Tabela 2 – Volumes de produção e consumo de Álcoois Graxos**

	Produção, 2012 (milhões de toneladas)			Consumo Total, 2012 (milhões de toneladas)	Taxa média anual de crescimento de consumo, 2012-2017
	Natural	Sintético	Total		
América do Norte	114	332	446	523	2,2
América Central e Latina	67	-	67	102	4,8
Europa	377	176	553	629	9,5
Oriente Médio	-	-	-	16	19,5
África	-	108	108	16	9,5
Ásia	994	11	1005	893	3,4
Total	1552	627	2179	2179	3,2

Fonte: adaptado de Gubler e Inoguchi (2013)

Destaca-se que a Ásia seguirá sendo a zona mais efetiva em termos de produção e consumo das espécies analisadas, muito embora não apresente a maior perspectiva de crescimento. Essa inclusive fica para o Oriente Médio (19,5%), com base na expectativa de entrada de operação de uma planta na Arábia Saudita nos próximos anos (GUBLER E INOBUCHI, 2013).

Ainda segundo Gubler e Inoguchi (2013), o acréscimo de capacidade deriva quase que integralmente do processamento de álcoois de origem natural que se desenvolve no sul e sudeste da Ásia e na China, regiões em que unidades com grandes capacidades de produção foram incorporadas ao patrimônio durante o período 2007-2012. É importante reconhecer que o agente motivador para implantação dessas novas unidades não está nos atrativos econômicos da produção industrial de álcool, mas sim, daqueles decorrentes dos cultivos agrícolas, que por sua vez, são impulsionados por subsídios dados ao segmento de biocombustíveis.

### **3.1.2 Tecnologias de processamento**

Os álcoois graxos podem ser produzidos em escala econômica de diversas maneiras, no entanto, os produtos resultantes dessas transformações são em geral classificados de acordo com a origem das matérias-primas utilizadas para produzi-los.

Há duas categorias de enquadramento: (i) os derivados de gorduras e de óleos originários de plantas ou animais; e (ii) aqueles provenientes de olefinas ou parafinas advindas de petróleo ou gás natural.

Os que integram a primeira categoria se denominam álcoois naturais, enquanto que os outros são conhecidos como álcoois sintéticos. De todas as formas, os álcoois naturais e sintéticos são derivados de processos que envolvem a síntese química. É também recorrente no segmento industrial o uso dos termos 'petroquímico' (para os derivados de petróleo ou gás natural) e 'oleoquímico' (para os gerados de gorduras e óleos) para descrever ambas as classes de produtos (NOWECK E GRAFAHREND, 2000; GUBLER E INOGUCHI, 2013).

Independentemente da procedência natural ou sintética, os álcoois etoxilados mais comumente utilizados no segmento de detergentes são originados de álcoois graxos de cadeias  $C_{12}$ - $C_{14}$  e  $C_{12}$ - $C_{18}$  (JANSHEKAR, GREINER E INOGUCHI, 2013).

Nas últimas décadas os produtores de álcoois graxos com capacidade de produção em escala comercial mudaram matérias-primas de maneira intensa. Em 1998, a produção de álcoois graxos a partir de óleos e gorduras foi responsável por 54% da capacidade instalada deste parque industrial. Em 2012 essa participação havia superado 71% e estima-se que esta deverá chegar a 79% até 2017 (GUBLER E INOGUCHI, 2013).

Ainda segundo Gubler e Inoguchi (2013), historicamente, a escolha da matéria-prima sobre a qual basear uma nova fábrica de álcool graxo era determinada, em grande parte, pela economia dos processos, incluindo o custo de matérias-primas. Nos últimos quinze anos a expectativa dos países do sudeste asiático de utilizar matérias-primas nativas – casos do coco, e dendê (palma) – para criar produtos de maior valor agregado, assim como o estímulo à geração local de empregos tem se mostrado também fatores decisivos.

A intensificação de cultivos de palma e coqueiros em vários países daquela região vem melhorando as perspectivas de preço de longo prazo e a estabilidade do fornecimento dos óleos naturais em comparação a desempenho de décadas anteriores. Como resultado disso, quase todas as novas plantas de produção de álcoois graxos surgidas desde o final de 1980 são baseadas em óleos naturais.

Há um número de vias de síntese desenvolvidas para a produção de álcoois graxos a partir de matérias-primas derivadas do petróleo. Neste caso, etileno ou n-parafinas são os materiais de partida e os processos Oxo e Ziegler, as rotas mais importantes. Várias expansões de capacidade do álcool de síntese, incluindo uma nova fábrica na África do Sul, foram concluídas nos últimos anos (GUBLER E INOGUCHI, 2013).

A seguir são brevemente descritos os principais processos de obtenção de álcoois graxos sintéticos e naturais e principais insumos e matérias-primas utilizados.

### 3.1.2.1 *Insumos e Matérias-primas*

Mais de 90% dos tensoativos aniônicos são produzidos via reação de sulfonação e sulfatação. O restante origina-se por outras rotas processuais como carboxilação e a fosfatação. Já a maior parte dos agentes tensoativos não iônicos é obtida por meio de alcoxilação de matérias-primas relevantes, isto é, tendo óxido de etileno ou de óxido de propileno como material de partida. A variação do número de mols de óxido de etileno e/ou propileno presentes indica o grau de etoxilação/propoxilação das moléculas. O restante é produzido via variantes de processos, caso dos Alquilpoliglucosídeos (APGs), que são surfactantes não iônicos à base de açúcar, produzidos por reação de dextrose com um excesso de álcool graxo. (JANSHEKAR *et al.*, 2013).

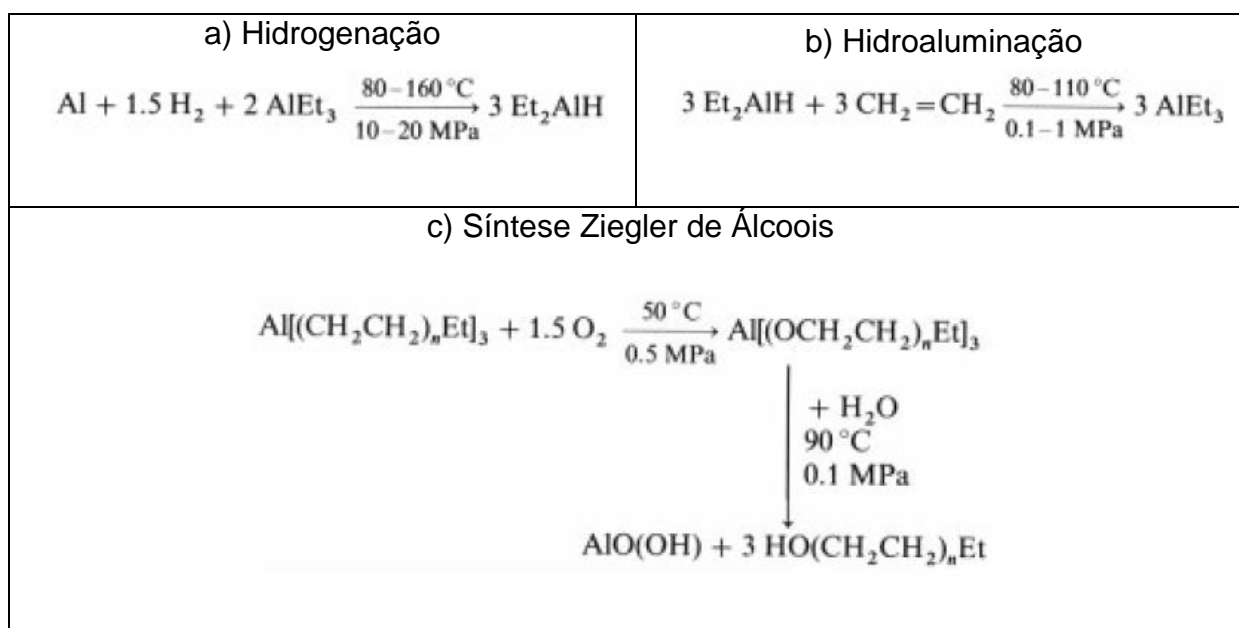
Levantamentos efetuados por Janshekar, Greiner e Inoguchi (2013) dão conta que na América Latina três empresas (PEMEX no México, Oxiteno no Brasil e Productora

de Alcoholes Hidratados na Venezuela) operam seis unidades industriais de produção de óxido de etileno com capacidade instalada de 951 mil toneladas em 2012. Estima-se que cerca de 19% desta seja voltada para a produção de etoxilados, tais como, mas não exclusivamente, Álcool Etoxilado (AE). Uma parte deste AE é direcionada para fazer Álcool Etoxilado Sulfatado (AES) ou usado diretamente em surfactantes domésticos. Quantidades adicionais de AE também são importados para a América Latina.

### 3.1.2.2 Processo Ziegler

Na produção de álcoois pelo processo Ziegler, o trialquilato de alumínio é oxidado em atmosfera rica em oxigênio para formar o trialcóxido de alumínio, a partir do qual, o álcool graxo será então obtido por hidrólise. O trialquilato de alumínio é obtido a partir de reações de hidrogenação e hidroaluminação que ocorrem em paralelo. Na primeira delas o alumínio reage com hidrogênio na presença de  $AlR_3$  para formar hidretos de dialquilalumínio que, à medida que forem sendo gerados, darão início à hidroaluminação após a adição de uma olefina. A Figura 1 descreve ambas as transformações utilizando como composto de referência o trietilalumínio (BEHR, 2000).

**Figura 1 – Reação de obtenção de álcoois graxos pelo processo Ziegler**



Fonte: (BEHR, 2000)



Há dois processos para produção de álcoois graxos sintéticos baseados nos trabalhos de Ziegler com compostos orgânicos de alumínio: o processo Alfol, desenvolvido pela Conoco e o processo Epal desenvolvido pela Ethyl Corporation. Os álcoois graxos sintetizados por estes processos são estruturalmente similares aos álcoois graxos de origem natural e, portanto, seus substitutos ideais (NOWECK E GRAFAHREND, 2000).

### 3.1.2.3 Processo Oxo (Hidroformilação)

O processo Oxo – ou Hidroformilação – aplicado na síntese de álcoois graxos é atualmente utilizado em escala comercial com variantes tecnológicas. Embora cada uma dessas alternativas represente uma rota específica, todas irão invariavelmente considerar a reação entre olefinas e gás de síntese ( $\text{CO}/\text{H}_2$ ) na presença de um catalisador oxo para produzir álcoois de cadeia longa (GUBLER E INOBUCHI, 2013).

A Hidroformilação foi identificada por Otto Roelen em 1938 como justificativa para a geração de subprodutos oxigenados durante síntese de Fischer-Tropsch com catálise heterogênea. Roelen notou que a reação, que ocorre em fase líquida, é catalisada por complexos de cobalto solúveis lixiviados do catalisador heterogêneo de cobalto em condições de reação (FALBE, 1970).

As diferenças principais entre as variantes da Hidroformilação envolvem: (i) tipos de olefina; (ii) catalisadores e co-catalisadores; (iii) estequiometria; (iv) condições gerais de processo (em particular a taxa de recuperação dos catalisadores); (v) a forma de manipulação de produtos intermediários; (vi) composição do produto; e (vii) formação de subprodutos.

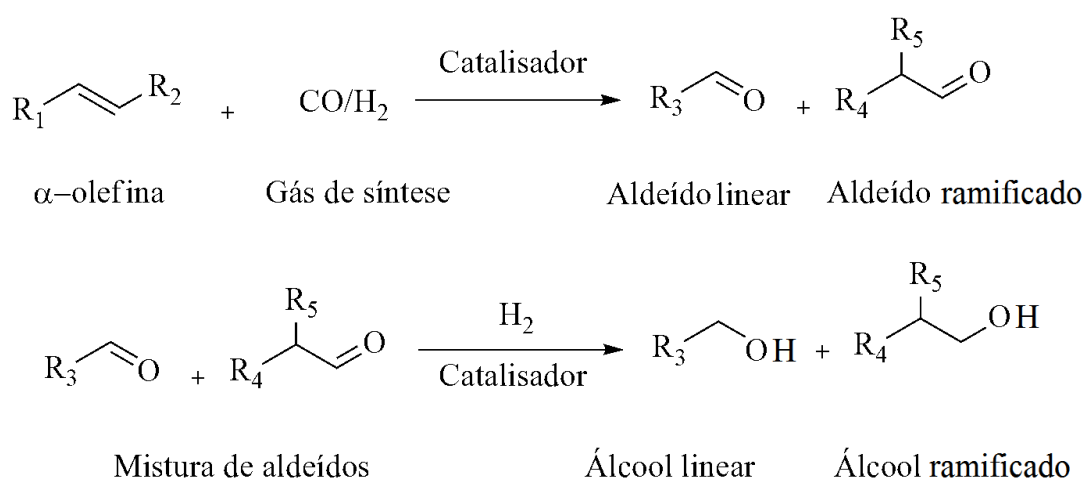
A maioria das plantas em operação atualmente usam rotas nas quais os aldeídos intermediários são isolados e purificados para, em seguida, serem hidrogenados em reator adjacente. A sequência operacional inclui ações de: hidroformilação, remoção do catalisador e reciclagem, destilação dos aldeídos, hidrogenação de aldeídos e, finalmente, a purificação dos álcoois (GUBLER E INOBUCHI, 2013).

As olefinas empregadas nessa reação podem ser derivadas de n-parafinas. Outra opção seriam  $\alpha$ -olefinas provenientes de etileno. O processo gera álcoois graxos com elevado grau de ramificações, que nem sempre são adequadas para aplicações na formulação de determinados detergentes líquidos e cosméticos que requerem

certo grau de linearidade na molécula. Como as  $\alpha$ -olefinas produzem menos ramificações, as mesmas são preferíveis às olefinas internas como matéria-prima. A Figura 2 ilustra a reação de hidroformilação.

O processo ocorre em etapa única e no mesmo reator, sendo que a hidroformilação e a hidrogenação do aldeído intermediário são aceleradas pelo uso de um catalisador de cobalto modificado com ligação de fosfina.

**Figura 2 - Reação de Hidroformilação de olefinas**



Fonte: (GUBLER E INOGUCHI, 2013)

Uma variante do processo Oxo original foi empregada pela Shell Chemical Company em plantas localizadas nos Estados Unidos e na Europa, assim como pela Mitsubishi Chemical Corporation no Japão sob licença da Shell. Nesta variação um catalisador com forte atividade de hidrogenação ( $\text{HCo}(\text{CO})_3\text{PR}_3$ ) leva à hidrogenação direta no reator Oxo do aldeído formado inicialmente (FALBE *et al.*, 2000).

#### 3.1.2.4 Processo de Hidrogenação

Óleos de coco, palma e palmiste são as principais matérias-primas para a rota de produção de álcoois graxos naturais. Gordura animal costuma também ser utilizada, ainda que em escala menor (GUBLER E INOGUCHI, 2013). O fruto da palma produz dois tipos de óleo: palma e palmiste, sendo que o primeiro é extraído da polpa do fruto e o segundo é extraído de sua semente (JUNGBLUTH *et al.*, 2007).

As composições médias percentuais de graxas dos óleos e gorduras são apresentadas na Tabela 3 a título ilustrativo.

Em todos esses casos faz-se necessária a inclusão de uma etapa de pré-tratamento para remoção de impurezas que compreende operações de tratamento com ácido fosfórico, centrifugação, e adsorção desses resíduos por argilas como, por exemplo, bentonita (NOWECK E GRAFAHREND, 2000).

**Tabela 3 – Distribuições carbônicas dos óleos utilizados como matérias-primas para produção de álcoois graxos**

	Cadeia carbônica	Óleo de Coco	Óleo de Palmiste	Gordura de Sebo
Saturados	C <sub>6</sub>	0.0 – 0.8	0.1 – 1.5	-
	C <sub>8</sub>	5.0 – 9.0	3.0 – 5.0	-
	C <sub>10</sub>	6.0 – 10.0	3.0 – 7.0	-
	C <sub>12</sub>	44.0 – 52.0	40.0 – 52.0	0.0 – 0.2
	C <sub>14</sub>	13.0 – 19.0	14.0 – 17.0	2.0 – 8.0
	C <sub>16</sub>	8.0 – 11.0	7.0 – 9.0	24.0 – 37.0
	C <sub>18</sub>	1.0 – 3.0	1.0 – 3.0	14.0 – 29.0
	C <sub>20+</sub>	0.0 – 0.4	0.0 – 1.0	0.0 – 1.2
Insaturados	C <sub>14</sub>	-	-	0.4 – 0.6
	C <sub>16</sub>	0.0 – 1.0	0.0 – 1.0	1.9 – 2.7
	C <sub>18</sub>	5.0 – 10.5	13.5 – 21.0	41.0 – 55.0

Fonte: SWERN (1964) apud Gubler e Inoguchi (2013)

As gorduras e óleos refinados podem ser hidrolisados para os correspondentes ácidos graxos e subsequentemente reduzidos cataliticamente a álcoois.

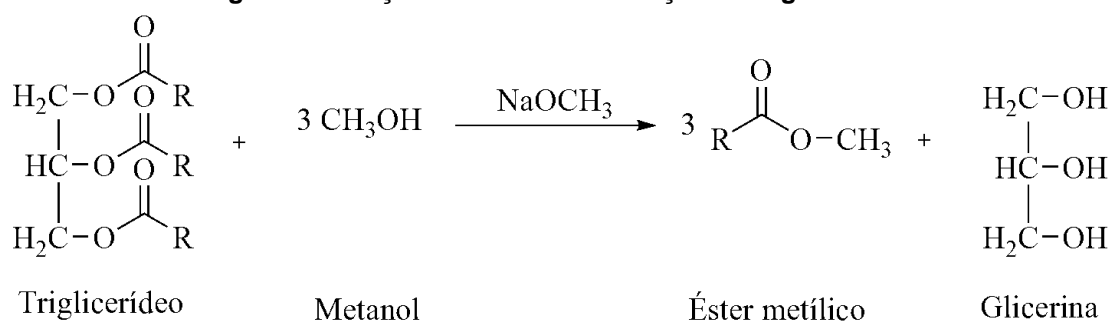
Variações em catalisadores e condições de processo permitem retenção de ligações duplas, se desejado. Até 1991, a antiga Sherex Chemical Company, Inc. – atualmente parte da Evonik Industries – usou sua própria variação deste método para a produção álcoois oleicos e de sebo a partir dos ácidos graxos correspondentes. Sasol Olefins & Surfactants GmbH da Alemanha, e United Coconut Chemicals Inc. produzem álcoois graxos saturados nas Filipinas por redução direta de ácidos (GUBLER E INOBUCHI, 2013).

Outra possibilidade é a transesterificação com álcoois de cadeias menores para produzir ésteres graxos. A hidrogenação direta de triglicerídeos também é uma ação viável, no entanto, sob certas condições de reação, o glicerol é reduzido a propanol

e a propilenoglicol, que não têm potencial de comercialização como subprodutos por conta dos custos de processo, decorrentes dos altos consumos de hidrogênio e do uso de catalisadores específicos (NOWECK E GRAFAHREND, 2000).

Os ésteres de ácidos graxos são reduzidos tanto por esterificação de ácidos graxos livres quanto por transesterificação de triglicerídeos. No processo de transesterificação os triglicerídes são colocados em contato com metanol em excesso e em presença de catalisador alcalino, donde deriva a produção de éster metílico e glicerina tal como aparece indicado na Figura 3.

**Figura 3 - Reação de Transesterificação de triglicerídeos**



Os ésteres metílicos resultantes são submetidos à destilação e, em seguida, podem ser convertidos em álcoois, alcanolamidas, ácidos graxos, ou podem ainda ser usados na produção de outros derivados. A glicerina gerada como subproduto dessa reação é refinada até atingir graus suficientes de glicerol que permitam sua comercialização.

A hidrogenação dos ésteres metílicos a álcoois é realizada em regime contínuo sob pressões superiores a 3000 psi, e usando catalisador de cobre. A maior parte do metanol é recuperada no processo, sendo reciclada para uso na transesterificação.

O álcool produzido têm em média 95% de rendimento global em triglicerídeos. Este é submetido à destilação fracionada para eliminar pequenas quantidades de impurezas de alto ponto de ebulição e para fornecer os cortes desejados de álcoois. Quando o catalisador de cobre é utilizado, todas as ligações duplas são hidrogenadas, o que resulta em benefício para a maioria das aplicações. O processo costuma ser utilizado pela maioria dos fabricantes de álcoois graxos, incluindo-se alguns dos principais fabricantes mundiais de detergentes, casos da BASF, a Kao Corporation, e Procter & Gamble (GUBLER E INOBUCHI, 2013).

### 3.1.2.5 Outros Processos

Além das rotas tradicionais e de mais larga utilização, a produção de álcoois graxos pode também ocorrer a partir de processos alternativos. A saponificação do óleo de baleia cachalote já foi uma fonte de álcoois detergentes, no entanto, este processo vem sendo fortemente descontinuado dadas as restrições, cada vez maiores, à caça predatória do mamífero. Os álcoois não são mais produzidos em escala comercial a partir desta fonte nos Estados Unidos ou na Europa Ocidental. O Japão também vem desativando quase toda a sua produção (JANSHEKAR, GREINER E INOGUCHI, 2013).

Gordura de lã é outra fonte potencial de álcoois detergentes. No entanto, esta matéria-prima costuma ser refinada apenas para produção de lanolina, muito embora a rota via saponificação origine uma fração de álcool. A Amerchol Corporation (que faz parte da Dow Chemical Company nos Estados Unidos) produz um volume pequeno de álcool de lanolina (que rende menos de um milhão de dólares anuais), no entanto, esta produção volta-se quase que integralmente a consumo cativo (GUBLER E INOGUCHI, 2013).

### 3.1.3 Impactos ambientais associados ao processo

Tendo em vista a extensão da cadeia produtiva de álcoois graxos, há uma série de impactos ambientais potenciais que influenciam o desempenho ambiental desses produtos.

Devem ser considerados impactos como a depleção de recursos fósseis associada à geração de energia, bem como, os que podem ocorrer em virtude de transportes internos à cadeia de produção.

A emissão de Gases de Efeito Estufa também é inerente às etapas de processo que englobam desde o cultivo agrícola dos insumos que dão origem aos óleos vegetais (no caso dos álcoois naturais), como também extração e refino do petróleo (no caso dos álcoois sintéticos), passando por diversas etapas intermediárias, nas quais há geração e consumo de energia térmica e/ou elétrica. A depleção de água é outro efeito inerente ao referido ciclo produtivo dos álcoois detergentes.

Novamente no caso dos álcoois graxos naturais o uso e transformação do solo são desdobramentos inerentes ao processamento agrícola. A geração de rejeitos pode

ainda ocasionar contaminações dos meios receptores – ar, da água e do solo – que, nessas condições, trariam reflexos negativos e quase que imediatos sobre a saúde humana.

Com relação aos impactos ambientais gerados pelos detergentes, atualmente não há nenhuma restrição direta ao uso de surfactantes nesse processamento, no entanto, a indústria de produção destes ativos pode ser afetada pela implantação do REACH (*Regulation on Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*), um regulamento aprovado pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da Comunidade Européia, relativo ao registro, avaliação, autorização e restrição de produtos químicos na União Européia, em dezembro de 2006 (Associação Brasileira da Indústria Química, 2007).

Há um interesse crescente em soluções sustentáveis para surfactantes. Dentre estas tem crescido a preferência pelo uso de recursos renováveis. O desenvolvimento de bens de consumo ‘*ecologicamente corretos*’, ou seja, que proporcionem menores impactos ao meio ambiente, também conhecidos como os ‘*produtos verdes*’, tem sido amplamente divulgada pelas indústrias e também pelos varejistas. No entanto, não é possível generalizar que o uso desses produtos proporcione melhoria do desempenho do exercício da função de limpeza em âmbito sistêmico.

## **3.2 Avaliação de Ciclo de Vida**

Para ocorrer uma mudança de paradigma em relação à sustentabilidade, as empresas precisam de uma ferramenta que permita a incorporação da variável ambiental em seu processo decisório, por meio do fornecimento de dados e informações precisas e de maneira sistêmica.

A Avaliação de Ciclo de Vida – ACV – figura como técnica ideal para este processo, por se tratar de uma técnica de diagnóstico capaz de avaliar impactos associados à função de um produto, além de permitir comparações quantitativas de desempenho ambiental de produtos que atendam a uma mesma necessidade (SILVA E KULAY, 2006).

Incorporar a ACV como ferramenta de gestão ambiental pode consolidar a posição das empresas em termos de responsabilidade ambiental, por conta da incorporação de práticas ambientais ao negócio de maneira sistêmica.

### **3.2.1 Conceitos e Definições**

Tal como define a norma ABNT NBR ISO 14040:2009, o ciclo de vida compreende estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, que se estende desde a aquisição de recursos naturais materiais e energético junto ao ambiente (berço), até a disposição final do bem em análise também no ambiente (túmulo), quando a função para a qual este foi concebido já não mais puder ser por ele exercitada (ABNT, 2009a).

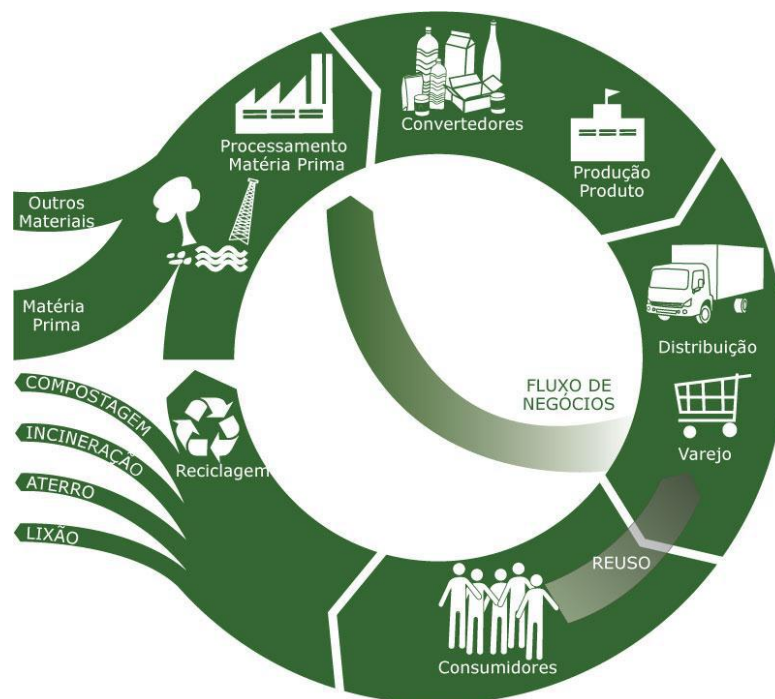
Nesse contexto a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) pode então ser entendida como uma técnica para avaliação dos impactos potenciais associados a um produto, processo ou serviço ao longo de seu ciclo de vida (SILVA, 2010).

Em outras palavras a ACV consiste em uma técnica de gestão desenvolvida com o intuito de fornecer um diagnóstico quantitativo do desempenho ambiental do conjunto de etapas antrópicas, que devem ser cumpridas para que um produto – e também, um processo, ou serviço – atenda aos propósitos para os quais este foi produzido ou esta sendo exercitado (SILVA, 2012).

Este diagnóstico compreende a magnificação, em termos de impactos ambientais, do uso de recursos naturais e da geração de rejeitos, ambos na forma de matéria e energia, que circulam através de fronteiras reais ou hipotéticas que separam o ciclo

de vida de seu entorno. A Figura 4 descreve etapas genéricas de um ciclo de vida, destacando fluxos de matéria-prima, atividades de reaproveitamento e reciclagem, bem como, cenários de disposição final de rejeitos.

**Figura 4 – Fluxo esquemático representando o ciclo de vida de um produto**



Fonte: adaptado de (UNEP E SETAC, 2014)

As correntes de matéria e energia que definem as interações do ciclo de vida de um produto – processo ou serviço – com o meio ambiente são denominados aspectos ambientais. Por outro lado, conceitua-se o termo impacto ambiental no âmbito de atuação da ACV como modificações efetuadas sobre o meio ambiente em decorrência da ação de aspectos ambientais (ABNT, 2009a).

### **3.2.2 Histórico e aspectos normativos da ACV**

Relatos feitos por Chehebe (2002) dão conta que o primeiro estudo na busca de se inventariar o desempenho ambiental de um produto com enfoque no consumo de energia, matérias-primas, água e, em parte, nas emissões geradas no processo de fabricação, ocorreu entre final da década de 1960 e início da década de 1970. Esta análise, desenvolvido para a Coca-Cola Co, foi motivada pela mudança de atitude da organização na busca de medidas preventivas quanto à ocorrência de impactos



ambientais. Inicialmente denominado de *Resource Environmental Profile Analysis* (REPA), o estudo buscava a resposta para a pergunta “Qual recipiente tem o menor lançamento de rejeitos no ambiente e menos afeta as reservas de recursos naturais?”. Diferenciando-se de estudos realizados àquela época, focados essencialmente em inventariar consumos energéticos, este trabalho quantificava, além dos primeiros, também dispêndios de matérias-primas e perdas ocorridas ao longo do processo de fabricação de cada repositório. Aproximadamente um ano após a elaboração do REPA foram conduzidos outros dois inventários de consumo de energia no ciclo de vida de embalagens.

Entre as décadas de 1970 e 1980 o desenvolvimento de trabalhos para a quantificação dos consumos e impactos associados ao exercício da função de um produto disseminou-se por diversos países da Europa, viabilizando a fundamentação teórica necessária à concepção do conceito mais moderno e atual de ACV. Entretanto, a ausência de padronização metodológica nos estudos até então publicados alimentava certo ceticismo por parte da comunidade científica, sobretudo a respeito da credibilidade dos resultados apresentados nestes trabalhos (SILVA, 2010).

A partir dessa constatação surgiram grupos de pesquisa que se propuseram a proceder ao desenvolvimento de procedimentos confiáveis e exequíveis para a avaliação das interações entre um produto e o meio ambiente ao longo de seu ciclo de vida. É neste contexto que na década de 1980 a Europa retoma e incrementa a técnica de ACV para produtos e serviços. Desta feita, porém, conceitos então disponíveis de desenvolvimento ambiental foram aplicados no sentido de magnificar os impactos das interações entre produtos e o meio ambiente. No mesmo período a ACV é indicada pela Comunidade Europeia como abordagem mais adequada para o monitoramento do consumo de recursos naturais e geração de resíduos no processo (CHEHEBE, 2002).

Ao perceber a importância que o tema adquiria a SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* – organiza entre 1990 a 1993 nove conferências de âmbito internacional com o intuito de reforçar a base conceitual e de difundir a ACV pelo planeta. Dessas iniciativas resultou a elaboração do SETAC *Guidelines for Life Cycle Assessment: a Code of Practice*, que resultou no primeiro documento voltado à padronização da técnica (MOURAD, GARCIA E VILHENA, 2002).

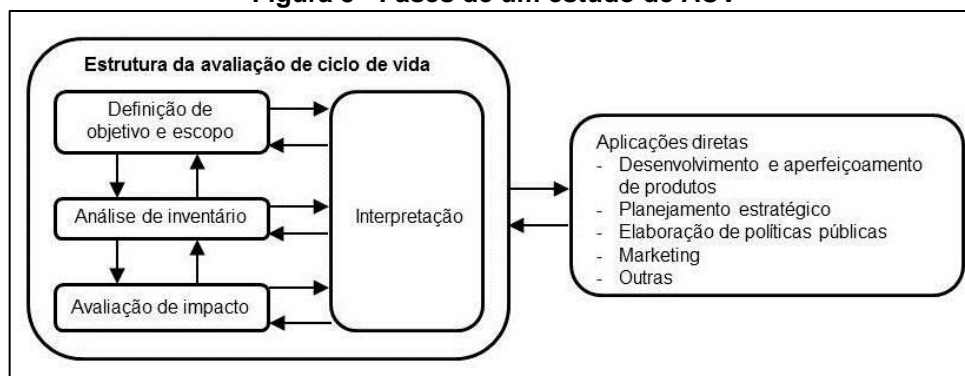
Subsidiada pelo trabalho da SETAC, a *International Organization for Standardization* (ISO) decidiu, em 1996, pela normatização e a padronização das práticas e condutas de realização de estudos de ACV. Um longo caminho foi percorrido até que as normas ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043 fossem compiladas. Em 2006 o conjunto passou por uma releitura do que resultou a forma revisada da ISO 14040 e a ISO 14044 em torno da qual se fundiram as outras normas de fundo metodológico (SILVA, 2010).

No Brasil a difusão das normas ficou a cargo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Convocando voluntariamente especialistas brasileiros no tema, a instituição vem organizando tradução dos conjuntos gerados pela série 14040 da ISO. Estão disponíveis para consulta nesse segmento as ABNT NBR ISO 14040 e 14044, todas elas editadas em 2009 (SILVA, 2012).

### 3.2.3 Método de ACV

Um estudo de ACV consiste, em termos de método de trabalho, do cumprimento de quatro etapas, sendo uma delas de planejamento, duas outras, etapas executivas e, por fim, aquela que irá aferir aspectos de consistências e representatividade do estudo (RIBEIRO, 2009). Na forma como estão organizadas na norma ABNT NBR ISO 14040, estas se intitulam, respectivamente: *Definição de Objetivo e Escopo*; *Análise do Inventário*; *Avaliação de Impactos Ambientais*; e, *Interpretação*. Tais ações são representadas na Figura 5 seguindo o encadeamento em que devem ser executadas. Destaca-se nesta disposição a forma de interação entre as etapas, motivada por readequações sucessivas de premissas em decorrência de dificuldades surgidas por conta do avanço do estudo.

Figura 5 - Fases de um estudo de ACV



Fonte: (ABNT, 2009a)

Passam agora a ser descritos de maneira sintética, porém consubstanciada, elementos constituintes e características de cada etapa de um estudo de ACV.

### *3.2.3.1 Definição de Objetivo e Escopo*

No tocante ao item Definição de Objetivos, a ACV se ocupa em descrever de maneira clara e inequívoca os objetivos do estudo, os motivos e utilizações pelos quais este será desenvolvido e o público-alvo a que seus resultados se destinam.

Na Definição de Escopo são estabelecidas premissas, condicionantes e orientações de caráter geral para este desenvolvimento. Tais requisitos são fundamentais para: estabelecer a função a ser exercida pelo produto, processo ou serviço em análise; fixar as fronteiras que separam o espectro de aplicação da ACV de suas vizinhanças; regradar o processo de coleta de dados; e definir os impactos ambientais para os quais o desempenho ambiental será mensurado. De acordo com as normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2009a; b), serão definidos em termos de escopo de aplicação da ACV os seguintes elementos:

- a) Função do sistema de produto: estabelece o propósito para o qual o produto, processo ou serviço em análise terá seu desempenho ambiental diagnosticado pela ACV.
- b) Unidade funcional (UF): quantifica a função a ser atendida ou desempenhada pelo produto para efeito de quantificação do desempenho ambiental medido por meio da aplicação da ACV. Este valor pode ser entendido como a base de cálculo para a quantificação das entradas e saídas do sistema. Trata-se de um valor arbitrário.
- c) Fluxo de referência: quantidade de produto necessário para atender a unidade funcional estabelecida para o estudo. Para efeito de seu estabelecimento deve-se levar em conta o desempenho técnico do produto no exercício da função. Em estudos para os quais a técnica de ACV venha a ser aplicada apenas para as etapas de extração de recursos e manufatura do bem de consumo ou de bens de produção que sejam intermediários de uma cadeia produtiva – ou seja, uma ACV com enfoque ‘do berço ao portão da fábrica’ – a unidade funcional deixa de ter sentido. Isso porque em casos como esses, deixa de existir a etapa de atendimento de uma função, ou seja, o ‘uso do produto’. Assim, a UF passa a ser substituída pelo Fluxo de referência.

d) Fronteiras do Sistema de Produto: delimita a abrangência do estudo, em relação ao sistema natural – ou Biosfera –, e a outros sistemas antrópicos – Tecnosfera. A fronteira define, portanto, o conjunto de processos elementares que proporcionam o atendimento da função previamente definida e que modela o ciclo de vida de um produto. Dentro ainda deste mesmo enfoque, denomina-se de ‘processo elementar’ a menor fração de um sistema de produto para a qual será possível efetuar a coleta de dados com vistas à quantificação de correntes de matéria e energia que circulam entrando e saindo pelas fronteiras.

e) Sistema de produto: conjunto de processos elementares conectados entre si por meio de fluxos materiais ou energéticos, a partir do qual se pretende que venha a ser cumprida a função previamente definida.

f) Procedimentos de alocação: válido apenas para estudo de ACV com enfoque dito atribucional, estes procedimentos buscam distribuir as contribuições dos fluxos de entrada e saída aos impactos entre os diferentes produtos gerados por um sistema de produto. Para tanto, são empregados critérios diversos baseados em componentes físicas – como massa – ou econômicas.

Por não haver consenso junto à comunidade científica dedicada ao estudo da ACV sobre a forma mais adequada de tratar sistemas de produto em que múltiplos produtos sejam gerados, o uso de procedimentos de alocação é sempre um tema controverso. Outra fragilidade a ele associada é o juízo de valor que sua introdução proporciona aos resultados da ACV, que pode reverter-se em implicações negativas em termos de veracidade dos resultados finais gerados pelo estudo.

Muitas propostas surgiram no sentido de preencher esta lacuna. A mais ousada e discutida seria aquela que considera a supressão total de fronteiras. Essa abordagem, também distante de ser aceita de comum acordo por profissionais que atuam nesse campo de pesquisa, é conhecida como ACV consequencial (BAUMANN E TILLMAN, 2004; SILVA, 2012).

g) Critérios de exclusão de dados: rotinas quantitativas – na forma de contribuições cumulativas de massa e de energia para certo processo elementar – ou qualitativas, baseadas em grau de relevância ambiental, utilizadas para selecionar aspectos ambientais a serem considerados em cada processo elementar que compõe o sistema de produto.

h) Requisitos de qualidade: especifica as características dos dados necessários ao estudo para alcance dos objetivos pré-estabelecidos, incluindo os seguintes

parâmetros: período de tempo; área geográfica; tecnologias envolvidas; precisão, completeza e representatividade dos dados; reprodutibilidade dos métodos usados ao longo da ACV; fonte dos dados e incertezas da informação.

i) *Categorias de impacto e Metodologia para a avaliação de impacto do ciclo de vida:* define não apenas o método mais adequado para mensurar a influência dos aspectos ambientais, mas também - e dentro deste - identifica as categorias de impacto a serem utilizadas no estudo. Os objetivos definidos para o estudo serão elementos essenciais neste processo de seleção.

j) *Análise crítica:* procedimento que verifica se o estudo satisfaz os requisitos adotados quanto à metodologia, aos dados e ao relatório.

Além estabelecer essas bases conceituais a etapa de Definição de Objetivo e Escopo contempla eventuais limitações e suposições incorporadas para o andamento da ACV, de forma a relatar de forma fiel, completa e consistente, os resultados do trabalho (ABNT, 2009a).

### *3.2.3.2 Análise de Inventário*

A análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) consiste de um procedimento sistemático, gradual e objetivo para quantificar os fluxos de materiais e energia no ciclo de vida (SANTOS, 2005). O primeiro passo a ser realizado nesse âmbito refere-se à coleta de dados. Esta ação deverá ser conduzida de forma que ao final do processo os dados gerados a partir dela reflitam com grau de representatividade condizente com aquele esperado para o atendimento dos objetivos de aplicação da ACV, as quantidades dos fluxos de entrada e saída de matéria e de energia que descrevem a relação entre o sistema de produto em análise e o meio ambiente ou outro sistema.

Para que a coleta de dados seja efetiva em seus propósitos, algumas ações prévias a esta incursão – que corresponde à etapa mais exaustiva da ACV, como a construção de um fluxograma de processo, a elaboração de dispositivos para coleta e registro de dados, e a descrição do objeto em estudo – devem ser providenciadas. Os dados utilizados para estudo podem ser obtidos em campo (dados primários) ou junto à literatura (dados secundários). Dados quantitativos utilizados na comparação de materiais ou processos e dados qualitativos empregados na descrição de

aspectos ambientais ou etapas não quantificáveis, podem ser selecionados a partir da aplicação dos critérios de exclusão de dados (ABNT, 2009b).

Após a coleta os dados são tratados a fim de se adequar à unidade funcional (ou ao fluxo de referência) estabelecido para o estudo. Nessa ação devem ser incorporados também eventuais critérios de alocação com vistas a proceder a uma ponderação minimamente coerente de aspectos ambientais entre os distintos produtos gerados em determinado processo inscrito no sistema de produto.

Dada a característica iterativa da ACV, Ribeiro (2009) destaca que durante a elaboração do ICV será necessário em muitos casos efetuar análises de sensibilidade com vistas a verificar a consistência de decisões metodológicas que foram tomadas. Inclusive, quando for o caso, prevê-se a redefinição de elementos estruturais do estudo como: fronteira do sistema, aspectos de exclusão de aspectos ambientais ou processos elementares não significativos para efeito de aplicação da ACV.

O produto final da etapa de ICV compreende um quadro constituído por aspectos ambientais ajustados à unidade funcional (ou ao fluxo de referência) do estudo.

### *3.2.3.3 Avaliação de Impactos Ambientais*

A Avaliação de Impactos Ambientais do Ciclo de Vida (AICV) analisa a magnitude e a significância dos impactos ambientais potenciais causados sobre o ambiente e sobre o ser humano, relacionados ao atendimento da função exercitada por um produto, processo ou serviço. De acordo com as normas da série ISO 14040 que discorrem sobre o tema, a AICV é composta por elementos obrigatórios e opcionais. Nesse âmbito são elementos obrigatórios: (i) Seleção de categorias de impactos e de seus respectivos indicadores; (ii) Classificação; (iii) Caracterização; que levam ao resultado da AICV, ou seja, à definição do perfil de impacto ambiental (ABNT, 2009a).

A Seleção das Categorias de Impacto Ambiental baseia-se nos resultados do ICV. Concluída esta ação as categorias de impacto são correlacionadas com os resultados gerados pelo ICV. Esta ação ocorre em dois momentos: primeiramente em termos qualitativos – segundo procedimento de Classificação – para em seguida, proceder-se a uma interação quantitativa – a Caracterização.

A quantificação dos resultados para cada categoria de impacto é realizada com base no estabelecimento de fatores de referência, que em geral são representados por um composto capaz de expressar a magnitude de contribuição das demais substâncias na referida categoria. A partir disso são definidos os fatores de equivalência para cada substância que contribui para certa categoria de impacto. Assim, as contribuições de todos os fluxos de matéria e energia que ocorrem no âmbito do referido efeito, podem ser expressas a partir dessas uma mesma referência.

A composição dos desempenhos ambientais do atendimento da função expressa em todas as categorias gera o chamado Perfil de Impacto Ambiental. Outra possibilidade é expressar impactos ambientais associados ao atendimento de determinada função por um produto ou serviço a partir de *indicador único*. Nesse caso, todas as dimensões em que impactos gerados pelo sistema de produto em estudo foram expressos serão convergidas para um índice a partir da aplicação de procedimentos matemáticos. É precisamente nesse pormenor que reside a principal fragilidade dos indicadores únicos de desempenho ambiental, já que em muitos casos, a maneira utilizada para expressar as diferentes dimensões ambientais do Perfil de Impactos em uma mesma base se revestem de grande carga de juízo de valor (SILVA, 2012).

A vantagem de operar-se com indicadores únicos de desempenho ambiental está na facilidade de comparação com coeficientes que por ventura tenham sido calculados da mesma forma para outros produtos, ou serviços capazes de atender certa função. Outra possibilidade seria verificar – mais uma vez por comparação – os status, original e derivado, ou seja, incorporando ações potenciais de melhoria de desempenho ambiental do mesmo sistema de produto.

A ACV faz uso de categorias de impacto em suas avaliações, tais como: Mudança climática; Redução (ou Depleção) da camada de ozônio; Acidificação; Depleção de recursos abióticos; Eutrofização, Formação de foto-oxidantes, Depleção de Recursos hídricos e Fósseis, Transformação e Ocupação do solo, Toxicidade humana e Ecotoxicidade entre outros.

#### 3.2.3.4 *Interpretação*

A etapa de Interpretação compreende a identificação dos temas de maior relevância ambiental, de forma a avaliar os resultados do estudo para o estabelecimento de recomendações e conclusões aos tomadores de decisão que sejam consistentes com o objetivo e escopo do estudo (ABNT, 2009a).

O desenvolvimento minucioso de todas as etapas relatadas – definição de objetivo e escopo, ICV e AICV - é fundamental para o êxito da ACV, evidenciando a abordagem holística dos impactos ambientais associados ao material de estudo.

O conjunto dos indicadores de categoria de impacto forma o perfil ambiental do produto a ser analisado na última fase da ACV, a fase de interpretação dos resultados. Esta etapa de análise crítica objetiva combinar, resumir e discutir as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto, de maneira iterativa aos objetivos e escopo da ACV, bem como da natureza e da qualidade dos dados coletados.

Segundo Silva (2010), a interpretação da ACV, em última instância, pode também incluir uma exposição crítica sobre as escolhas e incertezas ocorridas ao longo do estudo.

#### 3.2.3.5 *Usos e Aplicações*

A ACV apresenta-se como uma ferramenta importante dentro dos sistemas de gestão, discutindo com clareza e objetividade as questões ambientais relacionadas ao gerenciamento de recursos ambientais e à identificação de pontos críticos de processos e produtos, possibilitando aperfeiçoar sistemas, insumos e matérias-primas, e desenvolver novas tecnologias.

Atualmente a expansão do interesse pela técnica de Avaliação do Ciclo de Vida coincide com uma diversidade de aplicações e usos a que a mesma se destina em frentes diferente, tais como Setores Industrial e Agrícola, Agências Governamentais e Organizações não Governamentais (ONG), Organismos reguladores e o próprio mercado consumidor. Neste contexto podem ser destacadas como usos e aplicações regulares desta técnica: identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental; comparação de desempenho ambiental de produtos com mesma função; fornecimento de bases para concessão de rótulos ou selos; projeto



de novos produtos e processos ou remodelação dos já existentes a partir da variável ambiental; comunicação ambiental; entre outras (SILVA E KULAY, 2006).

Na primeira das vertentes – de identificação de oportunidades de melhoria – a ACV é conduzida com o intuito de aprimorar processos e produtos, por meio de busca de novos insumos, fontes alternativas de energia ou tecnologias capazes de atender às funções originalmente previstas para o produto com menores impactos ambientais.

Isso é possível pelo fato de a técnica explorar o desempenho ambiental do objeto em estudo em cada etapa de seu ciclo de vida, possibilitando identificar a origem dos impactos ambientais mais significativos.

De forma similar, a ACV pode ser adotada como meio de verificação de desempenho no processo de concepção de novos produtos, a fim de que este seja concebido com desempenho ambiental melhor que o de seu predecessor para das aplicações a que se destina. A ACV propõe-se também a fornecer dados quantitativos de desempenho ambiental para a verificação de atendimento de critérios estabelecidos por selos ou rótulos ambientais desenvolvidos por governos, ONGs ou até mesmo pela indústria. Esta aplicação é amplamente utilizada para difusão de informações aos consumidores e usuários dos produtos, com o intuito de fornecer-lhes mais elementos para selecionar suas opções (BAUMANN E TILLMAN, 2004).

Por fim a ACV propicia a identificação de estratégias capazes de alterar o desempenho ambiental de produto, processos e serviços que cumpram, por vias distintas, a mesma função. Neste cenário as análises têm como objetivo verificar que estratégias diferenciam um produto do outro em termos ambientais. A minimização de rejeitos no processo, ações de prevenção à poluição, capacidade de reuso e reciclagem e substituição de insumos são algumas das causas potenciais de mudança de desempenho ambiental que podem ser identificadas a partir do uso da ACV (SILVA E KULAY, 2006)

### **3.3 Estudos de avaliação ambiental associados a álcool graxo etoxilado sulfatado e detergentes**

A literatura não dispõe de muitos registros sobre desenvolvimentos científicos no campo de avaliação de desempenho ambiental de álcoois etoxilados. Na maioria dos casos levantados as produções tratam de aspectos específicos desses produtos ou verificam os efeitos decorrentes de sua disposição no ambiente após consumo.

Van De Plassche *et al.* (1999) estudaram efeitos em termos de toxicidade aquática de álcoois graxos etoxilados sulfatados (AES), álcoois graxos etoxilados (AE), alquilbenzeno sulfonatos lineares (LAS) e sabão para os Países Baixos. O objetivo da pesquisa consistia em determinar concentrações limites dessas substâncias para as quais não fossem observados efeitos em termos de toxicidade aquática. Os autores concluíram que devido à elevada taxa de remoção de contaminantes nas estações de tratamento de efluentes existentes no país, os riscos proporcionados pelo uso desses tensoativos para o compartimento aquático eram baixas, dado que as concentrações medidas no ambiente eram de 50 a 100 vezes mais baixas do que os limites de tolerância dos corpos receptores em que eram lançados.

Caspersen e Sørensen (1998) utilizaram ACV para o desenvolvimento de produtos com melhores desempenhos ambientais. Em estudo datado de 1998 os autores avaliaram limpadores de alta pressão em termos de consumo de recursos, impactos ambientais e sobre o ambiente de trabalho. As principais conclusões obtidas foram de que o potencial para ecotoxicidade decorrente do uso dos detergentes limpadores se constituía em um dos impactos mais importantes para este tipo de produto, assim como o consumo de cobre para fabricação do motor da máquina limpadora.

Van Hoof, Schowanek e Feijtel (2003) também aplicaram ACV para determinação de perfis de impactos ambientais de cinco diferentes detergentes lava-roupas produzidos pela Procter & Gamble para condições de lavagem e infraestrutura existentes no Reino Unido.

Os pesquisadores concluíram que detergentes concentrados - tanto em pó, como líquidos - são ambientalmente preferíveis em relação aos correspondentes diluídos, dada a menor utilização de ativos químicos por lavagem. Os ganhos proporcionados por esses agentes puderam ser comprovados em quase todas as categorias de impacto analisadas. Entretanto os autores advertem também que a maioria dos

efeitos ambientais associados aos detergentes se concentra na etapa de uso – ou seja, quando se cumpre a função para a qual os produtos foram projetados – independentemente do tipo de formulação que seja utilizada.

Anos depois, a Procter & Gamble utilizou mais uma vez a técnica de ACV para verificar o desempenho ambiental de uma nova formulação de detergente lavar-roupas para ser utilizado a frio. Nesse caso, Dewaele, Pant e Schowanek (2006), avaliaram os ganhos em termos de economia de energia durante a fase de uso, considerando uma perspectiva de ciclo de vida ao identificar os principais impactos ambientais influenciados por mudanças na formulação dos detergentes e também no modo de uso, de forma a fundamentar uma promoção de mudança de hábitos de lavagem de roupa com o desenvolvimento do novo produto.

As principais conclusões deste estudo revelam que a nova formulação desenvolvida trouxe benefícios em termos de: redução de consumo de energia, geração de resíduos sólidos, potencial de mudanças climáticas, formação de foto-oxidantes, acidificação e eutrofização, com ganhos maiores que 10% em relação à formulação original. Entretanto não foram encontradas diferenças com relação a consumo de água, depleção da camada de ozônio, toxicidades humana e aquática.

## 4 MÉTODO DE TRABALHO

A estrutura metodológica estabelecida para atender aos propósitos desse estudo foi organizada de maneira lógica em seis etapas que se desenvolveram conforme a descrição apresentada a seguir:

1. Revisão de literatura: nesta etapa procedeu-se a um amplo levantamento junto a fontes técnico-científicas consistentes e referenciáveis sobre processos associados à cadeia produtiva do álcool laurílico etoxilado sulfatado. Foram identificados nessa incursão dados e informações atualizados quanto à extração dos recursos, obtenção de intermediários, rotas de processamento e condições de operação do referido álcool etoxilado, procedências de insumos e aspectos logísticos, bem como, outros aspectos que permitisse mais adiante, constituir modelos robustos do processo sob a ótica de ciclo de vida. As principais fontes consultadas foram: enciclopédias de processos químicos, artigos científicos, bancos de teses e dissertações, bem como, bases de dados internacionais de inventários do ciclo de vida.
2. Caracterização do processo industrial em estudo: após ter sido estabelecida uma base conceitual sólida sobre o processo, iniciou-se então a etapa de detalhamento das etapas constituintes da cadeia produtiva do álcool laurílico etoxilado sulfatado. A atividade, que consiste do último nível de aprimoramento para estabelecimento do modelo, dedicou-se a especificar, no nível quantitativo, consumos de recursos, gerações de rejeitos – em ambos os casos, de ordens material e energética –, bem como, subprodutos ao longo dos estágios do arranjo produtivo em análise.
3. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e aferição dos impactos associados: o passo seguinte compreendeu a aplicação da técnica de ACV sobre o modelo de produção de álcool laurílico etoxilado sulfatado. A intervenção ocorreu com o propósito de gerar um diagnóstico consistente sobre o processamento em questão, a partir do qual fosse possível identificar focos potenciais de impacto ambiental.

A técnica de ACV foi aplicada considerando-se aspectos conceituais e de estrutura previstos nas normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2009a; b).

A atividade foi desenvolvida sob a forma de três grandes marcos:

- a. Caracterização do objeto em estudo: descrição dos processos em análise quanto às tecnologias empregadas, definição das coberturas temporais e geográficas, delimitação do sistema de produto; desenvolvimento dos critérios de exclusão e alocação, seleção do modelo de avaliação de impacto e fixação do fluxo de referência;
  - b. Elaboração de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) para todos os estágios (ou conjuntos de estágios) do arranjo produtivo para a obtenção do álcool laurílico etoxilado sulfatado. É nesse estágio do método de trabalho em que ocorrem as confrontações entre o modelo de processamento e as premissas, condicionantes e bases técnicas fixadas na etapa de Definição de Escopo para realização da ACV;
  - c. Avaliação de Impactos Ambientais (AIA): identificação da magnitude de efeitos sobre o meio e o ser humano que os estágios de transformação contempladas no estudo propiciam. Tendo em vista as características da pesquisa, optou-se por apresentar os resultados gerados pela etapa de AIA sob a forma de Perfil de Impactos com vistas a fundamentar de maneira mais efetiva às ações que se seguem no projeto.
4. Estudos de novos arranjos tecnológicos: após terem sido identificados os principais focos de geração de impactos ambientais da cadeia produtiva dos AES procedeu-se então a mais um levantamento junto à literatura com vistas a conhecer alternativas capazes de melhorar esse desempenho ambiental. Para tanto empregou-se uma abordagem baseada nos conceitos de Eficiência de Produção e Gestão Ambiental disseminados pela filosofia de *Resource Efficiency and Cleaner Production* (RECP) (UNEP-UNIDO, 2010). As soluções que foram identificadas a partir dessa prática foram então modeladas e incorporadas ao modelo original sob a forma de variantes. Cada novo arranjo passou a constituir um cenário potencial de melhoria de processo. Os cenários foram modelados de maneira discreta e independente para que os efeitos das soluções implementadas pudessem ser verificados com maior grau de precisão.

5. Avaliação da efetividade das variantes tecnológicas: nessa etapa a técnica de ACV voltou a ser aplicada, agora para cada cenário de melhoria, com objetivo de testar sua efetividade ambiental. Para tanto foram empregados os mesmos: arcabouço conceitual, critérios e recorte metodológico aplicados no diagnóstico realizado para a situação original, a qual, inclusive e naturalmente, assumiu a condição de referência para efeito de análise.
  
6. Análise crítica dos resultados: após tecer comentários, realizar aportes e formular sugestões sobre a avaliação antes realizada, esta etapa encerrou formalmente o projeto. As reflexões resultantes desta etapa foram conduzidas de modo a fornecer subsídios práticos para a incorporação da variável ambiental no processo gerencial de tomada de decisão das organizações constituintes no segmento de produção de especialidades químicas.

## **5 DIAGNÓSTICO INICIAL**

Este capítulo compreende a realização do estudo de ACV com vistas à formulação do diagnóstico inicial do desempenho ambiental da produção de álcool laurílico etoxilado sulfatado considerando as condições atuais de processamento deste insumo no país.

Para tanto são apresentados a seguir alguns elementos estruturais do método: o objetivo e escopo da ACV com suas respectivas definições e premissas; o inventário do ciclo de vida (ICV) do álcool laurílico etoxilado sulfatado e, por fim, a avaliação dos impactos ambientais relativos ao processamento, que corresponde ao diagnóstico supramencionado.

### **5.1 Definição de Objetivo e Escopo**

Este estudo foi realizado em consonância com o arcabouço conceitual estabelecido pelas normas ABNT ISO NBR 14040 e 14044 (ABNT, 2009a; b) que dispõem sobre o conceito e os aspectos operativos e estruturais da ACV.

#### **5.1.1 Definição de objetivo**

Estabeleceu-se como objetivo desta ação avaliar o desempenho ambiental do produto álcool laurílico etoxilado sulfatado.

O público-alvo a que se destina esse estudo é composto pela organização produtora do álcool laurílico etoxilado sulfatado, que no caso presente está representada por seus atores: área de pesquisa e desenvolvimento, área de meio ambiente, área industrial e engenharia de processos, área de compras, área de marketing, bem como, a alta liderança.

#### **5.1.2 Definição de escopo**

Como mencionado anteriormente o estudo seguiu os ditames das normas NBR ISO 14040 e 14044 (2009a; 2009b). Assim, em particular quanto à Definição de Escopo, foram estabelecidos os requisitos técnicos que aparecem indicados a seguir.

### 5.1.2.1 Definição do sistema de produto e fronteiras

O ciclo de vida do produto inicia-se na etapa de cultivo de palma que no presente caso desenvolve-se em localidades agrícolas instaladas na Malásia e Indonésia. Após a colheita, a semente do fruto de palma (*palm kernel*) serve de matéria-prima para os processos de extração e beneficiamento de óleo de palmiste.

A pesquisa revela que nesta etapa a energia utilizada é proveniente de cogeração, para a qual a fonte combustível é representada pela queima dos restos orgânicos da etapa agrícola (cascas e bagaços de palma) (JUNGBLUTH *et al.*, 2007). A mesma instalação permite ainda a produção de ácido palmítico que também será exportado para consumo no mesmo processo industrial desenvolvido no Brasil. O óleo de palmiste chega ao país a partir do porto de Aratu (BA).

Do óleo de palmiste se obtém ácido graxo com distribuição carbônica de  $C_8$  a  $C_{18}$ . Esta produção, assim como a destilação do referido produto, consome energia térmica – disponibilizada na forma de vapor – e ocorre em Camaçari (BA).

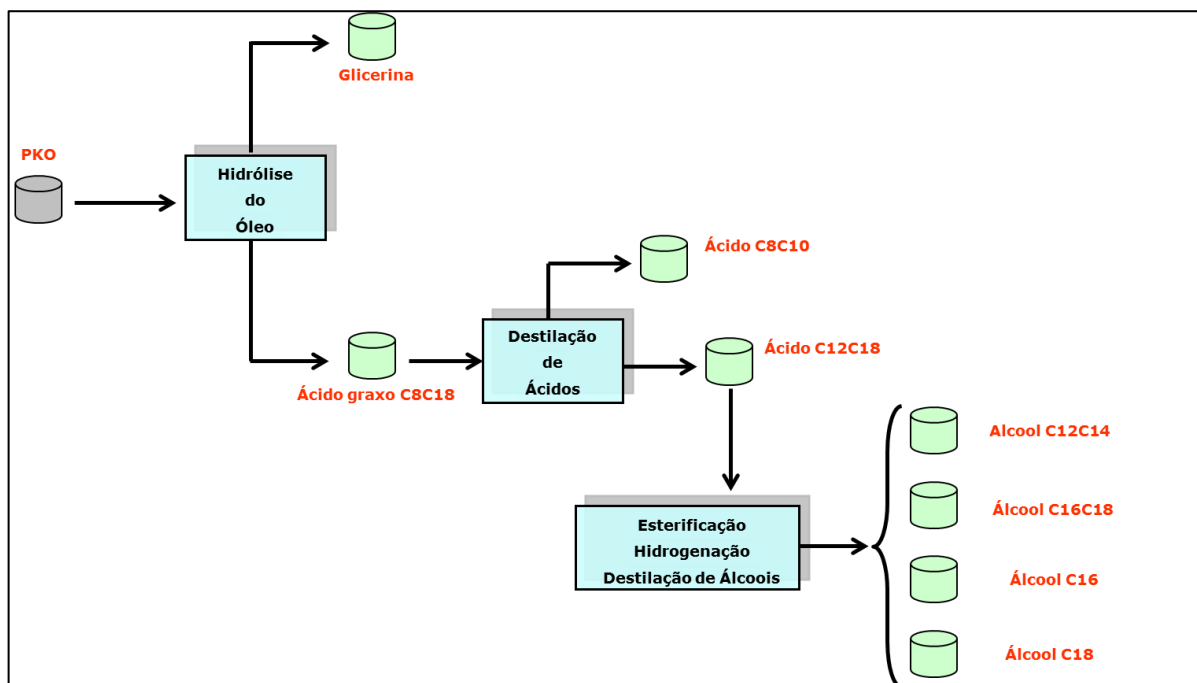
Por meio da esterificação e hidrogenação de ácido graxo destilado  $C_{12}C_{18}$ , obtém-se os álcoois graxos com distribuição carbônica correspondente, que ao serem expostos a operação unitária de destilação, levam à geração de um intermediário químico de interesse para a continuidade do processo: o álcool laurílico ( $C_{12}C_{14}$ ). A Figura 6 traz o fluxograma simplificado do processo até esta etapa.

O álcool laurílico ( $C_{12}C_{14}$ ) é então combinado com óxido de etileno – ativo obtido de origem petroquímica – sob condições controladas, ainda na mesma planta industrial em Camaçari (BA). Dessa transformação irá decorrer a formação do álcool laurílico etoxilado com 3 mols de EO.

A etapa seguinte de produção de álcool etoxilado sulfatado – que tem lugar em planta química localizada na cidade de Tremembé (SP) – consome enxofre líquido e álcool laurílico etoxilado 3EO. Deste processo, que ocorre em meio alcalino, obtém-se um álcool laurílico etoxilado 3EO sulfatado de concentração de 70% em água (SLES 3EO).



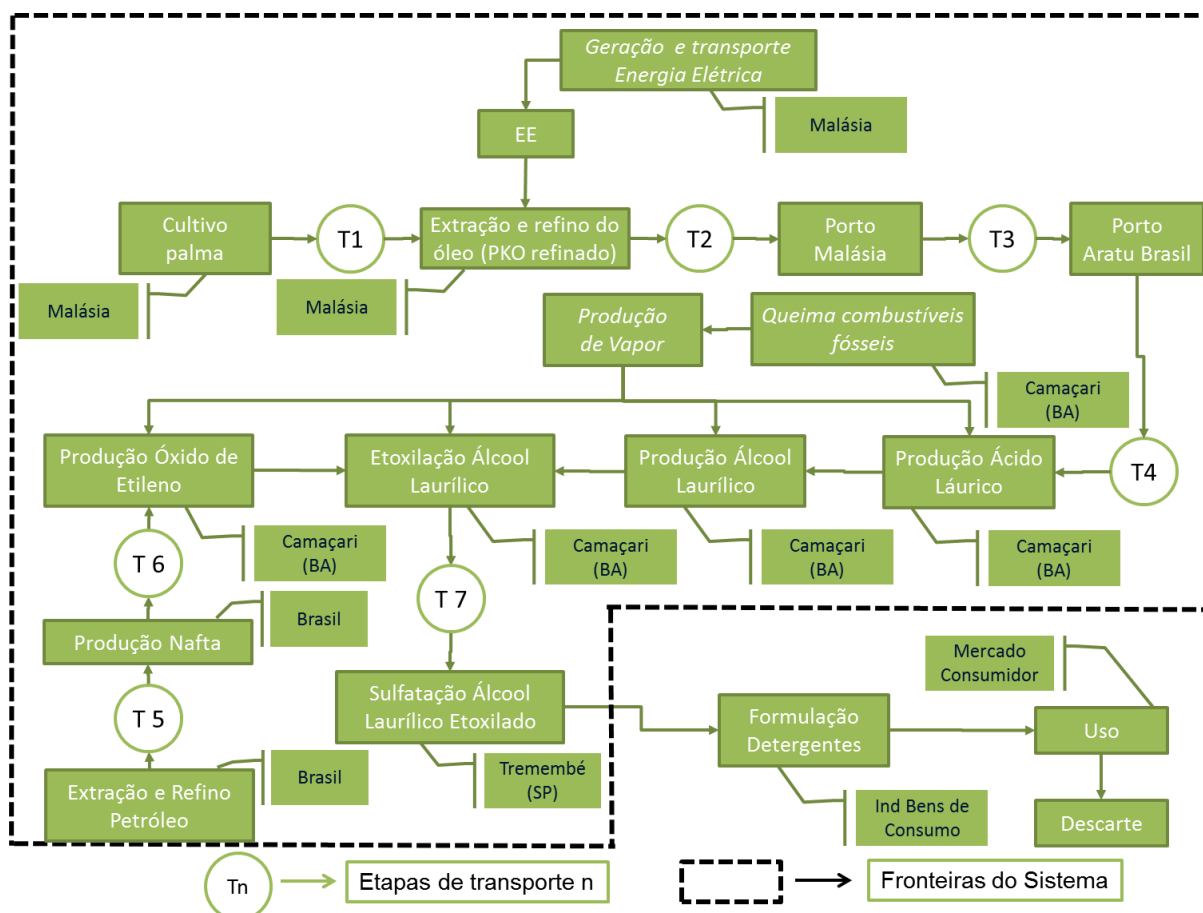
Figura 6 - Fluxograma de processo de produção de álcoois graxos



A atividade de fixação de fronteiras levou à inclusão de processos elementares no sistema de produto, relacionados a: (i) cultivo da palma, passando pelas etapas de extração e beneficiamento do óleo, ambos na Malásia; (ii) transporte transoceânico do óleo tratado para o Brasil; (iii) processamentos industriais do óleo até álcool laurílico etoxilado sulfatado por meio de etapas intermediárias de produção de ácido láurico, produção de álcool laurílico, etoxilação e sulfatação.

Como antes mencionado, as etapas de transporte envolvidas nesse arranjo foram também consideradas pelo sistema de produto, assim como ocorreu com a produção de utilidades industriais – água industrial, água para caldeira, vapor e energia elétrica – envolvidas em todas as transformações para as quais estas se fizeram necessárias. Constam ainda do sistema de produto perdas para o ambiente na forma de rejeitos de processo – descritas em termos de lançamentos de efluentes hídricos e emissões atmosféricas – incluindo suas destinações finais. A forma final assumida pelo sistema de produto do álcool laurílico etoxilado sulfatado aparece esquematizada em melhor nível de detalhe na Figura 7.

Figura 7 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário Base



### 5.1.2.2 Definição da Função do Produto

O estudo em questão restringe-se, em termos de aplicação da ACV, a uma abordagem do tipo “berço ao portão da fábrica”, e assim, aspectos ambientais e seus respectivos impactos de pós-produção deixam de ser observados. Desta forma, a definição da função do produto deixa de ter sentido não sendo, portanto, estabelecida neste caso.

### 5.1.2.3 Fluxo de Referência (FR)

A aplicação de uma abordagem do “berço ao portão da fábrica” é determinante para o estabelecimento do Fluxo de Referência, que neste estudo foi fixado como sendo: “produzir 1,0 t álcool laurílico etoxilado sulfatado”.

#### 5.1.2.4 Critérios de Exclusão de Aspectos Ambientais

O processo de exclusão de aspectos ambientais seguiu critérios estabelecidos na norma ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) sendo, portanto, realizada a partir da aplicação de critérios de duas naturezas: contribuição cumulativa do aspecto em relação ao total de entradas ou saídas do processo elementar e relevância ambiental.

A partir da aplicação do primeiro critério foram descartados aspectos ambientais, sob a forma de massa ou energia, cuja contribuição cumulativa fosse inferior a 1% do total de entradas ou saídas do processo elementar ou conjunto de processos elementares ao(s) qual(is) este se associa. Este patamar foi estabelecido em virtude do estudo fazer uso de uma parcela significativa de dados primários, como ficará mais claro adiante no texto.

Complementarmente a esse procedimento considerou-se ainda, por critério, o potencial de contribuição do aspecto ambiental para efeito das categorias de impacto para as quais este contribui. A análise foi realizada para cada situação em específico dentre aquelas em que o critério de contribuição cumulativa excluiu aspectos ambientais.

#### 5.1.2.5 Procedimentos de Alocação

A solução para contornar situações de multifuncionalidade foi aplicar critérios de alocação. Isso ocorreu na etapa de produção do óleo de palmiste que ocorre na Malásia, seguindo critério de alocação econômica a partir de referência já utilizada em inventários deste produto na base de dados *Ecoinvent* (JUNGBLUTH *et al.*, 2007).

#### 5.1.2.6 Tipos de Impactos e Metodologia de Avaliação de Impactos Ambientais

Dados os propósitos a que se destina este estudo decidiu-se adotar um conjunto de indicadores rigorosos e analíticos de termo médio (*midpoints*). Assim sendo, optou-se pelo uso do modelo ReCiPe Midpoint (H) para realizar a etapa de AICV. O ReCiPe Midpoint está baseado na abordagem orientada ao problema - em que os indicadores de referência são adotados como indicadores de categorias de impacto

ambiental de termo médio, selecionados a partir do princípio de *Best Available Practice – and damage* (FRISCHKNECHT *ET AL.*, 2007; GOEDKOOPT *ET AL.*, 2013).

Este modelo associa os aspectos ambientais – levantados na fase de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) – às seguintes categorias de impacto ambientais selecionadas por critério de pertinência e representatividade ao estudo, além de precisão do modelo de AICV. Para elaboração do diagnóstico inicial do processamento de álcool laurílico etoxilado sulfatado foram selecionadas as seguintes categorias de impacto:

- Mudanças climáticas (CC);
- Eutrofização de água doce (EUT);
- Ecotoxicidade terrestre (TET);
- Ecotoxicidade de água doce (WET);
- Ocupação de terras agrícolas (ALO);
- Depleção de recursos hídricos (WD);
- Depleção de recursos fósseis (FD).

Devido à ausência constatada de fatores de caracterização em termos de FD para os aspectos: “*oil, crude, in ground*” e “*gas, natural, in ground*”, procedeu-se à adaptação do método de caracterização utilizado para magnificar efeitos naquela categoria. Essa ação foi realizada em concordância com as diretrizes que caracterizam, dispõem e descrevem sobre a versão 2013 do ReCiPe, cujo detalhamento está disponível na Tabela 13.4 do tópico intitulado: ‘*Midpoint Characterization Factors for Fossil Fuel Depletion*’, à pg. 123 do manual de referência do método (GOEDKOOPT *et al.*, 2013).

#### 5.1.2.7 Qualidade dos Dados

*Cobertura temporal:* Estabeleceu-se que a coleta de dados primários seria efetuada de maneira ininterrupta por um período de 12 (doze) meses e ao longo do ano de 2011. Essa série histórica foi escolhida por retratar as condições atuais de processamento no que se refere a nível tecnológico, quantidades, além de valores de parâmetros e de condições de operação relativos à fabricação de álcool laurílico etoxilado sulfatado.

*Cobertura geográfica:* Considerou-se que os dados deveriam reportar a realidade dos processos elementares no local em que estes efetivamente se desenvolvem. Logo, a cobertura geográfica engloba apenas as plantas de processamentos que ocorrem nos estados da Bahia – junto ao Polo Petroquímico de Camaçari – e São Paulo – incluindo os processos que ocorrem na cidade de Tremembé – além das produções agrícolas da Malásia e Indonésia. Quaisquer outras variações de ordem geográfica foram introduzidas por conta de bancos de dados empregados para complementar o estudo.

*Cobertura tecnológica:* adotou-se nesse caso arranjo tecnológico empregado para a produção do álcool laurílico etoxilado sulfatado, sempre respeitando as características e peculiaridades de cada estágio da referida cadeia produtiva. Este encadeamento foi descrito no tópico 5.1.2.1 do presente documento.

Portanto, a realização de extrapolações dos resultados decorrentes desta análise para outros ativos – ainda que de natureza semelhante – sem que seja efetuada uma adequação prévia dos processos à nova realidade, podem implicar em erros de interpretação cujos desdobramentos negativos seriam incalculáveis em termos dos processos que o referido diagnóstico se propusesse a subsidiar.

*Fonte dos dados:* Os dados referentes às etapas industriais da produção do álcool laurílico etoxilado sulfatado, das utilidades empregadas neste processo e transportes envolvidos no sistema de produto foram obtidos de fontes primárias.

Por outra parte, a quantificação dos aspectos ambientais relacionados ao cultivo de palma, extração e beneficiamento de óleo, à extração e refino de petróleo e produção de seus derivados, a extração e distribuição de gás natural, assim como a geração e distribuição de energia elétrica são secundários, ou seja, originários de literatura.

Finalmente, deve-se destacar que em todas as situações em que foi necessário fazer uso de dados secundários, uma análise preliminar de sua pertinência e significância foi realizada. Junto a esta foram também aplicados procedimentos de tratamentos dos mesmos parâmetros a fim de manter suas representatividades e consistências dentro de limites aceitáveis e condizentes com aquele praticado neste estudo.

*Tratamento dos dados:* concluído o levantamento dos dados fez-se então necessário efetuar seu tratamento com o intuito de verificar se os valores indicados nas entradas e saídas de cada processo elementar eram consistentes. Tal processo de validação compreendeu a aplicação de balanços de massa e energia.

Inconsistências que porventura tenham sido identificadas em decorrência da ação foram reportadas aos responsáveis pelo fornecimento de tais informações a fim de que fossem providenciadas adequações necessárias à manutenção da consistência e da representatividade adotadas para o estudo.

Feitos os ajustes o novo conjunto de dados foi submetido mais uma vez à validação, dentro de uma lógica de retroalimentação.

#### 5.1.2.8 *Premissas e Hipóteses*

À parte dos requisitos acima mencionados, a modelagem dos sistemas de produto em análise para efeito de construção de ICVs considerou certas premissas específicas. Estas aparecem indicadas a seguir:

- Não foram considerados aspectos ambientais da produção de bens de capital e de utilização de mão-de-obra;
- Os aspectos ambientais da fabricação de embalagens de produtos intermediários também foram ignorados independentemente de atenderem a critérios de exclusão;
- Cargas ambientais associadas ao tratamento de efluentes líquidos e de cenários de disposição final de rejeitos sólidos que efetuam a atenuação do grau de periculosidade desses mesmos fluxos elementares de saída foram, assim como os anteriores, desprezados para efeito de análise;
- Emissões atmosféricas derivadas da queima de combustíveis em caldeiras para geração de vapor foram determinadas por meio de balanço estequiométrico;
- Apenas aspectos ambientais que puderam ser aferidos e verificados foram de fato incluídos na presente análise;
- Devido à falta de informações relativas aos insumos empregados na unidade de produção de água de resfriamento industrial, esta utilidade foi modelada como fluxo elementar, ou seja, sem cargas ambientais associadas a sua produção;

- Supôs-se, para efeito de modelagem de transportes, que não há perdas de carga durante os deslocamentos efetuados entre unidades de transformação. Além disso, admitiu-se que os caminhões retornam vazios aos seus pontos de origem. Isso equivale a realizar uma viagem ininterrupta na qual ocorreria o transporte apenas de metade da carga em cada trecho deslocamento – de ida e de volta;
- Para insumos de processo cuja origem de produção não é conhecida adotou-se o valor padrão de distância de 50 km desde os portões do fabricante até o local de sua utilização;
- A geração e o transporte de energia elétrica foram caracterizados a partir de bancos de dados internacionais que foram adaptados para as condições brasileiras. Tal condicionante introduz um grau excedente de imprecisão. Esta condição, bem como seus desdobramentos foi, no entanto, avaliada como aceitável em termos de precisão para este estudo;

#### *5.1.2.9 Software específico de apoio à realização de estudos de ACV*

Adotou-se como ferramenta operacional de apoio à execução de estudos de ACV o software SimaPro – versão 7.3.3.

## **5.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do Álcool Laurílico Etoxilado Sulfatado**

A Análise de Inventário compreende a coleta dos dados brutos de cada processo elementar e seu posterior tratamento, a fim de que os mesmos fossem relacionados ao fluxo de referência, bem como, e quando necessário, fossem objeto de alocação. Concluídos esse procedimentos foi então realizado o carregamento desses mesmos valores no software SimaPro 7.3. A ação que origina o modelo computacional do sistema de produto em análise marca também o encerramento da fase de elaboração do ICV.

Foram construídos os inventários referentes ao cultivo de palma e à extração de óleo de palmiste; às produções industriais de ácido láurico, álcool laurílico, óxido de etileno, álcool laurílico etoxilado 3EO e álcool laurílico etoxilado 3EO sulfatado 70%. Como antes indicado, a implementação desse arranjo no SimaPro 7.3 configurou o cenário para elaboração do diagnóstico inicial do perfil de impacto ambiental deste estudo.

### **5.2.1 Cultivo de palma e extração de óleo de palmiste**

De forma geral, as etapas do ciclo de vida do óleo de palmiste (PKO) e ácido palmítico podem ser resumidas em:

- a) Estágio Agrícola: que compreende as operações/etapas de aração, limpeza do terreno, preparo do solo, etc, terminando na colheita da palma;
- b) Estágio Industrial: formado por atividades de extração e beneficiamento do PKO; produção de ácido palmítico; geração de energia elétrica e vapor, a partir de biomassa;
- c) Transporte até o porto de exportação.

No estágio agrícola ocorre o preparo do solo, que pode ser definido como o conjunto de operações que têm por finalidade fornecer condições físico-químico-biológicas ao meio de cultivo para germinação adequada das sementes, e brotamento das árvores de palma. A renovação do cultivo de palma é realizada por ação mecânica, sendo para isso utilizadas as operações de: aração e gradagem, subsolagem, sulcamento e adubação.

A etapa seguinte – dos tratamentos culturais – tem como propósitos: preservar e/ou recuperar características físicas ou químicas do solo, além de controlar seus níveis de erosão; eliminar ou reduzir os danos à plantação provocados por ervas daninhas e pragas por meio da aplicação de defensivos agrícolas (pesticidas, herbicidas, fungicidas, etc., variando em quantidade dependendo das características intrínsecas a cada local); e, para complementar a carga de nutrientes ao solo, via dosagem de fertilizantes.

O consumo de fertilizantes foi determinado por estimativa. Para tanto, obteve-se de início a massa total de frutos produzidos a partir de parâmetros indiretos de processo como área plantada e produtividade (PORAM, 2011). Determinou-se a seguir a massa específica de composto utilizada no ano, ao dividir-se a massa total desse material (FAOSTAT, 2010) pela massa de frutos produzida. Por fim, multiplicou-se esse resultado pela porcentagem de área ocupada pelo cultivo de palma.

Empregou-se uma premissa de uniformização para o caso presente: de que o consumo de fertilizantes em todas as culturas realizadas no país seria o mesmo. Essa generalização introduz imprecisões, mas essas foram admitidas como aceitáveis em comparação com a indisponibilidade de dados regionais específicos



para geração de um modelo mais consistente. A seguir a quantidade de determinado fertilizante foi transformada em uma quantidade equivalente de uma base única. As bases utilizadas foram N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O.

Procedimento equivalente foi cumprido quanto aos defensivos, dividindo-se a massa de composto supostamente utilizada no ano de 2011 pela massa de frutos produzida no mesmo período. Neste caso em específico, a referência mais atualizada disponível com dados de consumo de defensivos é datada do ano de 1998; diante dessa limitação não restou alternativa que não fosse a de tratar os dados de forma que os mesmos projetassem minimamente o comportamento do processo para o período relativo à cobertura temporal do estudo (AGROW, 1998).

Admitiu-se que os transportes envolvidos no ciclo de vida da palma até a extração de óleo de palmiste e produção de ácido palmítico ocorrem pelo modal rodoviário. Para tais deslocamentos considerou-se o uso de caminhões e/ou treminhões com capacidades de carga idênticas e compreendidas entre 7,5-16t.

Foram considerados como maiores produtores os estados da Malásia e Indonésia cuja participação nos volumes totais produzidos por esses países em 2011 superou o limite de 5% do mesmo total. A partir do centro de massa destes locais efetuou-se uma estimativa da distância ao porto mais próximo para exportação.

A Fase Industrial da obtenção de óleo de palmiste inicia-se com a entrada dos frutos de palma na usina, descarregados por caminhões em esteiras que os conduzem ao núcleo fabril. Segundo PORAM (2010) os frutos são lavados para, logo em seguida, terem sua polpa e semente (*palm kernel*) separadas.

Ocorre em sequência o processo de extração de óleo via prensagem mecânica. A energia necessária para o desenvolvimento do processo é fornecida por turbinas a vapor, cujo acionamento se dá pela queima dos cachos de frutos secos, cascas e fibras de palma nas caldeiras. O óleo de palmiste passa ainda por beneficiamento antes de estar em condições de ser comercializado. Como já foi mencionado, estes produtos da usina são exportados para a produção do álcool laurílico no Brasil.

#### 5.2.1.1 Bases de dados utilizadas

Com relação ao cultivo da palma e extração de óleo de palmiste foram identificados os inventários de referência a partir do uso da Base de Dados do *Ecoinvent*. Estes elementos estão indicados na Tabela 4.

O processo de adaptação foi realizado com dois propósitos originais: (i) de atualizar os dados disponíveis nos ICVs *Ecoinvent* com dados atualizados e aderentes com a cobertura temporal definida para o estudo; (ii) de personalizar, sempre na medida da disponibilidade das informações existentes, procedimentos agrícolas e respectivos desempenhos das 8 (oito) regiões de cultivo de palma existentes no país e que foram identificadas como potenciais fornecedores de PKO para os processamentos que ocorrem no Brasil.

**Tabela 4 – Inventários de Referência *Ecoinvent* para cultivo de palma e extração PKO**

<b>Referência Ecoinvent</b>	<b>Inventários adaptados</b>
Palm fruit bunches, at farm/MY U	Palm fruit bunches, at farm/MY (Sabah - Zone A)
	Palm fruit bunches, at farm/MY (Sabah - Zone B)
	Palm fruit bunches, at farm/MY (Sandakan and Bintulu)
	Palm fruit bunches, at farm/MY (Sandakan and Lahad Datu)
	Palm fruit bunches, at farm/MY (Sarawak)
	Palm fruit bunches, at farm/MY (Zone A)
	Palm fruit bunches, at farm/MY (Zone B)
	Palm fruit bunches, at farm/MY (Zone C)
Palm kernel oil, at oil mill/MY U	Palm kernel oil mix MY, at oil mill/MY

Para os transportes transoceânico e rodoviário foram empregados os bancos de dados indicados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Inventários de Referência *Ecoinvent* para transportes**

<b>Sistema de transporte</b>	<b>Referência Ecoinvent</b>
Transoceânico	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Rodoviário Malásia	Transport, lorry 7.5-16t, EURO3/RER U
Rodoviário Brasil	Transport, lorry 7.5-16t, EURO4/RER U

### 5.2.2 Produção de álcool laurílico etoxilado 3EO sulfatado 70% (SLES 3EO)

A produção do SLES 3EO foi modelada a partir da adaptação de inventários da Base de Dados do *Ecoinvent* por dados primários levantados junto ao fabricante do ativo. Os ICVs de referência extraídos daquele banco de dados são apresentados na Tabela 6. Por ser composto de dados proprietários e confidenciais, o ICV consolidado do SLES 3EO foi indicado no Apêndice A.1 deste documento de maneira consolidada.

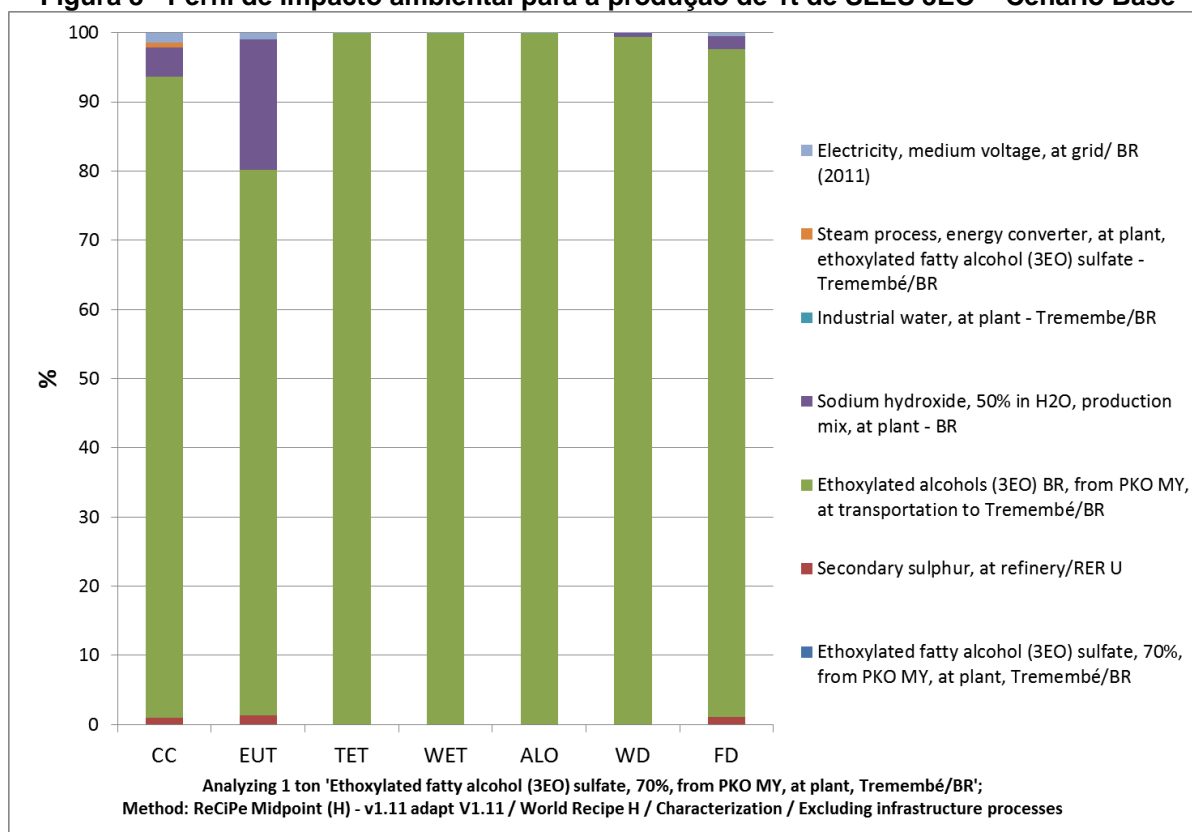
**Tabela 6 – Inventários de Referência *Ecoinvent* para produção de SLES 3EO**

Referência <i>Ecoinvent</i>
Fatty alcohol sulfate, palm kernel oil, at plant/RER U
Ethoxylated alcohols (AE3), palm kernel oil, at plant/RER U
Fatty alcohol, from palm kernel oil, at plant/RER U
Ethylene oxide, at plant/RER U

### 5.3 Avaliação de Impactos Ambientais

A Figura 8 e a Tabela 7 resumam o Perfil de Desempenho Ambiental do sistema de produto em análise, que foi determinado pela aplicação do método ReCiPe Midpoint (H) v1.11 adaptado, como definido anteriormente no tópico 5.1.2.6. Para esta etapa do estudo foram selecionadas, do universo de possibilidades disponível, as seguintes categorias de impacto: Mudanças Climáticas (CC); Eutrofização de água doce (EUT); Ecotoxicidade Terrestre (TET); Ecotoxicidade de água doce (WET); Ocupação de Terras Agrícolas (ALO); Depleção de recursos hídricos e fósseis (WD e FD).

**Figura 8 - Perfil de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO – Cenário Base**



**Tabela 7 - Perfil de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO – Cenário Base**

Categoria de impacto	Unidade	Total
CC	kg CO <sub>2</sub> eq	1,86E+03
EUT	kg P eq	1,01E-01
TET	kg 1,4-DB eq	9,07E+02
WET	kg 1,4-DB eq	1,42E+02
ALO	m <sup>2</sup> a	1,17E+03
WD	m <sup>3</sup>	1,98E+02
FD	kg oil eq	6,00E+02

A partir do perfil de impacto ambiental para a produção de SLES 3EO, procedeu-se à identificação dos aspectos ambientais que tiveram maiores contribuições em cada categoria de impacto.

Em termos de *Mudanças Climáticas* a maior das parcelas de contribuição (92,5%) é oriunda do álcool laurílico etoxilado 3EO, que por sua vez, herda 70% (1210 kg CO<sub>2</sub>

eq) do álcool laurílico, 14% (234 kg CO<sub>2</sub> eq) do óxido de etileno e 4% (65 kg CO<sub>2</sub> eq) do vapor consumidos em sua produção.

Quanto às contribuições globais para esta categoria de impacto, as transformações de solo para cultivo de palma contribuem com 22% (403 kg CO<sub>2</sub> eq); os tratamentos culturais para promover o crescimento da palma com 20% (367 kg CO<sub>2</sub> eq); 19% (360 kg CO<sub>2</sub> eq) são oriundos da queima de combustíveis fósseis para geração de energia térmica e da própria produção do gás natural consumido nesta ação.

Os transportes rodoviários que ocorrem ao longo de toda a cadeia produtiva aportam 9% (168 kg CO<sub>2</sub> eq); outros 6% (106 kg CO<sub>2</sub> eq) são herdados da geração de energia elétrica no Brasil; 4% (69 kg CO<sub>2</sub> eq) advêm da produção de óxido de etileno, além de mais 3% (51 kg CO<sub>2</sub> eq) devidos ao transporte transoceânico do óleo de palmiste desde a Ásia até o Brasil.

Em termos de *Eutrofização de água doce*, 79% das contribuições são provenientes do álcool laurílico etoxilado e 19% do hidróxido de sódio utilizados na produção do álcool etoxilado sulfatado, principalmente originárias de perdas de fósforo para a água.

Efeitos relativos à *Ecotoxicidade Terrestre e Aquática* são herdadas do álcool laurílico etoxilado e contabilizadas pelas perdas do pesticida agrícola *Cypermethrin* para as águas superficial e profunda durante o cultivo da palma.

Os resultados em termos de *Ocupação de Terras Agrícolas* foram profundamente afetados pela participação de insumos de origem renovável no sistema de produto, e dentre estes, deve merecer especial destaque o óleo de palmiste. Esta constatação ocorreu também para *Depleção de recursos hídricos* em que os processos agrícolas mostram a principal participação.

Os impactos em termos de *Depleção de recursos fósseis* podem ser justificados pelos consumos de combustíveis derivados de petróleo nos transportes realizados em todo o ciclo de vida do produto em análise, assim como, de gás natural para geração de energia térmica para os processamentos. O processamento de óxido de etileno, que é insumo de origem fóssil, completa a relação de estágios contribuidores deste impacto.

Dentro de uma análise concisa e direcionada, as principais contribuições em termos de impactos ambientais para produção de SLES 3EO têm suas origens associadas a três estágios da cadeia de produção:

- I. Produção de álcool laurílico – de origem a partir de óleo de palmiste renovável – com os respectivos aportes provenientes das transformações de solo e dos tratos culturais para cultivo de palma na Ásia; e do transporte transoceânico do óleo de palmiste para o Brasil;
- II. Geração de energia térmica – via aportes que são provenientes da queima de combustíveis fósseis para geração de vapor;
- III. Síntese de óxido de etileno – por conta de sua procedência a partir de etileno, que neste caso é ativo de origem fóssil.

Além destes, são contribuintes com certa importância para o desempenho ambiental do SLES 3EO: os transportes rodoviários que ocorrem ao longo de toda a cadeia e a geração de energia elétrica que também é utilizada nos processamentos industriais em diversas etapas do mesmo arranjo produtivo.

## 6 PROPOSIÇÃO DE AÇÕES DE MELHORIA DE DESEMPENHO AMBIENTAL

### 6.1 Estudo de Cenários Alternativos

A partir da identificação dos principais aportes em termos de impactos ambientais para o processamento de SLES 3EO apresentados no capítulo anterior, foram delineadas as potenciais soluções para melhoria de desempenho ambiental. Essas possibilidades foram projetadas a partir de critérios de ordem econômica, tecnológica e operacional, para depois terem sua validade ambiental verificada a partir da aplicação da técnica de ACV.

Para o Grupo I – Álcool laurílico – dois cenários foram delineados. O Cenário I compreendeu a substituição do óleo de palmiste importado desde a Ásia por insumo equivalente produzido no estado do Pará, região Norte do Brasil. A alternativa, que inclui o cultivo de palma e a respectiva produção de óleo de palmiste, se propõe a verificar a influência de: (i) mudanças de tecnologia de cultivo agrícola de palma no Brasil; e (ii) substituição do arranjo original de transportes – que compreende deslocamentos rodoviários e marítimos.

O Cenário II considerou a substituição do álcool laurílico de origem renovável (PKO) por álcool laurílico sintético obtido de fonte fóssil a partir de olefinas de petróleo. Essa ação teve por objetivo principal examinar a influência em termos de perfil de impactos ambientais da substituição de um insumo de origem renovável congêneres de origem petroquímica.

Para verificar a influência da substituição de combustíveis fósseis utilizados nas etapas de processamento industrial que ocorrem no Brasil (Grupo II), testou-se o uso de geração de energia térmica a partir de biomassa. Essa alternativa configurou o Cenário III. O intuito do caso presente foi de aferir tendências que vem se tornando recorrentes no setor químico, de aumento da fração de insumos energéticos de fontes renováveis para a geração de calor em locais em que há disponibilidade a menores custos de lenha, bagaço e palha de cana (Confederação Nacional da Indústria, 2012).

Por fim, o Cenário IV, testado como alternativa ao Grupo III, apresenta a substituição de óxido de etileno fóssil por sucedâneo derivado de etileno de cana-de-açúcar. Os propósitos deste avanço trataram de medir diferenças em termos de perfil de impactos ambientais da substituição de um insumo de origem petroquímica pela

alternativa de origem renovável. Os cenários definidos para análise estão resumidos na Tabela 8.

**Tabela 8 – Cenários alternativos testados para o processamento de 1 t de SLES 3EO**

Cenário	Álcool laurílico			Energia térmica		Óxido de etileno	
	PKO Ásia	PKO Brasil	Sintético	Fóssil	Biomassa	Fóssil	Verde
Base	x			x		x	
1		x		x		x	
2			x	x		x	
3	x				x	x	
4	x			x			x

## 6.2 Cenário I – PKO Brasil

### 6.2.1 Definição de escopo

#### 6.2.1.1 Definição do sistema de produto e fronteiras

O ciclo de vida do produto se inicia na etapa de cultivo de palma que, para este cenário, se desenvolve em localidades agrícolas instaladas no Brasil, estado do Pará.

Assim como ocorre no Cenário Base, o óleo de palmiste é extraído da semente do fruto de palma (*palm kernel*) após colheita. Da mesma forma que ocorre nas produções malaia e indonésia, a energia utilizada na extração de óleo advém de cogeração, via queima dos restos orgânicos da etapa agrícola (cascas e bagaços de palma).

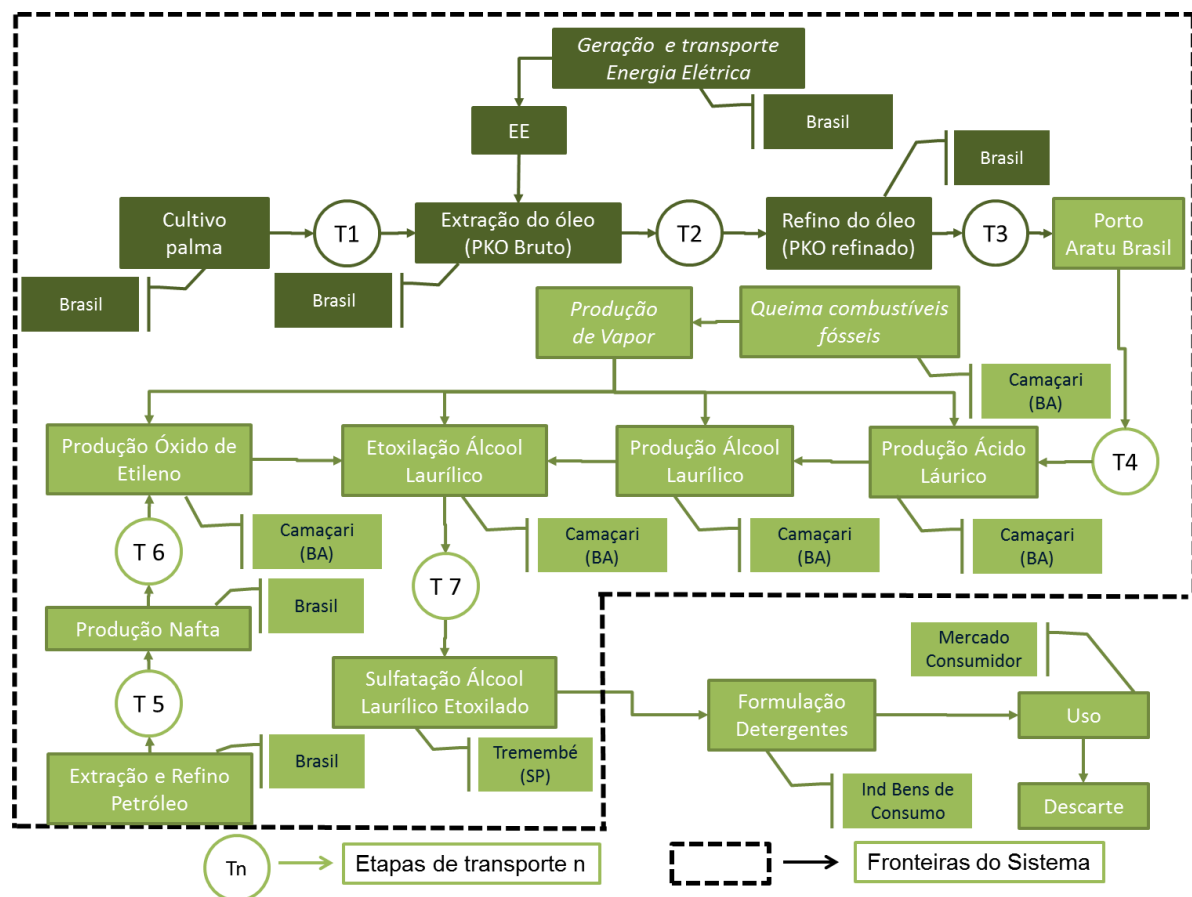
O óleo de palmiste bruto é extraído em instalações próximas às regiões de cultivo em Tailândia (PA) e posteriormente transportado por via fluvial até Belém (PA) para usina que realiza seu refino (QUEIROZ, 2011). Os patamares de qualidade do PKO obtido neste processo são idênticos aos do Cenário Base. O PKO refinado é transportado via cabotagem desde o Porto de Belém (PA) até o porto de Aratu (BA). As etapas subsequentes de processamento seguem as mesmas condições e premissas estabelecidas para o Cenário Base, até a obtenção SLES 3EO.



Em termos de colocação de fronteiras, foram incluídos processos elementares desde o cultivo da palma, passando pelas etapas de extração e beneficiamento do óleo, ambos de ocorrência no Pará, seguidos de transporte marítimo de cabotagem do óleo refinado para a Bahia.

As etapas de transporte envolvidas nesse processamento foram também consideradas pelo sistema de produto, além da produção de utilidades industriais envolvidas em outras etapas da cadeia produtiva. Constam também do sistema de produto as perdas para o ambiente de efluentes hídricos e emissões atmosféricas. O sistema de produto considerado está esquematizado na Figura 9.

**Figura 9 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário I**



### 6.2.1.2 Definição da Função do Produto

O estudo em questão se restringe, em termos de aplicação da ACV, a uma abordagem do tipo “berço ao portão da fábrica”, e assim, aspectos ambientais e seus respectivos impactos de pós-produção deixam de ser observados. Desta

forma, definição da função do produto deixa de ter sentido, não sendo, portanto, estabelecida neste caso.

#### *6.2.1.3 Fluxo de Referência (FR)*

Foi estabelecido como fluxo de referência: “produzir 1,0 t álcool laurílico etoxilado sulfatado”.

#### *6.2.1.4 Critérios de Exclusão de Aspectos Ambientais*

Foram adotados os mesmos critérios de exclusão do Cenário Base; quais sejam: (i) de contribuição cumulativa do aspecto em relação ao total de entradas ou saídas do processo elementar; e (ii) de relevância ambiental.

#### *6.2.1.5 Procedimentos de Alocação*

A solução para contornar situações de multifuncionalidade foi aplicar critérios de alocação. Isso ocorreu na etapa de produção do óleo de palmiste que ocorre no Brasil, seguindo critério de alocação econômica a partir da referência utilizada (Queiroz, 2011).

#### *6.2.1.6 Tipos de Impactos e Metodologia de Avaliação de Impactos Ambientais*

Mais uma vez nesse caso, inclusive para viabilizar comparações com o Cenário Base, optou-se pelo método ReCiPe Midpoint (H) para levar adiante a AICV. Fez-se opção ainda, pelas seguintes categorias de impacto ambientais:

- Mudanças climáticas (CC);
- Eutrofização de água doce (EUT);
- Ecotoxicidade terrestre (TET);
- Ecotoxicidade de água doce (WET);
- Ocupação de terras agrícolas (ALO);
- Depleção de recursos hídricos (WD);
- Depleção de recursos fósseis (FD).

### 6.2.1.7 Qualidade dos Dados

*Cobertura temporal:* assim como durante a elaboração do diagnóstico inicial, os dados primários foram coletados de maneira continuada por 12 (doze) meses no curso do ano de 2011. A modelagem do cultivo de palma e da produção de óleo de palmiste está baseada em dados secundários coletados em Queiroz (2011). O autor destaca, no entanto, que a cobertura temporal usada em seu estudo compreende os 24 anos de operação da Agropalma, empresa adotada como modelo para desenvolvimento daquele estudo.

*Cobertura geográfica:* novamente neste caso a cobertura geográfica praticamente coincide com aquela definida para o Cenário Base. A diferença entre as situações reside na substituição dos cultivos realizados na Malásia e Indonésia, pelas produções agrícolas que ocorrem na região de Tailândia (PA) – Amazônia brasileira.

*Cobertura tecnológica:* a mesma filosofia de similaridade aplicadas para os itens homólogos do estabelecimento de Qualidade de Dados foi seguida para definição da cobertura tecnológica. Houve exceção apenas quanto à tecnologia agrícola que é empregada nos cultivos de palma e extração de óleo que ocorrem no Brasil. Todas as limitações e cuidados explicitados anteriormente quanto ao caráter de exclusividade do estudo seguem sendo válidos também para o caso presente.

*Fonte dos dados:* os dados referentes a todos os estágios industriais de processo seguiram sendo obtidos de fontes primárias. A quantificação de aspectos ambientais relacionados à extração e refino de petróleo e produção de seus derivados, a extração e distribuição de gás natural, assim como a geração e distribuição de energia elétrica foram obtidas de fontes secundárias, ou seja, dados de literatura. Como já enunciado no curso desse mesmo tópico os dados empregados para efeito de modelagem do estágio agrícola de cultivo de palma, e para a extração de óleo foram obtidos junto a Queiroz (2011), constituindo-se, por isso, também de dados secundários.

*Tratamento dos dados:* procedeu-se também nesta situação um tratamento de dados baseado na aplicação de balanços de matéria e energia, como vistas a

verificar se os valores dos fluxos de entrada e saída de cada processo elementar, ou conjunto de processos elementares que constituem o sistema eram consistentes.

#### 6.2.1.8 *Premissas e Hipóteses*

Além das premissas e hipóteses apontadas para o Cenário Base, foram adotadas premissas adicionais e específicas para a presente situação do estudo, as quais são indicadas a seguir:

- O consumo de água durante o cultivo da palma foi estimado com base no índice pluviométrico da região e incorporado ao inventário (MORAES *et al.*, 2005);
- Em termos de uso e transformação do solo considerou-se que o cultivo da palma ocorre sobre solo amazônico que, no entanto, foi desmatado anteriormente com vistas à implantação de outras atividades antrópicas. Essa circunstância confirma a dispensabilidade de queimadas como prática de preparo do solo para o referido processamento agrícola (ROCHA, 2011; AGROPALMA, 2013; IMAZON, 2015);
- O cultivo de palma e a extração do óleo de palmiste bruto ocorrem na região de Tailândia (PA) a uma distância média de 30km entre a região de cultivo e a usina de extração (QUEIROZ, 2011);
- O refino do óleo de palmiste ocorre em uma refinaria da Agropalma em Belém (PA) (AGROPALMA, 2015);
- O transporte de PKO bruto é realizado parcialmente por via rodoviária e por via fluvial através do Rio Moju. As distâncias foram estimadas utilizando aplicativo *Google Maps* (81,9km via rodoviária entre unidade industrial de extração de óleo bruto em Tailândia (PA) e terminal fluvial Agropalma CRAI - Rio Moju-PA; e 194,1km via fluvial do terminal CRAI da Agropalma em Tailândia (PA) até o terminal CRA em Belém (PA) (ANTAQ; AGROPALMA, 2015);
- Admitiu-se que a taxas de fixação de carbono do ar pela palma seriam equivalentes na Ásia e Brasil pelo fato de em ambas as situações ser usada a mesma variedade de cultivo – *Elaeis guineensis* Jacq. (SILVA *et al.*, 2014).

## **6.2.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do SLES 3EO – Cenário I**

Foram elaborados os inventários referentes ao cultivo de palma, à extração de óleo de palmiste bruto e ao refino de óleo de palmiste realizados no Brasil, assim como as respectivas etapas de transporte inerentes a essa situação. Os demais ICVs deste sistema de produto coincidem com aqueles que constituem o Cenário Base.

### *6.2.2.1 Cultivo de palma e extração de óleo de palmiste bruto*

As tecnologias agrícolas empregadas para o cultivo de palma obedecem às seguintes etapas: cultivo tradicional do dendê constituído das fases de pré-viveiro, viveiro, plantio definitivo, aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas e colheita que, para aquela situação, ocorre pela via manual (QUEIROZ, 2011).

A produção de óleo bruto é feita por prensagem. As energias elétrica e térmica são provenientes da queima de biomassa e, portanto, renováveis. Mais detalhes sobre o sistema de cogeração são apresentados a seguir no tópico 6.2.2.2.

### *6.2.2.2 Produção de energia a partir de biomassa*

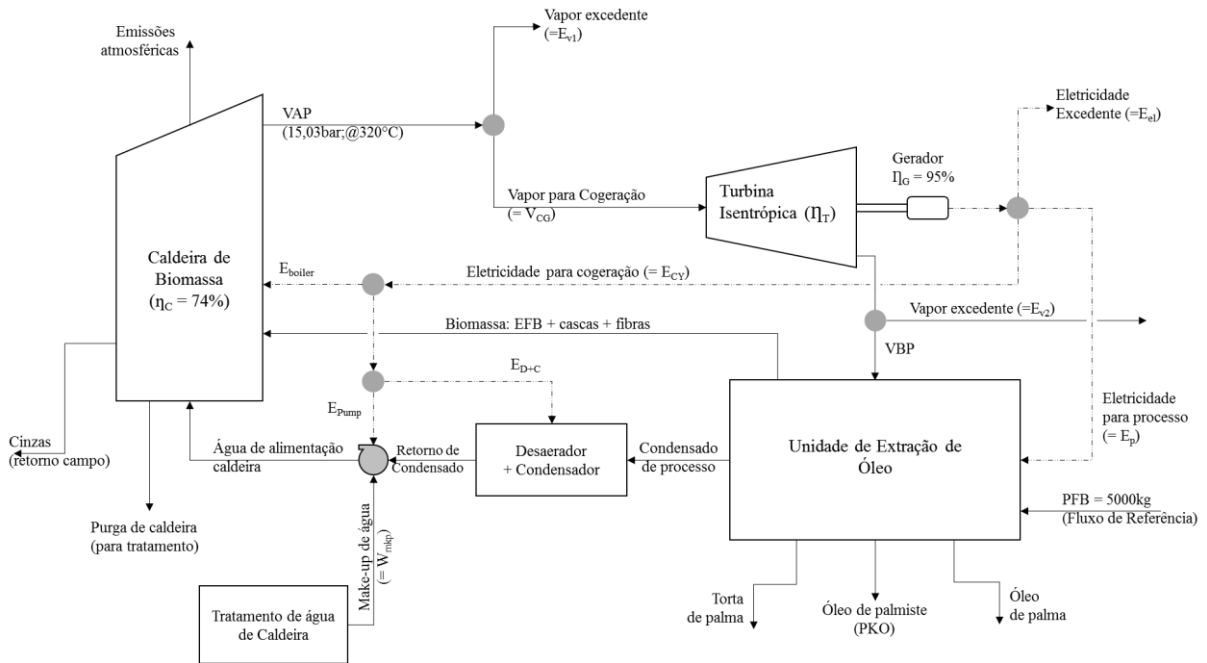
Segundo Queiroz (2011) a planta de extração de óleo tem as demandas de energia – térmica e elétrica – supridas por queima de biomassa decorrente de restos vegetais dos cachos de palma. O autor não faz referência a excedentes de biomassa no estudo, nem quanto a potenciais usos desses materiais. Os consumos específicos são de 3,0t vapor e 100 kWh de energia elétrica para cada tonelada de óleo produzida.

Ainda a respeito do balanço energético, constatou-se a existência de conflitos entre valores na mesma referência. Não constam também, do mesmo arrazoado, explicações mais detalhadas sobre a origem dos dados ou quanto aos tratamentos matemáticos que lhes foram imputados. Assim, não foi possível recuperar os resultados apontados nos ICVs quanto a tais características.

Por esta razão fez-se necessário realizar uma modelagem do sistema de cogeração de energia sustentado pelo reaproveitamento do excedente de biomassa do processo, composta de cachos de frutos vazios, cascas e fibras. A Figura 10 traz de maneira esquemática o modelo de cogeração de energia acoplado à unidade de

extração de óleo. Já a Tabela 9 destaca os elementos principais do balanço energético relativo ao mesmo sistema.

**Figura 10 - Modelo extração de óleo de palmiste e cogeração de energia: visão geral**



**Tabela 9 – Elementos principais do balanço energético do sistema de cogeração energia - Cenário I**

Elementos	Parâmetros	Valores
Eficiência da turbina (isentrópica)	$\eta_T$ (%)	76
Eficiência do gerador elétrico	$\eta_G$ (%)	90
Excedente de vapor descarregado antes da alimentação da turbina	$E_{v1}$ (GJ)	10,1285
Vapor que segue para a cogeração	$V_{CG}$ (GJ)	9,3900
Excedente de vapor descarregado após passagem pela turbina e antes de seguir para o processo	$E_{v2}$ (GJ)	1,0551
Excedente de eletricidade gerado pelo sistema	$E_{el}$ (kW)	0,10
Retorno de condensado	$R_c$ (t)	2,7334
Make-up de água para o ciclo de cogeração	$W_{mkp}$ (t)	4,0225

Fluxo de referência: 5000kg PFB (*palm fruit bunches*, ou cachos de frutos de palma)

Com relação ao sistema de cogeração devem ser destacados os seguintes aspectos:

- Taxa de conversão  $\eta_C = 74\%$  de energia química presente no bagaço em energia térmica recuperada na forma de vapor de alta pressão;
- A quantidade de vapor que segue no sistema ( $V_{CG}$ ) é suficiente apenas para atender à demanda de eletricidade da planta de extração de óleo. Por outro lado admitiu-se que toda a biomassa associada ao cacho de palma é queimada na caldeira. Essa adequação foi realizada não apenas para evitar impactos ambientais associados à disposição do excedente deste material, mas também para gerar cinzas em quantidades suficientes para atender demandas de carbono (C), magnésio (Mg) e sódio (Na) do cultivo agrícola. Portanto a quantidade de vapor excedente produzida naquele equipamento ( $E_{V1}$ ) é purgada para a atmosfera;
- A conduta acima descrita foi empregada também para efeito de atendimento da demanda térmica do processo, com relação ao vapor excedente de baixa pressão que emana da turbina ( $E_{V2}$ );
- A taxa de conversão global de energia térmica em energia elétrica é obtida da associação entre os desempenhos da turbina ( $\eta_T$ ) e gerador ( $\eta_G$ ), e totaliza 72,2%;
- A quantidade apontada de energia elétrica excedente ( $E_{el}$ ) refere-se a um residual, apenas para segurança da integridade operacional do sistema, e por isso será também descartada;
- O total de água de make-up ( $W_{mkp}$ ) foi calculado para compensar as perdas ocorridas na caldeira (purga) e nas linhas de distribuição de fluidos do sistema de cogeração.

### 6.2.2.3 Refino do óleo de palmiste bruto

O ICV de referência do banco de dados *Ecoinvent* correspondente à etapa de produção de óleo de palmiste do Cenário Base compreende tanto a extração como o refino do óleo na mesma etapa (JUNGBLUTH *et al.*, 2007). O estudo realizado por Queiroz (2011) não contempla a fase de refino do óleo de palmiste, portanto, a fim de garantir comparabilidade dos dois modelos, foi construído o inventário de refino do óleo de palmiste bruto baseado no inventário de referência da base de dados

USLCI, efetuando as devidas customizações para as condições brasileiras: da entrada de energia elétrica e do óleo diesel processado na Bahia.

O processo de customização da base de dados USLCI tornou as duas abordagens compatíveis a ponto de ambas poderem ser utilizadas no estudo sem trazer prejuízo para a qualidade dos resultados obtidos.

#### 6.2.2.4 Bases de dados e referências utilizadas

A Tabela 10 resume os inventários construídos e/ou adaptados a partir das referências indicadas.

**Tabela 10 – Inventários construídos e referências para Cenário I**

<b>Inventários construídos</b>	<b>Referências</b>
Palm fruit bunches, at farm/BR (Pará - Agropalma)	(QUEIROZ, 2011)
Palm kernel oil, crude, at plant/BR U	(QUEIROZ, 2011)
Palm oil, crude, at plant/BR U	(QUEIROZ, 2011)
Palm meal, at oil plant/BR U	(QUEIROZ, 2011)
Biomass, to boiler/BR U	Calculado a partir de Kole, Joshi e Shonnard (2012)
Condensate, to boiler/BR U	Calculado a partir de modelagem
Palm kernel oil, refined, at plant/BR U	Palm kernel oil, processed, at plant/kg/RNA (Base de dados USLCI)
Electricity, high voltage, production BR, at grid/BR U (2014)	Electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR (Base de dados <i>Ecoinvent</i> )
Diesel, combusted in industrial boiler/BR	Diesel, combusted in industrial boiler//US (Base de dados USLCI)

Para os transportes transoceânico e rodoviário, foram empregados os bancos de dados indicados na Tabela 11.



Tabela 11 – Inventários de Referência *Ecoinvent* para transportes

Sistema de transporte	Referência Ecoinvent
Fluvial	Transport, barge tanker/RER U
Marítimo (Cabotagem)	Transport, barge tanker/RER U
Rodoviário Brasil	Transport, lorry 7.5-16t, EURO4/RER U

### 6.2.3 Produção SLES 3EO – Cenário I

A partir da substituição da entrada de PKO da Malásia do Cenário Base pelo PKO do Brasil foi construído o inventário do SLES 3EO - Cenário I, que está disponível para consulta sob a forma consolidada no Apêndice A.1 deste documento.

## 6.3 Cenário II – Álcool laurílico sintético

### 6.3.1 Definição de escopo

#### 6.3.1.1 Definição do sistema de produto e fronteiras

Neste cenário o álcool laurílico anteriormente obtido a partir do processamento de óleo de palmiste extraído de palma de origem renovável é substituído por um congêner sintético derivado de olefinas e etileno produzidos a partir de petróleo. Este processo que se desenvolve nos EUA, é representado por um mix de álcoois graxos composto em 82% por ativos produzidos a partir do processo Oxo e, em 18% por outros gerados via processo Ziegler e foi obtido do Banco de Dados *Ecoinvent* (ZAH E HISCHIER, 2007).

O álcool laurílico sintético produzido nos EUA é admitido para consumo no estágio industrial que ocorre no Brasil chegando ao país pelo porto de Aratu (BA).

Neste cenário o álcool laurílico sintético é utilizado diretamente como insumo na etapa de etoxilação, quando se combina com óxido de etileno para produzir álcool laurílico etoxilado com 3 mols de EO, obedecendo às mesmas condições estabelecidas para o Cenário Base, até a obtenção do SLES 3EO.

Em termos de colocação de fronteiras foram incluídos processos elementares desde a extração e refino do petróleo, passando pelas etapas de obtenção de etileno, parafinas, olefinas e finalmente álcool laurílico sintético. Todas essas transformações ocorrem nos EUA e, portanto, foram também incorporados ao modelo os transportes até a unidade em que ocorrem os processamentos industriais que complementam a cadeia produtiva.

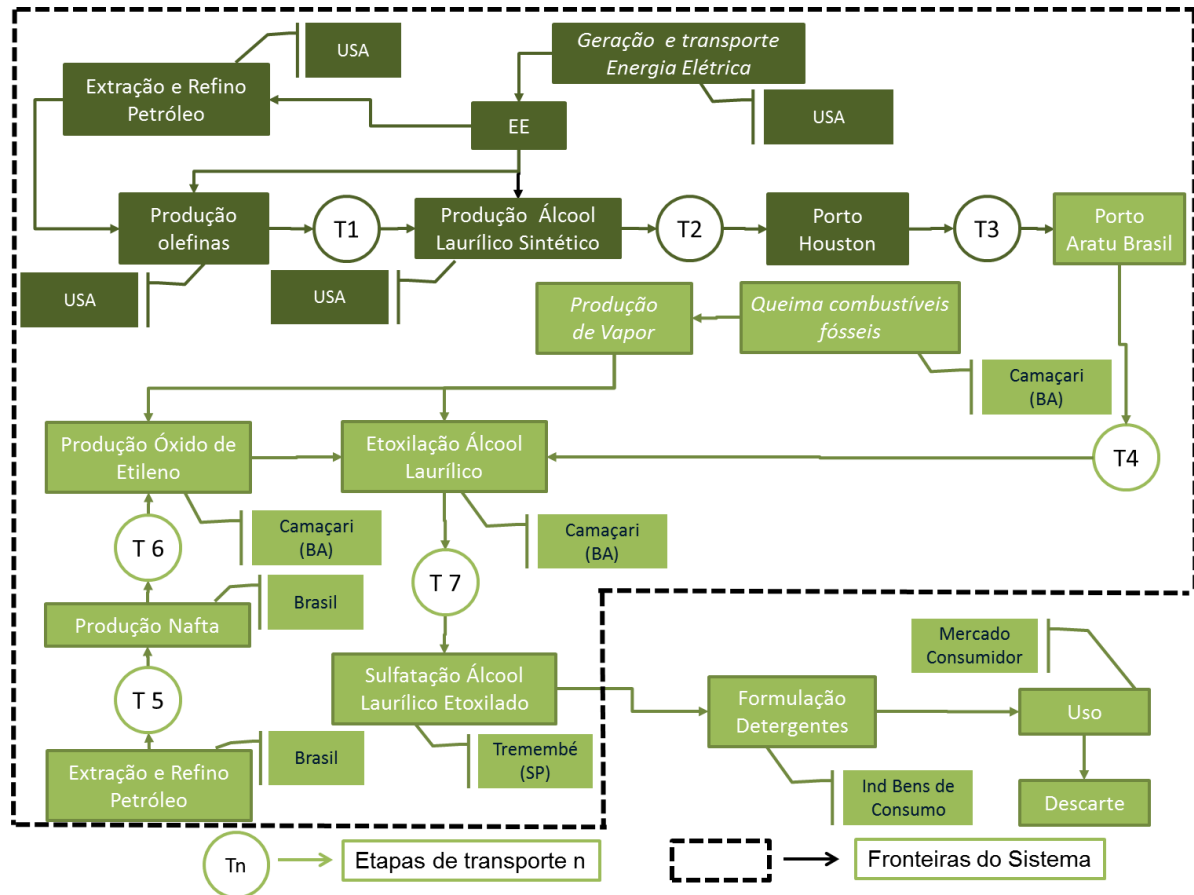
Tal como nos casos anteriores as utilidades industriais envolvidas no processamento, assim como os fluxos elementares de saída do sistema e suas respectivas destinações finais foram também considerados. A Figura 11 mostra a versão final do sistema de produto estabelecido para o Cenário II.

#### 6.3.1.2 Definição da Função do Produto

O estudo em questão se restringe, em termos de aplicação da ACV, a uma abordagem do tipo “berço ao portão da fábrica”, e assim, aspectos ambientais e

seus respectivos impactos de pós-produção deixam de ser observados. Desta forma, definição da função do produto deixa de ter sentido, não sendo, portanto, estabelecida neste caso.

**Figura 11 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário II**



### 6.3.1.3 Fluxo de Referência (FR)

Foi estabelecido como fluxo de referência: “produzir 1,0 t álcool laurílico etoxilado sulfatado”.

### 6.3.1.4 Critérios de Exclusão de Aspectos Ambientais

Foram adotados os mesmos critérios de exclusão do Cenário Base, a saber: (i) contribuição cumulativa do aspecto em relação ao total de entradas ou saídas do processo elementar e (ii) relevância ambiental.

#### 6.3.1.5 Procedimentos de Alocação

No Cenário II não ocorrem situações de multifuncionalidade e, portanto, não se fez necessária a aplicação de procedimentos de alocação como ocorreu no Cenário Base.

#### 6.3.1.6 Tipos de Impactos e Metodologia de Avaliação de Impactos Ambientais

Mais uma vez nesta situação fez-se uso do modelo ReCiPe Midpoint (H) para levar adiante a AICV. As categorias de impacto selecionadas para esta etapa do estudo foram:

- Mudanças climáticas (CC);
- Eutrofização de água doce (EUT);
- Ecotoxicidade terrestre (TET);
- Ecotoxicidade de água doce (WET);
- Ocupação de terras agrícolas (ALO);
- Depleção de recursos hídricos (WD);
- Depleção de recursos fósseis (FD).

#### 6.3.1.7 Qualidade dos Dados

*Cobertura temporal:* os dados usados para compor os ICVs do ramo referente ao processamento de álcool laurílico sintético foram obtidos de bancos de dados e assim, acompanham a cobertura temporal determinada por ocasião de sua elaboração. Os demais ICVs mantêm suas coberturas temporais de idênticas com relação ao Cenário Base.

*Cobertura geográfica:* tal como aparece mencionado no preâmbulo desta descrição, a produção do álcool laurílico sintético ocorre nos EUA. Essa consiste da única dissonância em termos de cobertura geográfica com relação àquela estabelecida para o Cenário Base.

*Cobertura tecnológica:* o arranjo tecnológico usado para processamento do álcool laurílico sintético foi descrito em termos de suas operações principais no tópico que retrata a definição do sistema de produto e a colocação de fronteiras para o Cenário II. Vale lembrar mais uma vez ser este o diferencial introduzido pelo presente cenário em comparação ao Cenário Base. As limitações e cuidados explicitados anteriormente quanto ao caráter de exclusividade do estudo seguem sendo válidos também para o caso presente.

*Fonte dos dados:* Os dados referentes ao processamento do álcool laurílico sintético são essencialmente de origem secundária e foram obtidos junto ao banco de dados Ecoinvent (ZAH E HISCHIER, 2007).

*Tratamento dos dados:* assim como ocorreu para os cenários anteriores, realizou-se também para a situação presente uma verificação baseada na aplicação de balanços de massa e energia para conferir consistência aos valores dos fluxos de entrada e saída dos processos elementares e conjuntos de processos elementares que constituem o sistema de produto.

#### 6.3.1.8 Premissas e Hipóteses

Além das premissas e hipóteses apontadas para o Cenário Base que seguem sendo válidas para esta situação de análise, foram também adotadas premissas específicas para a modelagem do sistema de produto relativo ao Cenário II. Essas proposições estão indicadas a seguir:

- Muito embora os ICVs de referência que foram usados para representar a produção do álcool graxo fossem baseados em tecnologias médias europeias, admitiu-se que as mesmas condições operativas processuais fossem válidas no desenvolvimento de tecnologias idênticas praticadas nos EUA;
- Para modelagem dos transportes de álcool laurílico sintético, adotou-se 100km como a distância média entre a unidade de produção e porto de Houston (EUA), a partir do qual ocorre o escoamento do ativo para o Brasil. Além disso, definiu-se que o trajeto transoceânico se estenderia até o Porto de Aratu (BA), ao longo de uma distância de 8791km. Esse intervalo foi determinado com auxílio do aplicativo Sea Rates (SEARATES, 2015).

### 6.3.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do SLES 3EO – Cenário II

Foram adaptados para a condição norte-americana os inventários referentes à produção de olefinas, parafina e etileno, considerando principalmente a substituição da entrada de energia elétrica média europeia dos inventários de referência para o grid norte-americano médio de energia elétrica. Foram também construídos elaborados ICVs correspondentes às etapas de transporte realizadas até a conexão do álcool laurílico sintético com os inventários locados à jusante deste, construídos originalmente para compor o Cenário Base.

#### 6.3.2.1 Bases de dados e referências utilizadas

A Tabela 12 resume os inventários elaborados e/ou adaptados a partir do Banco de Dados *Ecoinvent*, bem como as referências originais.

**Tabela 12 – Inventários adaptados e referências para Cenário II**

<b>Inventários adaptados</b>	<b>Referências (Base de dados <i>Ecoinvent</i>)</b>
Fatty alcohol, petrochemical, at plant/US	Fatty alcohol, petrochemical, at plant/RER U
N-olefins, at plant/US	N-olefins, at plant/RER U
Ethylene, at plant/US	Ethylene, average, at plant/RER U
Paraffin, at plant/US	Paraffin, at plant/RER U

Para os transportes transoceânico e rodoviário foram empregados, respectivamente, os bancos de dados indicados na Tabela 13.

**Tabela 13 – Inventários de Referência *Ecoinvent* para transportes**

<b>Sistema de transporte</b>	<b>Referência <i>Ecoinvent</i></b>
Transoceânico	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Rodoviário Brasil	Transport, lorry 7.5-16t, EURO3/RER U
Rodoviário EUA	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO4/RER U

### **6.3.3 Produção de SLES 3EO – Cenário II**

A partir da substituição da entrada de PKO da Malásia do Cenário Base pelo álcool laurílico sintético foi construído o inventário do SLES 3EO - Cenário II, que está disponível para consulta sob a forma consolidada no Apêndice A.1 deste documento.

## **6.4 Cenário III – Energia térmica a partir de biomassa**

### **6.4.1 Definição de escopo**

#### *6.4.1.1 Definição do sistema de produto e fronteiras*

O sistema de produto definido para o Cenário III segue as mesmas orientações dadas ao Cenário Base com relação à forma e os locais de cultivo de palma. O arranjo usado para os processamentos industriais segue a mesma temática até a obtenção do SLES 3EO, exceto pela utilização de biomassa para geração de energia térmica em todos os processamentos industriais que ocorrem no Brasil, em substituição aos combustíveis fósseis utilizados para a situação original.

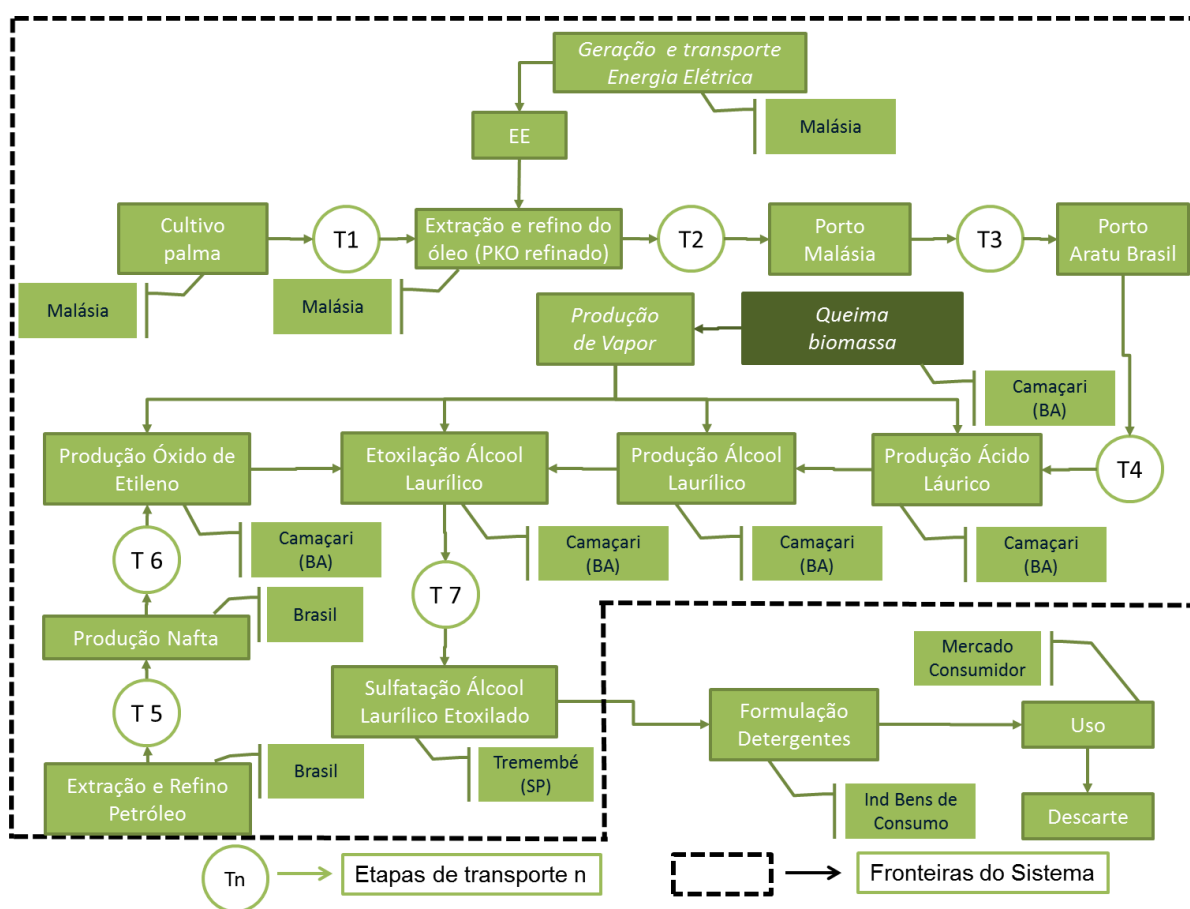
Neste caso cavacos de madeira são queimados em caldeira modular com vistas à geração de vapor em condições de superaquecimento de alta pressão (20 bar e 350°C). O vapor deixa a unidade em direção a uma turbina na qual expande transferindo energia para um gerador elétrico.

Conforme expande e cede sua energia, o vapor vai também se enquadrando, quanto às condições termodinâmicas, em usos potenciais do processo industrial. Assim, o fluido é extraído da turbina em diferentes níveis de pressão e segue para outras áreas da unidade com o objetivo de atender demandas térmicas. É usual ocorrer mudança de fase nesses casos; exatamente nessa condição os condensados de vapor são coletados e encaminhados para a caldeira a fim de dar início a novo ciclo termodinâmico (neste caso, ciclo Rankine).

Perdas que por ventura ocorram durante o trajeto, na forma de purga, arraste, ou evaporação, são supridas por ações de reposição de água desmineralizada. As cinzas decorrentes da queima da biomassa são dispostas em aterro sanitário.

Em termos de colocação de fronteiras, foram, portanto incluídos neste sistema de produto os processos elementares de: cultivo da palma; extração e beneficiamento do óleo na Ásia; transporte marítimo do óleo refinado até o Brasil; e as transformações industriais necessárias para obtenção de álcool laurílico etoxilado sulfatado. Fazem parte ainda do modelo a produção de utilidades – com ênfase especial à cogeração de energia por biomassa. A forma final do sistema de produto utilizado para condução do estudo no Cenário III está esquematizada a seguir na Figura 12.

**Figura 12 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário III**



#### 6.4.1.2 Definição da Função do Produto

O estudo em questão se restringe, em termos de aplicação da ACV, a uma abordagem do tipo “berço ao portão da fábrica”, e assim, aspectos ambientais e seus respectivos impactos de pós-produção deixam de ser observados. Desta forma, a definição da função do produto deixa de ter sentido não sendo, portanto, estabelecida neste caso.



#### 6.4.1.3 Fluxo de Referência (FR)

Foi estabelecido como fluxo de referência: “produzir 1,0 t álcool laurílico etoxilado sulfatado”.

#### 6.4.1.4 Critérios de Exclusão de Aspectos Ambientais

Foram adotados os mesmos critérios de exclusão do Cenário Base; quais seja: (i) contribuição cumulativa do aspecto em relação ao total de entradas ou saídas do processo elementar; e (ii) relevância ambiental.

#### 6.4.1.5 Procedimentos de Alocação

A solução para contornar situações de multifuncionalidade foi aplicar critérios de alocação. Isso ocorreu na etapa de produção do óleo de palmiste que ocorre na Malásia, seguindo critério de alocação econômica a partir de referência já utilizada em inventários deste produto na base de dados *Ecoinvent* (JUNGBLUTH *et al.*, 2007).

#### 6.4.1.6 Tipos de Impactos e Metodologia de Avaliação de Impactos Ambientais

Optou-se mais uma vez por fazer uso do modelo ReCiPe Midpoint (H) de AICV, com vistas a poder comparar os resultados obtidos no Cenário III com os que decorrem de outros cenários. Tendo em vista as características do estudo – que examina apenas alternativas de substituição de energia – foram selecionados tão somente as seguintes categorias de impacto:

- Mudanças climáticas (CC);
- Ocupação de terras agrícolas (ALO);
- Depleção de recursos fósseis (FD).

#### 6.4.1.7 Qualidade dos Dados

*Cobertura temporal:* os dados usados para compor os ICVs da cogeração de energia térmica e elétrica via queima de biomassa foram obtidos de bancos de dados e assim, acompanham a cobertura temporal determinada por ocasião de sua elaboração. Os demais ICVs mantêm suas coberturas temporais de idênticas com relação ao Cenário Base.

*Cobertura geográfica:* a variante testada pelo Cenário III não altera em termos mais amplos a cobertura geográfica estabelecida para o Cenário Base e assim, para o caso presente aquelas orientações foram preservadas.

*Cobertura tecnológica:* o arranjo tecnológico definido para cogeração de energia a partir de biomassa está descrito em termos de suas operações principais no tópico que retrata a definição do sistema de produto e colocação de fronteiras para o Cenário III. Este se constitui no único diferencial introduzido pela presente situação em comparação ao Cenário Base. As limitações e cuidados explicitados anteriormente quanto ao caráter de exclusividade do estudo seguem sendo válidos também para o presente caso.

*Fonte dos dados:* Os dados referentes à produção de energia são essencialmente de origem secundária e foram obtidos junto ao banco de dados *Ecoinvent*.

*Tratamento dos dados:* assim como ocorreu para os cenários anteriores, realizou-se também para o Cenário III uma verificação de consistência baseada na aplicação de balanços de massa e energia. Esta ação recaiu sobre todos os fluxos de entrada e saída dos processos elementares e conjuntos de processos elementares que integram o sistema de produto.

#### 6.4.1.8 *Premissas e Hipóteses*

As premissas e hipóteses apontadas para o Cenário Base foram complementadas por outras, de caráter específico para o Cenário III. São elas:

- A modelagem da geração de vapor neste cenário foi realizada considerando queima de resíduos de madeira na forma de cavacos e com umidade média de 40%<sub>w/w</sub> (*wood chips*);

- Admitiu-se que a água empregada pelo sistema de cogeração seria tratada em unidade independente de desmineralização e que os efluentes gerados a partir dessa transformação seguem para a estação de tratamento de efluentes da planta;
- Os consumos de cavacos e água foram dimensionados para atender na totalidade toda a demanda de energia térmica de processamento industrial.

#### **6.4.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do SLES 3EO – Cenário III**

Foram construídos ICVs referentes à geração de energia térmica a partir de biomassa para serem usados em substituição àqueles usados no Cenário Base com o objetivo de atender à mesma necessidade.

##### **6.4.2.1 Bases de dados e referências utilizadas**

A Tabela 14 lista os ICVs construídos e/ou adaptados, bem como as referências desde onde estes foram obtidos junto ao Banco de Dados *Ecoinvent*.

**Tabela 14 – Inventários construídos e referências para Cenário III**

<b>Inventários construídos</b>	<b>Referências (Base de dados <i>Ecoinvent</i>)</b>
Heat, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation energy*/BR U	Heat, at cogen 6400kWth, wood, emission control, allocation energy/CH U
Wood chips, hardwood, from industry, u=40%, at plant*/BR U	Wood chips, hardwood, from industry, u=40%, at plant/RER U

#### **6.4.3 Produção de SLES 3EO – Cenário III**

A partir da substituição da entrada de energia térmica produzida a partir de combustíveis fósseis do Cenário Base pela energia térmica produzida a partir de biomassa foi construído o inventário do SLES 3EO - Cenário III, que está disponível para consulta sob a forma consolidada no Apêndice A.1 deste documento.

## 6.5 Cenário IV – EO verde

### 6.5.1 Definição de escopo

#### 6.5.1.1 Definição do sistema de produto e fronteiras

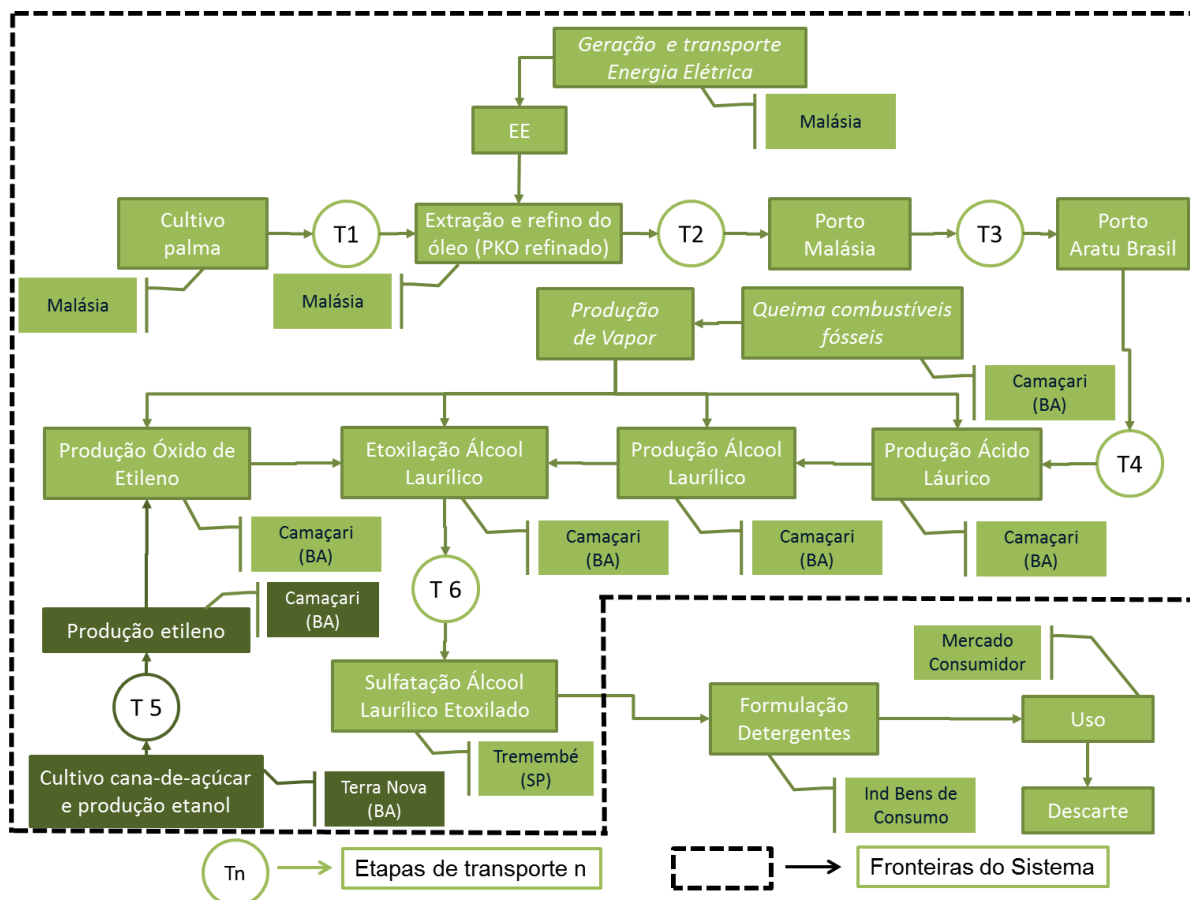
Para o Cenário IV a modelagem do sistema de produto incorpora a produção de óxido de etileno de origem renovável (chamado também de óxido de etileno verde) ao arranjo original expressado pelo Cenário Base. As demais etapas seguem inalteradas com relação à referência.

Industrialmente, óxido de etileno é produzido quando eteno e oxigênio reagem entre si em presença de catalisador de prata. O processo se dá em condições relativamente baixas de temperatura (200–300°C) mas sob elevadas pressões (10-20bar) e atinge rendimentos da ordem de 80% em produto (REBSDAT E MAYER, 2000).

O eteno consumido no processo é obtido via desidratação de etanol, reação que muito embora seja catalisada, ocorre favoravelmente apenas a temperaturas elevadas por questões de seletividade (KOSARIC *et al.*, 2011). Na síntese de óxido de etileno verde o etanol é originário de cana-de-açúcar.

Quanto à colocação de fronteiras foram incluídos processos elementares relativos ao cultivo de cana-de-açúcar, produção de etanol e síntese de eteno via desidratação catalítica. Foram ainda incorporados ao modelo os transportes, desde a região agrícola até a unidade de processamento de eteno, além das respectivas utilidades. A Figura 13 descreve o arranjo final do sistema de produto estabelecido para o Cenário IV.

Figura 13 - Sistema de produto e respectivas fronteiras – Cenário IV



### 6.5.1.2 Definição da Função do Produto

O estudo em questão se restringe, em termos de aplicação da ACV, a uma abordagem do tipo “berço ao portão da fábrica”, e assim, aspectos ambientais e seus respectivos impactos de pós-produção deixam de ser observados. Desta forma, definição da função do produto deixa de ter sentido, não sendo, portanto, estabelecida neste caso.

### 6.5.1.3 Fluxo de Referência (FR)

Foi estabelecido como fluxo de referência: “produzir 1,0 t álcool laurílico etoxilado sulfatado”.

### 6.5.1.4 Critérios de Exclusão de Aspectos Ambientais

Foram adotados para o Cenário IV os mesmos critérios de exclusão do Cenário Base; quais sejam: (i) contribuição cumulativa do aspecto em relação ao total de entradas ou saídas do processo elementar; e (ii) relevância ambiental.

#### *6.5.1.5 Procedimentos de Alocação*

No Cenário IV não ocorrem situações de multifuncionalidade e, portanto, não se fez necessária a aplicação de procedimentos de alocação como ocorreu no Cenário Base.

#### *6.5.1.6 Tipos de Impactos e Metodologia de Avaliação de Impactos Ambientais*

O método ReCiPe Midpoint (H) foi também adotada nesta situação para condução da AICV. No entanto, diante das características do sistema em análise, sua aplicação se restringiu às seguintes categorias de impacto:

- Mudanças climáticas (CC);
- Eutrofização de água doce (EUT);
- Ecotoxicidade terrestre (TET);
- Ecotoxicidade de água doce (WET);
- Ocupação de terras agrícolas (ALO);
- Depleção de recursos hídricos (WD);
- Depleção de recursos fósseis (FD).

#### *6.5.1.7 Qualidade dos Dados*

*Cobertura temporal:* tendo em vista o fato de que o ramo de processamento usado para modelagem do óxido de etileno verde ser composto de dados secundários, a cobertura temporal adotada para esse arranjo coincide com aquela empregada para elaboração dos respectivos ICVs junto ao Banco de Dados *Ecoinvent*.

*Cobertura geográfica:* o diferencial do Cenário IV com relação à situação original em termos desse requisito está no cultivo de cana-de-açúcar, o qual se desenvolve no município de Terra Nova (BA). Quaisquer outras variações de ordem geográfica

foram introduzidas por conta de bancos de dados empregados para complementar o estudo.

*Cobertura tecnológica:* o encadeamento processual que suporta a produção de óxido de etileno verde está descrito de maneira sucinta no tópico que retrata a definição do sistema de produto e colocação de fronteiras do Cenário IV. Tal como já foi mencionado antes, esta cadeia de produção representa o diferencial introduzido pela presente situação em comparação ao Cenário Base. As limitações e cuidados explicitados anteriormente quanto ao caráter de exclusividade do estudo seguem sendo válidos também para o caso presente.

*Fonte dos dados:* Os dados referentes à produção de óxido de etileno renovável são essencialmente de origem secundária e foram obtidos junto ao Banco de dados *Ecoinvent*.

*Tratamento dos dados:* assim como ocorreu nos casos anteriores, realizou-se para o Cenário IV a verificação de consistência dos fluxos de entrada e saída dos processos elementares e conjuntos de processos elementares que integram o respectivo sistema de produto. Em termos operativos a ação compreendeu aplicação de balanços de massa e energia.

#### 6.5.1.8 Premissas e Hipóteses

As premissas e hipóteses formuladas para efeito de modelagem do Cenário Base foram complementadas por outras, de caráter específico para o Cenário IV. São elas:

- A decisão de considerar o cultivo de cana-de-açúcar e a respectiva produção de etanol em Terra Nova (BA) se deu em virtude de sua representatividade para o total de produção de cana do estado (CUENCA E MANDARINO, 2007), e da proximidade da destilaria com a indústria produtora de etileno e óxido de etileno;
- A produção de etileno a partir de etanol de cana-de-açúcar ocorre na mesma localidade da planta industrial produtora de óxido de etileno verde.

### 6.5.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do SLES 3EO – Cenário IV

Foram construídos ICVs referentes ao cultivo de cana-de-açúcar e às sínteses de etanol, etileno e óxido de etileno verdes para serem usados em substituição àqueles usados no Cenário Base com o objetivo de atender à mesma necessidade.

#### 6.5.2.1 Bases de dados e referências utilizadas

A Tabela 15 lista os ICVs construídos e/ou adaptados, bem como as referências desde onde estes foram obtidos junto ao Banco de Dados *Ecoinvent*.

**Tabela 15 – Inventários construídos e referências para Cenário IV**

Inventários construídos	Referências
Ethylene oxide (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O), from sugarcane ethanol, at plant, Camaçari/BR	Ethylene oxide, at plant/RER U (Base de dados <i>Ecoinvent</i> )
Ethylene, from sugarcane ethanol, at plant /BR	(BARATELLI JUNIOR, 1981; KAGYRMANOVA <i>et al.</i> , 2011)
Ethanol, at sugar refinery (95% in H <sub>2</sub> O), Bahia/BR	Ethanol, 95% in H <sub>2</sub> O, from sugar cane, at fermentation plant/BR U (Base de dados <i>Ecoinvent</i> )
Sugarcane, at farm, Terra Nova (BA)/BR	Sugarcane, at farm/BR U (Base de dados <i>Ecoinvent</i> )

### 6.5.3 Produção de SLES 3EO – Cenário IV

A partir da substituição da entrada de óxido de etileno de origem petroquímica do Cenário Base pelo óxido de etileno verde foi construído o inventário do SLES 3EO - Cenário IV, que está disponível para consulta sob a forma consolidada no Apêndice A.1 deste documento.



## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados da avaliação de impactos ambientais para cada um dos cenários alternativos testados e realiza uma discussão acerca dos principais aportes e das diferenças proporcionadas por essas situações em relação ao desempenho ambiental do Cenário Base. Além disso, faz-se também ao final do capítulo uma discussão dos resultados considerando o Balanço de Carbono para todos os cenários avaliados.

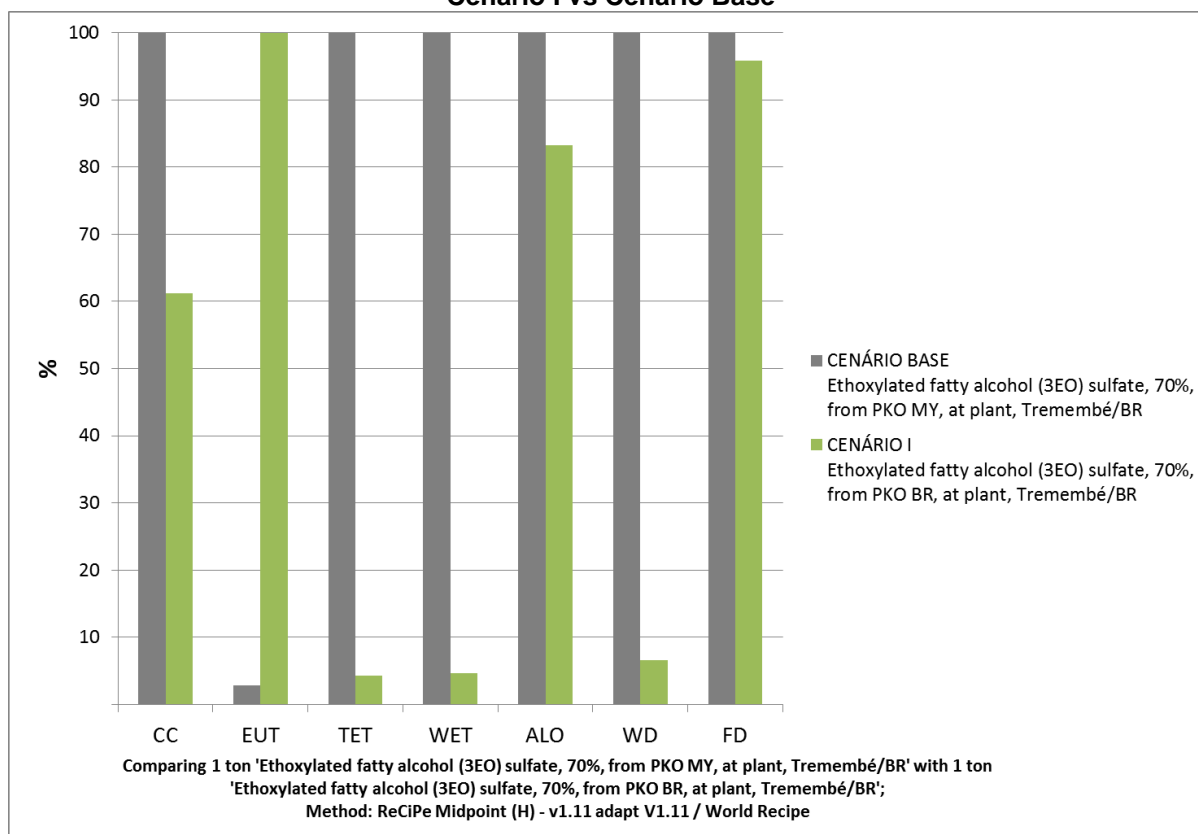
### 7.1 Avaliação efetividade – Cenário I – PKO Brasil

A Tabela 16 sumariza impactos ambientais determinados pela aplicação do método ReCiPe Midpoint (H) v1.11 – adaptado, para os Cenários I e Base, e a Figura 14 ilustra, em termos relativizados, a comparação entre essas mesmas situações para as categorias de impacto de: Mudanças Climáticas (CC); Eutrofização de água doce (EUT); Ecotoxicidade Terrestre (TET); Ecotoxicidade de água doce (WET); Ocupação de Terras Agrícolas (ALO); Depleção de recursos hídricos e fósseis (WD e FD).

**Tabela 16 – Impactos ambientais para a produção de 1t de SLES 3EO  
Cenário I vs Cenário Base**

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Cenário Base</b>	<b>Cenário I</b>
CC	kg CO <sub>2</sub> eq	1,86E+03	1,14E+03
EUT	kg P eq	1,01E-01	3,57E+00
TET	kg 1,4-DB eq	9,07E+02	3,91E+01
WET	kg 1,4-DB eq	1,42E+02	6,60E+00
ALO	m <sup>2</sup> a	1,17E+03	9,75E+02
WD	m <sup>3</sup>	1,98E+02	1,31E+01
FD	kg oil eq	6,00E+02	5,75E+02

**Figura 14 – Comparação de perfis de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO  
Cenário I vs Cenário Base**



Em termos de CC, o Cenário I aporta 720 kg CO<sub>2</sub> eq (39%) a menos do que o Cenário Base. Essa diferença pode ser justificada devido:

- À etapa de transformação de solo para cultivo de palma, que na Ásia predispõe a prática de queimadas, cujas emissões atmosféricas contribuem com 403 kg CO<sub>2</sub> eq para a categoria no Cenário Base. No Brasil esta prática não ocorre; conforme destacado anteriormente, o cultivo da palma ocorre sobre solo amazônico previamente desmatado para implantação de outras atividades antrópicas e essa circunstância confirma a dispensabilidade de queimadas como prática de preparo do solo para o referido processamento agrícola (ROCHA, 2011; AGROPALMA, 2013; IMAZON, 2015). Portanto, nota-se uma redução significativa do aporte global para CC;
- Aos tratos culturais para promover o crescimento da palma, que na Ásia contribuem com 367 kg CO<sub>2</sub> eq mas que no Brasil aportam apenas 106 kg CO<sub>2</sub> eq, devido ao menor consumo de fertilizantes, pesticidas e a ausência de irrigação mecanizada;

- Aos modais de transporte utilizados; enquanto o PKO da Ásia é transportado por uma distância média de 16000 km via marítima transoceânica aportando 51 kg CO<sub>2</sub> eq, o transporte do PKO no Brasil é realizado por via fluvial e marítima (cabotagem) por uma distância média de 3000 km, do que resulta um aporte de 30 kg CO<sub>2</sub> eq.

Em termos de EUT, o Cenário I representa 35 vezes mais impacto do que o Cenário Base. Isso ocorre essencialmente em virtude de perdas de fósforo para a água durante o cultivo de palma. Enquanto o cultivo realizado na Ásia predispõe emissões da ordem de 0,0244 kg P eq, a atividade agrícola realizada no Brasil aporta 3,53 kg P eq. Estas diferenças são observadas também no nível de inventário, onde o cultivo de palma (PFB) na Ásia emite 1,06E-05 kg P eq/kg PFB contra 1,63E-03 kg P eq/kg PFB no Brasil. Muito embora seja inadequado efetuar comparações entre categorias, deve-se destacar que as contribuições de ambos os cenários em termos de EUT detêm as menores magnitudes dentre todos os impactos ambientais verificados.

As principais contribuições relativas à TET e WET são contabilizadas pelas perdas do pesticida agrícola *Cypermethrin* para as águas superficial e profunda durante o cultivo da palma na Ásia. Este pesticida não é utilizado no cultivo da palma no Brasil, o que justifica as diferenças de magnitude – da ordem de 23 e 22 vezes maiores para o Cenário Base – respectivamente em termos de TET e WET. Segundo Queiroz (2011) o cultivo da palma brasileira utiliza-se apenas de glifosato para controle de pragas, que possui fator de caracterização significativamente inferior para estas categorias de impacto em comparação ao *Cypermethrin*, justificando os melhores resultados nestas categorias.

Em relação à ALO, o resultado 17% inferior demonstrado pelo Cenário I se justifica pela produtividade agrícola diferenciada para o cultivo da palma brasileira, de 23.500 kg/ha.ano segundo Queiroz (2011), contra 19.690 kg/ha.ano para a palma asiática segundo (PORAM, 2011).

As diferenças em relação à WD, cujas maiores contribuições são provenientes do consumo de água na etapa agrícola, decorrem da necessidade de irrigação durante o cultivo de palma na Ásia. No Brasil esse mesmo quadro não se configura por conta dos cultivos estarem instalados na região Amazônica, na qual predominam elevados índices pluviométricos, da ordem de 2300 mm (MORAES *et al.*, 2005).

O impacto em termos de FD é 4% menor no Cenário I do que no Cenário Base principalmente devido às diferenças nas atividades de transportes; a inexistência de transporte transoceânico de longa distância no caso do PKO brasileiro resultou em menores consumos de combustíveis fósseis e, portanto, em ganho de desempenho para a categoria.

## 7.2 Avaliação efetividade – Cenário II – Álcool laurílico sintético

A Tabela 17 sumariza impactos ambientais, determinado pela aplicação do método ReCiPe Midpoint (H) v1.11 – adaptado para os Cenários II e Base, enquanto que a Figura 15 ilustra a comparação relativa entre os dois perfis de impacto selecionadas para esta avaliação para as categorias de impacto de: Mudanças Climáticas (CC); Eutrofização de água doce (EUT); Ecotoxicidade Terrestre (TET); Ecotoxicidade de água doce (WET); Ocupação de Terras Agrícolas (ALO); Depleção de recursos hídricos e fósseis (WD e FD).

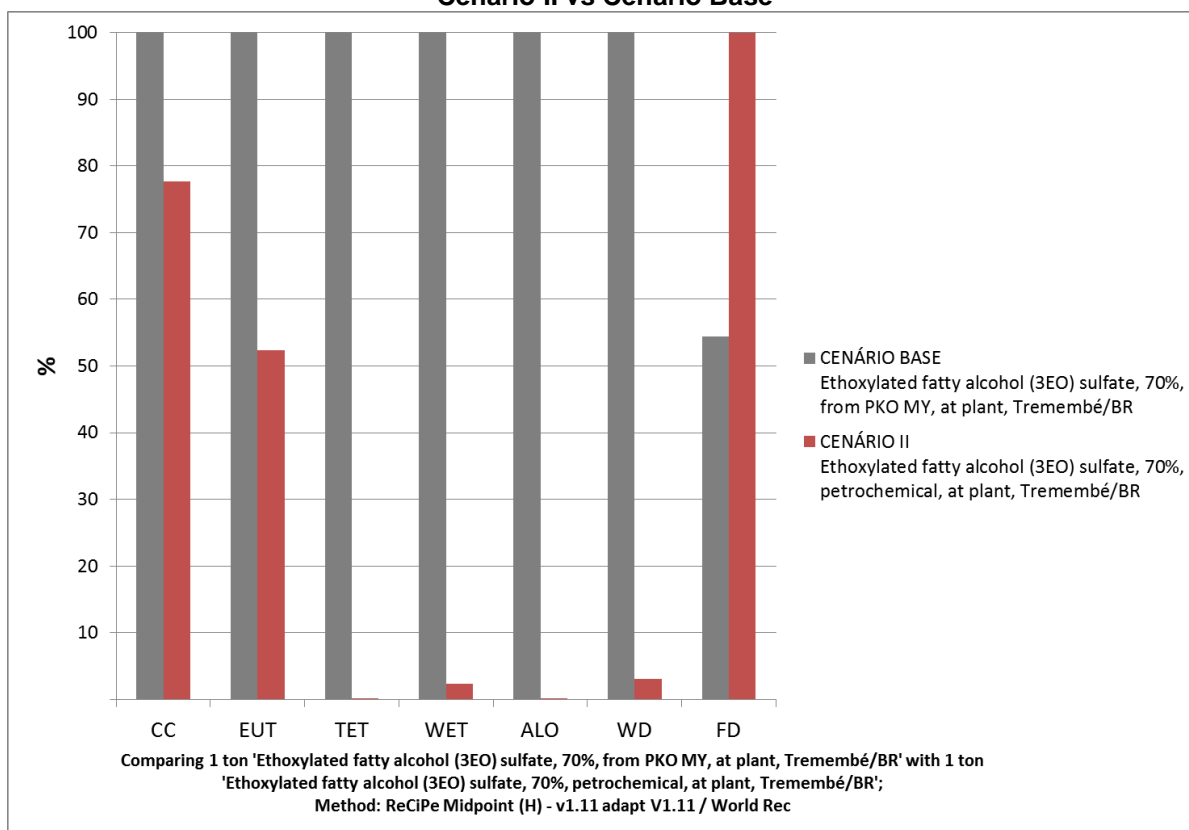
**Tabela 17 – Impactos ambientais para a produção de 1t de SLES 3EO  
Cenário II vs Cenário Base**

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Cenário Base</b>	<b>Cenário II</b>
CC	kg CO <sub>2</sub> eq	1,86E+03	1,44E+03
EUT	kg P eq	1,01E-01	5,28E-02
TET	kg 1,4-DB eq	9,07E+02	1,36E-01
WET	kg 1,4-DB eq	1,42E+02	3,25E+00
ALO	m <sup>2</sup> a	1,17E+03	2,18E-01
WD	m <sup>3</sup>	1,98E+02	5,96E+00
FD	kg oil eq	6,00E+02	1,10E+03

Para CC, a substituição do álcool laurílico de origem PKO por uma variante sintética trouxe uma redução de 23% em termos desse efeito para o Cenário II. Enquanto o álcool laurílico obtido a partir de PKO aporta 1210 kg CO<sub>2</sub> eq para o processamento de SLES 3EO, seu homólogo sintético contribui com 801 kg CO<sub>2</sub> eq, dos quais 69% (551 kg CO<sub>2</sub> eq) são herdados de insumos (n-olefinas e etileno), 17% (138 kg CO<sub>2</sub> eq) da energia térmica e 5% (43 kg CO<sub>2</sub> eq) da energia elétrica para seu processamento.

O transporte transoceânico de álcool laurílico aporta 26 kg CO<sub>2</sub> eq, representando 2% das contribuições globais para a categoria.

**Figura 15 – Comparação de perfis de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO  
Cenário II vs Cenário Base**



As contribuições em termos de EUT decorrem de perdas de fósforo para água durante o cultivo da palma no Cenário Base, fato que não ocorre no processamento do álcool laurílico sintético, implicando em um desempenho menor e, portanto, melhor para o Cenário II nesta categoria.

No Cenário Base, as principais contribuições relativas à TET e WET são herdadas do álcool laurílico etoxilado e contabilizadas por perdas de *Cypermethrin* para as águas superficial e profunda durante o cultivo da palma. A ausência de cultivo agrícola no modelo da alternativa para o Cenário II faz, portanto, com que ocorram diferenças marcantes de desempenho para ambas as categorias.

O mesmo comportamento pode ser observado para as categorias ALO e WD, que apresentam impactos superiores também para o Cenário Base, graças à presença de insumo de origem renovável, que predispõe tanto ocupação de solo como consumo de água no cultivo.

Como já se poderia supor de antemão, o Cenário II apresenta maiores contribuições para a categoria FD do que a referência, devido à substituição pelo álcool laurílico sintético, provocando um incremento de 84% nesta categoria para o Cenário II.

### 7.3 Avaliação efetividade – Cenário III – Energia térmica a partir de biomassa

A Tabela 18 sumariza os impactos ambientais determinado pela aplicação do método ReCiPe Midpoint (H) v1.11 – adaptado para os Cenários III e Base, enquanto que a Figura 16 ilustra, a partir de valores relativos, a comparação entre os perfis de impacto para ambas as situações, no tocante às categorias de: Mudanças Climáticas (CC); Ocupação de Terras Agrícolas (ALO) e Depleção de recursos fósseis (FD).

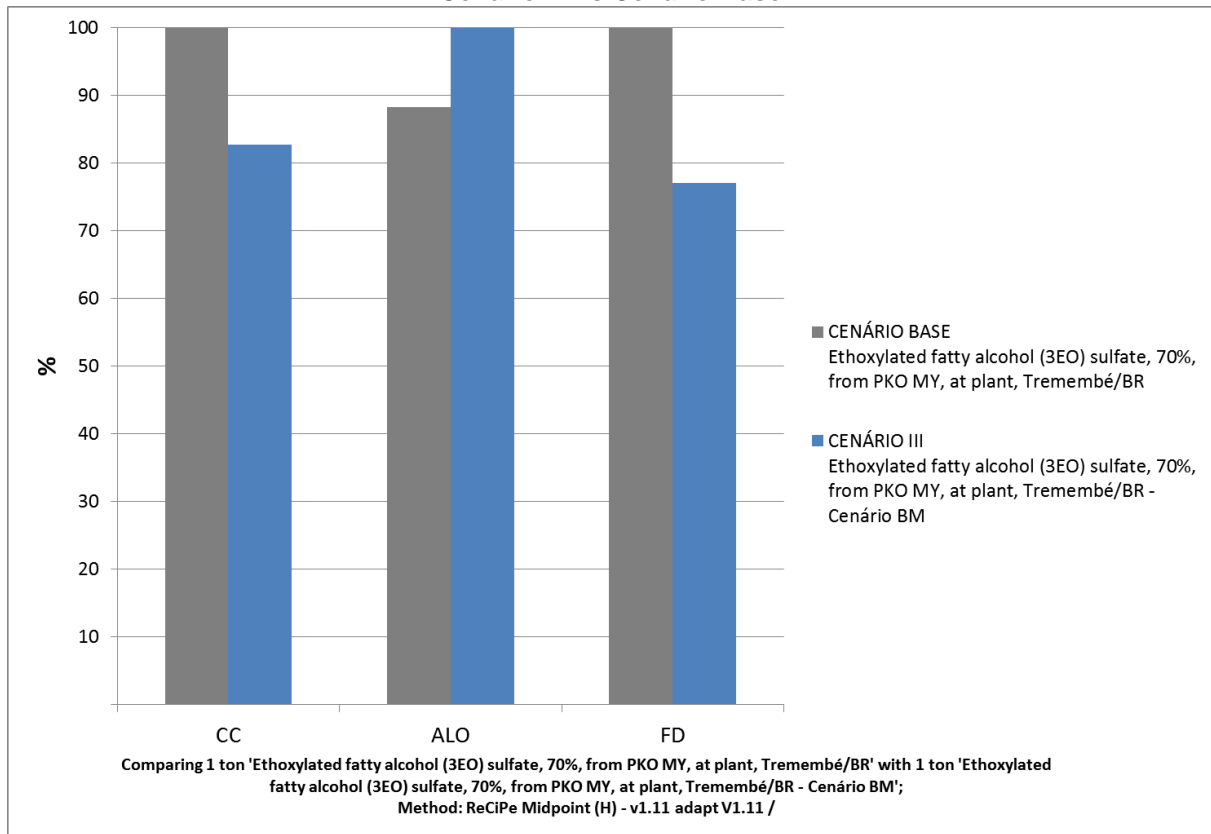
**Tabela 18 – Impactos ambientais para a produção de 1t de SLES 3EO  
Cenário III vs Cenário Base**

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Cenário Base</b>	<b>Cenário III</b>
CC	kg CO <sub>2</sub> eq	1,86E+03	1,54E+03
ALO	m <sup>2</sup> a	1,17E+03	1,33E+03
FD	kg oil eq	6,00E+02	4,62E+02

Em termos de CC a substituição da origem dos combustíveis para geração de energia térmica nos processamentos que ocorrem no Brasil, reduziu em 320 kg CO<sub>2</sub> eq (17%) os impactos globais do Cenário III em comparação ao Cenário Base. Enquanto a utilização de combustíveis fósseis para geração de energia térmica contribui com 373 kg CO<sub>2</sub> eq, a biomassa aporta 53 kg CO<sub>2</sub> eq, justificando o melhor desempenho do Cenário III nesta categoria.

Quanto a ALO, a incorporação de biomassa de origem vegetal predispõe a utilização de solo agrícola para cultivo da madeira que será utilizada como combustível. Esta entrada no sistema de produto incrementa 160 m<sup>2</sup>a os aportes para a categoria.

**Figura 16 – Comparação de perfis de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO  
Cenário III vs Cenário Base**



Já para FD, a substituição de parte do combustível fóssil consumida no ciclo de vida do SLES 3EO por biomassa promoveu uma diminuição de 23% nos impactos desta categoria, com a redução de consumo de 138 kg oil eq.



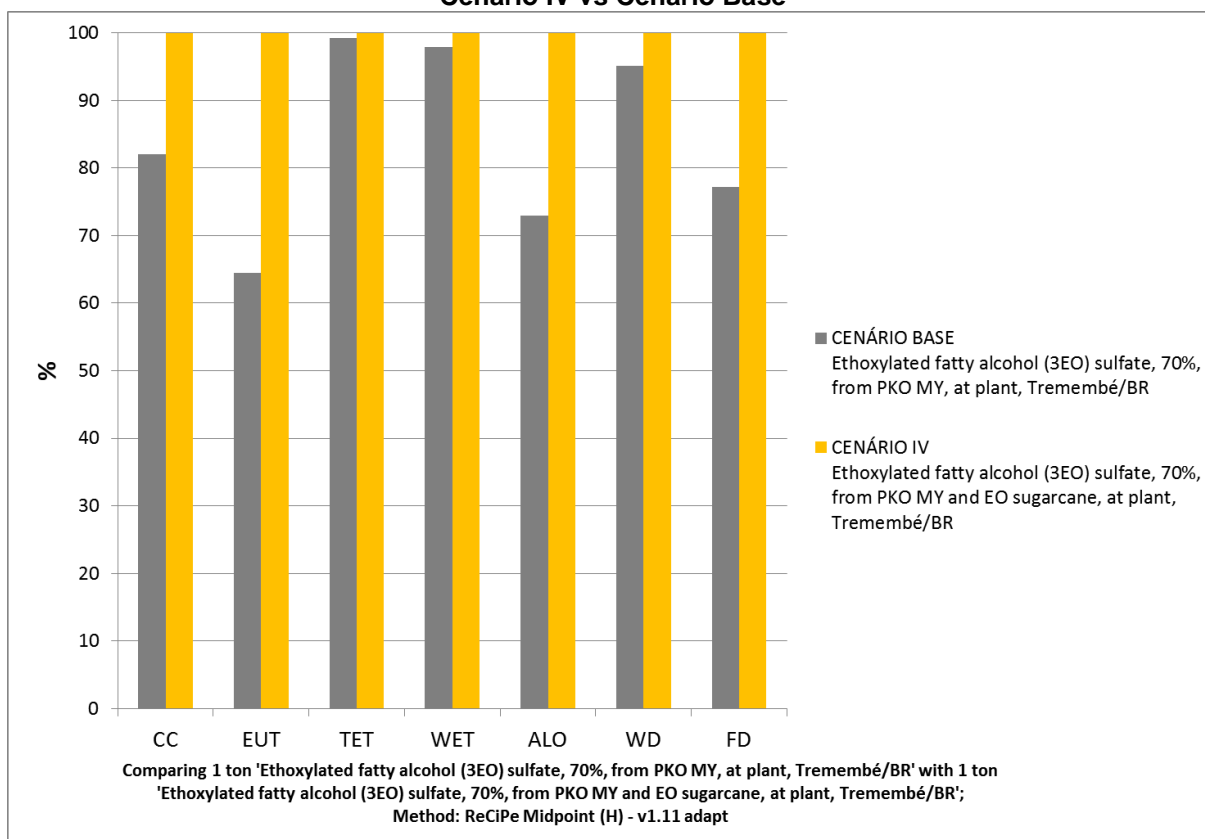
#### 7.4 Avaliação efetividade – Cenário IV – EO verde

A Tabela 19 sumariza os impactos ambientais determinados pela aplicação do método ReCiPe Midpoint (H) v1.11 – adaptado para os Cenários IV e Base, ao passo que a Figura 17 ilustra a comparação em base centesimal entre as duas situações em análise para as categorias de impacto de: Mudanças Climáticas (CC); Eutrofização de água doce (EUT); Ecotoxicidade Terrestre (TET); Ecotoxicidade de água doce (WET); Ocupação de Terras Agrícolas (ALO); Depleção de recursos hídricos e fósseis (WD e FD).

**Tabela 19 – Impactos ambientais para a produção de 1t de SLES 3EO  
Cenário IV vs Cenário Base**

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Cenário Base</b>	<b>Cenário IV</b>
CC	kg CO <sub>2</sub> eq	1,86E+03	2,26E+03
EUT	kg P eq	1,01E-01	1,56E-01
TET	kg 1,4-DB eq	9,07E+02	9,14E+02
WET	kg 1,4-DB eq	1,42E+02	1,45E+02
ALO	m <sup>2</sup> a	1,17E+03	1,60E+03
WD	m <sup>3</sup>	1,98E+02	2,09E+02
FD	kg oil eq	6,00E+02	7,77E+02

**Figura 17 – Comparação de perfis de impacto ambiental para a produção de 1t de SLES 3EO  
Cenário IV vs Cenário Base**



Em termos de CC, a substituição do óxido de etileno de origem fóssil pela alternativa renovável provocou um aumento de 22% nos impactos desta categoria para o Cenário IV. Enquanto o óxido de etileno obtido de fonte petroquímica aporta 234 kg CO<sub>2</sub> eq para o processamento de SLES 3EO, o óxido de etileno de cana-de-açúcar contribui com 639 kg CO<sub>2</sub> eq – que por sua vez herda 439 kg CO<sub>2</sub> eq do etileno derivado de cana-de-açúcar – contra 33,4 kg CO<sub>2</sub> eq do etileno petroquímico no Cenário Base.

A contribuição oriunda do etileno verde se origina principalmente da queima de combustíveis fósseis para geração de energia térmica nas diferentes etapas de seu processamento. Há ainda outro aspecto, nesse caso, de cunho metodológico a ser considerado na análise. O modelo de avaliação de impactos para CC adotado pelo método ReCiPe não contempla em suas verificações parcelas relativas à fixação de CO<sub>2</sub> do ar pela cultura ou emissões de CO<sub>2</sub> de origem biogênica. É por conta disso, principalmente, que o uso de um ativo agrícola como a cana-de-açúcar resultou em elevação das contribuições em termos de CC. Esse tema será tratado com maior nível de detalhe na sessão 7.5 do presente estudo.

O impacto na categoria EUT apresentou um aumento de 54% (0,055 kg P eq), que é justificado pelas perdas de fósforo para água durante o cultivo da cana-de-açúcar (0,0455 kg P eq) somado à disposição de cinzas em aterro oriundas da queima de bagaço para geração de energia térmica no processamento de etanol (0,01 kg P eq). As diferenças em termos de TET e WET não são consideradas significativas, portanto a substituição pelo óxido de etileno verde aparentemente não trouxe alterações relevantes de desempenho ambiental para essas categorias. As principais contribuições, em ambos os cenários, são originárias de perdas de *Cypermethrin* para as águas superficial e profunda durante o cultivo da palma.

Quanto a ALO, a incorporação do óxido de etileno verde provocou um aumento de 37% na categoria em relação ao Cenário Base devido ao incremento de 433 m<sup>2</sup>a para o cultivo de cana-de-açúcar.

O consumo de água pelos processamentos industriais para obtenção de etanol e etileno somam 10,3m<sup>3</sup> e justificam o aumento de 5% em termos de WD para o Cenário IV em relação ao Cenário Base.

Em termos de FD poderia se esperar que a substituição de um insumo de origem fóssil pelo equivalente de origem renovável promoveria uma diminuição dos impactos nesta categoria. Observou-se, entretanto, um comportamento antagônico a este, com o Cenário IV apresentando um aumento de 30% em termos de FD. Esse fenômeno pode ser explicado pela demanda por energia térmica no processo de desidratação de etanol para geração de etileno, que como indicado antes, precisa ocorrer a elevadas temperaturas. A fim de atender a essa necessidade o processo faz uso de gás natural, que faz superar o consumo global de insumos fósseis no Cenário Base.

## 7.5 Considerações sobre Balanço de Carbono

Tal como indicado na discussão estabelecida na seção 7.4 o modelo de avaliação de impacto para Mudanças Climáticas adotado pelo método ReCiPe toma por premissa o conceito de ‘*Carbono natural neutro*’. Por conta dessa abordagem deixam de ser computadas as taxas de CO<sub>2</sub> absorvido pela cultura desde o ambiente em decorrência de ação fotossintética ( $C_{fix}$ ), bem como, aportes de mesma natureza (ou seja, como CO<sub>2</sub>) de origem biogênica (CO<sub>2 biog</sub>).

Tendo em vista ser esta uma abordagem considerada como não de consenso pela comunidade científica – sobretudo para um escopo reduzido de aplicação da técnica de ACV como aquele adotado neste estudo (berço ao portão) – apresenta-se a seguir uma reflexão de como seriam registrados os desempenhos ambientais em termos de CC caso as contribuições de  $C_{fix}$  e CO<sub>2 biog</sub> fossem também computadas. Assim, constam da Tabela 20 os resultados absolutos de CC para os cinco cenários de produção de SLES 3EO analisados pelo estudo. A Figura 18 descreve os mesmos resultados, porém de forma gráfica.

**Tabela 20 – Balanço de Carbono para a produção de 1t de SLES 3EO**

		<b>Cenário Base</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>
CC	kg CO <sub>2</sub> eq	1858	1136	1444	1537	2263
CO <sub>2 biog</sub>	kg CO <sub>2</sub>	1722	1319	23	2451	2690
$C_{fix}$	kg CO <sub>2</sub>	2667	2626	21	3593	4213
Balanço	kg CO <sub>2</sub> eq	913	-171	1446	394	740

Fatores de impacto:  $C_{fix} = (-) 1,00 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kgCO}_2 \text{ fix}$  e  $\text{CO}_2 \text{ biog} = 1,00 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg CO}_2 \text{ biog}$

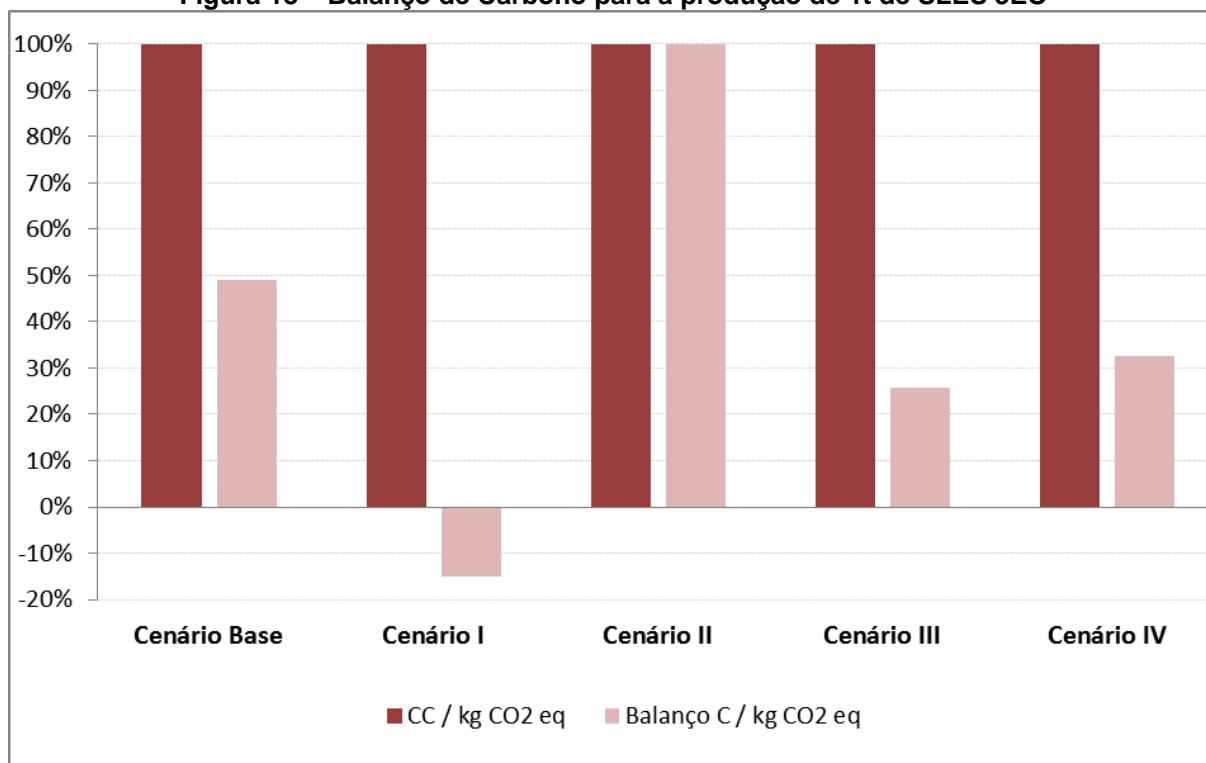
Para a realização dessas estimativas admitiu-se como fator de impacto para ambas as parcelas  $C_{fix} = (-) 1,00 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kgCO}_2 \text{ fix}$  e  $\text{CO}_2 \text{ biog} = 1,00 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg CO}_2 \text{ biog}$ . Essa decisão se fundamentou em três hipóteses: (i) o CO<sub>2</sub> é considerado substância padrão pelo modelo que quantifica CC que foi adotado pelo método ReCiPe e, por conta disso, recebe fator de impacto FI = 1,00; (ii) tratar-se em ambos os casos da mesma substância química (CO<sub>2</sub>) ainda que de origens distintas (ar e cultivo agrícola); e (iii) o referencial para quantificação das emissões ter sido colocado no meio ambiente; portanto, uma ação de captação passa a ser vista com retirada e assim, recebe sinal negativo.

Ao incorporar as emissões de  $\text{CO}_2_{\text{biog}}$  e a  $C_{\text{fix}}$  na análise observa-se uma mudança de perfil de impactos para todos os cenários com exceção do Cenário II, para o qual não foram considerados ativos de fonte renovável. As demais alternativas registram reduções significativas em termos de emissões de  $\text{CO}_2_{\text{eq}}$  ao longo do ciclo de vida no Balanço de Carbono comparativamente à categoria CC.

Para o Cenário Base esta foi de 51%. Já para o Cenário I, que substitui o PKO da Ásia por aquele gerado no Brasil percebeu-se uma redução de 115% nas emissões de  $\text{CO}_2_{\text{eq}}$ . Esta variação pode ser explicada principalmente pelas diferenças em termos de rendimento para produção de PKO a partir de PFB: enquanto na Ásia 1 t de PFB gera 26,6 kg de PKO refinado, no Brasil 1 t de PFB gera 17,5 kg de PKO bruto que posteriormente será refinado com um rendimento de 98,4%.

Ou seja, a produtividade brasileira de PKO é inferior, o que implica na necessidade de maior quantidade de palma cultivada para se obter a mesma quantidade de PKO. Disso decorre imediatamente um aumento de fixação de carbono (C) via fotossíntese e, conseqüentemente, menores emissões globais de  $\text{CO}_2_{\text{eq}}$ .

**Figura 18 – Balanço de Carbono para a produção de 1t de SLES 3EO**



No Cenário III, em que houve a substituição de combustíveis fósseis por biomassa para geração de energia térmica houve redução de 74%. Por fim, no Cenário IV, a incorporação de óxido de etileno renovável resultou em diminuição de 67%. Ambos

os comportamentos são explicados pelo aumento da fração de ativos renováveis em seu ciclo de vida comparativamente ao Cenário Base, implicando em maiores taxas de fixação de carbono (C).

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização de um diagnóstico sistêmico baseado em ACV do perfil de desempenho ambiental da produção de Álcool Laurílico Etoxilado Sulfatado (SLES 3EO) indicou que os impactos ambientais mais relevantes associados a este arranjo de processo são originárias: (i) do álcool laurílico – produzido a partir de óleo de palmiste renovável – com os respectivos aportes provenientes das transformações de solo e dos tratos culturais para cultivo de palma na Ásia; e do transporte transoceânico do óleo para o Brasil; (ii) da energia térmica – devido à queima de combustíveis fósseis para geração de vapor; e (iii) do óxido de etileno – por conta do uso de etileno de origem fóssil em seu processamento.

A partir dessas indicações foi então possível delinear potenciais soluções para melhoria de desempenho ambiental do referido processamento. Estas foram então modeladas e organizadas na forma de cenários. O Cenário I, que compreendeu a substituição do óleo de palmiste importado da Ásia por insumo produzido no Brasil, apresentou melhoria em seis das sete categorias de impacto analisadas (CC, TET, WET, ALO, WD e FD); sendo EUT a única categoria em que seu desempenho foi pior que o Cenário Base. A análise sinaliza que as diferenças nos tratos culturais e ações de transformação do solo para cultivo de palma no Brasil e nos transportes dentro do país foram determinantes para o melhor desempenho ambiental deste cenário.

O Cenário II considerou a substituição do álcool laurílico de origem renovável (PKO) por álcool laurílico sintético (de origem fóssil a partir de olefinas de petróleo). Essa possibilidade não mostrou ser melhor alternativa ambiental que o Cenário Base apenas para a categoria FD, como inclusive se poderia supor de antemão devido à incorporação de um insumo de origem fóssil. Para todas as demais categorias seu desempenho foi significativamente melhor, sendo razões fundamentais para isso: (i) ao fato do processamento de SLES 3EO a partir de álcool laurílico sintético evitar o uso de etapas dependentes de energia, as quais determinam grande impacto em termos de CC; (ii) à inexistência de etapas de cultivo agrícola, que foram responsáveis por contribuições importantes em termos de EUT, toxicidades e também de ALO e WD.

O Cenário III, em que foi testada a geração de energia térmica a partir de biomassa, apresentou-se como uma alternativa interessante ao arranjo processual do Cenário Base, visto que promoveu melhoria significativa tanto em termos de CC como de FD. A categoria ALO foi a única dentre aquelas analisadas que apresentou desempenho inferior ao expressado pela situação original devido ao cultivo da madeira utilizada como combustível.

O Cenário IV verifica os efeitos da substituição de óxido de etileno fóssil por congêneres derivados de cana-de-açúcar. Em princípio, essa adequação não trouxe vantagens marcantes em nenhuma das categorias de impacto avaliadas. Em termos de CC e FD o consumo de energia térmica de origem fóssil para a produção de etileno a partir de cana-de-açúcar foi determinante para superar as contribuições observadas nessas categorias para o Cenário Base. Já os demais efeitos foram influenciados pela etapa agrícola de cultivo de cana.

Outros contribuintes importantes para o desempenho ambiental foram: os transportes rodoviários que ocorrem ao longo de toda a cadeia e a energia elétrica que também é utilizada nos processamentos industriais em diversas etapas da cadeia. Ambos produzem efeitos consideráveis quando verificados em termos amplos; no entanto, não foi possível identificar etapas com contribuições majoritárias e/ou alternativas com potencial melhoria no desempenho ambiental que merecessem ser testadas neste estudo.

Por fim, a análise efetuada com relação às emissões de  $\text{CO}_2_{\text{biog}}$  e a  $C_{\text{fix}}$  indica uma mudança de perfil de impactos entre os cenários que possuem ativos de origem renovável participando em seu ciclo de vida.

A conclusão dessas avaliações configura uma etapa importante da iniciativa de pesquisa em tela, pois passa a viabilizar informações acerca de desempenho ambiental para apoio ao processo de tomada de decisão, que integra um dos objetivos específicos desta iniciativa de pesquisa.

Como recomendações a trabalhos futuros, sugere-se que sinergias entre os cenários avaliados sejam testadas. Tais avaliações teriam por propósito maior estabelecer a combinação de arranjos processuais que potencializasse a melhoria de desempenho ambiental para o processamento do produto em estudo.

Adicionalmente uma extensão do estudo de tais alternativas processuais deveria ser aplicada a outros produtos da mesma família do SLES 3EO com o objetivo de



multiplicar os ganhos potenciais em termos de desempenho ambiental e, para tal, recomenda-se uma avaliação sistêmica de todo o processo.

Por fim, de forma a verificar a viabilidade para implantação das melhores alternativas de desempenho ambiental, dever-se-ia realizar uma análise econômica de tais soluções.

## 9 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. A Nova Política de Substâncias Químicas da União Européia: REACH. São Paulo, 2007. 10 p. Disponível em: < [http://canais.abiquim.org.br/reach/inf\\_gerais.pdf](http://canais.abiquim.org.br/reach/inf_gerais.pdf) >. Acesso em: 25 ago. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040:2009: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas: 21 p. 2009a.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 14044:2009: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas: 46 p. 2009b.

AGROPALMA. Relatório de Sustentabilidade Agropalma 2013. São Paulo, 2013

\_\_\_\_\_. **História Agropalma.** 2015. São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://www.agropalma.com.br/historia.asp> >. Acesso em: 23 jan. 2015.

AGROW. **Agrow's Service Company Guide.** London, 1998. Disponível em: < <http://www.agrow.com> >. Acesso em: 17 jun.2014.

Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Instalações portuárias autorizadas. Disponível em: < [http://www.antaq.gov.br/Portal/Instalacoes\\_Portuarias.asp](http://www.antaq.gov.br/Portal/Instalacoes_Portuarias.asp) >. Acesso em: 10 fev. 2015.

BARATELLI JUNIOR, F. Projeto Eteno de Álcool. **Petro & Química, São Paulo** v. 4, n. 33, p.45-54, 1981.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. **The hitch hiker's guide to LCA.** Lund, Suécia: Studentlitteratur AB, 2004, 543p.

BEHR, A. Ziegler Processes. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry:** New York: Wiley\_VCH, 2000.

CASPERSEN, N. I.; SØRENSEN, A. Improvements of products by means of lifecycle assessment: high pressure cleaners. **Journal of Cleaner Production**, v. 6, n. 3-4, p. 371-380, 1998. ISSN 0959-6526. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652698000122> >. Acesso em: 18 jun.2014.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos:** ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 104 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **A trajetória da indústria química rumo à sustentabilidade.** Brasília: CNI, 2012. 89 p. (Cadernos setoriais Rio + 20) Disponível em: < [http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_24/2012/09/03/190/20121122173813500928i.pdf](http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/03/190/20121122173813500928i.pdf) >. Acesso em 20 jan.2014.

CUENCA, M. A. G.; MANDARINO, D. C. **Mudança na Geografia Agrícola: A atividade canavieira nos principais municípios produtores do Estado da Bahia.** Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Aracaju. 2007

DEWAELE, J.; PANT, R.; SCHOWANEK, D. **Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Ariel “Actif à froid” (2006), a laundry detergent that allows to wash at colder wash temperatures, with previous Ariel laundry detergents (1998, 2001).** Brussels: Procter & Gamble, Brussels Innovation Center, Central Product Safety -Environmental, 109 p. 2006

FALBE, J. **Carbon Monoxide in Organic Synthesis.** New York: Royal Society Of Chemistry, 1970. Disponível em: <  
<http://books.google.com.br/books/about/Catalysis.html?hl=pt-BR&id=d6lunl6gCJUC> >.  
 Acesso em 15 set. 2014.

FALBE, J. et al. Alcohols, Aliphatic. In: (Ed.). **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry:** Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000. ISBN 9783527306732.

FAOSTAT. **FAOSTAT - Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database 2010.**

FRISCHKNECHT, R. et al. **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods - Ecoinvent Report nº 3 - V2.0.** Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf 2007

GOEDKOOPE, M. et al. **ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level - Report I: Characterisation.** PRé Consultants, CML - University of Leiden, RUN (Radboud University Nijmegen), RIVM. Netherlands, p.133. 2013

GUBLER, R.; INOGUCHI, Y. **Chemical Economics Handbook - Detergent Alcohols (609.5000):** IHS Chemical 2013.

IMAZON. **Imazon | Desmatamento na Amazônia Legal até 2007 2015.**

JANSHEKAR, H.; GREINER, E.; INOGUCHI, Y. **Chemical Economics Handbook – Surfactants, Household Detergents and Their Raw Materials (583.8000):** IHS Chemical 2013.

JANSHEKAR, H. et al. **Specialty Chemicals Update Program – Surfactants:** IHS Chemical 2013.

JUNGBLUTH, N. et al. **Life Cycle Inventories of Bioenergy - Ecoinvent Report Nº 17 - Data V2.0.** Ecoinvent Centre - Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Uster, p.755. 2007

KAGYRMANOVA, A. P. et al. Catalytic dehydration of bioethanol to ethylene: Pilot-scale studies and process simulation. **Chemical Engineering Journal**, v. 176–177, p. 188-194, 2011. ISSN 1385-8947. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894711007625> >. Acesso em 25 ago. 2014.

KOLE, C.; JOSHI, C. P.; SHONNARD, D. R. **Handbook of Bioenergy Crop Plants**. Boca Raton, FL - USA: CRC Press, 2012. 874 p. ISBN 978-1-4398-1684-4. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books/about/Handbook\\_of\\_Bioenergy\\_Crop\\_Plants.html?hl=pt-BR&id=T6mm5-qAvpC](https://books.google.com.br/books/about/Handbook_of_Bioenergy_Crop_Plants.html?hl=pt-BR&id=T6mm5-qAvpC)>. Acesso em: 10 abr. 2014.

KOSARIC, N. et al. Ethanol. In: (Ed.). **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011. ISBN 9783527306732.

MORAES, B. C. D. et al. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 207-214, 2005. ISSN 0044-5967. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672005000200010&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672005000200010&nrm=iso)>. Acesso em: 10 abr. 2014.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Aplicações**. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002. 92 p.

NOWECK, K.; GRAFAHREND, W. Fatty Alcohols. In: (Ed.). **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000. ISBN 9783527306732.

OS, N. M. V. **Nonionic Surfactants - Organic Chemistry**. Amsterdam: Marcel Dekker, Inc., 1998. 291 ISBN 0-8247-9997-6.

PORAM. **Annual Report 2010 (for the year ending)**. Malásia: PORAM - Palm Oil Refiners Association of Malaysia 2010.

\_\_\_\_\_. **Annual Report 2011 (for the year ending)**. Malaysia: PORAM - Palm Oil Refiners Association of Malaysia 2011.

QUEIROZ, A. G. **Avaliação do ciclo de vida de biodiesel de dendê produzido na Amazônia**. 2011. 317 (Doutorado). Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA/ITEC), Universidade Federal do Pará, Pará.

REBSDAT, S.; MAYER, D. Ethylene Oxide. In: (Ed.). **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000. ISBN 9783527306732.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. 2009. text (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROCHA, T. B. **Harmonização de inventários de ciclo de vida de biocombustíveis do Brasil**. 2011. 104p. (Mestrado). Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

SANTOS, C. **Prevenção à Poluição Industrial: Identificação de Oportunidades, Análise dos Benefícios e Barreiras**. 2005. 287 text (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SEARATES. Distance and Time [map]. Scale undetermined; generated by SeaRates LP; using Google Maps. 2013., 2015. Disponível em: < <http://www.searates.com/reference/portdistance> >. Acesso em: 10 jan. 2015.

SILVA, A. L. R. T. D. **Desenvolvimento de fatores de normalização de impactos ambientais regionais para avaliação do ciclo de vida de produtos no Estado de São Paulo**. 2010. text (Doutorado). Universidade de São Paulo

SILVA, G. A. **Disciplina PQI 5849: Fundamentos da Proteção Ambiental e Segurança de Processos Industriais**. São Paulo: Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 2012.

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

SILVA, S. A. D. et al. **Teores de carbono médios para compartimentos e espécies florestais**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia. V.10: P.2990 p. 2014.

SMULDERS, E.; SUNG, E. Laundry Detergents, 2. Ingredients and Products. In: (Ed.). **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000. ISBN 9783527306732.

STACHE, H. W. **Anionic Surfactants - Organic Chemistry**. Marl: Marcel Dekker, Inc., 1996. 705 ISBN 0-8247-9394-3.

SWERN, D. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 3<sup>a</sup> Ed. Interscience Publishers, 1964.

UNEP; SETAC. What is Life Cycle Thinking? | Life Cycle Initiative. 2014. Disponível em: < <http://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/what-is-life-cycle-thinking/> >. Acesso em: 25 jan. 2014.

UNEP-UNIDO. **United Nations Environment Program & United Nations Industrial Organization**. Taking Stock and Moving Forward. The UNIDO-UNEP National Cleaner Production Centres. Sustainable Production in Practice in Developing and Transition Countries. Joint UNIDO-UNEP Programme on Resource Efficient and Cleaner Production., 2010. Disponível em: < <http://www.unep.org/resourceefficiency/Business/CleanerSaferProduction/ResourceEfficientCleanerProduction> >. Acesso em: 25 jan. 2014.

VAN DE PLASSCHE, E. J. et al. Predicted no-effect concentrations and risk characterization of four surfactants: Linear alkyl benzene sulfonate, alcohol ethoxylates, alcohol ethoxylated sulfates, and soap. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 18, n. 11, p. 2653-2663, 1999. ISSN 1552-8618. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/etc.5620181135> >. Acesso em 19 jul.2014.

VAN HOOFF, G.; SCHOWANEK, D.; FEIJTEL, T. C. J. Comparative Life-Cycle Assessment of laundry detergent formulations in the UK. Part I: Environmental fingerprint of five

detergent formulations in 2001. **Tenside Surfactants Detergents**, Munich, v. 40, n. 5, p. 10, 2003.

WCED. Our Common Future, Chapter 3: The Role of the International Economy. In: (Ed.). **Brundtland Report** - Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Geneva, Switzerland: WCED - World Commission on Environment and Development, 1987.

ZAH, R.; HISCHIER, R. **Life Cycle Inventories of Detergents - Ecoinvent Report N°12 - V2.0**. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. St. Gallen, p.97. 2007

## APÊNDICES

## APÊNDICE A.1 – Inventários do SLES 3EO – Todos os Cenários

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
<b>Entradas</b>					
Air,kg		1,54E-01			
Aluminium,kg	6,76E-03	4,17E-03	1,93E-03	6,79E-03	1,46E-02
Anhydrite,kg	9,91E-05	8,50E-05	6,78E-07	9,93E-05	1,02E-04
Asbestos, crysolite type,kg					6,22E-05
Baryte, in ground,kg					1,54E-03
Baryte,kg	3,86E-01	3,86E-01	3,82E-01	3,86E-01	3,88E-01
Basalt,kg	3,28E-06	5,97E-06	1,86E-06	3,29E-06	1,10E-05
Bauxite,kg	4,72E-05	4,76E-05	3,94E-05	4,77E-05	4,60E-05
Borax,kg	1,65E-06	1,75E-07	1,17E-07	1,65E-06	1,67E-06
Bromine,kg	1,30E-01	6,54E-03	8,30E-04	1,30E-01	2,03E-01
Cadmium, 0.30% in sulfide, Cd 0.18%, Pb, Zn, Ag, In, in ground,kg	-1,35E-06	-1,25E-06	-1,04E-06	-1,36E-06	-2,12E-06
Cadmium,kg	8,02E-05	4,64E-06	1,04E-06	8,02E-05	8,10E-05
Calcite,kg	8,32E+00	7,29E+00	6,96E+00	8,34E+00	1,10E+02
Calcium chloride,kg					7,83E-03
Carbon dioxide, in air,kg	2,67E+03	2,63E+03	2,07E+01	3,59E+03	4,21E+03
Carbon, in organic matter, in soil,kg	5,94E+01	2,55E+00	2,82E-05	5,94E+01	5,94E+01



Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Chromium,kg	5,53E-03	4,12E-04	1,69E-04	5,63E-03	5,59E-03
Chrysotile,kg	1,27E-02	1,27E-02	1,26E-02	1,27E-02	1,27E-02
Cinnabar,kg	1,84E-04	1,85E-04	1,80E-04	1,84E-04	1,87E-04
Clay, bentonite,kg	2,02E-02	3,18E-03	1,72E-03	2,02E-02	2,05E-02
Clay,kg	2,66E-01	2,26E-01	1,93E-01	2,66E-01	2,74E-01
Coal, 18 MJ per kg, in ground,kg	8,61E-02	8,67E-02	7,18E-02	8,70E-02	8,39E-02
Coal, 26.4 MJ per kg, in ground,kg			4,83E+01		
Coal, brown, 8 MJ per kg, in ground,kg	9,04E-03	9,10E-03	7,54E-03	9,14E-03	8,81E-03
Coal, brown,kg	1,77E+01	9,21E+00	9,67E+00	1,77E+01	1,85E+01
Coal, hard, unspecified, in ground,kg	4,68E-06	3,99E+00	6,28E-07	4,69E-06	4,75E-06
Coal, hard,kg	1,99E+01	1,39E+01	4,04E+01	2,01E+01	2,01E+01
Cobalt, in ground,kg	1,53E-11	1,54E-11	1,31E-11	1,55E-11	7,96E-10
Cobalt,kg	4,96E-06	1,55E-05	1,68E-06	4,97E-06	6,58E-06
Colemanite,kg	2,68E-04	4,66E-05	3,18E-05	2,68E-04	2,77E-03
Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground,kg	4,04E-06	7,06E-06	1,46E-06	4,53E-06	1,01E-05
Copper, 1.18% in sulfide, Cu 0.39% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground,kg	1,13E-05	2,06E-05	3,67E-06	1,15E-05	2,54E-05
Copper, 1.42% in sulfide, Cu 0.81% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground,kg	2,99E-06	5,47E-06	9,75E-07	3,04E-06	6,74E-06
Copper, 2.19% in sulfide, Cu 1.83% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground,kg	1,49E-05	2,72E-05	4,87E-06	1,51E-05	3,36E-05
Diatomite,kg	7,55E-10	1,51E-10	1,34E-10	7,55E-10	7,75E-10

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Dolomite,kg	7,47E+00	3,21E-01	1,03E-05	7,47E+00	7,47E+00
Energy, gross calorific value, in biomass, primary forest,MJ	4,12E+03	1,77E+02	1,95E-03	4,12E+03	4,12E+03
Energy, gross calorific value, in biomass,MJ	3,70E+04	1,68E+03	8,43E+01	4,70E+04	4,37E+04
Energy, kinetic (in wind), converted,MJ	2,32E+01	2,00E+01	1,77E+01	2,37E+01	2,24E+01
Energy, potential (in hydropower reservoir), converted,MJ	2,94E+03	2,76E+03	2,29E+03	2,97E+03	2,88E+03
Energy, solar, converted,MJ	2,54E-01	6,33E-02	5,98E-02	2,54E-01	2,58E-01
Energy, unspecified,MJ		4,95E+02			
Feldspar,kg	4,35E-07	1,87E-08	8,96E-12	4,35E-07	4,35E-07
Fluorine, 4.5% in apatite, 1% in crude ore, in ground,kg	6,51E-02	6,97E-02	1,59E-04	6,51E-02	6,76E-02
Fluorine, 4.5% in apatite, 3% in crude ore, in ground,kg	3,18E-01	9,57E-02	2,80E-02	3,19E-01	2,75E+00
Fluorspar,kg	2,88E-02	3,05E-02	5,01E-03	2,88E-02	1,00E-01
Gallium,kg	6,37E-14	1,27E-13	3,19E-14	6,39E-14	2,31E-13
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/kg,kg	5,69E-04	5,73E-04	4,75E-04	5,75E-04	5,55E-04
Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3,m3	1,88E-01	1,33E-01	3,93E-01	1,89E-01	1,89E-01
Gas, natural, 35 MJ per m3, in ground,m3	2,99E-02	3,01E-02	2,50E-02	3,02E-02	2,92E-02
Gas, natural, in ground,m3	3,85E+02	3,85E+02	6,76E+02	2,52E+02	5,61E+02
Gas, natural/kg,kg		6,03E-01			
Gas, natural/m3,m3	8,13E+01	5,95E+01	1,47E+02	6,07E+01	1,49E+02
Gas, petroleum, 35 MJ per m3, in ground,m3	7,55E-04	7,60E-04	6,30E-04	7,63E-04	7,41E-04

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Gold, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, in ore, in ground,kg	4,42E-11	8,09E-11	2,51E-11	4,43E-11	1,47E-10
Gold, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, in ore, in ground,kg	8,10E-11	1,48E-10	4,60E-11	8,13E-11	2,69E-10
Gold, Au 1.4E-4%, in ore, in ground,kg	9,54E-15	2,12E-15	1,46E-15	9,70E-15	1,02E-14
Gold, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, in ore, in ground,kg	1,48E-10	2,71E-10	8,41E-11	1,49E-10	4,92E-10
Gold, Au 4.3E-4%, in ore, in ground,kg	3,67E-11	6,73E-11	2,08E-11	3,69E-11	1,22E-10
Gold, Au 4.9E-5%, in ore, in ground,kg	8,79E-11	1,61E-10	4,99E-11	8,83E-11	2,92E-10
Gold, Au 6.7E-4%, in ore, in ground,kg	1,36E-10	2,49E-10	7,73E-11	1,37E-10	4,52E-10
Gold, Au 7.1E-4%, in ore, in ground,kg	1,53E-10	2,81E-10	8,72E-11	1,54E-10	5,10E-10
Gold, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground,kg	9,20E-12	1,69E-11	5,22E-12	9,23E-12	3,06E-11
Gold,kg	9,70E-11	1,78E-10	5,51E-11	9,73E-11	3,22E-10
Granite,kg	2,78E-11	3,71E-12	5,94E-12	2,78E-11	3,05E-11
Gravel,kg	4,52E-01	3,78E-01	2,97E-02	1,05E+01	5,44E-01
Gypsum,kg	2,42E-05	2,25E-05	2,63E-05	2,42E-05	1,83E-05
hydrochloric acid (30%vv H2O),kg					1,10E-02
Indium, 0.005% in sulfide, In 0.003%, Pb, Zn, Ag, Cd, in ground,kg	-2,24E-08	-2,08E-08	-1,73E-08	-2,26E-08	-3,54E-08
Indium,kg	1,34E-06	7,74E-08	1,73E-08	1,34E-06	1,35E-06
Iodine,kg	1,36E-02	6,87E-04	9,07E-05	1,36E-02	2,15E-02
Iron,kg	8,16E-01	4,04E-02	2,75E-03	8,18E-01	8,16E-01
Kaolinite,kg	3,93E-04	7,19E-05	1,38E-04	3,94E-04	4,56E-04

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Kieserite,kg	1,61E-05	8,51E-07	3,61E-07	1,61E-05	1,62E-05
Land use II-III, sea floor,m2a	1,51E-03	1,52E-03	1,26E-03	1,53E-03	1,48E-03
Land use II-III,m2a	2,38E+00	2,40E+00	1,99E+00	2,41E+00	2,32E+00
Land use III-IV,m2a	1,79E-05	1,80E-05	1,50E-05	1,81E-05	1,75E-05
Land use II-IV, sea floor,m2a	1,56E-04	1,57E-04	1,30E-04	1,58E-04	1,53E-04
Land use II-IV,m2a	2,29E-03	2,31E-03	1,91E-03	2,31E-03	2,23E-03
Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground,kg	-2,17E-12	-4,76E-13	-4,69E-13	-2,13E-12	-2,20E-12
Lead,kg	3,66E-06	1,97E-06	1,34E-07	3,67E-06	4,42E-06
Lithium, 0.15% in brine, in ground,kg	6,25E-06	6,18E-06	5,25E-06	6,35E-06	4,63E-04
Lithium,kg	6,80E-14	1,37E-13	3,34E-14	6,83E-14	2,50E-13
Magnesite,kg	2,27E-02	1,18E-03	1,84E-04	2,27E-02	2,27E-02
Magnesium,kg	2,69E-10	5,14E-10	1,44E-10	2,70E-10	9,35E-10
Manganese,kg	4,02E-03	1,82E-04	4,16E-06	4,06E-03	4,16E-03
Marl,kg	2,76E-03	2,77E-03	2,30E-03	2,78E-03	2,68E-03
Mercury, in ground,kg					7,54E-07
Metamorphous rock, graphite containing,kg	2,93E-06	1,95E-06	2,68E-06	2,96E-06	9,13E-05
Molybdenum, 0.010% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 1.83% in crude ore, in ground,kg	2,77E-07	5,06E-07	9,04E-08	2,81E-07	6,25E-07
Molybdenum, 0.014% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.81% in crude ore, in ground,kg	3,93E-08	7,18E-08	1,28E-08	3,99E-08	8,85E-08
Molybdenum, 0.022% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.36% in crude ore, in ground,kg	3,96E-05	9,62E-06	4,93E-06	4,01E-05	4,13E-05

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Molybdenum, 0.025% in sulfide, Mo 8.2E-3% and Cu 0.39% in crude ore, in ground,kg	1,44E-07	2,63E-07	4,69E-08	1,46E-07	3,24E-07
Molybdenum,kg	8,00E-05	1,94E-05	9,96E-06	8,09E-05	8,34E-05
Nickel, 1.13% in sulfide, Ni 0.76% and Cu 0.76% in crude ore, in ground,kg	6,63E-03	3,72E-04	3,35E-05	6,74E-03	8,26E-03
Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground,kg	1,25E-02	8,16E-04	2,80E-04	1,28E-02	1,26E-02
Nickel,kg	7,48E-06	7,53E-06	6,24E-06	7,56E-06	7,29E-06
Nitrogen, in air,kg	4,73E+01	4,73E+01	3,51E+01	4,73E+01	4,73E+01
Occupation, arable, non-irrigated,m2a	4,06E-03	4,50E-04	4,02E-04	3,43E-02	4,33E+02
Occupation, construction site,m2a	2,26E+00	1,10E-01	4,55E-03	2,26E+00	2,29E+00
Occupation, dump site, benthos,m2a	3,00E-06	6,23E-06	1,40E-06	3,02E-06	1,14E-05
Occupation, dump site,m2a	1,91E-01	9,68E-02	2,38E-01	1,96E-01	1,98E-01
Occupation, forest, intensive, clear-cutting,m2a		9,24E+02			
Occupation, forest, intensive, normal,m2a	8,11E-01	1,95E-01	1,33E-01	1,56E+02	9,44E-01
Occupation, forest, intensive, short-cycle,m2a	1,17E+03	5,03E+01	4,90E-04	1,17E+03	1,17E+03
Occupation, forest, intensive,m2a	2,03E-01	8,58E-02	7,96E-02	2,03E-01	2,06E-01
Occupation, industrial area, benthos,m2a	2,75E-08	5,70E-08	1,28E-08	2,76E-08	1,04E-07
Occupation, industrial area, built up,m2a	2,52E-05	3,78E-05	1,24E-05	3,30E-04	7,30E-05
Occupation, industrial area, vegetation,m2a	1,78E-04	2,79E-05	1,16E-05	1,78E-04	1,95E-04
Occupation, industrial area,m2a	3,98E-02	2,96E-02	7,62E-02	4,01E-02	3,73E-02
Occupation, mineral extraction site,m2a	1,22E-01	7,26E-02	8,61E-02	1,26E-01	4,29E-01

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Occupation, permanent crop, fruit, intensive,m2a	9,71E-04	6,32E-04	6,94E-04	9,72E-04	1,06E-03
Occupation, shrub land, sclerophyllous,m2a	1,38E-02	4,24E-03	3,74E-03	1,45E-02	1,46E-02
Occupation, traffic area, rail embankment,m2a	8,98E-06	1,64E-05	5,11E-06	9,02E-06	2,98E-05
Occupation, traffic area, rail network,m2a	9,93E-06	1,82E-05	5,65E-06	9,97E-06	3,30E-05
Occupation, traffic area, road embankment,m2a	1,14E-02	3,34E-03	2,63E-03	1,52E+00	1,27E-02
Occupation, traffic area, road network,m2a	3,57E-05	7,24E-05	1,73E-05	3,58E-05	1,32E-04
Occupation, urban, discontinuously built,m2a	1,35E-09	2,70E-09	6,79E-10	1,36E-09	4,92E-09
Occupation, water bodies, artificial,m2a	2,52E+01	2,52E+01	2,09E+01	2,55E+01	2,46E+01
Occupation, water courses, artificial,m2a	1,43E-01	2,34E-02	1,97E-02	1,43E-01	1,52E-01
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground,kg	1,10E-02	1,11E-02	9,20E-03	1,11E-02	1,08E-02
Oil, crude, in ground,kg		1,09E+01	1,70E+02		
Oil, crude,kg	1,63E+02	1,48E+02	1,52E+02	1,63E+02	1,25E+02
Olivine,kg	3,43E-05	2,76E-05	2,28E-07	3,43E-05	3,55E-05
Palladium,kg	1,22E-12	1,23E-12	1,02E-12	1,23E-12	1,20E-12
Pd, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground,kg	1,68E-07	1,06E-07	1,26E-07	1,69E-07	1,82E-07
Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground,kg	4,04E-07	2,56E-07	3,03E-07	4,07E-07	4,38E-07
Peat,kg	1,12E-02	3,63E-03	1,09E-03	1,12E-02	1,13E-02
Phosphate ore, in ground,kg		1,96E+05			
Phosphorus, 18% in apatite, 4% in crude ore, in ground,kg	3,90E-01	4,10E-01	1,12E-01	3,92E-01	1,01E+01

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Phosphorus,kg	1,14E+00	2,51E-01	2,97E-04	1,14E+00	1,14E+00
Platinum,kg	1,37E-12	1,38E-12	1,15E-12	1,39E-12	1,35E-12
Potassium chloride,kg	1,26E+01	1,29E+00	7,85E-01	1,26E+01	1,26E+01
Potassium, in ground,kg		3,34E+01			
Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground,kg	3,87E-09	2,45E-09	2,90E-09	3,89E-09	4,19E-09
Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground,kg	1,39E-08	8,78E-09	1,04E-08	1,40E-08	1,50E-08
Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore, in ground,kg	3,84E-09	2,43E-09	2,88E-09	3,87E-09	4,17E-09
Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore, in ground,kg	1,20E-08	7,62E-09	9,03E-09	1,21E-08	1,30E-08
Rhenium,kg	7,37E-09	6,77E-09	7,17E-09	7,48E-09	8,47E-09
Rhodium,kg	1,29E-12	1,30E-12	1,08E-12	1,31E-12	1,27E-12
Sand,kg	1,28E-03	7,28E-04	1,23E-04	1,28E-03	2,23E-03
Shale,kg	2,81E-04	2,41E-04	1,92E-06	2,81E-04	2,90E-04
Silver, 0.007% in sulfide, Ag 0.004%, Pb, Zn, Cd, In, in ground,kg	9,81E-10	1,80E-09	5,57E-10	9,85E-10	3,26E-09
Silver, 3.2ppm in sulfide, Ag 1.2ppm, Cu and Te, in crude ore, in ground,kg	7,00E-10	1,28E-09	3,97E-10	7,03E-10	2,33E-09
Silver, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, in ore, in ground,kg	6,46E-11	1,18E-10	3,67E-11	6,49E-11	2,15E-10
Silver, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, in ore, in ground,kg	1,48E-10	2,71E-10	8,37E-11	1,48E-10	4,91E-10
Silver, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, in ore, in ground,kg	1,45E-10	2,65E-10	8,21E-11	1,45E-10	4,81E-10
Silver, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0.63%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore, in ground,kg	9,55E-11	1,75E-10	5,42E-11	9,58E-11	3,17E-10
soda powder,kg					5,06E-03

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Sodium chloride, in ground,kg	3,44E-04	3,47E-04	2,95E-04	3,07E-02	7,70E-01
Sodium chloride,kg	1,47E+02	1,47E+02	1,45E+02	1,47E+02	1,48E+02
Sodium nitrate,kg	1,75E-09	9,31E-11	7,10E-12	1,75E-09	1,77E-09
Sodium sulphate,kg	3,22E-03	8,46E-03	1,23E-03	3,22E-03	1,59E-02
Stibnite,kg	7,85E-11	1,57E-11	1,40E-11	7,85E-11	8,06E-11
Sugar beets, at farm - BR,kg	1,34E+00	1,35E+00	1,15E+00	1,36E+00	1,01E+02
Sulfur, in ground,kg	4,74E-03	5,51E+00	7,33E-05	4,74E-03	1,11E-02
Sulfur,kg	1,44E-03	7,93E-04	3,55E-05	1,45E-03	3,29E-03
sulphite,kg					4,40E-05
Sylvite, 25 % in sylvinite, in ground,kg	1,19E-01	1,20E-01	1,02E-01	1,21E-01	8,99E+00
Talc,kg	5,36E-05	3,96E-05	4,67E-05	5,37E-05	6,10E-05
Tantalum, 81.9% in tantalite, 1.6E-4% in crude ore, in ground,kg	6,98E-14	1,76E-14	1,36E-14	6,80E-14	7,77E-14
Tantalum,kg	7,73E-10	1,42E-09	4,39E-10	7,76E-10	2,57E-09
Tellurium, 0.5ppm in sulfide, Te 0.2ppm, Cu and Ag, in crude ore, in ground,kg	7,61E-15	4,79E-15	5,35E-16	7,26E-15	1,51E-14
Tellurium,kg	1,05E-10	1,93E-10	5,96E-11	1,05E-10	3,49E-10
Tin,kg	4,61E-08	7,01E-08	2,69E-08	4,62E-08	1,34E-07
TiO2, 54% in ilmenite, 2.6% in crude ore, in ground,kg	7,79E-03	1,69E-02	3,36E-03	7,82E-03	3,09E-02
TiO2, 95% in rutile, 0.40% in crude ore, in ground,kg	4,88E-08	2,11E-09	1,01E-11	4,88E-08	4,88E-08
Transformation, from arable, non-irrigated, fallow,m2	7,96E-07	5,03E-07	2,34E-07	7,99E-07	1,75E-06



Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Transformation, from arable, non-irrigated,m2	7,47E-03	8,33E-04	7,43E-04	6,34E-02	4,33E+02
Transformation, from arable,m2	2,50E-06	1,59E-06	7,37E-07	2,52E-06	5,52E-06
Transformation, from dump site, inert material landfill,m2	2,42E-05	2,11E-05	2,05E-05	2,43E-05	2,50E-05
Transformation, from dump site, residual material landfill,m2	2,46E-03	6,98E-04	6,96E-04	2,46E-03	2,47E-03
Transformation, from dump site, sanitary landfill,m2	1,15E-04	9,20E-06	4,29E-06	2,13E-04	2,19E-04
Transformation, from dump site, slag compartment,m2	1,61E-04	1,19E-04	2,56E-05	1,98E-04	2,01E-04
Transformation, from forest, extensive,m2	7,98E-03	2,09E-03	1,60E-03	1,05E+00	8,90E-03
Transformation, from forest, intensive, clear-cutting,m2	3,69E+01	3,85E+01	1,75E-05	3,69E+01	3,69E+01
Transformation, from forest,m2	1,65E-01	1,66E-01	1,37E-01	1,67E-01	1,61E-01
Transformation, from industrial area, benthos,m2	2,57E-10	5,37E-10	1,19E-10	2,58E-10	9,82E-10
Transformation, from industrial area, built up,m2	4,94E-05	3,54E-06	2,11E-07	4,94E-05	5,15E-05
Transformation, from industrial area, vegetation,m2	8,42E-05	6,04E-06	3,60E-07	8,42E-05	8,79E-05
Transformation, from industrial area,m2	2,62E-04	1,13E-04	1,12E-04	2,61E-04	2,23E-04
Transformation, from mineral extraction site,m2	3,79E-03	2,09E-03	8,40E-04	3,81E-03	1,93E-02
Transformation, from pasture and meadow, intensive,m2	6,37E-06	9,60E-07	8,45E-07	5,20E-05	3,18E-05
Transformation, from pasture and meadow,m2	6,41E-03	2,36E-03	1,13E-03	6,55E-03	2,14E-02
Transformation, from sea and ocean,m2	3,01E-06	6,24E-06	1,40E-06	3,02E-06	1,14E-05
Transformation, from shrub land, sclerophyllous,m2	3,65E-03	9,94E-04	8,69E-04	3,79E-03	3,86E-03
Transformation, from tropical rain forest,m2	3,69E+01	1,59E+00	1,75E-05	3,69E+01	3,69E+01

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Transformation, from unknown,m2	3,75E-03	1,81E-03	3,82E-03	4,11E-03	3,85E-03
Transformation, to arable, non-irrigated, fallow,m2	1,83E-06	1,37E-06	9,59E-07	1,84E-06	2,89E-06
Transformation, to arable, non-irrigated,m2	7,47E-03	8,34E-04	7,44E-04	6,35E-02	4,33E+02
Transformation, to arable,m2	8,11E-04	4,59E-04	6,19E-04	8,13E-04	8,42E-04
Transformation, to dump site, benthos,m2	3,00E-06	6,23E-06	1,40E-06	3,02E-06	1,14E-05
Transformation, to dump site, inert material landfill,m2	2,42E-05	2,11E-05	2,05E-05	2,43E-05	2,50E-05
Transformation, to dump site, residual material landfill,m2	2,46E-03	6,98E-04	6,96E-04	2,46E-03	2,47E-03
Transformation, to dump site, sanitary landfill,m2	1,15E-04	9,20E-06	4,29E-06	2,13E-04	2,19E-04
Transformation, to dump site, slag compartment,m2	1,61E-04	1,19E-04	2,56E-05	1,98E-04	2,01E-04
Transformation, to dump site,m2	9,13E-04	5,96E-04	1,79E-03	9,21E-04	9,27E-04
Transformation, to forest, extensive,m2		6,84E+00			
Transformation, to forest, intensive, clear-cutting,m2	3,69E+01	1,59E+00	1,75E-05	3,69E+01	3,69E+01
Transformation, to forest, intensive, normal,m2	6,52E-03	1,48E-03	1,04E-03	1,04E+00	7,41E-03
Transformation, to forest, intensive, short-cycle,m2	3,69E+01	1,59E+00	1,75E-05	3,69E+01	3,69E+01
Transformation, to forest, intensive,m2	1,36E-03	3,02E+01	5,30E-04	1,36E-03	1,37E-03
Transformation, to forest,m2	3,01E-03	1,05E-03	7,93E-04	3,15E-03	3,83E-03
Transformation, to heterogeneous, agricultural,m2	2,63E-07	5,40E-07	1,25E-07	2,64E-07	9,86E-07
Transformation, to industrial area, benthos,m2	3,21E-09	5,36E-09	1,77E-09	3,22E-09	1,01E-08
Transformation, to industrial area, built up,m2	1,78E-03	1,67E-03	1,38E-03	1,80E-03	1,74E-03

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Transformation, to industrial area, vegetation,m2	4,53E-05	3,54E-06	3,46E-07	4,53E-05	4,75E-05
Transformation, to industrial area,m2	4,25E-04	3,20E-04	7,87E-04	4,28E-04	3,87E-04
Transformation, to mineral extraction site,m2	4,28E-03	2,29E-03	1,21E-03	4,57E-03	1,99E-02
Transformation, to pasture and meadow,m2	2,73E-03	1,43E-03	1,73E-04	2,74E-03	1,76E-02
Transformation, to permanent crop, fruit, intensive,m2	1,37E-05	8,89E-06	9,77E-06	1,37E-05	1,49E-05
Transformation, to sea and ocean,m2	2,57E-10	5,37E-10	1,19E-10	2,58E-10	9,82E-10
Transformation, to shrub land, sclerophyllous,m2	2,76E-03	8,48E-04	7,46E-04	2,90E-03	2,91E-03
Transformation, to traffic area, rail embankment,m2	2,09E-08	3,83E-08	1,19E-08	2,10E-08	6,94E-08
Transformation, to traffic area, rail network,m2	2,30E-08	4,20E-08	1,31E-08	2,31E-08	7,63E-08
Transformation, to traffic area, road embankment,m2	8,69E-05	2,41E-05	1,90E-05	1,02E-02	9,59E-05
Transformation, to traffic area, road network,m2	3,99E-07	8,09E-07	1,93E-07	4,00E-07	1,48E-06
Transformation, to unknown,m2	3,74E-04	1,24E-04	1,16E-04	3,74E-04	3,41E-04
Transformation, to urban, discontinuously built,m2	2,70E-11	5,37E-11	1,35E-11	2,71E-11	9,80E-11
Transformation, to water bodies, artificial,m2	1,64E-01	1,64E-01	1,36E-01	1,66E-01	1,60E-01
Transformation, to water courses, artificial,m2	1,77E-03	2,90E-04	2,44E-04	1,77E-03	1,88E-03
Ulexite,kg	3,22E-09	6,35E-09	1,64E-09	3,23E-09	1,16E-08
Uranium oxide, 332 GJ per kg, in ore,kg			1,15E-03		
Uranium, 560 GJ per kg, in ground,kg	6,73E-04	6,77E-04	5,61E-04	6,80E-04	6,55E-04
Uranium, in ground,kg		5,64E-05			

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Uranium,kg	2,45E-03	4,66E-04	3,90E-04	2,46E-03	2,51E-03
Vermiculite,kg	9,54E-10	1,01E-09	8,44E-10	9,57E-10	1,76E-09
Volume occupied, final repository for low-active radioactive waste,m3	4,93E-06	9,15E-07	8,04E-07	4,94E-06	5,04E-06
Volume occupied, final repository for radioactive waste,m3	1,10E-06	2,23E-07	2,02E-07	1,10E-06	1,12E-06
Volume occupied, reservoir,m3y	1,12E+02	1,09E+02	9,02E+01	1,13E+02	1,10E+02
Volume occupied, underground deposit,m3	1,37E-05	1,28E-05	1,50E-05	1,37E-05	1,04E-05
Water, cooling, unspecified natural origin/kg,kg	3,00E+03	3,00E+03	1,54E+03	3,00E+03	3,00E+03
Water, cooling, unspecified natural origin/m3,m3	2,52E+01	2,38E+01	3,88E+01	2,52E+01	2,57E+01
Water, lake,m3	2,80E-01	5,27E-01	3,04E-03	2,81E-01	1,64E+00
Water, rain,m3		2,12E+03			
Water, river,m3	1,96E+02	1,01E+01	4,53E-01	1,96E+02	1,99E+02
Water, salt, ocean,m3	1,93E-01	1,17E-01	1,88E-01	1,93E-01	1,49E-01
Water, salt, sole,m3	5,55E+01	2,88E+00	4,65E-01	5,55E+01	8,67E+01
Water, turbine use, unspecified natural origin,m3	7,26E+03	6,07E+03	5,04E+03	7,32E+03	7,21E+03
Water, unspecified natural origin/kg,kg	2,15E+02	2,17E+02	1,79E+02	2,17E+02	2,10E+02
Water, unspecified natural origin/m3,m3	1,51E+00	1,16E+00	5,25E+00	1,53E+00	4,11E+00
Water, well, in ground,m3	6,68E-01	1,11E+00	8,21E-02	6,71E-01	3,47E+00
Wood, dry matter,kg	6,13E-04	6,17E-04	5,11E-04	6,19E-04	5,97E-04
Wood, hard, standing,m3	5,77E-04	2,37E-04	1,89E-04	7,85E-01	7,43E-04

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Wood, primary forest, standing,m3	3,82E-01	1,64E-02	1,81E-07	3,82E-01	3,82E-01
Wood, soft, standing,m3	1,66E-03	5,38E-04	5,49E-04	1,66E-03	1,71E-03
Wood, unspecified, standing/m3,m3	5,47E-08	4,41E-08	3,24E-09	5,65E-08	7,56E-08
Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground,kg	7,25E-08	7,12E-08	5,48E-08	7,31E-08	1,09E-07
Zinc,kg	2,47E-03	1,49E-04	3,34E-05	2,47E-03	2,50E-03
Zirconium, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground,kg	1,05E-13	2,33E-14	2,12E-14	1,05E-13	1,07E-13
Zirconium,kg	1,06E-09	1,94E-09	6,01E-10	1,06E-09	3,52E-09
<b>Emissões para o ar</b>					
1,4-Butanediol,kg	3,45E-05	1,86E-06	3,32E-07	3,46E-05	6,35E-05
1-Butanol,kg	6,04E-06	3,16E-07	5,03E-08	6,04E-06	1,04E-05
1-Pentanol,kg	1,18E-07	1,17E-07	9,91E-08	1,20E-07	8,75E-06
1-Pentene,kg	8,93E-08	8,82E-08	7,49E-08	9,07E-08	6,61E-06
1-Propanol,kg	7,25E-07	7,00E-07	5,94E-07	7,37E-07	5,24E-05
2-Aminopropanol,kg	1,72E-06	7,70E-08	2,63E-09	1,72E-06	1,95E-06
2-Butene, 2-methyl-,kg	1,98E-11	1,96E-11	1,66E-11	2,01E-11	1,47E-09
2-Chloroacetophenone,kg			7,13E-11		
2-Methyl-1-propanol,kg	1,36E-05	6,82E-07	8,71E-08	1,36E-05	2,12E-05
2-Nitrobenzoic acid,kg	7,05E-06	3,15E-07	1,08E-08	7,05E-06	7,99E-06
2-Propanol,kg	6,03E-06	6,43E-07	3,36E-07	6,04E-06	3,51E-05

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
5-methyl Chrysene,kg			4,65E-10		
Acenaphthene,kg	5,48E-10	4,75E-10	1,12E-08	5,57E-10	5,33E-10
Acenaphthylene,kg			5,28E-09		
Acetaldehyde,kg	1,47E-01	7,03E-03	2,06E-04	1,47E-01	1,47E-01
Acetic acid,kg	9,60E-01	4,44E-02	1,31E-03	9,60E-01	9,60E-01
Acetone,kg	1,55E-01	6,69E-03	1,66E-04	1,55E-01	1,55E-01
Acetonitrile,kg	4,01E-02	1,72E-03	1,90E-08	4,01E-02	4,01E-02
Acetophenone,kg			1,53E-10		
Acrolein,kg	4,96E-08	2,97E-08	6,56E-06	5,03E-08	5,57E-08
Acrylic acid,kg	1,24E-11	2,28E-11	7,05E-12	1,25E-11	4,13E-11
Actinides, radioactive, unspecified,Bq	5,04E-02	8,10E-03	6,76E-03	5,05E-02	5,12E-02
Aerosols, radioactive, unspecified,Bq	6,10E-01	1,71E-01	1,66E-01	6,10E-01	6,32E-01
Aldehydes, unspecified,kg	8,65E-03	8,99E-03	9,93E-03	8,19E-03	6,68E-03
Aluminium,kg	4,30E-03	1,87E-03	9,55E-03	4,32E-03	5,59E-03
Americium-241,Bq	5,18E-03	5,21E-03	4,32E-03	5,23E-03	5,04E-03
Ammonia,kg	1,53E+00	1,25E+00	2,76E-02	1,66E+00	2,25E+00
Ammonium carbonate,kg	2,82E-08	4,98E-08	1,94E-09	2,91E-08	4,00E-08
Ammonium chloride,kg			6,09E-05		
Aniline,kg	4,07E-05	1,77E-06	1,64E-08	4,07E-05	4,21E-05

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Anthracene,kg			4,44E-09		
Anthranilic acid,kg	3,26E-06	1,45E-07	4,97E-09	3,26E-06	3,69E-06
Antimony,kg	5,49E-07	2,50E-07	1,56E-06	5,50E-07	5,73E-07
Antimony-124,Bq	1,41E-04	7,97E-05	6,40E-05	1,42E-04	1,40E-04
Antimony-125,Bq	6,97E-04	4,96E-05	1,90E-05	6,98E-04	7,04E-04
Argon-41,Bq	7,92E+02	6,94E+02	5,94E+02	7,99E+02	7,80E+02
Arsenic,kg	3,30E-05	1,71E-05	4,57E-05	4,04E-05	4,19E-05
Arsine,kg	1,45E-16	2,65E-16	8,22E-17	1,45E-16	4,81E-16
Barium,kg	2,47E-05	1,12E-05	8,47E-05	2,48E-05	2,55E-05
Barium-140,Bq	4,58E-02	3,70E-03	1,63E-03	4,59E-02	4,63E-02
Benzal chloride,kg	4,44E-16	3,25E-17	1,27E-17	4,44E-16	4,50E-16
Benzaldehyde,kg	1,94E-08	1,35E-08	1,19E-08	1,98E-08	2,24E-08
Benzene, 1,2-dichloro-,kg	8,54E-06	9,23E-07	4,94E-07	8,55E-06	5,15E-05
Benzene, 1-methyl-2-nitro-,kg	6,09E-06	2,72E-07	9,30E-09	6,09E-06	6,90E-06
Benzene, chloro-,kg			2,24E-10		
Benzene, ethyl-,kg	3,85E-04	3,86E-04	1,43E-04	6,08E-04	6,04E-04
Benzene, hexachloro-,kg	3,05E-08	1,44E-08	3,00E-09	3,15E-08	3,18E-08
Benzene, pentachloro-,kg	3,78E-08	3,42E-08	7,51E-09	4,01E-08	4,07E-08
Benzene,kg	9,93E-02	1,31E-02	3,07E-03	1,06E-01	1,07E-01

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Benzo(a)anthracene,kg			1,69E-09		
Benzo(a)pyrene,kg	5,18E-06	4,89E-06	5,58E-07	8,89E-06	8,69E-06
Benzo(b,j,k)fluoranthene,kg			2,33E-09		
Benzo(ghi)perylene,kg			5,71E-10		
Benzyl chloride,kg			7,13E-09		
Beryllium,kg	3,02E-07	5,35E-07	1,33E-06	3,02E-07	3,10E-07
Biphenyl,kg			3,59E-08		
Boron trifluoride,kg	1,94E-18	3,63E-18	1,13E-18	1,97E-18	6,56E-18
Boron,kg	5,16E-04	2,93E-04	5,69E-04	5,17E-04	5,38E-04
Bromine,kg	5,70E-04	5,91E-04	5,16E-05	1,01E-03	1,03E-03
Bromoform,kg			3,97E-10		
BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene), unspecified ratio,kg			8,48E-02		
Butadiene,kg	1,77E-09	9,51E-11	1,71E-07	1,77E-09	1,77E-09
Butane,kg	8,99E-03	7,37E-03	1,16E-02	9,03E-03	8,59E-03
Butene,kg	2,05E-04	1,19E-04	1,41E-04	2,06E-04	2,61E-04
Butyrolactone,kg	7,44E-14	1,36E-13	4,22E-14	7,47E-14	2,47E-13
Cadmium,kg	1,90E-05	1,44E-05	4,03E-05	2,43E-05	2,68E-05
Calcium,kg	5,00E-02	5,07E-02	1,48E-03	9,33E-02	9,47E-02
Carbon dioxide, biogenic,kg	1,72E+03	1,32E+03	2,30E+01	2,45E+03	2,69E+03



Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Carbon dioxide, fossil,kg	9,05E+02	8,95E+02	1,20E+03	5,71E+02	1,10E+03
Carbon dioxide, land transformation,kg	6,44E+02	9,93E+01	6,21E+01	6,45E+02	6,42E+02
Carbon dioxide,kg	2,29E-01	2,31E-01	4,15E-01	2,32E-01	5,20E+01
Carbon disulfide,kg	5,08E-05	6,32E-06	4,00E-06	5,16E-05	6,18E-05
Carbon monoxide, biogenic,kg	6,21E-02	2,74E+00	2,12E-03	1,14E-01	2,05E-01
Carbon monoxide, fossil,kg	2,43E+01	6,15E+00	2,22E+00	2,42E+01	2,38E+01
Carbon monoxide,kg	1,34E-04	2,51E-03	1,29E-02	1,35E-04	1,30E-04
Carbon-14,Bq	5,00E+03	1,22E+03	1,04E+03	5,01E+03	5,09E+03
Cerium-141,Bq	1,09E-02	6,67E-04	2,05E-04	1,09E-02	1,10E-02
Cerium-144,Bq	5,51E-02	5,54E-02	4,59E-02	5,56E-02	5,36E-02
Cesium-134,Bq	1,97E-01	1,98E-01	1,64E-01	1,99E-01	1,92E-01
Cesium-137,Bq	3,89E-01	3,83E-01	3,17E-01	3,93E-01	3,79E-01
Chloramine,kg	4,82E-06	6,06E-07	3,54E-07	4,83E-06	3,56E-05
Chloride,kg			1,64E-09		
Chlorinated fluorocarbons and hydrochlorinated fluorocarbons, unspecified,kg	1,70E-07	1,70E-07	3,94E-07	1,70E-07	
Chlorine,kg	7,41E-03	7,53E-03	3,22E-03	7,69E-03	9,95E-03
Chloroacetic acid,kg	9,09E-05	6,22E-04	6,04E-07	9,09E-05	1,43E-04
Chloroform,kg	7,55E-05	3,38E-06	1,24E-07	7,55E-05	8,56E-05
Chlorosilane, trimethyl-,kg	1,84E-12	3,36E-12	1,05E-12	1,85E-12	6,16E-12

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Chlorosulfonic acid,kg	3,51E-06	3,08E-07	1,40E-07	3,51E-06	1,57E-05
Chromium VI,kg	2,35E-06	8,31E-07	3,88E-06	2,65E-06	2,71E-06
Chromium,kg	7,40E-05	5,43E-05	5,33E-05	1,04E-04	1,07E-04
Chromium-51,Bq	1,66E-03	1,01E-03	8,14E-04	1,67E-03	1,64E-03
Chrysene,kg			2,11E-09		
Cobalt,kg	2,40E-05	1,08E-05	4,57E-05	2,42E-05	2,78E-05
Cobalt-57,Bq	4,73E-07	4,76E-07	3,95E-07	4,78E-07	4,61E-07
Cobalt-58,Bq	8,92E-03	8,06E-03	6,65E-03	9,00E-03	8,72E-03
Cobalt-60,Bq	2,03E-02	1,23E-02	9,93E-03	2,04E-02	2,01E-02
Copper,kg	9,36E-04	9,48E-04	8,11E-04	1,10E-03	1,17E-03
Cumene,kg	2,63E-04	5,25E-05	1,12E-05	2,69E-04	3,92E-04
Curium alpha,Bq	8,22E-03	8,27E-03	6,85E-03	8,30E-03	8,01E-03
Curium-242,Bq	2,66E-08	2,68E-08	2,22E-08	2,69E-08	2,59E-08
Curium-244,Bq	2,42E-07	2,43E-07	2,02E-07	2,44E-07	2,36E-07
Cyanide,kg	6,69E-02	2,91E-03	9,41E-06	6,69E-02	6,69E-02
Cyanoacetic acid,kg	2,87E-06	2,52E-07	1,14E-07	2,88E-06	1,28E-05
Diethylamine,kg	2,19E-05	9,57E-07	1,32E-08	2,19E-05	2,31E-05
Dimethyl malonate,kg	3,60E-06	3,16E-07	1,43E-07	3,61E-06	1,61E-05
Dinitrogen monoxide,kg	5,88E-01	1,63E-01	1,99E-02	7,51E-01	7,04E-01

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-,kg	4,00E-10	4,04E-10	7,31E-11	6,37E-10	6,22E-10
Dipropylamine,kg	1,24E-05	5,38E-07	5,92E-09	1,24E-05	1,29E-05
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a,kg	7,87E-04	8,26E-04	8,59E-04	7,88E-04	8,47E-04
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140,kg	6,12E-09	6,49E-09	1,24E-08	5,06E-09	1,56E-09
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113,kg	5,89E-13	1,08E-12	3,35E-13	5,92E-13	1,96E-12
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a,kg	8,27E-12	1,64E-11	4,15E-12	8,30E-12	3,00E-11
Ethane, 1,2-dibromo-,kg			1,22E-11		
Ethane, 1,2-dichloro-,kg	8,33E-05	1,16E-05	6,17E-07	8,36E-05	8,79E-05
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114,kg	7,82E-06	6,01E-06	4,98E-06	7,88E-06	7,71E-06
Ethane, chloro-,kg			4,28E-10		
Ethane, hexafluoro-, HFC-116,kg	2,99E-08	1,36E-08	2,80E-08	3,01E-08	6,99E-08
Ethane,kg	2,89E-01	2,98E-02	3,67E-02	2,89E-01	2,77E-01
Ethanol,kg	4,08E-03	2,45E-04	3,28E-04	4,08E-03	4,19E-03
Ethene, chloro-,kg	2,26E-05	1,44E-06	1,15E-07	2,27E-05	2,32E-05
Ethene, tetrachloro-,kg	1,05E-09	8,31E-08	9,45E-07	1,05E-09	1,06E-09
Ethene,kg	4,86E-01	7,21E-02	5,53E-02	4,86E-01	4,86E-01
Ethyl acetate,kg	1,45E-05	1,88E-06	1,41E-08	1,45E-05	1,46E-05
Ethyl cellulose,kg	4,51E-11	8,26E-11	2,56E-11	4,53E-11	1,50E-10
Ethylamine,kg	9,07E-06	1,44E-06	9,29E-07	9,09E-06	8,99E-05

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Ethylene diamine,kg	3,09E-09	1,70E-10	7,26E-11	3,09E-09	3,12E-09
Ethylene oxide,kg	4,63E-03	4,63E-03	4,63E-03	4,63E-03	4,64E-03
Ethyne,kg	8,97E-02	3,86E-03	3,06E-04	8,97E-02	8,97E-02
Fluoranthene,kg			1,50E-08		
Fluorene,kg			1,92E-08		
Fluoride,kg		3,02E-03	1,81E-06		
Fluorine,kg	5,40E-04	4,70E-04	2,36E-05	9,11E-04	9,25E-04
Fluosilicic acid,kg	3,44E-08	1,52E-08	3,22E-08	3,46E-08	8,09E-08
Formaldehyde,kg	2,40E-01	1,21E-02	1,13E-03	2,41E-01	2,41E-01
Formamide,kg	2,16E-07	2,13E-07	1,81E-07	2,20E-07	1,60E-05
Formic acid,kg	2,68E-01	1,15E-02	1,80E-07	2,68E-01	2,68E-01
Furan,kg	7,62E-02	3,27E-03	3,62E-08	7,62E-02	7,62E-02
Glyphosate,kg		2,50E-02			
Heat, waste,MJ	2,25E+04	2,25E+04	1,38E+04	2,92E+04	3,61E+04
Helium,kg	3,03E-03	3,02E-03	1,67E-03	5,76E-04	1,08E-02
Heptane,kg	4,62E-03	1,30E-03	1,41E-03	4,62E-03	4,76E-03
Hexane,kg	1,56E+00	6,97E-02	3,49E-03	1,56E+00	1,56E+00
Hydrazine, methyl-,kg			1,73E-09		
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, cyclic,kg	1,64E-02	7,06E-04	1,48E-07	1,64E-02	1,64E-02

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified,kg	9,04E-03	9,48E-03	2,45E-03	1,58E-02	1,54E-02
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspecified,kg	3,10E-07	3,12E-07	2,59E-07	3,13E-07	3,02E-07
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated,kg	2,52E-02	2,79E-02	6,18E-04	4,82E-02	4,65E-02
Hydrocarbons, aromatic,kg	6,13E-04	1,21E-04	7,33E-04	6,16E-04	6,61E-04
Hydrocarbons, chlorinated,kg	1,79E-05	1,74E-06	8,19E-07	1,79E-05	8,77E-05
Hydrocarbons, unspecified,kg		4,86E-02	3,52E-04		
Hydrogen chloride,kg	6,84E-03	8,81E-03	5,48E-02	6,88E-03	7,24E-03
Hydrogen fluoride,kg	1,37E-03	1,20E-03	4,76E-03	1,38E-03	3,82E-03
Hydrogen peroxide,kg	3,34E-11	6,12E-11	1,90E-11	3,35E-11	1,11E-10
Hydrogen sulfide,kg	7,05E-04	1,55E-04	2,82E-03	7,08E-04	8,40E-04
Hydrogen,kg	4,61E-02	4,62E-02	4,50E-02	4,61E-02	4,78E-02
Hydrogen-3, Tritium,Bq	2,19E+04	8,56E+03	7,57E+03	2,20E+04	2,23E+04
Indeno(1,2,3-cd)pyrene,kg			1,29E-09		
Iodine,kg	3,42E-05	2,14E-05	2,75E-05	3,44E-05	3,53E-05
Iodine-129,Bq	4,82E+00	2,24E+00	1,93E+00	4,84E+00	4,88E+00
Iodine-131,Bq	6,83E+01	3,57E+01	3,74E+01	6,83E+01	6,95E+01
Iodine-133,Bq	1,52E-01	9,73E-02	7,90E-02	1,53E-01	1,51E-01
Iodine-135,Bq	1,52E-01	1,42E-01	1,18E-01	1,54E-01	1,49E-01
Iron,kg	2,37E-03	5,40E-04	3,26E-03	2,37E-03	2,44E-03

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Iron-59,Bq	1,06E-05	1,06E-05	8,81E-06	1,07E-05	1,03E-05
Isocyanic acid,kg	1,75E-10	3,38E-10	9,25E-11	1,76E-10	6,16E-10
Isophorone,kg			5,91E-09		
Isoprene,kg	3,53E-03	1,52E-04	5,38E-02	3,53E-03	3,53E-03
Isopropylamine,kg	5,34E-06	5,62E-07	2,95E-07	5,34E-06	3,10E-05
Kerosene,kg			2,92E-05		
Krypton-85,Bq	2,55E+07	2,56E+07	2,12E+07	2,57E+07	2,48E+07
Krypton-85m,Bq	6,80E+02	7,04E+01	3,87E+01	6,81E+02	6,87E+02
Krypton-87,Bq	1,62E+02	2,47E+01	1,66E+01	1,62E+02	1,63E+02
Krypton-88,Bq	1,40E+03	1,23E+03	1,02E+03	1,42E+03	1,38E+03
Krypton-89,Bq	8,98E+01	1,38E+01	8,86E+00	8,99E+01	9,04E+01
Lactic acid,kg	9,68E-06	4,21E-07	4,64E-09	9,68E-06	1,01E-05
Lanthanum,kg	1,85E-09	1,86E-09	1,54E-09	1,87E-09	1,80E-09
Lanthanum-140,Bq	4,50E-03	9,05E-04	6,28E-04	4,51E-03	4,53E-03
Lead,kg	3,01E-04	2,87E-04	1,71E-04	4,88E-04	4,99E-04
Lead-210,Bq	2,49E+01	1,24E+01	3,65E+01	2,50E+01	8,34E+01
Magnesium,kg	3,39E-03	3,37E-03	2,62E-03	6,07E-03	6,17E-03
Manganese,kg	1,48E-03	1,52E-03	4,89E-05	2,75E-03	2,79E-03
Manganese-54,Bq	6,35E-04	3,01E-04	2,38E-04	6,38E-04	6,31E-04

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Mercaptans, unspecified,kg			2,07E-06		
Mercury,kg	5,97E-05	5,73E-05	5,56E-05	5,86E-05	7,32E-05
Metals, unspecified,kg		2,63E-07	6,09E-12		
Methane, biogenic,kg	1,43E+00	1,43E+00	1,19E+00	1,45E+00	2,08E+00
Methane, bromo-, Halon 1001,kg	1,02E-16	7,43E-18	1,63E-09	1,02E-16	1,03E-16
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211,kg	1,59E-06	6,32E-07	6,13E-06	1,49E-06	2,19E-06
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301,kg	1,12E-05	1,07E-05	7,58E-06	4,72E-06	3,18E-05
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22,kg	5,59E-06	2,13E-06	2,10E-05	5,27E-06	7,63E-06
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13,kg	2,90E-08	2,92E-08	2,42E-08	2,93E-08	2,83E-08
Methane, dichloro-, HCC-30,kg	6,95E-06	5,70E-06	8,86E-06	6,96E-06	4,82E-05
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12,kg	2,24E-07	8,06E-08	8,96E-08	2,23E-07	1,59E-06
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21,kg	2,08E-09	2,09E-09	1,73E-09	2,10E-09	2,02E-09
Methane, fossil,kg	3,96E+00	2,31E+00	2,49E+00	2,52E+00	8,42E+00
Methane, monochloro-, R-40,kg	1,29E-08	2,07E-09	7,13E-09	1,29E-08	1,31E-08
Methane, tetrachloro-, CFC-10,kg	1,09E-05	4,21E-06	2,29E-06	1,09E-05	1,30E-05
Methane, tetrafluoro-, CFC-14,kg	2,69E-07	1,22E-07	2,52E-07	2,71E-07	6,28E-07
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11,kg	2,15E-07	2,16E-07	1,79E-07	2,17E-07	2,09E-07
Methane, trifluoro-, HFC-23,kg	1,26E-12	2,31E-12	7,13E-13	1,26E-12	4,19E-12
Methane,kg	9,04E-03	7,28E-02	3,44E+00	3,58E-03	6,12E-03

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Methanesulfonic acid,kg	2,90E-06	2,55E-07	1,16E-07	2,91E-06	1,30E-05
Methanol,kg	4,70E-01	2,14E-02	5,49E-04	4,70E-01	4,70E-01
Methyl acetate,kg	1,63E-06	7,30E-08	2,49E-09	1,63E-06	1,85E-06
Methyl acrylate,kg	1,41E-11	2,58E-11	8,00E-12	1,41E-11	4,68E-11
Methyl amine,kg	1,43E-05	6,56E-07	3,54E-08	1,43E-05	1,74E-05
Methyl borate,kg	3,26E-07	5,58E-08	3,71E-08	3,27E-07	3,56E-06
Methyl ethyl ketone,kg	2,23E-08	4,09E-08	1,66E-08	2,24E-08	7,41E-08
Methyl formate,kg	5,71E-08	5,64E-08	4,79E-08	5,81E-08	4,23E-06
Methyl lactate,kg	1,06E-05	4,62E-07	5,10E-09	1,06E-05	1,11E-05
Methyl mercaptan,kg		4,73E-08			
Methyl methacrylate,kg			2,04E-10		
Molybdenum,kg	1,05E-05	4,89E-06	2,17E-05	1,06E-05	1,18E-05
Monoethanolamine,kg	2,23E-04	1,21E-05	2,25E-06	2,23E-04	4,15E-04
m-Xylene,kg	9,72E-04	1,05E-03	9,42E-06	1,86E-03	1,79E-03
Naphthalene,kg			1,29E-06		
Neptunium-237,Bq	2,71E-07	2,73E-07	2,26E-07	2,74E-07	2,64E-07
Nickel,kg	6,17E-04	1,97E-04	9,19E-04	6,64E-04	7,01E-04
Niobium-95,Bq	9,16E-05	5,22E-05	4,19E-05	9,22E-05	9,08E-05
Nitrate,kg	2,30E-05	4,29E-06	3,84E-06	2,30E-05	2,36E-05



Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Nitrobenzene,kg	6,89E-05	3,01E-06	4,41E-08	6,89E-05	7,27E-05
Nitrogen oxides,kg	4,33E+00	3,96E+00	3,20E+00	4,46E+00	5,93E+00
Nitrogen, total,kg	9,28E-01	9,28E-01	6,88E-01	9,28E-01	9,28E-01
Nitrogen,kg	8,45E-06	8,51E-06	7,05E-06	8,54E-06	8,24E-06
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin,kg	3,16E+00	3,10E+00	4,06E+00	2,48E+00	4,92E+00
Noble gases, radioactive, unspecified,Bq	3,21E+07	7,21E+06	6,68E+06	3,22E+07	3,30E+07
Organic acids,kg			2,24E-07		
Organic substances, unspecified,kg	1,70E-04	1,70E-04	5,26E-04	1,70E-04	
Ozone,kg	1,18E-03	4,44E-04	3,92E-04	1,23E-03	1,14E-03
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons,kg	1,67E-04	1,07E-04	6,12E-05	2,49E-04	2,59E-04
Particulates, < 10 um (mobile),kg	3,73E-06	3,76E-06	3,12E-06	3,77E-06	3,80E-06
Particulates, < 10 um (stationary),kg	6,73E-05	6,77E-05	5,62E-05	6,80E-05	6,56E-05
Particulates, < 2.5 um,kg	2,51E+00	5,47E-01	1,14E-01	2,55E+00	2,87E+00
Particulates, > 10 um (process),kg	3,83E-04	3,86E-04	3,20E-04	3,87E-04	3,73E-04
Particulates, > 10 um,kg	2,56E-01	1,87E-01	2,56E-01	2,58E-01	9,26E+00
Particulates, > 2.5 um, and < 10um,kg	2,48E-01	4,92E-02	1,09E-01	2,48E-01	2,93E-01
Particulates, unspecified,kg	1,52E-02	7,56E-01	1,03E-01	1,26E-02	2,63E-03
Pentane,kg	9,45E-03	7,42E-03	1,29E-02	9,50E-03	1,06E-02
Phenanthrene,kg			5,71E-08		

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Phenol, 2,4-dichloro-,kg	1,59E-05	8,85E-07	1,78E-07	1,59E-05	3,14E-05
Phenol, pentachloro-,kg	4,21E-07	2,59E-07	1,94E-07	4,81E-07	4,91E-07
Phenol,kg	1,44E-03	6,30E-05	1,10E-06	1,44E-03	1,51E-03
Phenols, unspecified,kg		3,66E-06	2,04E-06		
Phosphine,kg	1,07E-14	1,97E-14	6,10E-15	1,08E-14	3,57E-14
Phosphorus, total,kg	6,46E-08	6,51E-08	5,39E-08	6,53E-08	6,33E-08
Phosphorus,kg	2,59E-03	2,92E-03	6,59E-05	4,81E-03	4,88E-03
Phthalate, dioctyl-,kg			7,44E-10		
Platinum,kg	5,57E-11	1,16E-11	1,05E-11	5,57E-11	5,68E-11
Plutonium-238,Bq	1,06E-06	7,09E-07	5,97E-07	1,07E-06	1,06E-06
Plutonium-241,Bq	4,52E-01	4,55E-01	3,77E-01	4,57E-01	4,40E-01
Plutonium-alpha,Bq	1,64E-02	1,65E-02	1,37E-02	1,66E-02	1,60E-02
Polonium-210,Bq	3,54E+01	1,81E+01	6,46E+01	3,56E+01	9,42E+01
Polychlorinated biphenyls,kg	2,22E-08	9,76E-10	1,98E-11	2,22E-08	2,22E-08
Potassium,kg	1,97E-01	2,10E-01	2,68E-03	3,70E-01	3,75E-01
Potassium-40,Bq	2,79E+00	1,87E+00	9,75E+00	2,81E+00	2,86E+00
Promethium-147,Bq	1,40E-01	1,41E-01	1,17E-01	1,41E-01	1,36E-01
Propanal,kg	1,54E-05	1,07E-06	3,69E-07	1,54E-05	4,62E-05
Propane,kg	2,45E-01	2,07E-02	1,82E-02	2,45E-01	2,41E-01

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Propene,kg	3,03E-01	1,33E-02	6,08E-04	3,03E-01	3,03E-01
Propionic acid,kg	4,81E-05	1,26E-05	8,16E-05	4,85E-05	7,53E-05
Propylamine,kg	1,56E-09	6,82E-11	1,83E-12	1,57E-09	1,56E-09
Propylene oxide,kg	2,82E-06	4,64E-07	3,77E-07	2,82E-06	1,41E-05
Protactinium-234,Bq	7,54E-01	2,75E-01	2,33E-01	7,57E-01	7,63E-01
Pyrene,kg			6,98E-09		
Radioactive species, other beta emitters,Bq	1,22E+00	2,47E-01	2,20E-01	1,22E+00	1,25E+00
Radioactive species, unspecified,Bq		4,04E+03	1,20E+06		
Radionuclides (Including Radon),kg			1,63E-03		
Radium-226,Bq	4,44E+01	1,73E+01	1,74E+01	4,45E+01	1,48E+02
Radium-228,Bq	2,74E+00	1,93E+00	4,03E+01	2,75E+00	2,90E+00
Radon-220,Bq	1,05E+02	7,16E+01	6,82E+01	1,06E+02	1,07E+02
Radon-222,Bq	1,15E+08	5,17E+07	4,35E+07	1,15E+08	1,16E+08
Ruthenium-103,Bq	1,20E-05	3,31E-06	2,44E-06	1,21E-05	1,21E-05
Ruthenium-106,Bq	1,64E+00	1,65E+00	1,37E+00	1,66E+00	1,60E+00
Scandium,kg	7,17E-06	1,35E-06	1,93E-06	7,17E-06	7,33E-06
Selenium,kg	1,68E-05	9,54E-06	5,37E-05	1,69E-05	1,79E-05
Silicon tetrafluoride,kg	1,05E-06	7,49E-08	4,47E-09	1,05E-06	1,09E-06
Silicon,kg	1,45E-03	9,35E-04	9,86E-03	1,45E-03	1,51E-03

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Silver,kg	2,99E-07	5,53E-08	4,84E-08	2,99E-07	3,05E-07
Silver-110,Bq	3,68E-04	2,83E-04	2,31E-04	3,71E-04	3,62E-04
Sodium chlorate,kg	1,83E-07	3,43E-07	5,74E-08	1,83E-07	6,81E-07
Sodium dichromate,kg	9,55E-09	9,20E-09	9,38E-10	9,56E-09	2,97E-08
Sodium formate,kg	1,94E-08	1,91E-08	1,88E-08	1,94E-08	1,99E-08
Sodium hydroxide,kg	1,25E-10	2,28E-10	7,07E-11	1,25E-10	4,14E-10
Sodium,kg	1,15E-02	1,18E-02	1,38E-03	2,11E-02	2,14E-02
Strontium,kg	2,18E-05	1,13E-05	1,23E-04	2,18E-05	2,26E-05
Strontium-89,Bq	4,87E-04	4,90E-04	4,06E-04	4,92E-04	4,74E-04
Strontium-90,Bq	2,71E-01	2,73E-01	2,26E-01	2,74E-01	2,64E-01
Styrene,kg	7,00E-08	7,80E-08	2,08E-08	8,04E-08	1,56E-07
Sulfate,kg	3,15E-02	5,33E-03	3,23E-03	3,15E-02	2,54E-01
Sulfur dioxide,kg	3,88E+00	2,77E+00	1,08E+01	3,90E+00	4,40E+00
Sulfur hexafluoride,kg	1,62E-05	9,43E-06	8,43E-06	1,63E-05	1,67E-05
Sulfur monoxide,kg	8,77E-04	8,83E-04	7,32E-04	8,86E-04	8,60E-04
Sulfur oxides,kg	1,40E-01	3,26E-01	3,56E-01	1,15E-01	2,58E-02
Sulfur trioxide,kg	4,86E-04	2,15E-05	5,48E-07	4,86E-04	5,34E-04
Sulfuric acid, dimethyl ester,kg			4,89E-10		
Sulfuric acid,kg	2,61E-11	4,78E-11	1,48E-11	2,62E-11	8,67E-11

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Tar,kg			1,85E-09		
t-Butyl methyl ether,kg	1,19E-08	2,57E-09	2,35E-09	7,63E-07	1,27E-08
t-Butylamine,kg	5,29E-06	6,98E-07	4,18E-07	5,30E-06	4,16E-05
Technetium-99,Bq	1,15E-05	1,16E-05	9,60E-06	1,16E-05	1,12E-05
Tellurium-123m,Bq	1,23E-03	1,24E-03	1,03E-03	1,24E-03	1,20E-03
Terpenes,kg	3,34E-02	1,44E-03	1,59E-08	3,34E-02	3,34E-02
Thallium,kg	5,53E-08	4,06E-08	9,73E-07	5,54E-08	5,89E-08
Thorium,kg	5,82E-08	4,14E-08	1,16E-06	5,83E-08	6,23E-08
Thorium-228,Bq	6,32E-01	4,19E-01	3,65E+00	6,36E-01	6,54E-01
Thorium-230,Bq	1,91E+01	8,69E+00	3,00E+00	1,92E+01	1,16E+02
Thorium-232,Bq	9,85E-01	6,33E-01	2,60E+00	9,91E-01	2,04E+00
Thorium-234,Bq	7,55E-01	2,75E-01	2,33E-01	7,57E-01	7,64E-01
Tin,kg	1,65E-06	1,15E-06	6,96E-07	1,65E-06	1,68E-06
Titanium,kg	1,42E-04	3,23E-05	2,53E-04	1,42E-04	1,45E-04
Toluene, 2,4-dinitro-,kg			2,85E-12		
Toluene, 2-chloro-,kg	2,50E-05	1,10E-06	2,02E-08	2,50E-05	2,67E-05
Toluene,kg	5,95E-02	5,99E-03	1,95E-03	6,17E-02	6,18E-02
Trimethylamine,kg	3,32E-09	1,43E-10	1,86E-14	3,33E-09	3,32E-09
Tungsten,kg	8,06E-07	1,49E-07	1,31E-07	8,06E-07	8,24E-07

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Uranium alpha,Bq	3,79E+01	1,19E+01	1,01E+01	3,80E+01	3,85E+01
Uranium,kg	7,63E-08	5,48E-08	1,55E-06	7,63E-08	8,17E-08
Uranium-234,Bq	2,40E+01	9,70E+00	3,88E+00	2,40E+01	1,21E+02
Uranium-235,Bq	4,28E-01	1,58E-01	1,34E-01	4,29E-01	4,33E-01
Uranium-238,Bq	2,61E+01	1,11E+01	1,11E+01	2,61E+01	1,23E+02
Vanadium,kg	6,58E-04	2,64E-04	2,57E-03	6,65E-04	7,87E-04
Vinyl acetate,kg			7,74E-11		
VOC, volatile organic compounds,kg	1,70E-03	1,92E-03	2,07E-01	1,70E-03	
Water,kg	2,79E-03	2,17E+02	4,05E-03	2,81E-03	4,66E-03
Xenon-131m,Bq	8,35E+02	1,16E+02	7,54E+01	8,36E+02	8,42E+02
Xenon-133,Bq	4,67E+04	2,05E+04	1,62E+04	4,69E+04	4,65E+04
Xenon-133m,Bq	4,05E+01	1,37E+01	1,12E+01	4,06E+01	4,07E+01
Xenon-135,Bq	1,44E+04	3,93E+03	2,94E+03	1,45E+04	1,45E+04
Xenon-135m,Bq	7,42E+03	7,93E+02	4,55E+02	7,43E+03	7,49E+03
Xenon-137,Bq	2,29E+02	2,06E+01	1,02E+01	2,29E+02	2,31E+02
Xenon-138,Bq	1,74E+03	1,85E+02	1,02E+02	1,74E+03	1,76E+03
Xylene,kg	1,45E-02	1,40E-03	1,05E-03	1,45E-02	1,46E-02
Zinc,kg	2,89E-03	3,03E-03	3,94E-04	5,11E-03	5,22E-03
Zinc-65,Bq	2,96E-03	1,30E-03	1,02E-03	2,98E-03	2,95E-03

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Zirconium,kg	1,47E-08	6,90E-10	6,15E-11	1,47E-08	1,54E-08
Zirconium-95,Bq	1,76E-03	1,21E-04	4,43E-05	1,76E-03	1,77E-03
<b>Emissões para a água</b>					
1,4-Butanediol,kg	1,38E-05	7,43E-07	1,33E-07	1,38E-05	2,54E-05
1-Butanol,kg	1,96E-05	9,90E-07	1,32E-07	1,96E-05	3,11E-05
1-Pentanol,kg	2,84E-07	2,80E-07	2,38E-07	2,88E-07	2,10E-05
1-Pentene,kg	2,14E-07	2,12E-07	1,80E-07	2,18E-07	1,59E-05
1-Propanol,kg	1,68E-07	1,58E-07	1,34E-07	1,70E-07	1,18E-05
2-Aminopropanol,kg	6,98E-06	3,12E-07	1,07E-08	6,98E-06	7,91E-06
2-Hexanone,kg			8,72E-06		
2-Methyl-1-propanol,kg	3,26E-05	1,64E-06	2,09E-07	3,26E-05	5,08E-05
2-Methyl-2-butene,kg	4,75E-11	4,70E-11	3,99E-11	4,83E-11	3,52E-09
2-Propanol,kg	2,95E-05	3,11E-06	1,63E-06	2,96E-05	1,72E-04
4-Methyl-2-pentanone,kg	2,63E-12	1,93E-13	5,61E-06	2,63E-12	2,67E-12
Acenaphthene,kg	4,09E-08	3,37E-08	4,07E-08	4,10E-08	4,21E-08
Acenaphthylene,kg	2,56E-09	2,11E-09	2,54E-09	2,56E-09	2,63E-09
Acetaldehyde,kg	1,26E-03	7,57E-04	1,08E-06	1,26E-03	1,35E-03
Acetic acid,kg	2,86E-03	1,16E-02	1,99E-05	2,86E-03	4,42E-03
Acetone,kg	1,52E-05	8,95E-07	1,36E-05	1,52E-05	3,38E-05

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Acetonitrile,kg	2,41E-06	2,11E-07	9,57E-08	2,41E-06	1,07E-05
Acetyl chloride,kg	2,23E-07	2,20E-07	1,87E-07	2,26E-07	1,65E-05
Acidity, unspecified,kg	7,23E-05	6,24E-05	9,00E-03	7,23E-05	8,12E-05
Acids, unspecified,kg	8,74E-07	9,33E-07	7,64E-07	8,83E-07	8,52E-07
Acrylate, ion,kg	2,94E-11	5,39E-11	1,67E-11	2,95E-11	9,77E-11
Actinides, radioactive, unspecified,Bq	5,43E+00	1,22E+00	1,13E+00	5,44E+00	5,58E+00
Aluminium,kg	3,42E-01	2,28E-01	2,08E-01	3,96E-01	4,17E-01
Americium-241,Bq	6,82E-01	6,86E-01	5,69E-01	6,89E-01	6,65E-01
Ammonia, as N,kg	1,25E-04	1,26E-04	1,04E-04	1,26E-04	1,22E-04
Ammonia,kg	8,71E-04	9,91E-04	1,90E-02	7,07E-04	1,65E-04
Ammonium, ion,kg	3,88E-02	9,66E-03	1,00E-02	3,89E-02	4,65E-02
Aniline,kg	1,15E-04	5,04E-06	6,66E-08	1,15E-04	1,21E-04
Antimony,kg	3,35E-04	2,68E-04	1,08E-04	3,35E-04	3,46E-04
Antimony-122,Bq	2,96E-02	4,57E-03	2,93E-03	2,96E-02	2,98E-02
Antimony-124,Bq	2,30E+00	7,35E-01	5,95E-01	2,30E+00	2,32E+00
Antimony-125,Bq	1,75E+00	2,48E-01	1,91E-01	1,75E+00	1,78E+00
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl,kg	1,10E-05	6,46E-06	6,72E-06	1,09E-05	1,12E-05
Arsenic, ion,kg	5,25E-04	1,87E-04	6,29E-04	5,46E-04	6,48E-04
Barite,kg	2,07E-05	2,29E-05	1,66E-05	2,09E-05	2,55E-05



Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Barium,kg	1,02E-02	8,20E-03	6,20E-01	1,03E-02	1,05E-02
Barium-140,Bq	1,19E-01	9,88E-03	4,45E-03	1,20E-01	1,21E-01
Benzene, 1,2-dichloro-,kg	6,86E-05	5,70E-06	2,44E-06	6,86E-05	2,81E-04
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-,kg			1,33E-07		
Benzene, chloro-,kg	1,01E-03	7,26E-05	2,60E-05	1,01E-03	3,27E-03
Benzene, ethyl-,kg	1,59E-04	1,32E-04	2,87E-04	1,60E-04	1,63E-04
Benzene, pentamethyl-,kg			1,00E-07		
Benzene,kg	2,08E-03	6,55E-04	2,82E-03	2,09E-03	4,77E-03
Benzenes, alkylated, unspecified,kg			2,28E-05		
Benzoic acid,kg			1,36E-03		
Beryllium,kg	7,42E-05	4,19E-05	8,78E-05	7,45E-05	7,69E-05
Biphenyl,kg			1,47E-06		
BOD5, Biological Oxygen Demand,kg	2,69E+00	1,17E+01	2,28E+00	2,68E+00	2,62E+00
Borate,kg	4,18E-04	3,90E-05	1,87E-05	4,18E-04	2,04E-03
Boron,kg	1,33E-03	6,96E-04	4,92E-03	1,33E-03	1,44E-03
Bromate,kg	2,24E-02	2,25E-02	2,22E-02	2,24E-02	2,27E-02
Bromide,kg	1,28E-01	6,31E-03	2,87E-01	1,29E-01	1,89E-01
Bromine,kg	4,92E-03	4,03E-03	4,72E-03	4,93E-03	5,07E-03
Butene,kg	2,98E-05	1,64E-06	3,21E-07	2,98E-05	5,77E-05

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Butyl acetate,kg	6,69E-07	3,75E-08	7,68E-09	6,69E-07	1,33E-06
Butyrolactone,kg	1,78E-13	3,27E-13	1,01E-13	1,79E-13	5,93E-13
Cadmium, ion,kg	1,50E-04	3,22E-05	8,27E-05	1,92E-04	2,87E-04
Cadmium-109,Bq	1,72E-05	1,73E-05	1,44E-05	1,74E-05	1,68E-05
Calcium, ion,kg	5,04E+00	1,45E+00	5,75E+00	5,88E+00	5,98E+00
Carbon disulfide,kg	1,78E-08	9,65E-10	3,65E-10	1,79E-08	1,80E-08
Carbon-14,Bq	3,45E+01	3,47E+01	2,88E+01	3,49E+01	3,36E+01
Carbonate,kg	9,97E-03	1,91E-03	2,08E-04	9,98E-03	2,62E-02
Carboxylic acids, unspecified,kg	3,44E-02	3,05E-02	3,43E-02	3,45E-02	2,85E-02
Cerium-141,Bq	4,70E-02	3,20E-03	1,16E-03	4,71E-02	4,75E-02
Cerium-144,Bq	1,56E+01	1,57E+01	1,30E+01	1,58E+01	1,52E+01
Cesium,kg	6,57E-06	5,41E-06	6,54E-06	6,59E-06	6,77E-06
Cesium-134,Bq	3,56E+01	3,53E+01	2,93E+01	3,60E+01	3,48E+01
Cesium-136,Bq	8,28E-03	5,05E-04	1,53E-04	8,29E-03	8,37E-03
Cesium-137,Bq	9,59E+02	4,64E+02	3,98E+02	9,63E+02	9,68E+02
Chloramine,kg	7,00E-05	6,61E-06	3,20E-06	7,01E-05	3,49E-04
Chlorate,kg	1,71E-01	1,72E-01	1,70E-01	1,71E-01	1,73E-01
Chloride,kg	2,26E+01	1,03E+01	5,52E+01	2,21E+01	2,38E+01
Chlorinated solvents, unspecified,kg	4,98E-05	4,92E-05	4,85E-05	4,98E-05	5,20E-05

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Chlorine,kg	4,03E-04	5,23E-04	1,38E-04	1,45E-04	1,07E-03
Chloroacetic acid,kg	1,95E-03	1,63E-03	3,79E-06	1,95E-03	2,28E-03
Chloroacetyl chloride,kg	9,31E-06	4,16E-07	1,42E-08	9,31E-06	1,05E-05
Chloroform,kg	8,16E-06	3,65E-07	1,25E-08	8,16E-06	9,25E-06
Chlorosulfonic acid,kg	8,75E-06	7,68E-07	3,48E-07	8,76E-06	3,90E-05
Chromium VI,kg	8,89E-04	4,64E-04	4,69E-04	8,94E-04	9,15E-04
Chromium, ion,kg	2,95E-03	2,89E-03	3,36E-03	2,94E-03	3,38E-03
Chromium,kg			5,87E-04		
Chromium-51,Bq	8,81E+00	6,55E-01	2,85E-01	8,82E+00	8,91E+00
Cobalt,kg	1,13E-03	6,06E-04	9,46E-04	1,19E-03	1,23E-03
Cobalt-57,Bq	2,65E-01	1,86E-02	6,98E-03	2,66E-01	2,68E-01
Cobalt-58,Bq	4,14E+01	5,94E+00	3,95E+00	4,15E+01	4,19E+01
Cobalt-60,Bq	1,85E+02	1,54E+02	1,27E+02	1,87E+02	1,82E+02
COD, Chemical Oxygen Demand,kg	4,71E+00	1,97E+01	3,83E+00	4,72E+00	4,67E+00
Copper, ion,kg	1,68E-02	1,57E-02	4,21E-03	1,73E-02	1,80E-02
Cumene,kg	6,32E-04	1,26E-04	2,68E-05	6,46E-04	9,42E-04
Curium alpha,Bq	9,04E-01	9,10E-01	7,54E-01	9,13E-01	8,81E-01
Cyanide,kg	3,34E-05	1,78E-05	1,94E-05	3,35E-05	5,84E-05
Decane,kg			3,89E-05		

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Detergent, oil,kg			1,29E-03		
Dibenzofuran,kg			2,54E-07		
Dibenzothiophene,kg			2,10E-07		
Dichromate,kg	1,41E-08	1,31E-08	2,96E-09	1,40E-08	1,45E-08
Diethylamine,kg	5,26E-05	2,30E-06	3,18E-08	5,26E-05	5,54E-05
Dimethylamine,kg	1,05E-04	5,43E-06	8,09E-07	1,05E-04	1,76E-04
Dipropylamine,kg	2,97E-05	1,29E-06	1,42E-08	2,97E-05	3,09E-05
DOC, Dissolved Organic Carbon,kg	6,72E-01	5,27E-01	5,10E-01	6,85E-01	6,74E-01
Docosane,kg			1,43E-06		
Dodecane,kg			7,39E-05		
Eicosane,kg			2,03E-05		
Ethane, 1,2-dichloro-,kg	1,22E-04	1,90E-05	1,21E-07	1,22E-04	1,27E-04
Ethanol,kg	1,45E-03	9,77E-05	2,86E-05	1,45E-03	3,94E-03
Ethene, chloro-,kg	3,04E-07	1,53E-08	6,33E-10	3,04E-07	3,16E-07
Ethene,kg	3,68E-05	4,18E-05	9,94E-06	4,26E-05	9,04E-05
Ethyl acetate,kg	3,41E-05	1,95E-06	6,07E-10	3,41E-05	3,41E-05
Ethylamine,kg	2,18E-05	3,45E-06	2,23E-06	2,18E-05	2,16E-04
Ethylene diamine,kg	7,42E-09	4,09E-10	1,75E-10	7,43E-09	7,49E-09
Ethylene oxide,kg	4,22E-05	2,05E-06	2,13E-07	4,22E-05	6,07E-05

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Fatty acids as C,kg	2,84E-06	2,86E-06	2,37E-06	2,87E-06	2,79E-06
Fluorene, 1-methyl-,kg			1,52E-07		
Fluorenes, alkylated, unspecified,kg			1,32E-06		
Fluoride,kg	3,80E-02	4,24E-03	2,97E-03	3,80E-02	4,08E-02
Fluorine,kg			7,25E-07		
Fluosilicic acid,kg	6,18E-08	2,73E-08	5,79E-08	6,22E-08	1,46E-07
Formaldehyde,kg	7,89E-04	1,07E-03	1,87E-06	7,90E-04	8,03E-04
Formamide,kg	5,19E-07	5,12E-07	4,35E-07	5,27E-07	3,84E-05
Formate,kg	1,63E-03	2,15E-04	1,29E-04	1,63E-03	1,28E-02
Formic acid,kg	1,51E-07	1,49E-07	1,26E-07	1,53E-07	1,11E-05
Glutaraldehyde,kg	2,56E-09	2,82E-09	2,05E-09	2,58E-09	3,15E-09
Glyphosate,kg		1,01E-01			
Heat, waste,MJ	2,77E+02	2,27E+02	2,04E+02	2,79E+02	2,99E+02
Heavy metals to water (unspecified),kg		1,23E+02			
Hexadecane,kg			8,06E-05		
Hexanoic acid,kg			2,81E-04		
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified,kg	8,54E-04	7,04E-04	8,50E-04	8,57E-04	8,80E-04
Hydrocarbons, aliphatic, alkenes, unspecified,kg	6,96E-09	7,00E-09	5,80E-09	7,03E-09	6,83E-09
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated,kg	9,39E-05	6,59E-05	7,88E-05	9,41E-05	1,20E-04

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Hydrocarbons, aromatic,kg	3,50E-03	2,88E-03	3,48E-03	3,51E-03	3,61E-03
Hydrocarbons, unspecified,kg	2,73E-03	5,35E-04	2,30E-04	2,73E-03	2,75E-03
Hydrogen peroxide,kg	1,45E-06	1,43E-06	3,60E-08	1,46E-06	6,50E-06
Hydrogen sulfide,kg	1,49E-03	1,07E-04	3,94E-05	2,78E-03	2,82E-03
Hydrogen-3, Tritium,Bq	2,47E+06	1,35E+06	1,15E+06	2,48E+06	2,48E+06
Hydroxide,kg	4,26E-06	7,32E-07	4,86E-07	4,27E-06	4,65E-05
Hypochlorite,kg	1,05E-04	8,85E-05	7,51E-05	1,07E-04	1,04E-04
Hypochlorous acid,kg	5,27E-07	5,30E-07	4,39E-07	5,32E-07	5,13E-07
Iodide,kg	5,33E-03	8,33E-04	7,41E-04	5,33E-03	1,22E-02
Iodine-129,Bq	9,86E+01	9,92E+01	8,22E+01	9,96E+01	9,61E+01
Iodine-131,Bq	5,04E-01	1,15E-01	8,86E-02	5,05E-01	5,10E-01
Iodine-133,Bq	8,68E-02	1,81E-02	1,27E-02	8,70E-02	8,73E-02
Iron, ion,kg	3,35E-01	2,30E-01	1,49E-01	3,50E-01	3,58E-01
Iron,kg	2,27E-04	2,29E-04	1,08E-01	2,29E-04	2,21E-04
Iron-59,Bq	2,02E-02	1,24E-03	3,84E-04	2,02E-02	2,04E-02
Isopropylamine,kg	1,28E-05	1,35E-06	7,09E-07	1,28E-05	7,45E-05
Lactic acid,kg	2,32E-05	1,01E-06	1,11E-08	2,32E-05	2,42E-05
Lanthanum-140,Bq	1,25E-01	7,96E-03	2,61E-03	1,25E-01	1,26E-01
Lead,kg	3,73E-03	3,26E-03	1,34E-03	3,91E-03	4,39E-03

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Lead-210,Bq	5,75E+03	2,62E+02	5,28E+00	5,75E+03	5,77E+03
Lead-210/kg,kg			1,39E-13		
Lithium, ion,kg	1,06E-05	9,82E-06	1,17E+00	1,07E-05	7,33E-04
Magnesium,kg	9,85E-01	6,42E-01	1,39E+00	1,08E+00	1,16E+00
Manganese,kg	1,08E-01	2,91E-02	3,86E-02	1,66E-01	1,69E-01
Manganese-54,Bq	2,55E+01	2,35E+01	1,94E+01	2,57E+01	2,49E+01
Mercury,kg	3,84E-05	2,27E-05	2,32E-05	3,87E-05	1,26E-04
Metallic ions, unspecified,kg		8,98E-07	1,62E-09		
Metals (unspecified),kg		3,12E-06			
Methane, dichloro-, HCC-30,kg	1,11E-05	1,42E-06	8,35E-07	1,11E-05	8,31E-05
Methane, monochloro-, R-40,kg			5,38E-08		
Methanol,kg	2,42E-03	1,23E-04	8,17E-05	2,43E-03	2,60E-03
Methyl acetate,kg	3,92E-06	1,75E-07	5,99E-09	3,92E-06	4,44E-06
Methyl acrylate,kg	2,75E-10	5,04E-10	1,56E-10	2,76E-10	9,15E-10
Methyl amine,kg	3,44E-05	1,57E-06	8,51E-08	3,44E-05	4,18E-05
Methyl ethyl ketone,kg			1,08E-07		
Methyl formate,kg	2,28E-08	2,25E-08	1,91E-08	2,32E-08	1,69E-06
Molybdenum,kg	3,60E-04	1,94E-04	3,01E-04	3,68E-04	3,78E-04
Molybdenum-99,Bq	4,30E-02	2,76E-03	9,11E-04	4,30E-02	4,35E-02

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
m-Xylene,kg	9,65E-09	4,23E-10	4,05E-05	9,67E-09	9,65E-09
Naphthalene, 2-methyl-,kg			2,12E-05		
Naphthalene,kg	1,70E-10	1,70E-10	2,43E-05	1,70E-10	
Naphthalenes, alkylated, unspecified,kg			3,73E-07		
Neptunium-237,Bq	4,36E-02	4,38E-02	3,63E-02	4,40E-02	4,24E-02
n-Hexacosane,kg			8,92E-07		
Nickel, ion,kg	6,50E-03	4,40E-03	4,56E-03	6,68E-03	7,21E-03
Nickel,kg			2,58E-04		
Niobium-95,Bq	1,76E-01	2,19E-02	1,59E-02	1,76E-01	1,79E-01
Nitrate compounds,kg		7,73E-01	4,67E-10		
Nitrate,kg	1,30E+01	6,33E-01	8,98E-02	1,30E+01	1,31E+01
Nitric acid,kg			1,05E-06		
Nitrite,kg	1,62E-03	4,43E-04	3,82E-04	1,62E-03	1,62E-03
Nitrobenzene,kg	2,76E-04	1,21E-05	1,77E-07	2,76E-04	2,92E-04
Nitrogen, organic bound,kg	9,12E-04	6,20E-04	9,49E-04	9,15E-04	1,06E-03
Nitrogen, total,kg	1,14E-06	1,09E+00	3,34E-05	1,15E-06	1,12E-06
Nitrogen,kg	6,56E-03	3,92E-03	2,96E-03	6,60E-03	7,20E-03
o-Cresol,kg			3,84E-05		
Octadecane,kg			1,99E-05		



Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Oils, unspecified,kg	4,61E-01	2,90E+00	4,88E-01	4,55E-01	4,32E-01
Organic compounds (unspecified),kg		1,47E-06			
o-Xylene,kg	1,39E-11	1,01E-12	3,96E-13	1,39E-11	1,41E-11
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons,kg	4,88E-05	4,37E-05	4,85E-05	4,89E-05	3,94E-05
p-Cresol,kg			4,15E-05		
Phenanthrene,kg			2,10E-07		
Phenanthrenes, alkylated, unspecified,kg			1,55E-07		
Phenol, 2,4-dimethyl-,kg			3,74E-05		
Phenol,kg	1,17E-03	7,32E-04	9,12E-04	1,17E-03	1,15E-03
Phenols, unspecified,kg	3,05E-05	3,23E-05	5,56E-04	2,80E-05	2,60E-06
Phosphate,kg	2,91E-01	8,48E+00	1,59E-01	2,92E-01	3,90E-01
Phosphorus compounds, unspecified,kg	2,11E-08	2,12E-08	1,76E-08	2,13E-08	2,05E-08
Phosphorus,kg	2,61E-02	7,75E-01	2,88E-04	2,61E-02	3,89E-02
Plutonium-241,Bq	6,74E+01	6,78E+01	5,62E+01	6,81E+01	6,57E+01
Plutonium-alpha,Bq	2,71E+00	2,73E+00	2,26E+00	2,74E+00	2,64E+00
Polonium-210,Bq	8,77E+03	3,98E+02	6,16E+00	8,77E+03	8,80E+03
Potassium, ion,kg	7,68E-01	3,01E-01	3,57E-01	9,29E-01	9,53E-01
Potassium,kg	4,42E-05	4,45E-05	3,68E-05	4,46E-05	4,31E-05
Potassium-40,Bq	7,01E+02	3,61E+01	4,71E+00	7,01E+02	7,03E+02

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Propanal,kg	2,05E-07	1,98E-07	1,68E-07	2,08E-07	1,48E-05
Propene,kg	4,30E-04	6,05E-05	1,47E-05	4,35E-04	9,17E-04
Propionic acid,kg	6,07E-05	3,13E-06	4,59E-07	6,08E-05	1,01E-04
Propylamine,kg	3,75E-09	1,64E-10	4,40E-12	3,76E-09	3,76E-09
Propylene oxide,kg	6,76E-06	1,12E-06	9,06E-07	6,77E-06	3,38E-05
Protactinium-234,Bq	1,39E+01	5,08E+00	4,31E+00	1,40E+01	1,41E+01
Radioactive species, unspecified,Bq		4,71E+03			
Radioactive species, alpha emitters,Bq	6,24E+00	3,28E+00	3,93E-01	6,25E+00	4,01E+01
Radioactive species, from fission and activation,Bq	1,91E+00	1,93E+00	1,60E+00	1,93E+00	1,86E+00
Radioactive species, Nuclides, unspecified,Bq	3,26E+03	7,31E+02	2,57E+03	3,26E+03	3,35E+03
Radium-224,Bq	3,29E+02	2,71E+02	3,27E+02	3,29E+02	3,39E+02
Radium-226,Bq	2,63E+04	1,46E+04	1,21E+04	2,65E+04	2,62E+04
Radium-226/kg,kg			4,83E-11		
Radium-228,Bq	6,57E+02	5,41E+02	6,54E+02	6,59E+02	6,77E+02
Radium-228/kg,kg			2,47E-13		
Rubidium,kg	6,57E-05	5,41E-05	6,54E-05	6,59E-05	6,77E-05
Ruthenium,kg	5,62E-09	5,66E-09	4,69E-09	5,68E-09	5,52E-09
Ruthenium-103,Bq	1,00E-02	1,54E-03	9,87E-04	1,00E-02	1,01E-02
Ruthenium-106,Bq	1,64E+02	1,65E+02	1,37E+02	1,66E+02	1,60E+02

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Salts, unspecified,kg	3,30E-05	3,32E-05	2,75E-05	3,33E-05	3,21E-05
Scandium,kg	1,65E-04	7,11E-05	1,36E-04	1,65E-04	1,70E-04
Selenium,kg	1,81E-04	1,01E-04	1,71E-04	1,81E-04	1,87E-04
Silicon,kg	9,46E-01	5,64E-01	8,45E-01	9,53E-01	9,87E-01
Silver, ion,kg	1,65E-05	1,28E-05	9,02E-06	1,65E-05	1,72E-05
Silver,kg	3,49E-09	3,52E-09	2,80E-03	3,53E-09	3,41E-09
Silver-110,Bq	3,51E+01	4,43E+00	2,78E+00	3,52E+01	3,55E+01
Sodium formate,kg	4,65E-08	4,59E-08	4,52E-08	4,66E-08	4,79E-08
Sodium, ion,kg	1,24E+01	4,97E+00	1,68E+01	1,23E+01	1,31E+01
Sodium-24,Bq	4,16E-01	1,12E-01	8,22E-02	4,17E-01	4,17E-01
Solids, inorganic,kg	2,49E-01	2,20E-01	2,19E-01	2,49E-01	2,56E-01
Solved solids,kg	2,96E+00	2,61E+02	6,30E+01	2,96E+00	3,02E+00
Solved substances,kg	5,86E-05	5,90E-05	4,89E-05	5,92E-05	5,71E-05
Strontium,kg	2,94E-02	1,98E-02	1,01E-01	2,95E-02	3,04E-02
Strontium-89,Bq	7,45E-01	5,84E-02	2,74E-02	7,46E-01	7,54E-01
Strontium-90,Bq	1,91E+03	1,01E+03	1,06E+03	1,91E+03	1,95E+03
Styrene,kg	1,70E-08	1,70E-08	3,94E-08	1,70E-08	
Sulfate,kg	1,58E+01	5,23E+00	6,41E+00	1,58E+01	1,61E+01
Sulfide,kg	3,31E-02	1,67E-03	4,64E-03	3,31E-02	3,31E-02

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Sulfite,kg	2,79E-04	2,34E-04	1,99E-04	2,82E-04	2,76E-04
Sulfur compounds, unspecified,kg		2,21E-01			
Sulfur trioxide,kg	6,61E-08	6,65E-08	5,51E-08	6,68E-08	6,44E-08
Sulfur,kg	8,51E-02	1,02E-02	1,05E-02	8,51E-02	1,44E-01
Suspended solids, unspecified,kg	2,14E-02	6,49E+00	1,42E+00	2,11E-02	7,34E-02
Tar,kg			2,64E-11		
t-Butyl methyl ether,kg	1,97E-05	1,68E-05	1,94E-05	1,98E-05	2,23E-05
t-Butylamine,kg	1,27E-05	1,67E-06	1,00E-06	1,27E-05	9,99E-05
Technetium-99,Bq	1,73E+01	1,74E+01	1,44E+01	1,74E+01	1,68E+01
Technetium-99m,Bq	9,84E-01	5,97E-02	1,80E-02	9,85E-01	9,95E-01
Tellurium-123m,Bq	1,10E-01	2,22E-02	2,00E-02	1,10E-01	1,13E-01
Tellurium-132,Bq	2,53E-03	1,98E-04	8,48E-05	2,53E-03	2,55E-03
Tetradecane,kg			3,24E-05		
Thallium,kg	5,84E-06	3,46E-06	1,26E-05	5,88E-06	6,07E-06
Thorium-228,Bq	1,38E+03	1,09E+03	1,31E+03	1,39E+03	1,43E+03
Thorium-230,Bq	1,96E+03	7,54E+02	6,38E+02	1,97E+03	1,98E+03
Thorium-232,Bq	1,25E+00	9,09E-01	8,41E-01	1,26E+00	1,25E+00
Thorium-234,Bq	1,39E+01	5,10E+00	4,33E+00	1,40E+01	1,41E+01
Tin, ion,kg	6,70E-04	6,46E-04	1,58E-04	6,70E-04	6,83E-04

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Tin,kg			1,75E-04		
Titanium, ion,kg	7,06E-03	2,00E-03	4,04E-03	1,02E-02	1,09E-02
TOC, Total Organic Carbon,kg	6,51E-01	5,28E-01	5,11E-01	6,64E-01	6,55E-01
Toluene, 2-chloro-,kg	4,79E-05	2,10E-06	3,55E-08	4,79E-05	5,10E-05
Toluene,kg	1,18E-03	8,23E-04	3,07E-03	1,18E-03	1,22E-03
Tributyltin compounds,kg	6,77E-05	8,75E-06	3,76E-05	6,77E-05	6,71E-05
Triethylene glycol,kg	1,53E-05	4,60E-06	6,69E-05	1,54E-05	1,82E-05
Trimethylamine,kg	7,97E-09	3,43E-10	4,47E-14	7,99E-09	7,97E-09
Tungsten,kg	3,08E-05	1,30E-05	2,43E-05	3,09E-05	3,26E-05
Undissolved substances,kg	1,62E-03	1,63E-03	1,35E-03	1,63E-03	1,58E-03
Uranium alpha,Bq	8,25E+02	3,16E+02	2,68E+02	8,28E+02	8,34E+02
Uranium-234,Bq	1,71E+01	6,51E+00	5,52E+00	1,72E+01	1,73E+01
Uranium-235,Bq	2,76E+01	1,01E+01	8,56E+00	2,77E+01	2,79E+01
Uranium-238,Bq	2,99E+03	1,50E+02	1,58E+01	2,99E+03	3,00E+03
Urea,kg	1,50E-08	6,51E-10	1,27E-11	1,50E-08	1,50E-08
Vanadium, ion,kg	7,47E-04	3,02E-04	5,16E-04	7,76E-04	8,03E-04
Vanadium,kg			3,63E-05		
VOC, volatile organic compounds as C,kg	1,90E-07	1,91E-07	1,58E-07	1,92E-07	1,86E-07
VOC, volatile organic compounds, unspecified origin,kg	2,33E-03	1,90E-03	2,29E-03	2,33E-03	2,40E-03

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Water,kg					1,16E+02
Xylene,kg	7,51E-04	6,46E-04	1,85E-03	7,53E-04	6,92E-04
Yttrium,kg			9,00E-06		
Yttrium-90,Bq	3,74E-04	3,76E-04	3,12E-04	3,78E-04	3,64E-04
Zinc, ion,kg	1,67E-02	9,42E-03	7,74E-03	2,10E-02	2,21E-02
Zinc,kg			1,07E-03		
Zinc-65,Bq	4,60E+00	4,71E-01	2,50E-01	4,60E+00	4,64E+00
Zirconium-95,Bq	1,45E+00	1,41E+00	1,17E+00	1,46E+00	1,41E+00
<b>Emissões para o solo</b>					
2,4-D,kg	4,02E-02	2,40E-03	5,97E-04	4,02E-02	9,22E-02
Aclonifen,kg	1,80E-09	4,18E-10	3,52E-10	1,22E-07	1,91E-09
Aldrin,kg	3,27E-13	5,93E-13	1,88E-13	3,28E-13	1,63E-12
Aluminium,kg	2,45E-02	2,91E-03	6,03E-04	4,48E-02	4,54E-02
Ametryn,kg	1,74E-03	1,76E-03	1,49E-03	1,77E-03	1,32E-01
Antimony,kg	1,50E-12	3,56E-13	2,80E-13	1,50E-12	1,62E-12
Arsenic,kg	7,56E-06	4,05E-07	8,30E-08	1,41E-05	1,43E-05
Atrazine,kg	8,58E-14	1,56E-13	4,93E-14	8,62E-14	4,28E-13
Barium,kg	1,32E-07	1,89E-07	9,76E-08	1,32E-07	3,10E-07
Benomyl,kg	1,04E-04	4,48E-06	4,07E-11	1,04E-04	1,04E-04

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Bentazone,kg	9,19E-10	2,13E-10	1,80E-10	6,23E-08	9,74E-10
Boron,kg	2,14E-08	2,10E-08	2,00E-08	2,15E-08	2,86E-08
Cadmium,kg	1,95E-05	1,18E-06	3,69E-07	3,34E-05	3,41E-05
Calcium,kg	3,17E-01	1,57E-02	2,23E-03	5,94E-01	6,03E-01
Carbetamide,kg	1,47E-09	2,25E-10	1,97E-10	2,32E-08	5,66E-09
Carbofuran,kg	5,71E-02	2,45E-03	2,23E-08	5,71E-02	5,71E-02
Carbon,kg	3,27E-02	8,50E-03	6,89E-03	4,45E-02	4,49E-02
Chloride,kg	3,51E-03	1,58E-04	3,85E-06	6,64E-03	6,74E-03
Chlorothalonil,kg	1,07E-06	9,22E-08	8,45E-08	1,07E-06	1,10E-06
Chromium VI,kg	4,00E-09	7,96E-09	2,01E-09	4,02E-09	1,45E-08
Chromium,kg	3,56E-04	3,24E-05	3,90E-06	5,47E-04	5,45E-04
Clomazone,kg	1,28E-03	1,29E-03	1,10E-03	1,30E-03	9,66E-02
Cobalt,kg	2,06E-05	1,20E-06	3,31E-07	3,82E-05	3,88E-05
Copper,kg	-8,60E-03	-3,38E-04	3,13E-05	-8,44E-03	-8,43E-03
Cypermethrin,kg	8,06E-02	3,46E-03	3,16E-09	8,06E-02	8,06E-02
Diquat,kg	3,48E-04	3,51E-04	2,99E-04	3,54E-04	2,63E-02
Diuron,kg	1,62E-03	1,64E-03	1,39E-03	1,65E-03	1,23E-01
Fenpiclonil,kg	4,23E-08	3,65E-09	3,34E-09	4,65E-08	4,35E-08
Fluoride,kg	8,92E-09	1,82E-08	4,30E-09	8,95E-09	3,32E-08

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Glyphosate,kg	3,14E-01	3,89E-01	4,46E-08	3,14E-01	3,14E-01
Heat, waste,MJ	7,76E+01	3,65E+01	3,06E+01	7,80E+01	7,88E+01
Iron,kg	4,41E-02	8,80E-03	7,31E-03	6,64E-02	6,74E-02
Lead,kg	2,65E-04	2,57E-05	1,54E-05	3,28E-04	3,24E-04
Linuron,kg	1,39E-08	3,22E-09	2,71E-09	9,41E-07	1,47E-08
Magnesium,kg	3,58E-02	1,78E-03	2,49E-04	6,72E-02	6,82E-02
Mancozeb,kg	1,39E-06	1,20E-07	1,10E-07	1,39E-06	1,43E-06
Manganese,kg	2,19E-02	9,67E-04	2,72E-05	4,15E-02	4,21E-02
Mercury,kg	2,66E-07	6,45E-08	5,49E-08	3,65E-07	3,68E-07
Metaldehyde,kg	5,69E-10	8,39E-11	7,39E-11	4,66E-09	2,69E-09
Metolachlor,kg	1,00E-07	2,33E-08	1,96E-08	6,81E-06	1,06E-07
Metribuzin,kg	4,91E-08	4,22E-09	3,86E-09	4,91E-08	5,04E-08
Molybdenum,kg	4,59E-06	3,81E-07	1,90E-07	8,20E-06	8,32E-06
Napropamide,kg	9,94E-10	1,35E-10	1,19E-10	8,23E-09	3,75E-09
Nickel,kg	2,44E-04	6,85E-05	4,76E-06	2,98E-04	2,83E-04
Nitrogen,kg	5,98E-10	6,02E-10	4,99E-10	6,04E-10	5,87E-10
Oils, biogenic,kg	1,13E-05	2,28E-06	1,77E-06	8,03E-04	1,20E-05
Oils, unspecified,kg	3,85E-01	2,92E-01	3,76E-01	3,86E-01	4,58E-01
Orbencarb,kg	2,65E-07	2,28E-08	2,09E-08	2,65E-07	2,72E-07



Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
Paraquat,kg	1,95E-01	8,37E-03		1,95E-01	1,95E-01
Phosphorus,kg	1,07E-02	4,68E-04	8,21E-06	2,03E-02	2,06E-02
Pirimicarb,kg	8,70E-11	2,02E-11	1,70E-11	5,90E-09	9,22E-11
Potassium,kg	5,97E-02	2,60E-03	4,54E-05	1,13E-01	1,15E-01
Silicon,kg	9,38E-02	5,22E-03	1,23E-03	1,75E-01	1,77E-01
Sodium,kg	2,59E-07	5,32E-07	1,24E-07	2,60E-07	9,71E-07
Strontium,kg	2,57E-07	2,26E-07	2,51E-07	2,57E-07	2,85E-07
Sulfur,kg	1,18E-02	1,11E-03	6,18E-04	2,08E-02	2,11E-02
Sulfuric acid,kg	1,61E-14	2,95E-14	9,14E-15	1,62E-14	5,35E-14
Tebutam,kg	2,42E-09	3,88E-10	3,41E-10	1,96E-08	1,40E-08
Teflubenzuron,kg	3,27E-09	2,81E-10	2,57E-10	3,27E-09	3,36E-09
Thiram,kg	1,85E-04	7,94E-06	7,22E-11	1,85E-04	1,85E-04
Tin,kg	-3,13E-07	-1,72E-06	-1,41E-06	-3,51E-07	-1,91E-04
Titanium,kg	1,51E-03	6,59E-05	1,15E-06	2,86E-03	2,90E-03
Trifluralin,kg	1,66E-11	1,68E-11	1,43E-11	1,69E-11	1,26E-09
Vanadium,kg	4,33E-05	1,89E-06	3,29E-08	8,19E-05	8,31E-05
Warfarin,kg	1,34E-04	5,77E-06		1,34E-04	1,34E-04
Zinc,kg	-6,48E-03	5,41E-04	8,84E-04	-4,86E-03	-4,26E-03

---

Entradas/saídas	SLES 3 EO - Cenários				
	Base	I	II	III	IV
<b>Final waste flows</b>					
Catalyst waste,kg	3,86E-01				
Limestone waste,kg	2,84E+01				
Mineral waste, from mining,kg	1,23E+02				
Oil waste,kg	2,95E-02				
Process waste,kg	5,62E-03				
Waste, final, inert,kg	3,97E-04				
Waste, unspecified,kg	7,05E-03				