

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

BIBIANA RODRIGUES COLOSSI

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UMA USINA TERMOELÉTRICA A
ÓLEO COMBUSTÍVEL UTILIZANDO ANÁLISE DO CICLO DE
VIDA**

Porto Alegre

Dezembro 2012

BIBIANA RODRIGUES COLOSSI

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UMA USINA TERMOELÉTRICA A ÓLEO
COMBUSTÍVEL UTILIZANDO ANÁLISE DO CICLO DE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO
AO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO
SUL COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO
AMBIENTAL.

Orientador: Luiz Fernando de Abreu Cybis

Co-orientador: Rafael Batista Zortea

Porto Alegre

Dezembro 2012

BIBIANA RODRIGUES COLOSSI

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UMA USINA TERMOELÉTRICA A ÓLEO
COMBUSTÍVEL UTILIZANDO ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 07/01/2013 pela Comissão avaliadora constituída por:

Banca Examinadora:

.....
Prof. Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis

.....
Prof. MSc Rafael Batista Zortea

.....
Wagner Menezes da Silva

.....
Flávio Orlandin

Conceito:.....

Dedico este trabalho à minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Luiz Fernando de Abreu Cybis, orientador deste trabalho, pelo auxílio.

A Marcelo Cenci e Cássio de Almeida, pela ajuda com o software Gabi.

Ao Prof. Rafael Batista Zortea, pelo apoio e orientação durante a realização deste trabalho.

Aos colegas que me acompanharam durante a graduação, pelos bons momentos juntos.

A minha família e amigos, por todo o apoio.

Só existem dois dias no ano que nada pode ser feito. Um se chama ontem e o outro se chama amanhã, portanto hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e principalmente viver.

Dalai Lama

RESUMO

COLOSSI, B. R. Avaliação Ambiental de uma Usina Termoelétrica a Óleo Combustível Utilizando Análise do Ciclo de Vida. 2012. 108 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este estudo realiza uma Análise do Ciclo de Vida (ACV) de uma usina termoelétrica no Brasil a óleo combustível pesado. Para a realização do Inventário do Ciclo de Vida foram empregados dados primários, obtidos junto à usina termoelétrica, e dados secundários, obtidos a partir de referências bibliográficas e do software GaBi 4.4. Para a realização da Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida (AICV) foi empregado o método ReCiPe, através do software GaBi 4.4. Foram avaliadas as categorias de impacto *midpoint* acidificação terrestre, depleção de água, depleção de combustíveis fósseis, ecotoxicidade em água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, mudanças climáticas e toxicidade humana. A etapa de produção do óleo combustível pesado é a principal responsável pelos impactos de depleção de água, depleção de combustíveis fósseis, ecotoxicidade em água doce, marinha e terrestre, e toxicidade humana, associados ao ciclo de vida da usina termoelétrica. As emissões gasosas da etapa de geração de energia na usina são as principais responsáveis pelos impactos de acidificação terrestre e mudanças climáticas.

Palavras-chave: ACV; termoeletricidade; óleo combustível.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Geração de energia elétrica por combustível. | 19 |
| Figura 2: Participação dos combustíveis na geração de energia elétrica de 1973 a 2010. | 19 |
| Figura 3: Usinas termoeletricas no Brasil. | 25 |
| Figura 4: Esquema conversão termoeletrica. | 27 |
| Figura 5: Ciclo Rankine. | 28 |
| Figura 6: Ciclo Brayton. | 29 |
| Figura 7: Ciclo Otto. | 30 |
| Figura 8: Ciclo Diesel. | 31 |
| Figura 9: Geração termoeletrica a gás. | 32 |
| Figura 10: Geração termoeletrica a vapor. | 34 |
| Figura 11: Geração termoeletrica a vapor de múltiplos estágios. | 35 |
| Figura 12: Geração termoeletrica de ciclo combinado. | 37 |
| Figura 13: Categoria midpoint e endpoint de impacto. | 44 |
| Figura 14: Metodologia para elaboração de uma Análise do Ciclo de Vida. | 47 |
| Figura 15: Grupo gerador Wärtsilä 18V46. | 50 |
| Figura 16: Diagrama simplificado do sistema de combustível HFO. | 51 |
| Figura 17: Fluxograma da Usina Termoeletrica em estudo. | 54 |
| Figura 18: Emissões gasosas do processo de combustão. | 59 |
| Figura 19: Impacto em acidificação terrestre. | 62 |
| Figura 20: Impacto em depleção de água nas entradas do sistema. | 63 |

| | |
|---|-----|
| Figura 21: Impacto em depleção de água nas saídas do sistema..... | 64 |
| Figura 22: Impacto em depleção de combustíveis fósseis..... | 65 |
| Figura 23: Impacto em ecotoxicidade..... | 66 |
| Figura 24: Impacto em ecotoxicidade em água doce..... | 66 |
| Figura 25: Impacto em ecotoxicidade marinha..... | 67 |
| Figura 26: Impacto em ecotoxicidade terrestre..... | 68 |
| Figura 27: Impacto em mudanças climáticas..... | 69 |
| Figura 28: Impacto de toxicidade humana..... | 70 |
| Figura 29: Fluxograma - Software GaBi 4.4..... | 80 |
| Figura 30: BR: Power Grid Mix..... | 81 |
| Figura 31: Produção de NaOH por membrana..... | 85 |
| Figura 32: Extração/Produção de Caulim..... | 87 |
| Figura 33: Produção de Coagulante..... | 102 |
| Figura 34: Água para arrefecimento..... | 103 |
| Figura 35: Preparação de água para arrefecimento..... | 104 |
| Figura 36: Tanque pulmão e aquecimento..... | 105 |
| Figura 37: Tanque de separação..... | 106 |
| Figura 38: Aterro..... | 107 |
| Figura 39: Geração..... | 108 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Fatos de destaque na história da geração de energia elétrica no Brasil..... | 20 |
| Tabela 2: Capacidade de geração do Brasil - Empreendimentos em operação. | 23 |
| Tabela 3: Capacidade de geração do Brasil - Empreendimentos em construção..... | 24 |
| Tabela 4: Empreendimentos outorgados entre 1998 e 2012*..... | 24 |
| Tabela 5: Usinas Termoelétricas no Brasil por Combustível. | 26 |
| Tabela 6: Abordagem de alguns dos principais métodos de ACV..... | 44 |
| Tabela 7: Geração e consumo de combustível. | 58 |
| Tabela 8: Impacto em acidificação terrestre. | 62 |
| Tabela 9: Impacto em depleção de água nas entradas do sistema..... | 63 |
| Tabela 10: Impacto em depleção de água nas saídas do sistema. | 64 |
| Tabela 11: Impacto em depleção de combustíveis fósseis. | 65 |
| Tabela 12: Impacto em ecotoxicidade em água doce. | 67 |
| Tabela 13: Impacto em ecotoxicidade marinha. | 68 |
| Tabela 14: Impacto em ecotoxicidade terrestre. | 69 |
| Tabela 15: Impacto em mudanças climáticas. | 70 |
| Tabela 16: Impacto em toxicidade humana. | 71 |
| Tabela 17: Entradas e saídas - BR: Power Grid Mix..... | 82 |
| Tabela 18: Parâmetros - Produção de NaOH por membrana..... | 86 |
| Tabela 19: Entradas e saídas – Produção/Extração de Caulim. | 88 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV: Análise do Ciclo de Vida

AICV: Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

GEE: Gases de efeito estufa

HFO: Heavy fuel oil (óleo combustível pesado)

ICV: Inventário do Ciclo de Vida

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

ISO: Organização Internacional para Padronização (International Organization for Standardization)

LCA: Life Cycle Assessment (Análise do Ciclo de Vida)

LFO: Light fuel oil (óleo combustível leve)

REPA: Resource and Environmental Profile Analysis (Análise de recursos e perfil ambiental)

SETAC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental)

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNEP: United Nations Environment Programme (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA)

UTE: Usina termoeletrica de energia

LISTA DE SÍMBOLOS

1,4 DB: 1,4 diclorobenzeno

c: Calor específico (kcal/kg°C)

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

ΔT: Variação de temperatura (°C)

eq: Equivalente

kW: Quilowatt

m: Massa

mmca: Milímetro de coluna d'água

MP: Material particulado

MW: Megawatt

MWh: Megawatt hora

NO: Monóxido de nitrogênio

NO₂: Dióxido de nitrogênio

SO₂: Dióxido de enxofre

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. Introdução | 15 |
| 1.1 Contextualização | 15 |
| 1.2 Justificativa | 15 |
| 1.3 Objetivos | 16 |
| 1.3.1. Objetivo Geral..... | 16 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 16 |
| 2. Revisão Bibliográfica..... | 18 |
| 2.1 A Termoeletricidade no Brasil e no Mundo | 18 |
| 2.2 Termoeletricidade..... | 26 |
| 2.2.1 Ciclos Termodinâmicos | 27 |
| 2.2.2 Configuração das Plantas Termoelétricas | 31 |
| 2.2.3 Tecnologia de Geração Termoelétrica | 36 |
| 2.2.4 Impactos Ambientais Gerados pela Cadeia Termoelétrica | 37 |
| 2.3 Análise do Ciclo de Vida | 39 |
| 2.3.1 A Metodologia..... | 40 |
| 2.3.2 ACV Aplicado à Termoeletricidade | 47 |
| 3. Descrição do Sistema..... | 49 |
| 3.1 Objetivos e Escopo..... | 49 |
| 3.1.1 Grupo Gerador | 49 |
| 3.1.2 Sistema de Óleo Combustível..... | 50 |
| 3.1.3 Sistema de Água de Resfriamento | 52 |
| 3.1.4 Sistema de Óleo de Lubrificação | 52 |
| 3.1.5 Fluxograma | 53 |
| 3.2 Inventário do Ciclo de Vida..... | 55 |
| 3.2.1 Sistema de Óleo Lubrificante | 55 |
| 3.2.2 Sistema de Água para Arrefecimento | 55 |

| | |
|---|----|
| | 14 |
| 3.2.3 Sistema de Óleo Combustível | 56 |
| 3.2.4 Sistema de Unidades Geradoras | 57 |
| 4 Discussão..... | 60 |
| 5 Avaliação de Impactos e Interpretação dos Resultados..... | 61 |
| 5.1 Acidificação Terrestre | 61 |
| 5.2 Depleção de Água | 62 |
| 5.3 Depleção de Combustíveis Fósseis | 64 |
| 5.4 Ecotoxicidade..... | 65 |
| 5.5 Mudanças Climáticas..... | 69 |
| 5.6 Toxicidade Humana | 70 |
| 6 Conclusão | 72 |
| 7 Referências Bibliográficas | 75 |
| Anexo A – Inventário do Ciclo de Vida | 78 |

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho de conclusão, parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental, visa realizar uma Análise do Ciclo de Vida de uma usina termoeétrica. Este estudo foi realizado com base em dados confidenciais, obtidos junto à Usina Termoeétrica em questão, que não será aqui identificada, sendo apenas tratada por Usina Termoeétrica.

1.1 Contextualização

No mundo, o óleo combustível corresponde a 4,6% da geração de energia elétrica. A termoeletricidade é hoje responsável por quase 30% da potência gerada no Brasil. Existem no país 33 usinas termoeletricas que empregam o óleo combustível como combustível para a geração de energia elétrica.

No Brasil, a termoeletricidade é empregada como sistema complementar à utilização de hidroelétricas, constituindo, estas duas, os principais elementos da matriz energética brasileira. As termoeletricas servem ainda como sistema de segurança, devido à sua relativamente rápida entrada em funcionamento, diminuindo o risco de falta de energia por excesso de consumo.

1.2 Justificativa

Na atual realidade brasileira de necessidade de expansão da capacidade de geração de energia elétrica, a instalação de novas usinas termoeletricas é incentivada pelo Estado. Nesse contexto, é de extrema importância avaliar os impactos ambientais associados a este tipo de empreendimento, com vistas a avaliar os possíveis efeitos que esta política de uso de termoeletricidade pode vir a gerar em grande escala.

Além disso, é extremamente interessante aplicar uma ferramenta como a Análise do Ciclo de Vida em um processo usado a longo tempo, como a geração de energia através de termoeletricas. E o emprego desta Análise em uma termoeétrica específica permite conhecer

o perfil ambiental desta unidade, permitindo identificar pontos de melhoria a serem trabalhados, e possivelmente, expandidos para outras usinas sob o mesmo tipo de geração.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma Análise do Ciclo de Vida de uma Usina Termoelétrica, identificando os processos chave responsáveis pelo seu desempenho, e ressaltando os pontos críticos, em que seria necessário realizar alterações com vistas a torná-la ambientalmente mais sustentável.

A unidade funcional aqui escolhida é 1(um) MWh de energia gerado, no ponto de conexão dos transformadores. Serão considerados os processos de produção e transporte do óleo combustível, do óleo lubrificante e dos aditivos empregados na água usada para arrefecimento dos motores.

1.3.2. Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste estudo:

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre a termoeletricidade no Brasil;
- Realizar uma revisão bibliográfica sobre a Análise do Ciclo de Vida;
- Definir os Objetivos e Escopo do estudo aqui realizado;
- Realizar uma coleta de dados referentes à Usina Termoelétrica em questão, priorizando a utilização de dados primários;
- Realizar o Inventário de Ciclo de Vida da usina termoelétrica em questão, de modo a conhecer como ocorrem os processos de transferência de massa e energia ao longo do processo de geração de energia elétrica pela usina termoelétrica;
- Realizar a Análise de Impactos, mensurando e avaliando os impactos ambientais gerados pela produção de energia elétrica pela usina termoelétrica;

- Realizar a Interpretação dos Resultados, identificando então quais os principais impactos gerados por esta atividade, e quais os sub-processos, matérias-primas utilizadas e efluentes gerados que mais causam impacto no processo de geração de energia elétrica por esta usina termoelétrica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira central elétrica foi construída por Sigmund Schuckert em Ettal, Alemanha, e entrou em operação em 1878. A estação consistia de 24 dínamos geradores de corrente elétrica, impulsionados por um motor alternativo a vapor, e foi usada para iluminar uma gruta nos jardins do Palácio de Linderhof. A primeira central elétrica pública foi a Edison Electric Light Station, que começou a operar em Londres em janeiro de 1882, com uma caldeira Babcock e Wilcox que alimentava um motor alternativo a vapor de 125 cavalos de potência, que por sua vez alimentava um gerador de 27 toneladas. Durante as primeiras décadas do século XX as centrais elétricas se tornaram cada vez maiores, usando maiores pressões de vapor, trazendo maiores eficiências, e empregando conexões entre múltiplas centrais, aumentando a confiabilidade do sistema e diminuindo custos. O desenvolvimento da turbina a vapor, substituindo a motor alternativo a vapor em 1906, permitiu o desenvolvimento de centrais elétricas maiores e mais eficientes, com máquinas mais compactas e velocidades mais altas (Power Station, 2012).

Neste capítulo, será primeiramente abordada a importância da termoeletricidade no mundo e mais especificamente seu papel no Brasil. Em seguida, realizar-se-á um estudo sobre a termoeletricidade. Por fim, será apresentada como ferramenta de análise ambiental a Análise de Ciclo de Vida.

2.1 A TERMOELETRICIDADE NO BRASIL E NO MUNDO

No mundo a energia elétrica gerada em termoelétricas movidas a combustíveis fósseis mantém ao longo dos anos um papel de destaque. Pode-se avaliar nas figuras 1 e 2 abaixo a evolução dos combustíveis utilizados no mundo para a geração de energia elétrica. Observa-se, da década de 1970 a 2010, uma diferença na participação dos diferentes combustíveis fósseis, com uma significativa queda na participação de óleo e crescimento do gás natural e da energia nuclear; além do crescimento da participação de outras fontes renováveis no mundo que não a hidroeletricidade (figura 2). Porém, a geração de energia a partir de centrais termelétricas que utilizam combustíveis fósseis continua crescendo anualmente (figura 1) (IEA, 2012).

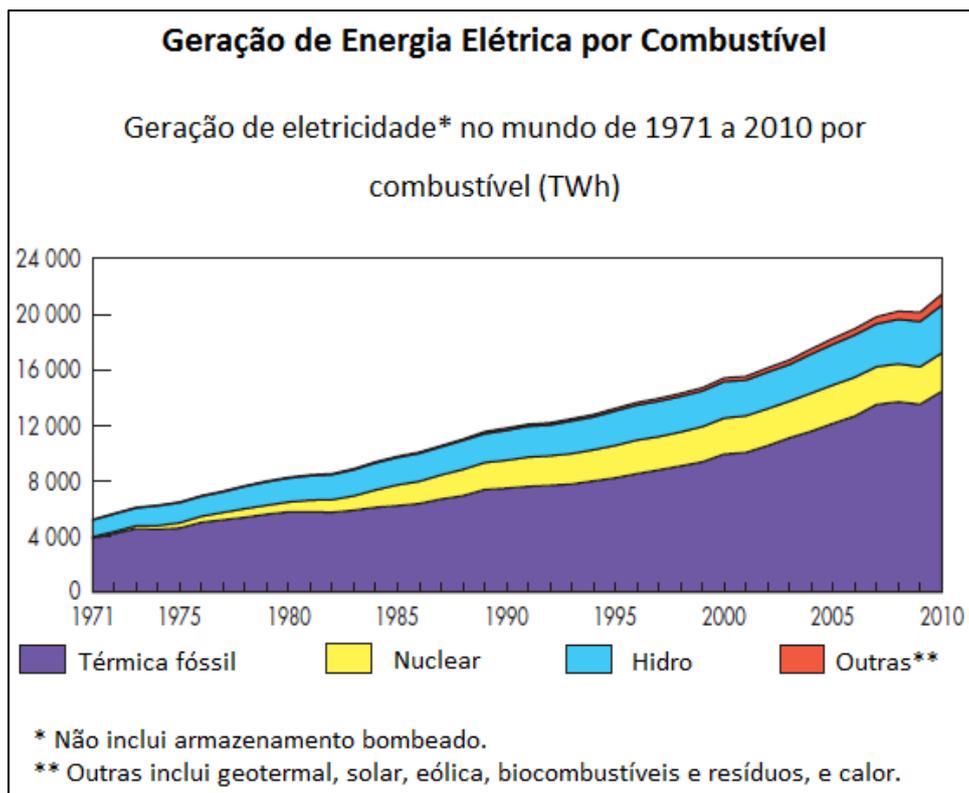


Figura 1: Geração de energia elétrica por combustível.

Fonte: IEA, 2012.

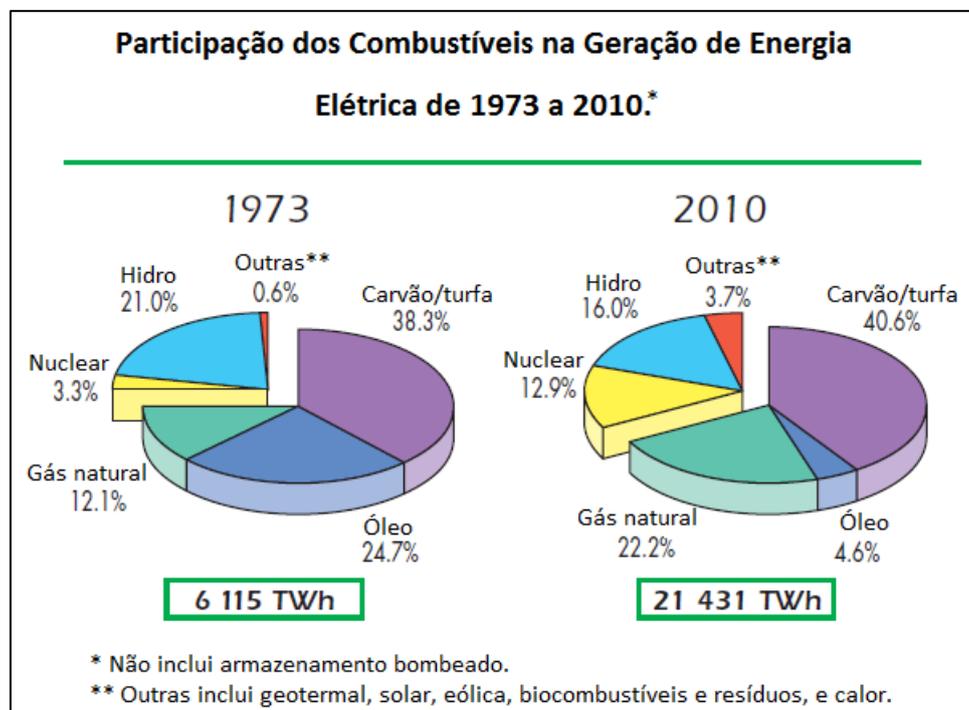


Figura 2: Participação dos combustíveis na geração de energia elétrica de 1973 a 2010.

Fonte: IEA, 2012.

A eletricidade passou a ser utilizada de forma corrente no Brasil e no mundo a partir de 1879, com a invenção da lâmpada elétrica por Thomas Edison. Com isto, em 1883 se instalou a primeira unidade produtora de energia elétrica no Brasil, uma usina termoelétrica em Campos, Rio de Janeiro, com potência de 52 kW (Escelsa , s.d.) (Brasil, 2010). Na década de 1920, a potência instalada no Brasil chegava a aproximadamente 355 MW, gerada por 300 empresas que serviam 431 localidades. Do total gerado, cerca de 78% era gerado por usinas hidroelétricas, e 22% por usinas termoelétricas (Brasil, 2010).

Na tabela 1 a seguir pode-se analisar um breve histórico da geração de energia elétrica no país. Pode-se observar que desde o princípio a base da matriz brasileira encontra-se na hidroeletricidade, porém sempre associada à termoeletricidade, esta última com o objetivo de complementar a demanda não suprida pela geração hidroelétrica – fato que pode ser notado mais intensamente quando da crise energética em 2001.

Tabela 1: Fatos de destaque na história da geração de energia elétrica no Brasil.

| Ano | Histórico |
|-------------|--|
| 1883 | Usina termoelétrica de Campos, RJ, com potência de 52 kW. Primeiro serviço público municipal de iluminação elétrica do Brasil e da América do Sul. |
| 1920 | Havia 300 empresas servindo 431 localidades do país, dispendo de uma capacidade instalada de 354.980 kW, sendo 276.100 kW em usinas hidroelétricas e 78.880 kW em usinas termoelétricas. |
| 1934 | Promulgado pelo presidente Getúlio Vargas o Código de Águas, assegurando ao poder público a possibilidade de controlar, rigorosamente, as concessionárias de energia elétrica. O presidente Getúlio Vargas criou o Conselho Nacional de Águas e Energia – CNAE para sanear os problemas de suprimento, regulamentação e tarifas referentes à indústria de energia elétrica do país. O país contava com 1176 empresas geradoras de eletricidade, que possuíam juntas 738 hidroelétricas, 637 termoelétricas e 15 usinas mistas. Potência total instalada de 1044738 kW, sendo 85% em hidroelétricas. |
| 1939 | Não havendo ainda instalações para transmissão de energia a grandes distâncias, o mercado brasileiro estava dividido territorialmente entre duas grandes empresas. A usina hidroelétrica de Cubatão, a usina da ilha dos Pombos e a de Ribeirão das Lajes, todas pertencentes à Brazilian Traction Light & Power Co., com sede no Canadá, serviam aos estados do Rio de Janeiro e São Paulo (este último parcialmente). As usinas instaladas em Natal, Recife, Maceió, Salvador, Vitória, Niterói, Petrópolis, Belo- Horizonte, assim como algumas outras de São Paulo, Curitiba, Porto Alegre e Pelotas, adquiridas pela American & Foreign Power Co. (Amforp), com sede nos EUA, atendiam ao consumo de parte do Sul, Centro e Nordeste. Os dois grupos - o canadense e o norte- |

| | |
|-------------|---|
| | americano - reuniam mais de 70% da capacidade instalada no país (652.000 kW do grupo Light e 157.000 kW do grupo Amforp). |
| 1940 | Regulamentada a situação das usinas termoelétricas do país, mediante sua integração às disposições do Código de Águas. |
| 1948 | Uma nova política de expansão da indústria de eletricidade, apoiada na iniciativa estatal, começou a ser implantada a partir de 1948, com a instalação a 15 de março desse ano, da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf), empresa de economia mista, que teve um papel pioneiro no setor de energia elétrica. A ela se seguiram várias outras empresas em cada uma das unidades da federação. |
| 1954 | Entrou em operação a primeira grande hidroelétrica construída no rio São Francisco, a Usina Hidrelétrica Paulo Afonso I, pertencente à Chesf. Entrou em operação a Usina Termelétrica Piratininga, a óleo combustível, primeira termoelétrica de grande porte do Brasil. |
| 1960 | Como desdobramento da política desenvolvimentista do presidente Juscelino Kubitschek, conhecida como Plano de Metas, foi criado o Ministério das Minas e Energia – MME. |
| 1961 | A criação da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.) foi outro passo importante no programa de expansão da indústria de eletricidade no Brasil. Foi criada pela lei n.º. 3890-A, de 25 de abril de 1961, e instalada em junho de 1962, sob a jurisdição do Ministério de Minas e Energia, sendo responsável pela execução da política de energia elétrica no país. |
| 1965 | Criação sob a sigla DNAE, do Departamento Nacional de Águas e Energia, transformado, em 1969, em Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE. Adoção do plano nacional de unificação de frequência em 60 Hz, de acordo com a recomendação do Conselho Nacional das Águas e Energia Elétrica – CNAEE. |
| 1968 | Eletrobrás celebrou convênio com a Comissão Nacional de Energia Nuclear para a construção da primeira usina nuclear no Brasil, Itaorna, Angra dos Reis - RJ, com a capacidade de 627 MW. |
| 1984 | Entrou em operação a Usina Hidrelétrica Itaipu, maior hidroelétrica do mundo com 12.600 MW de capacidade instalada. |
| 1985 | Constituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, com o objetivo de incentivar a racionalização do uso da energia elétrica. Entrou em operação a Usina Termonuclear Angra I, primeira usina nuclear do Brasil. |
| 1990 | Criado o Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica – SINTREL para viabilizar a competição na geração, distribuição e comercialização de energia. |
| 1995 | A produção encontrava-se em torno de 55512 MW de energia elétrica. Desse total, 50687 MW (91,3%) eram obtidos em usinas hidroelétricas e 4825 MW (8,7%) em termoelétricas. |
| 1997 | Criada a Eletrobrás Termonuclear S.A. – ELETRONUCLEAR, empresa que passou a ser a responsável pelos projetos das usinas termonucleares brasileiras. |

| | |
|-------------|--|
| | <p>Constituído o novo órgão regulador do setor de energia elétrica sob a denominação de Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.</p> |
| 1998 | <p>O Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE foi regulamentado, consolidando a distinção entre as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.</p> <p>Foram estabelecidas as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, para substituir o Grupo Coordenador para Operação Interligada – GCOI.</p> |
| 2000 | <p>O presidente Fernando Henrique Cardoso lançou o Programa Prioritário de Termelétricas visando à implantação no país de diversas usinas a gás natural.</p> <p>Foi instituído, no mês de agosto, pela Lei nº 9.478, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Efetivamente instalado em outubro, o Conselho assumiu a atribuição de formular e propor ao presidente da República as diretrizes da política energética nacional.</p> <p>Nesse ano, o Brasil vivenciou sua maior crise de energia elétrica, acentuada pelas condições hidrológicas extremamente desfavoráveis nas regiões Sudeste e Nordeste. Com a gravidade da situação, o governo federal criou, em maio, a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE), com o objetivo de “propor e implementar medidas de natureza emergencial para compatibilizar a demanda e a oferta de energia elétrica, de forma a evitar interrupções intempestivas ou imprevistas do suprimento de energia elétrica”. Em junho, foi implantado o programa de racionamento nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste e, em agosto, em parte da região Norte.</p> <p>Ainda no âmbito da crise de energia elétrica, no mês de agosto, o governo criou a empresa Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial (CBEE) para realizar a contratação das térmicas emergenciais.</p> |
| 2001 | <p>Entrou em operação, em agosto, a Usina Termelétrica Eletrobold (RJ), incluída no Programa Prioritário de Termelétricas (PPT). A usina foi construída pela Sociedade Fluminense de Energia (SFE), controlada pelo grupo norte-americano Enron, sendo equipada com oito grupos de geradores a gás natural e totalizando 380 MW de capacidade instalada.</p> <p>Entrou em operação, em novembro, a Usina Termelétrica Macaé Merchant, no município de Macaé (RJ), também incluída no PPT. A usina foi construída pela empresa norte-americana El Paso Energy, tendo sido projetada para operar com vinte turbinas a gás natural, com capacidade total de 928 MW.</p> <p>Em dezembro, terminou o racionamento na região Norte.</p> |
| 2002 | <p>Em fevereiro, terminou o racionamento nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste.</p> <p>Em junho, foi extinta a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE), substituída pela Câmara de Gestão do Setor Energético (CGSE), vinculada ao Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). A CGSE foi encarregada de propor ao CNPE diretrizes para a elaboração da política do setor de energia elétrica, além de gerenciar o Programa Estratégico Emergencial para o aumento da oferta de energia.</p> |

| | |
|-------------------|--|
| Atualmente | <p>O sistema elétrico brasileiro apresenta como particularidade grandes extensões de linhas de transmissão e um parque produtor de geração predominantemente hidráulica. O mercado consumidor concentra-se nas regiões Sul e Sudeste, mais industrializadas. A região Norte é atendida de forma intensiva por pequenas centrais geradoras, a maioria termoeletricas a óleo diesel.</p> <p>Grande necessidade de expansão da capacidade de geração de energia elétrica. A insuficiência de oferta de energia pode vir a ser limitante do crescimento econômico.</p> |
|-------------------|--|

Fonte: Adaptado de CEMIG, 2012 e Escelsa, 2012.

Na tabela 2 a seguir, pode-se observar o papel da termoeletricidade no contexto atual brasileiro. As usinas termoeletricas são, após as usinas hidroelétricas, as principais responsáveis pela geração de energia elétrica no país, respondendo por quase 30% da potência gerada no Brasil. Nas tabelas 3 e 4 a seguir é possível observar que a expansão da capacidade de geração de energia elétrica no país conta consideravelmente com a ampliação da capacidade de geração das usinas termoeletricas. Atualmente, de acordo com a Aneel, há 39 projetos de UTEs em construção, além de 139 projetos outorgados cujas obras ainda não iniciaram – e que representam quase 50% da potência outorgada entre 1998 e 2012 (ANEEL, 2012).

Tabela 2: Capacidade de geração do Brasil - Empreendimentos em operação.

| Tipo | Quantidade | Potência Outorgada (kW) | Potência Fiscalizada (kW) | % |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------|
| Central Geradora Hidrelétrica | 391 | 232.499 | 230.869 | 0,19 |
| Central Geradora Eolielétrica | 81 | 1.795.028 | 1.718.532 | 1,44 |
| Pequena Central Hidrelétrica | 426 | 4.211.277 | 4.137.493 | 3,46 |
| Usina Fotovoltaica | 8 | 5.494 | 1.494 | 0 |
| Usina Hidrelétrica de Energia | 201 | 81.963.837 | 79.048.204 | 66,11 |
| Usina Termelétrica de Energia | 1.588 | 33.715.651 | 32.427.006 | 27,12 |
| Usina Termonuclear | 2 | 1.990.000 | 2.007.000 | 1,68 |
| Total | 2.697 | 123.913.786 | 119.570.598 | 100 |

Fonte ANEEL, 2012.

Tabela 3: Capacidade de geração do Brasil - Empreendimentos em construção.

| Tipo | Quantidade | Potência Outorgada (kW) | % da Potência Outorgada |
|--------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| Central Geradora Hidrelétrica | 1 | 848 | 0 |
| Central Geradora Eolielétrica | 77 | 1.900.196 | 6,79 |
| Pequena Central Hidrelétrica | 50 | 578.512 | 2,07 |
| Usina Hidrelétrica de Energia | 12 | 18.282.400 | 65,37 |
| Usina Termelétrica de Energia | 39 | 5.857.019 | 20,94 |
| Usina Termonuclear | 1 | 1.350.000 | 4,83 |
| Total | 180 | 27.968.975 | 100 |

Fonte ANEEL, 2012.

Tabela 4: Empreendimentos outorgados entre 1998 e 2012*.

| Tipo | Quantidade | Potência Outorgada (kW) | % da Potência Outorgada |
|---------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| Central Geradora Hidrelétrica | 57 | 38.146 | 0,19 |
| Central Geradora Undi-Elétrica | 1 | 50 | 0 |
| Central Geradora Eolielétrica | 212 | 5.723.543 | 27,94 |
| Pequena Central Hidrelétrica | 129 | 1.792.791 | 8,75 |
| Usina Hidrelétrica de Energia | 15 | 3.149.442 | 15,38 |
| Usina Termelétrica de Energia | 139 | 9.777.961 | 47,74 |
| Total | 553 | 20.481.933 | 100 |

* Tais empreendimentos ainda não tiveram suas construções iniciadas. Fonte ANEEL, 2012.

Com relação à distribuição geográfica das UTEs no Brasil, pode-se observar que a utilização da termoeletricidade é bem distribuída pelo país. Nota-se também que por todo o território são empregados combustíveis fósseis nestas instalações. A figura 3 abaixo mostra as UTEs em operação, em construção e outorgadas no país, de acordo com o SIGEL - Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (ANEEL, 2012).

Usinas Termoelétricas - Brasil

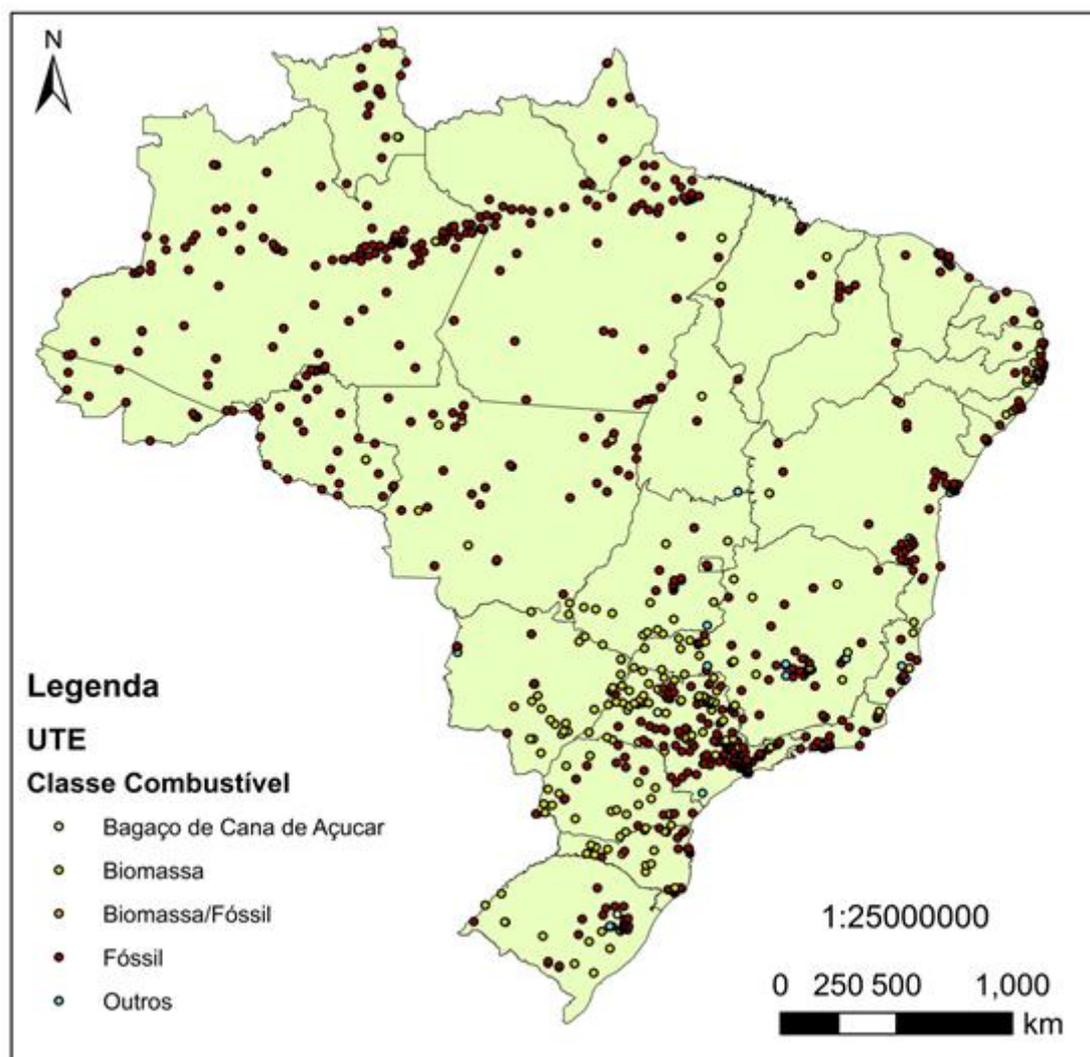


Figura 3: Usinas termoelétricas no Brasil.

Fonte: Modificado de ANEEL, 2012.

De acordo com ANEEL (2012), a distribuição das UTEs no país, com relação ao combustível empregado, ocorre como se pode analisar nas tabelas a seguir. Fica claro o papel significativo dos combustíveis fósseis neste contexto, sendo estes utilizados em quase 70% das usinas no Brasil. A tabela 5 abaixo mostra o total de UTEs no país, incluindo as usinas cuja energia se destina ao serviço público, à produção independente de energia, e à autoprodução de energia.

Tabela 5: Usinas Termoelétricas no Brasil por Combustível.

| Classe combustível | Quantidade | Combustível | Quantidade |
|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| Biomassa | 447 | Bagaço de Cana de Açúcar | 359 |
| | | Biogás | 20 |
| | | Capim Elefante | 2 |
| | | Carvão Vegetal | 3 |
| | | Casca de Arroz | 8 |
| | | Licor Negro | 14 |
| | | Óleo de Palmiste | 2 |
| | | Resíduos de Madeira | 39 |
| Fóssil | 1106 | Carvão Mineral | 10 |
| | | Gás de Refinaria | 8 |
| | | Gás Natural | 105 |
| | | Óleo Combustível | 33 |
| | | Óleo Diesel | 949 |
| | | Óleo Ultraviscoso | 1 |
| Outros | 32 | Efluente Gasoso | 2 |
| | | Enxofre | 5 |
| | | Gás de Alto Forno | 15 |
| | | Gás de Processo | 9 |
| | | Gás Siderúrgico | 1 |
| Não informado | 3 | Não informado | 3 |
| TOTAL | | | 1588 |

Fonte: ANEEL, 2012.

2.2 TERMOELETRICIDADE

De uma maneira geral, o processo de transformação de energia elétrica a partir de energia térmica pode ser descrito como segue (ver figura 4).

A energia química contida no combustível é convertida, por combustão (usinas termoelétricas) ou fissão nuclear (usinas nucleares) em energia térmica. O combustível, no caso das usinas termoelétricas, pode ser um combustível fóssil (carvão, óleo derivado de petróleo, gás natural) ou resíduos agropecuários (Leão, s.d.). A energia térmica pode ser obtida de duas maneiras diferentes, para as usinas termoelétricas:

- **Combustão Externa:** Nas máquinas à combustão externa, o fluido de trabalho (fluido que irá girar as turbinas) não entra em contato direto com o combustível. Este fluido, no geral água, é aquecido através de serpentinas no interior de uma caldeira, e se

expande tornando-se vapor, para então movimentar uma turbina acoplada. É sob este sistema que operam as turbinas a vapor, descritas mais detalhadamente a seguir.

- **Combustão Interna:** Nas máquinas à combustão interna, o fluido de trabalho é formado pelos gases quentes da combustão. Os próprios gases resultantes da combustão vão girar as turbinas. Assim trabalham as turbinas a gás e os motores alternativos.

O fluido aquecido e sob pressão irá então movimentar as pás de uma turbina, cujo eixo esta acoplado a um gerador, que produz então energia elétrica (Leão, s.d.).

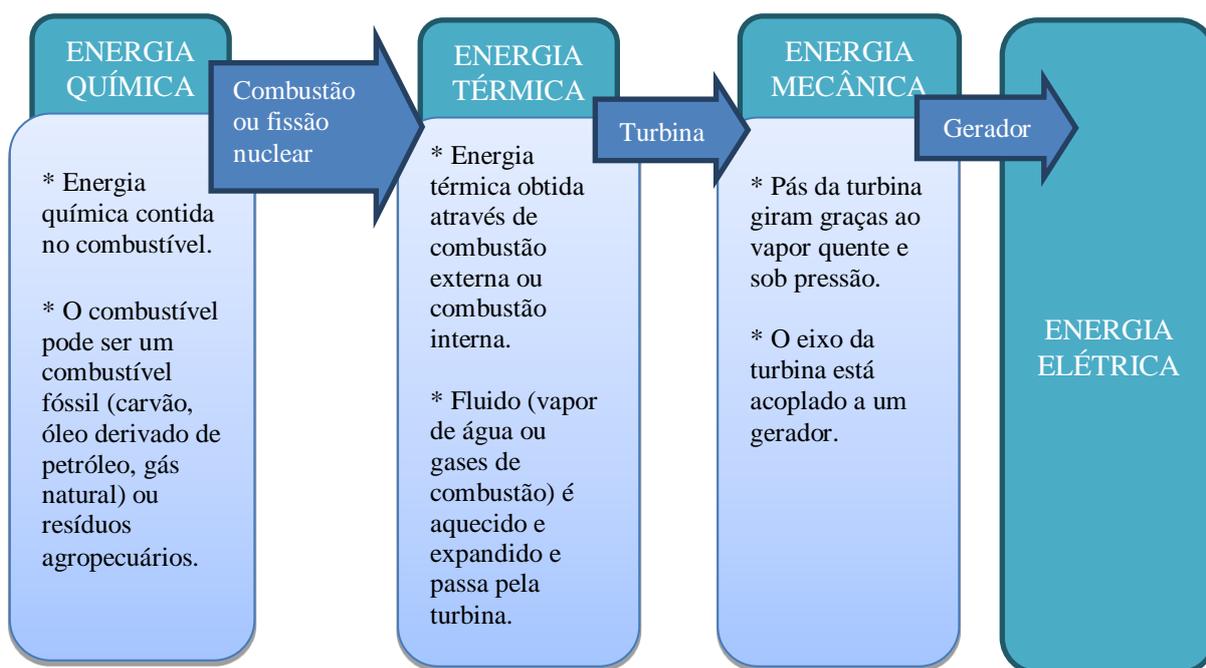


Figura 4: Esquema conversão termoelétrica.

2.2.1 Ciclos Termodinâmicos

Os principais ciclos termodinâmicos operados em uma usina termoelétrica são o Ciclo Rankine, Ciclo Brayton, Ciclo Otto e Ciclo Diesel, descritos a seguir:

2.2.1.1 Ciclo Rankine

O ciclo Rankine é composto basicamente por quatro etapas (ver figura 5):

- Compressão: nesta etapa, o fluido é bombeado, de forma a adquirir alta pressão, com consumo de energia.
- Transferência de calor isobárica: o fluido pressurizado entra em uma caldeira, onde é aquecido à pressão constante, até transformar-se em vapor superaquecido.
- Expansão: o vapor superaquecido se expande através de uma turbina, gerando trabalho. Há uma diminuição de temperatura e pressão.
- Transferência de calor: o vapor é então resfriado em um condensador, até transformar-se novamente em líquido, quando então retorna à bomba, recomeçando o ciclo (Leão, s.d.).

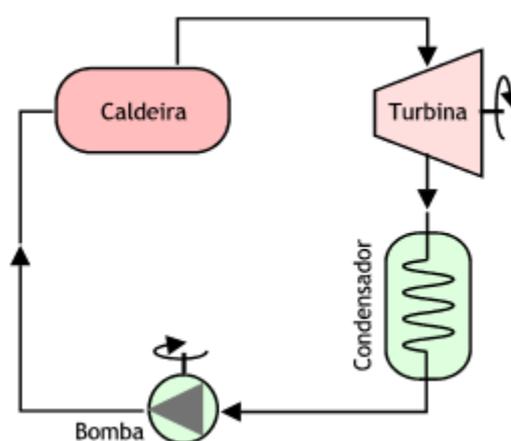


Figura 5: Ciclo Rankine.

Fonte: MSPC - Informações Técnicas, 2008.

É sob este ciclo que comumente operam as turbinas a vapor, descritas em detalhe mais adiante. Neste sistema, pode-se empregar uma variedade de combustíveis, como carvão ou óleo derivado de petróleo, mas o fluido de trabalho, que gerará o vapor, é a água. Duas variações do ciclo Rankine são empregadas, de acordo com Leão (s.d.):

- Ciclo Rankine com reaquecimento, onde são utilizadas duas turbinas em série. O vapor que sai da primeira turbina é reaquecido com o calor da caldeira, e entra então na segunda turbina. Desta forma, a primeira turbina trabalha a alta pressão, e a segunda à baixa pressão.
- Ciclo Rankine regenerativo, onde o fluido é reaquecido ao sair do condensador, empregando-se o calor contido no fluido liberado pela turbina de alta pressão. Este sistema apresenta um aumento de eficiência, graças ao aumento da temperatura do fluido de circulação.

2.2.1.2 Ciclo Brayton

Este ciclo se constitui de quatro fases (ver figura 6) :

- Compressão: o ar em condição ambiente entra no compressor, onde sofre compressão adiabática e isentrópica (sem trocas de calor com o ambiente, e com entropia constante), com aumento da sua temperatura.
- Adição de calor: o ar comprimido é direcionado à câmara de combustão, onde sob condições isobáricas (pressão constante) é misturado com combustível e assim, queimado.
- Expansão: os gases de combustão à alta pressão e temperatura, ao sair da câmara de combustão, se expandem conforme passam pela turbina. Conforme o fluido exerce trabalho sobre as pás da turbina, há redução da pressão e temperatura dos gases, e geração de potência mecânica.
- Rejeição de calor: ocorre então uma transferência isobárica de calor do fluido para o ambiente (Leão, s.d.).

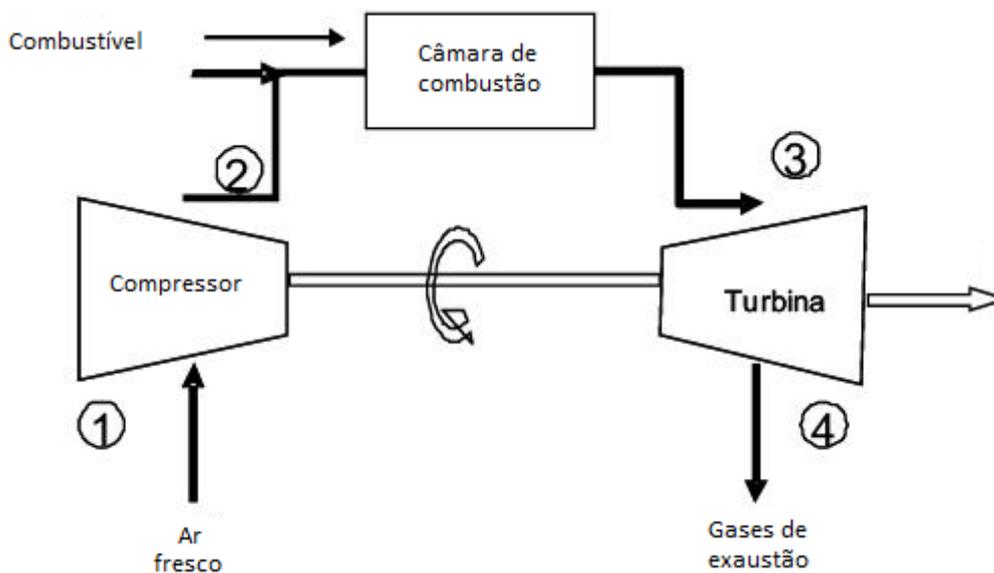


Figura 6: Ciclo Brayton.

Fonte: Modificado de Fuente, 2010.

2.2.1.3 Ciclo Otto

Junto com o ciclo Diesel, o ciclo Otto é o mais utilizado nas máquinas à combustão interna.

O ciclo Otto pode ser dividido em quatro etapas ou tempos:

- Admissão: com o êmbolo no ponto morto superior, ocorre a abertura da válvula de admissão e injeção da mistura combustível + comburente (preparada no sistema de admissão), e o êmbolo então é impulsionado para baixo.
- Compressão: ocorre o fechamento da válvula de admissão e subida do êmbolo, com a consequente compressão da mistura.
- Combustão: uma faísca gerada por uma vela provoca a ignição, causando um aumento da pressão e deslocamento do êmbolo para baixo, impulsionando um veio de manivelas e produzindo a força rotativa necessária ao movimento do eixo do motor.
- Expansão: ocorre a abertura da válvula de escapamento, e a subida do êmbolo, que permite a expulsão dos gases, e recomeço do ciclo (Leão, s.d.).

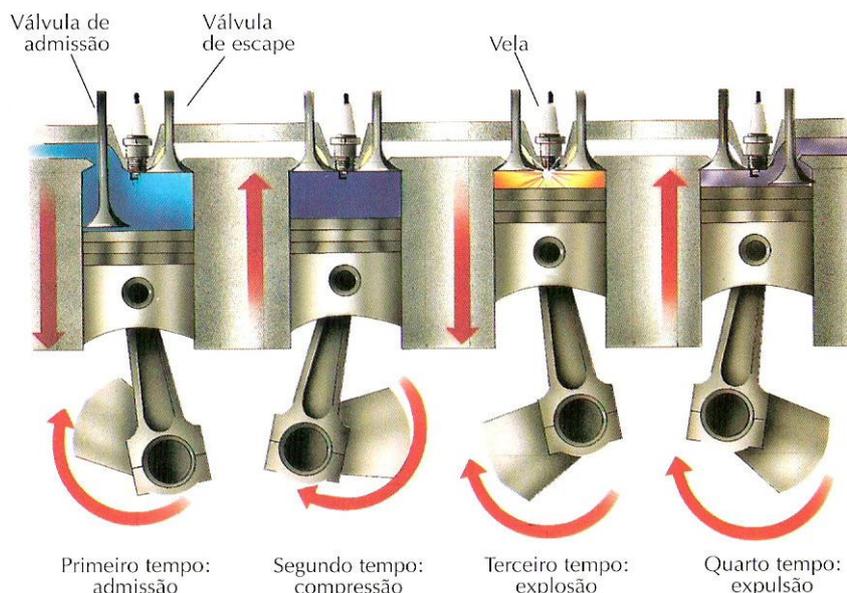


Figura 7: Ciclo Otto.

Fonte: Modificado de Costa et al, s.d. Apud TABUENCA, 1996.

2.2.1.4 Ciclo Diesel

O ciclo Diesel, assim como o ciclo Otto, funciona em quatro tempos:

- Aspiração: o êmbolo, inicialmente no ponto morto superior, desce e, como a válvula de admissão encontra-se aberta, há uma aspiração de ar para dentro do cilindro.

- Compressão: após atingir o ponto morto inferior, o êmbolo torna a subir e a temperatura do ar dentro do cilindro sobe devido à diminuição de volume. Antes que o êmbolo tenha o ponto morto superior, o combustível começa a ser pulverizado e misturado com o ar quente, até que espontaneamente ocorre a ignição.
- Expansão: a expansão inicia-se após o ponto morto superior. Combustível continua a ser liberado até pouco antes do ponto morto inferior.
- Exaustão: o êmbolo retorna ao ponto morto superior, ocorrendo a expulsão dos gases do cilindro e recomeço do ciclo (Leão, s.d.).

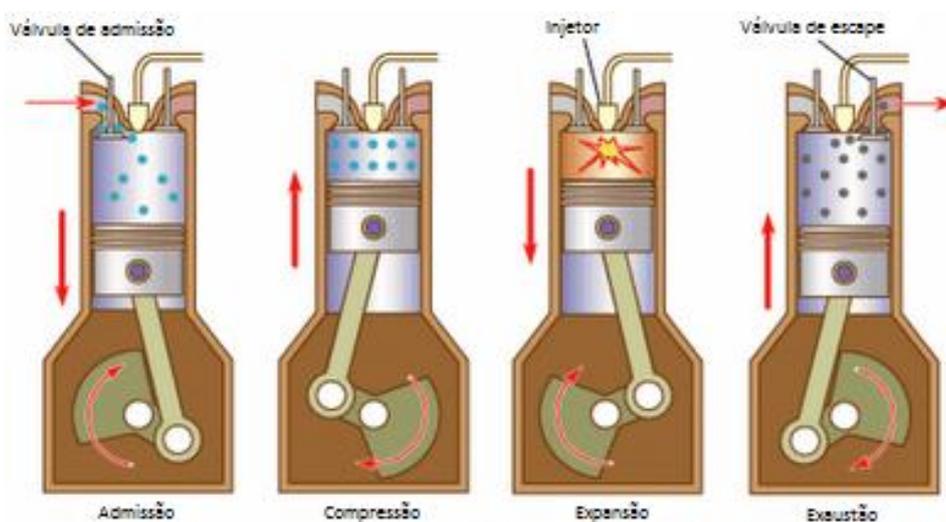


Figura 8: Ciclo Diesel.

Fonte: Modificado de Motor Diesel, 2010 apud Enciclopédia Britânica 2007.

2.2.2 Configuração das Plantas Termoelétricas

As plantas termoelétricas podem ser classificadas, quanto a sua configuração, em geração termoelétrica a gás, geração termoelétrica a vapor, e geração termoelétrica com motores alternativos. A seguir, uma descrição do funcionamento dos diferentes tipos de geração termoelétrica, de acordo com Leão (s.d.).

2.2.2.1 Geração Termoelétrica a Gás

A geração termoelétrica a gás envolve o emprego de turbinas a gás. As turbinas a gás são máquinas de combustão interna e de fluxo contínuo, cujos principais elementos são o

compressor, a câmara de combustão e a turbina em si. O funcionamento deste sistema pode ser descrito como segue: o ar atmosférico é aspirado, filtrado e comprimido pelo compressor, sendo então dirigido à câmara de combustão. Lá, este ar é misturado ao combustível, e ainda nesta câmara ocorre a combustão, com a produção de gases quentes, que constituem neste caso o fluido de trabalho. Os gases à alta temperatura e pressão passam então pela turbina, onde se expandem e a energia térmica neles contida é transformada em energia mecânica que aciona o eixo do compressor (que aspira ar) e o eixo do gerador elétrico acoplado à turbina. O gás então é liberado para a atmosfera ou reaproveitado para a produção de calor (Leão, s.d.). Ver figura 9.

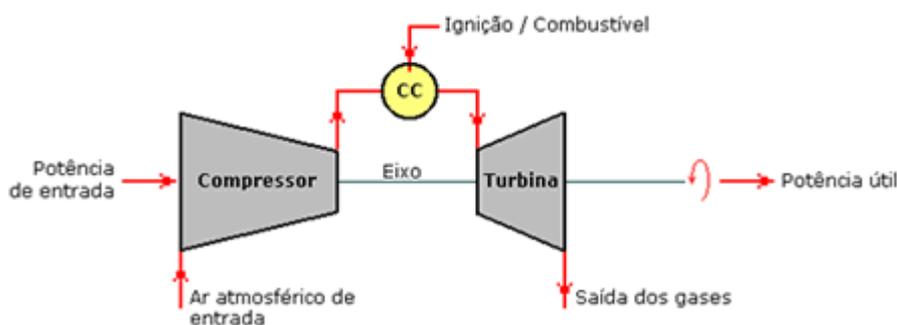


Figura 9: Geração termoelétrica a gás.

Fonte: Pantanal Energia, s.d.

Este processo é realizado a altas temperaturas: os gases inicialmente alcançam temperaturas da ordem de 1000°C , e terminam com temperaturas de cerca de 500°C . A maior parte da energia perdida no processo, interferindo assim na eficiência total, esta contida nos gases liberados na atmosfera ainda em altas temperaturas (Leão, s.d.).

É frequente o emprego conjunto de duas turbinas em série, uma a alta e outra a baixa pressão. Nesta configuração, a primeira turbina, trabalhando com pressões elevadas, é responsável pelo acionamento do compressor, e a segunda turbina, à baixa pressão, aciona o gerador elétrico. Nesta concepção, denomina-se *gerador de gás* o conjunto compressor + câmara de combustão (ou queimador) + turbina alta pressão; e *turbina de potência* a turbina de baixa potência e o gerador elétrico (Leão, s.d.).

Os combustíveis empregados neste tipo de turbina podem ser tanto gasosos (gás natural, gases de exaustão de processos e combustíveis sólidos gaseificados (carvão, biomassa, etc.)) como líquidos (gás liquefeito de petróleo (GLP), diesel, querosene e em alguns casos, óleos combustíveis de baixo teor de enxofre) (Leão, s.d.).

As turbinas a gás podem ter seu rendimento afetado pelos seguintes fatores:

- Temperatura do ar de aspiração da turbina: quanto maior a temperatura de aspiração maior será a energia para acionar o compressor de ar, diminuindo o rendimento e a potência;
- Perdas de carga na admissão do ar: estas perdas são causadas pelo sistema de atenuação de ruídos e filtragem de ar;
- Perdas de carga na saída dos gases de exaustão: causadas pela aplicação dada aos gases de exaustão. Cada 100 mmca de incremento de perdas de carga representam cerca de 1% de perda de potência da turbina;
- Altitude de instalação: altitudes mais altas causam uma diminuição da potência, devido à diminuição da pressão atmosférica (Leão, s.d.).

Com vistas a melhores rendimentos, é possível pré-aquecer o ar de combustão na saída do compressor, empregando para tanto os gases de exaustão em um regenerador situado antes da entrada da câmara de combustão (Leão, s.d.).

O sistema a gás é normalmente empregado apenas como unidades de ponta ou de emergência, dada a sua eficiência relativamente baixa quando comparada às plantas modernas a vapor. Porém, as principais vantagens deste sistema são:

- Extremamente apto para ser empregado na “ponta do sistema”, pois é capaz de iniciar e atingir rendimento apropriado rapidamente, em questão de minutos;
- Não necessita de água para operar, o que pode ser uma grande vantagem em locais onde este recurso é limitado;
- O custo de instalação por kW é relativamente baixo, e pode ser construída rapidamente quando comparada às plantas a vapor convencionais (Leão, s.d.).

2.2.2.2 Geração Termoelétrica a Vapor

A geração termoelétrica a vapor envolve o uso de turbinas a vapor, que são máquinas de combustão externa. Sendo assim, o fluido de trabalho é a água. Tal sistema permite o emprego de uma grande variedade de combustíveis. De uma maneira geral, o combustível é transportado desde a área de armazenamento, pré-aquecido, e injetado na fornalha. Ao empregar-se carvão como combustível, este é pulverizado e misturado com ar pré-aquecido

antes de ser assoprado na fornalha, onde é queimado como um gás. No caso do óleo pesado combustível, este é aquecido e injetado na fornalha por meio de queimadores (maçaricos). As paredes da fornalha, recobertas com tubos contendo água, são aquecidas quando da queima do combustível. Isso faz com que o calor de combustão evapore a água produzindo vapor de elevada pressão e temperatura. Estes tubos formam o *evaporador* da caldeira. O vapor produzido na caldeira alimenta a turbina, expandindo-se e fazendo com que a turbina mova o gerador elétrico a ela acoplado (Leão, s.d.). Ver figura 10.

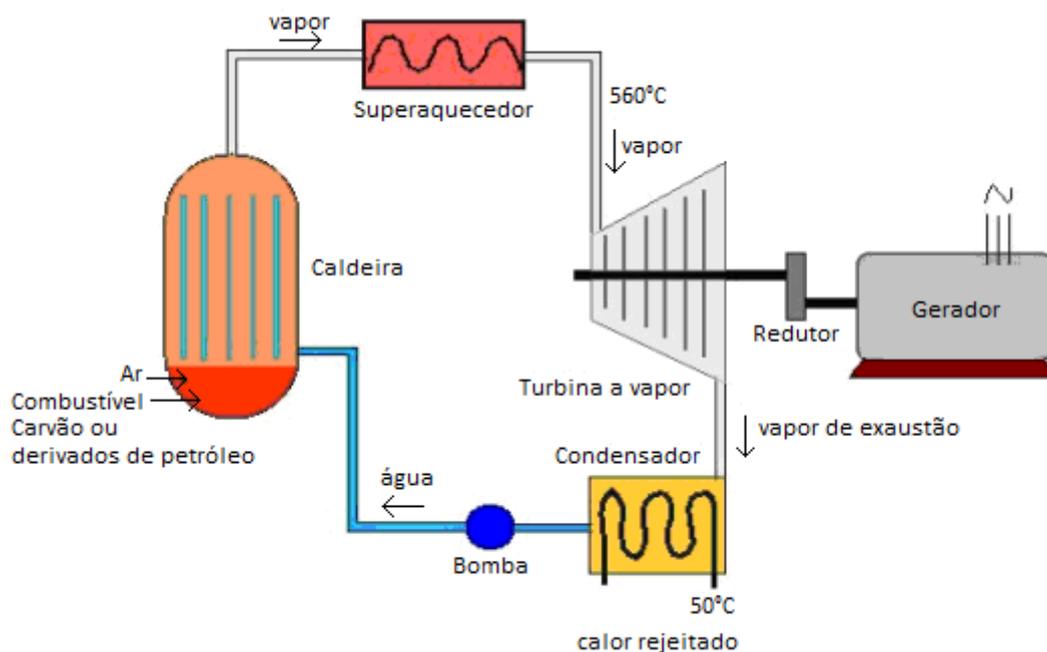


Figura 10: Geração termoelétrica a vapor.

Fonte: Modificado de Leão (s.d.).

A quantidade de energia que pode ser extraída do vapor está relacionada com a diferença de temperatura entre a entrada e a saída. Diferentemente das turbinas a gás, as turbinas a vapor trabalham a temperaturas relativamente mais baixas: a temperatura de início da produção de trabalho é em torno de 560°C, e a de rejeição de calor no condensador de cerca de 50°C. A temperatura de saída pode ser conservada baixa se houver uma rápida condensação do vapor de exaustão, no vácuo (Leão, s.d.).

Para que seja possível reaproveitar o fluido de trabalho (água), é necessária a liquefação deste no condensador antes de bombeá-lo à caldeira. As usinas termoelétricas a vapor em geral se localizam próximas de rios ou lagos, devido a grande quantidade de água necessária para

condensar o vapor que move a turbina, e para compensar as perdas por evaporação (Leão, s.d.).

As grandes turbinas a vapor não são capazes de reagir rapidamente a mudanças de cargas extremamente rápidas. O processo de aquecimento de uma unidade, funcionamento a velocidade apropriada e atingimento de seu estado adequado é um processo demorado, que leva algumas horas para ser completado, ao contrário das usinas a gás (Leão, s.d.).

De acordo com Leão (s.d.), “em configurações de múltiplos estágios, a expansão de vapor se realiza em um ou mais estágios onde a energia contida no vapor se transforma primeiro em cinética e em seguida em energia mecânica, impulsionando as palhetas da(s) turbina(s). O vapor atravessa um conjunto de turbinas com diferentes níveis de pressão. A primeira turbina é de alta pressão (AP) onde o vapor se expande e entrega parte de sua energia. Posteriormente, o vapor atravessa outro conjunto de turbinas de média pressão (MP) e de baixa pressão (BP). A cada passagem o vapor se expande com troca entre energia térmica em mecânica seguida da produção de energia elétrica”. Ver figura 11.

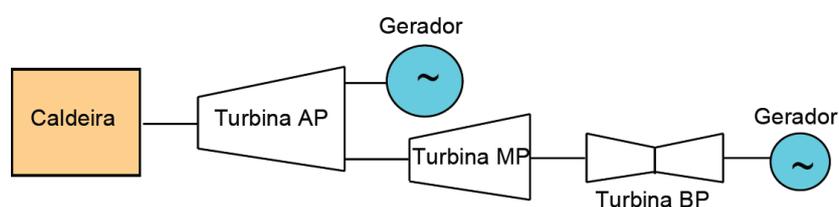


Figura 11: Geração termoelétrica a vapor de múltiplos estágios.

Fonte: Leão, s.d.

As turbinas a vapor podem ter seu rendimento afetado pelos seguintes fatores:

- Temperatura inicial do vapor: quanto maior a temperatura, maior será o rendimento do processo;
- Potência da máquina: quanto maior a potência, maior o rendimento;
- Variações da carga: variações na carga de energia elétrica influenciam na potência e, conseqüentemente, no rendimento (turbinas a vapor possuem rendimentos da ordem da 38% em ciclo simples) (Leão, s.d.).

Uma das principais vantagens da geração termoelétrica a vapor é a disponibilidade e confiabilidade destas unidades. Estas plantas alcançam até 95% de disponibilidade e podem operar por períodos superiores a um ano entre paradas para inspeção e manutenção. As paradas forçadas ou não planejadas representam menos de uma semana por ano (Leão, s.d.).

2.2.2.3 Geração Termoelétrica com Motores Alternativos

Em grupos geradores, os motores de combustão interna mais utilizados são os motores Diesel. Neste tipo de sistema, a velocidade é regulada pela injeção de combustível no motor. Esta regulação de velocidade é fundamental para que a frequência do grupo gerador seja constante, em 60 ou 50 Hz dependendo do sistema, independentemente da variação da carga (Leão, s.d.).

As centrais a diesel apresentam como desvantagem limitação de potência, ruído e vibração. Porém, são muito empregadas para potências até 40MW; pois entram em funcionamento em pouco tempo, são compactas, e de fácil operação e manutenção (Leão, s.d.).

2.2.3 Tecnologia de Geração Termoelétrica

As usinas termoelétricas podem ser agrupadas em três grupos distintos quanto à tecnologia de geração. Podem ser centrais termoelétricas de ciclo simples, de ciclo combinado, ou sistemas de cogeração (Leão, s.d.) (Vision, 2012):

- Termoelétricas de ciclo simples ou aberto: Neste sistema, a queima do combustível em caldeiras aprovisiona energia mecânica para o gerador, que irá transformar tal energia em energia elétrica. Os gases são liberados pela chaminé a temperaturas elevadas (o que demonstra uma perda de eficiência). Este sistema é baseado no ciclo Brayton.
- Termoelétricas de ciclo combinado: Baseia-se na utilização conjunta dos ciclos Rankine em uma turbina a vapor e Brayton em uma turbina a gás. Neste sistema, os gases saídos da turbina a gás, resultantes da queima do combustível em caldeiras para a geração de energia elétrica, são direcionados para uma caldeira de recuperação de calor, que produz vapor para movimentar outra turbina, esta a vapor, ligada a um segundo gerador de energia elétrica (ver figura 12). Sendo assim, são empregadas turbinas a gás e a vapor conjuntamente. De acordo com Vision (2012), a tecnologia do ciclo combinado é recente e passa por um processo de expansão em todo o mundo,

inclusive no Brasil. Embora exija maiores investimentos que aqueles aplicados nas usinas de ciclo simples, esse processo aumenta a eficiência do processo de geração.

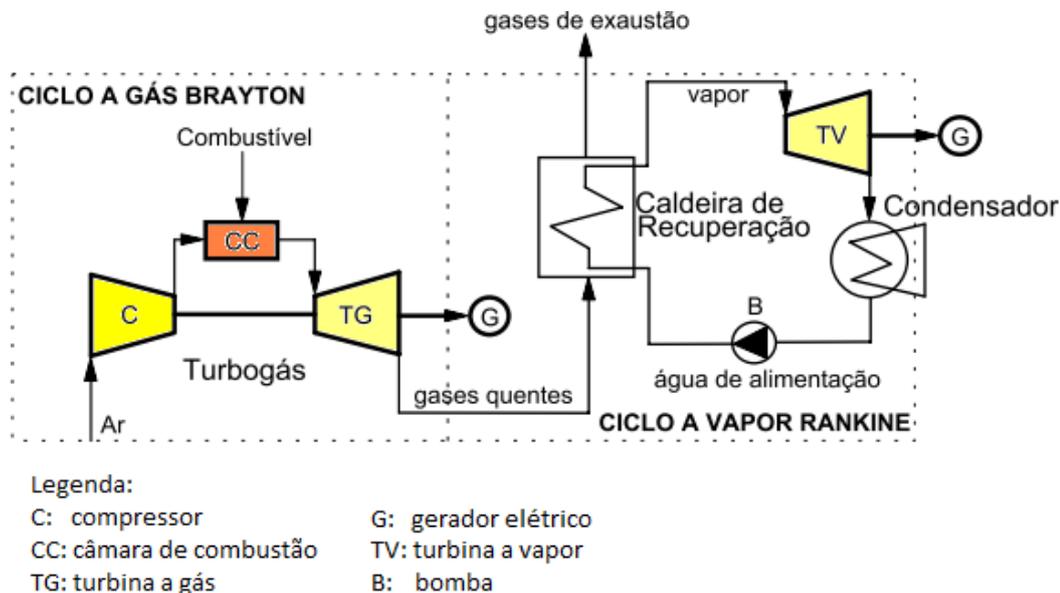


Figura 12: Geração termoelétrica de ciclo combinado.

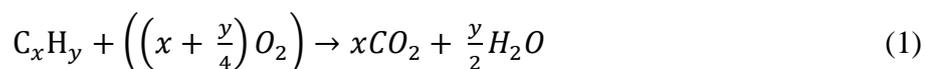
Fonte: Modificado de Leão, s.d.

- Plantas de cogeração: Este processo diferencia-se do ciclo combinado pois, ao invés de movimentar uma segunda turbina, o vapor produzido na caldeira de recuperação de calor é empregado em outros processos (Vision, 2012).

2.2.4 Impactos Ambientais Gerados pela Cadeia Termoelétrica

Os impactos ambientais diretamente associados à geração de energia por termoelétricas são aqueles ligados às emissões atmosféricas. Seja pelos resultados normais da combustão, pelos resultados de uma combustão incompleta, ou pela presença de poluentes no combustível, gases poluentes podem, e em alguns casos vão obrigatoriamente, ser formados e liberados para a atmosfera.

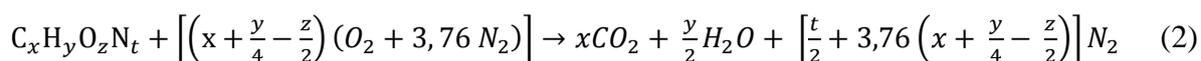
A reação de combustão para um hidrocarboneto diz que:



Onde: C é carbono, H é hidrogênio, O é oxigênio, C_xH_y é um hidrocarboneto, CO_2 é dióxido de carbono e H_2O é água.

No entanto, nem sempre a combustão se processa perfeitamente, e devido a uma mistura inadequada com o ar, gerando falta de O_2 , algumas moléculas de hidrocarboneto não reagem com suficiente oxigênio, sendo então expelidas intactas.

De uma maneira geral, a equação da combustão pode ser escrita como segue:



Desta forma, os principais agentes causadores de poluição atmosférica presente nos gases de combustão são: hidrocarbonetos não queimados, óxidos de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis e material particulado.

A seguir, uma breve descrição dos poluentes gasosos:

- Dióxido de carbono (CO_2): emitido normalmente pelos seres vivos, é também emitido através de processos de geração de energia, indústrias, e transporte. É resultado natural da combustão. É o principal gás de efeito estufa.
- Metano (CH_4): emitido no processo de produção de energia elétrica com a utilização de biomassa. O metano é um gás de efeito estufa com efeito aproximadamente 21 vezes superior ao do CO_2 (Forster et al, 2007).
- Monóxido de carbono (CO): produzido durante a combustão, é um gás de grande toxicidade e também um gás de efeito estufa. Por ser um gás instável é convertido em CO_2 ao ser emitido na atmosfera.
- Dióxido de enxofre (SO_2): emitido na combustão de combustíveis que contêm enxofre como carvão, óleo ou álcool. Reagindo com água, gera ácido sulfúrico, causando chuva ácida, afetando fauna, flora, solo e corpos d'água.
- Óxidos de nitrogênio (NO_x): produzidos durante a combustão, inclusive por veículos. É resultado do excesso de ar na combustão. Causa chuva ácida e afeta as vias respiratórias, caracterizando-se por uma fumaça escura. Reagindo com a atmosfera gera ácido nítrico.

Os gases aqui analisados são também emitidos nos processos de transporte associados à cadeia de produção de energia elétrica por termoelétricas. Ampliando-se ainda mais a análise,

encontram-se outros impactos associados à geração termoelétrica, como o consumo de recursos não renováveis. No caso da geração termoelétrica a vapor, tem-se ainda o impacto pelo grande consumo de água para resfriamento e reposição.

Há ainda os impactos associados aos efluentes gerados ao longo da cadeia produtiva, que podem ser resultado das etapas de produção dos insumos (aditivos para água de arrefecimento, combustível, óleo lubrificante, etc.), ou mesmo de processos no interior da usina (tratamento de efluentes, purificação do combustível, entre outros). Tais efluentes, se incorretamente destinados, podem vir a contaminar o solo e corpos de água superficiais e subterrâneos. Ainda, a utilização de derivados de petróleo como combustível envolve, quando da sua prospecção e produção em terra, alterações e degradação do solo. Quando prospectado no mar, além da interferência no ambiente, há a possibilidade da ocorrência de vazamentos de óleo, o que coloca em risco a fauna e a flora aquática (Aneel, 2008).

2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de análise ambiental que permite a quantificação dos impactos associados a cada etapa do ciclo de vida de um produto, sistema ou processo, desde a extração das matérias primas até a sua disposição final.

A preocupação quanto à finitude dos recursos naturais, impulsionada pela crise do petróleo, entre o início dos anos 1960 e 1980, incitou alguns estudos que hoje são considerados precursores da análise do ciclo de vida. Muitos destes trabalhos analisaram a questão das embalagens e política de reciclagem (CICLOG, s.d.), dentre os quais se pode destacar um estudo, que veio a se tornar um marco na história da análise do ciclo de vida: o estudo encomendado pela The Coca-Cola Company, em 1969. Harry E. Teasley, responsável pela função de empacotamento, concebeu durante meses um estudo que quantificasse a energia, materiais e consequências ambientais do ciclo de vida da embalagem de Coca-Cola, da extração da matéria-prima até a disposição final. O estudo foi então realizado pelo Midwest Research Institute (MRI), uma organização de pesquisa em Kansas City, Missouri, Estados Unidos. Este estudo nunca foi inteiramente publicado por questões de confidencialidade, mas foi usado pela companhia ao longo da década de 1970 como suporte às decisões sobre embalagens. Um dos resultados do estudo foi a observação de que, neste caso, as garrafas

plásticas eram ambientalmente mais adequadas que as garrafas de vidro (Hunt e Franklin, 1996).

Este tipo de estudo, dentre o qual se insere o da Coca-Cola, com este processo de quantificação da utilização de recursos e índices de emissão para o meio ambiente foi chamado de “Resource and Environmental Profile Analysis” (REPA). Este termo – REPA – foi usado até 1990, quando o termo LCA (Life Cycle Assessment) apareceu nos Estados Unidos.

Em 1974 houve um aprimoramento do método REPA, pela USEPA (United States Environmental Protection Agency), servindo de base para o estabelecimento de um procedimento de comparação dos impactos ambientais gerados por estes produtos. No Continente Europeu, desenvolveu-se em 1985 um procedimento similar denominado Ecobalance (CICLOG, s.d.).

Ocorreu então a chamada “Guerra dos ACV’s”, onde a validade da metodologia foi questionada, pois produtos e serviços analisados em diferentes modelos renderam resultados diferentes.

Com a necessidade de organizar, padronizar e sistematizar uma metodologia e critérios para a ACV surgiu em 1979 a Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) nos Estados Unidos. E em 1993, baseado principalmente em publicações da SETAC, a International Standardization Organization (ISO) iniciou a elaboração das normas para a gestão ambiental de aceitação internacional. Como resultado deste trabalho, foi publicada a série de normas ISO 14000, da qual fazem parte os requisitos da ACV (série ISO 14040) (CICLOG, s.d.).

Em 2000, a United Nations Environment Programme (UNEP) (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e a SETAC lançaram a Life Cycle Initiative, que visa desenvolver e disseminar ferramentas práticas para avaliar o ciclo de vida de sistemas de produtos.

Neste capítulo, será estudada a metodologia da ACV.

2.3.1 A Metodologia

A análise do ciclo de vida é um método que permite quantificar os impactos ligados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, serviço ou sistema. Ela oferece a possibilidade de comparar as diferentes etapas do ciclo de vida de um mesmo produto, ou ainda comparar diferentes sistemas.

A ACV é uma avaliação de impactos multicriterial, que visa mensurar os impactos de maneira quantitativa, com base na unidade funcional. A unidade funcional pode ser definida como a unidade que descreve a função do produto ou processo em estudo, para a qual serão avaliados todos os impactos. Por exemplo, a função de uma lâmpada pode ser “iluminar uma sala de x m² por y horas”.

A ACV é orientada pela série de normas ABNT NBR ISO 14040, e é realizada em quatro grandes etapas:

2.3.1.1 Definição dos objetivos e escopo

A ACV pode ser utilizada para diferentes objetivos, como a avaliação do perfil ambiental de um produto, serviço, ou sistema; a comparação entre dois produtos que exercem a mesma função; a identificação de pontos a serem melhorados em um processo; marketing; etc. (ISO 14040:2009).

Nesta etapa, é definida a unidade funcional e delimitadas as fronteiras do estudo: quais processos elementares serão considerados, e quais não. Por processo elementar entende-se: “menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados” (ISO 14040:2009).

2.3.1.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Para realizar a ACV, é realizada a etapa chamada de ICV - Análise de Inventário do Ciclo de Vida. São inventariados os fluxos de materiais e energia que entram e saem a cada etapa do ciclo de vida. Nesta etapa, é necessário levar em consideração os procedimentos de alocação que serão empregados. A alocação ocorre quando um mesmo processo gera dois ou mais produtos, e assim os impactos gerados por este processo não podem ser totalmente associados ao produto de interesse. É então necessário atribuir frações do impacto a cada um dos

produtos, e isto pode ser feito com base na massa dos produtos, no seu valor econômico, no seu conteúdo energético ou de forma mista. A alocação, porém, de acordo com a norma ISO 14040, deve ser evitada sempre que possível, adotando um dos seguintes procedimentos: 1) Dividindo a unidade do processo a ser alocado em dois ou mais subprocessos e obtendo os dados de entradas e saídas relacionados com estes subprocessos; 2) Expandindo o sistema do produto de modo a incluir funções adicionais relacionadas com os co-produtos (ISO 14044:2009).

Um dos principais problemas encontrados no momento de realizar a ICV é a questão da regionalização dos dados. A base de dados existente mais utilizada (Ecoinvent) é europeia (suíça), e seus cerca de 4000 dados para produtos, serviços e processos são baseados principalmente em processos tal qual eles ocorrem na Europa (Ecoinvent Centre, 2012) (Moretti, 2011 apud Althaus et al., 2007). Outras bases de dados como BUWAL 250, IDEMAT 2001, ETH-ESU 96 são também europeias ou americanas. Isso faz com que um estudo realizado em outra parte do mundo, ao empregar tal base de dados, sofra uma queda na qualidade da sua ICV e, conseqüentemente, no resultado final da análise de impactos. Apesar de iniciativas como o Projeto Brasileiro Inventário do Ciclo de Vida para Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira (SICV Brasil), que tem por objetivo disponibilizar um sistema de banco de dados contendo informações fundamentais sobre casos específicos de insumos indispensáveis para a realização de inventários de ciclo de vida de produtos relevantes a pauta de exportação brasileira (MCT et al, 2010), ainda não existe uma base de dados brasileira com a completude das bases europeias existentes.

2.3.1.3 Avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV)

Os impactos ambientais de cada etapa são então mensurados graças à aplicação de coeficientes, variáveis de acordo com o método de avaliação ambiental, sobre estes fluxos do Inventário de Ciclo de Vida (ICV). Desta forma, o impacto correspondente a cada etapa do ciclo de vida e a cada elemento, material ou sub-processo é avaliado, com relação à unidade funcional. Por exemplo, o efeito sobre as mudanças climáticas referente à produção de um litro de gasolina é de $x \text{ kg CO}_2 \text{ equivalentes/MJ}$ de energia contido na gasolina.

A escolha do método de avaliação dos impactos, e conseqüentemente a definição dos impactos a serem avaliados, deve responder aos objetivos definidos na primeira etapa.

Algumas categorias de impacto comumente avaliadas são aquecimento global, depleção do ozônio estratosférico, formação de smog fotoquímico, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade, toxicidade humana, depleção de recursos, uso do solo, uso da água (Cybis, 2012).

Vários métodos de avaliação de impacto têm sido desenvolvidos e aplicados em estudos de ACV, dentre os quais se pode destacar CML, Eco-indicador 99, EDIP 2003, IMPACT 2002+ e ReCiPe. Estes métodos estão entre os mais citados e aplicados (Piekarski et al, 2012 apud CCI, 2010).

Ressalta-se aqui o fato de que diferentes métodos, aplicados a uma mesma ICV, geram resultados diferentes, devido aos diferentes coeficientes empregados por cada método, além do fato de que um método, ao contrário de outro, pode nem mesmo considerar uma determinada substância. Isto gera uma discussão quanto à escolha da metodologia a ser empregada. De acordo com Piekarski et al (2012) como o Brasil não apresenta um método de avaliação de impactos consolidado condizente com as especificidades brasileiras, as incertezas geradas no estudo podem ser reduzidas adotando-se múltiplos métodos de avaliação, o que garantirá maior confiabilidade aos resultados obtidos.

Os indicadores de impacto podem ser divididos em dois grandes grupos: impactos *midpoint* e impactos *endpoint*. Os impactos *midpoint* são impactos diretos associados à intervenção no meio ambiente, e tem como vantagem uma limitação na subjetividade e incertezas envolvidas. Já os impactos *endpoint* envolvem categorias como “saúde humana”, ou “qualidade dos ecossistemas”, sendo assim categorias de mais fácil compreensão (Cybis, 2011). Ver figura 13 a seguir.

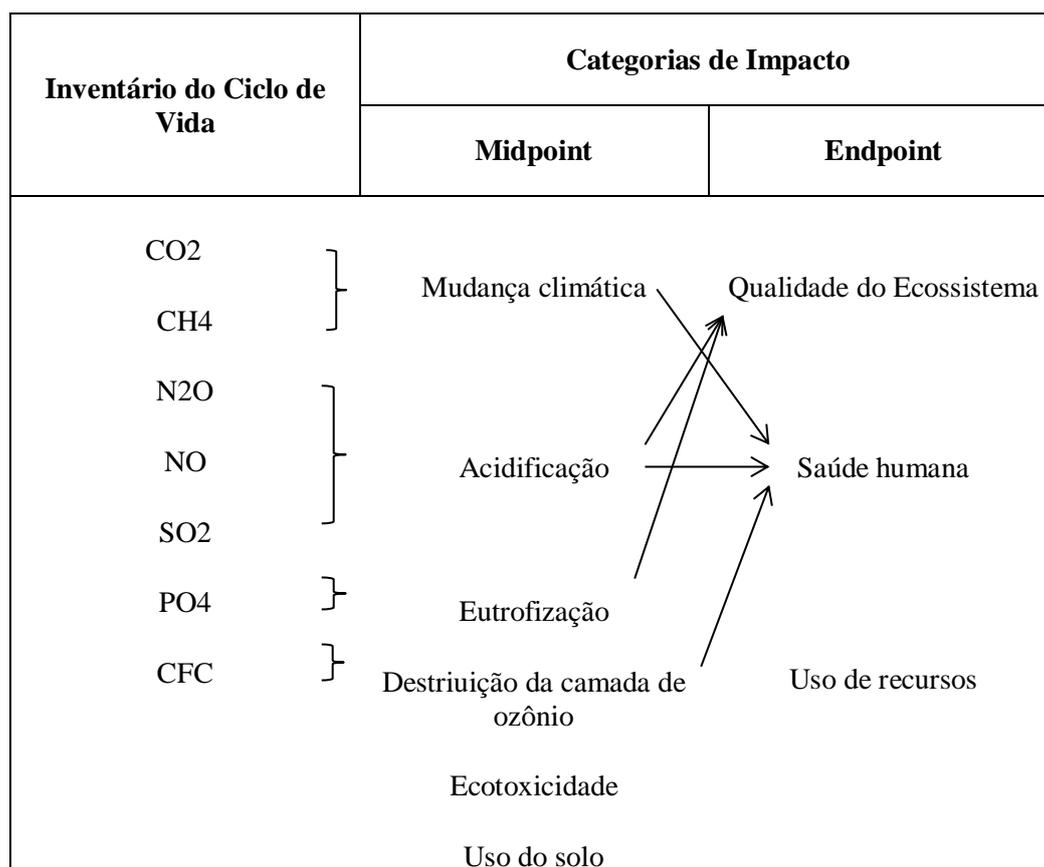


Figura 13: Categoria midpoint e endpoint de impacto.

Fonte: Modificado de Ometto, s.d.

Levando-se em conta os indicadores analisados por cada método de avaliação de impacto, também os métodos podem ser classificados em *midpoint*, *endpoint* ou combinações destes. A tabela 6 a seguir mostra uma classificação dos métodos mais utilizados.

Tabela 6: Abordagem de alguns dos principais métodos de ACV.

| Método | Abordagem | País de desenvolvimento/ ano |
|----------------------|-----------------|---------------------------------|
| EDIP | <i>midpoint</i> | Dinamarca / 97-03 |
| CML | <i>midpoint</i> | Holanda / 92-00 |
| Eco-indicator | <i>endpoint</i> | Holanda / 95-99 |
| EPS | <i>endpoint</i> | Suécia / 93-00 |
| TRACI | <i>midpoint</i> | Estados Unidos / 03 |
| LUCAS | <i>midpoint</i> | Canadá / 05 |
| IMPACT | combinada | Suíça / 02 |
| LIME | combinada | Japão / 03 |

Fonte: Modificado de Ometto, s.d.

É possível ainda realizar, na fase de análise do impacto, os procedimentos opcionais de normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade dos dados.

A normalização é um procedimento onde os valores dos indicadores de categoria de impacto são convertidos a uma mesma unidade. O agrupamento consiste na correlação das categorias de impacto em um ou mais conjuntos, conforme critérios estabelecidos na definição de objetivo e escopo. O agrupamento pode envolver separação e/ou ordenação: na separação, as categorias de impacto são separadas numa base nominal, tais como emissões e recursos, ou por escalas espacial global, regional e local; já na ordenação as categorias de impacto são organizadas em uma hierarquia, como por exemplo, prioridade alta, média e baixa. A ponderação consiste na atribuição de pesos aos valores dos indicadores de impacto ambiental normalizados (Avaliação do Ciclo de Vida, s.d.) (Ferreira, 2004).

Já a análise adicional da qualidade dos dados ajuda a distinguir se diferenças significativas estão ou não presentes e permite identificar resultados não significativos do ICV. A análise de qualidade dos dados é realizada através de três técnicas:

- Análise de contribuição: é um procedimento estatístico que identifica aqueles dados que têm a maior contribuição para o resultado do indicador. Desta forma, tais itens podem ser avaliados com prioridade.
- Análise de incerteza: visa determinar como as incertezas nos dados e pressupostos se propagam nos cálculos e como afetam a confiabilidade dos resultados da AICV.
- Análise de sensibilidade: tem por objetivo determinar como mudanças nos dados e nas escolhas metodológicas afetam os resultados da AICV (ISO 14044:2009).

Diferentes softwares têm sido desenvolvidos para auxiliar a condução de estudos de Análise do Ciclo de Vida. Destaca-se aqui SimaPro, GaBi, KCL-ECO, LCAiT e PEMS.

2.3.1.4 Interpretação do ciclo de vida

A interpretação do ciclo de vida é, segundo a ISO 14044 (2009), a “fase de avaliação do ciclo de vida na qual as constatações da análise de inventário ou da avaliação de impacto, ou de ambas, são avaliadas com relação ao objetivo e escopo definido, a fim de chegar a conclusões e recomendações”.

Esta fase inclui ainda, segundo a norma ISO 14044 (2009), os elementos de:

- Identificação das questões significativas com base nos resultados das fases de ICV e AICV da ACV: o propósito dessa interação é considerar as implicações dos métodos utilizados, os pressupostos adotados, etc., nas fases precedentes, tais como regras de alocação, decisões de corte, seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos.
- Uma avaliação do estudo, considerando verificações de completeza, sensibilidade e consistência: tem por objetivos estabelecer o grau de certeza e a confiabilidade dos resultados do estudo de ACV ou ICV, incluindo questões significativas identificadas no primeiro elemento de interpretação.

A verificação de completeza tem como objetivo assegurar que todas as informações relevantes e os dados necessários para a interpretação estejam disponíveis e completos. Caso alguma informação relevante necessária para o alcance dos objetivos e escopo esteja ausente ou incompleta, é necessário que as fases de ICV e AICV sejam revisadas, ou que a definição de objetivo e escopo seja ajustada.

A verificação de sensibilidade avalia a confiabilidade dos resultados finais e conclusões, determinando de que forma eles são afetados por incertezas nos dados, método de alocação ou cálculo dos resultados dos indicadores de categoria, etc.

Já a verificação de consistência deve determinar se os pressupostos, métodos e dados são consistentes com o objetivo e escopo.

- Conclusões, limitações e recomendações.

Observa-se, porém, que esta etapa de interpretação é interativa com as três etapas precedentes, e que cada uma das etapas interage com as demais, de modo à constantemente assegurar que os resultados obtidos respondem aos objetivos do estudo. (ADEME, 2012). Ver figura 14 abaixo.

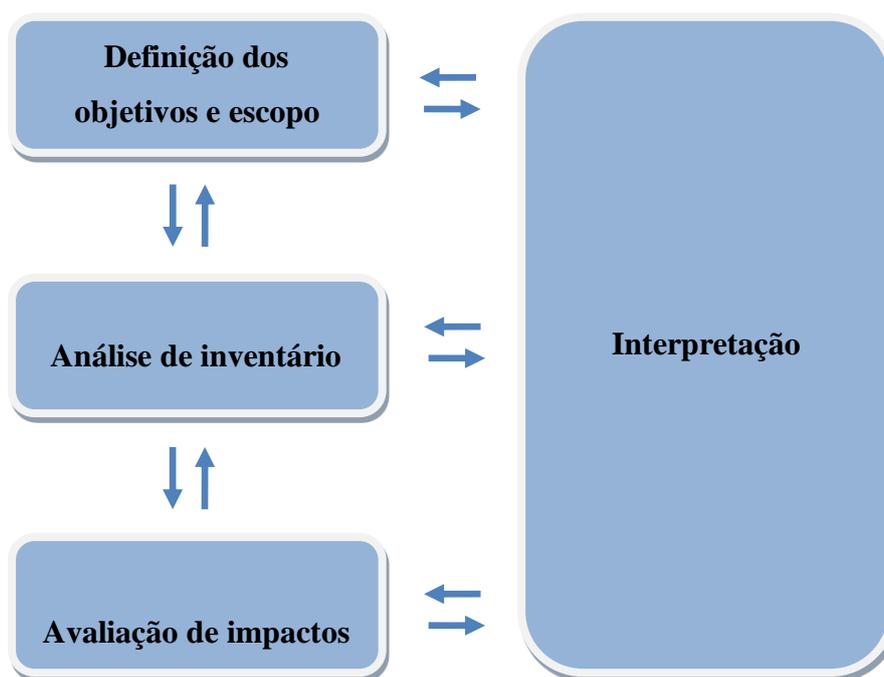


Figura 14: Metodologia para elaboração de uma Análise do Ciclo de Vida.

2.3.2 ACV Aplicado à Termoeletricidade

Devido à dificuldade de se encontrar estudos de Análise do Ciclo de Vida sobre a geração termoeétrica a óleo combustível pesado que venham a auxiliar neste trabalho especificamente, foram levantados alguns estudos sobre sistemas a combustíveis fósseis em geral, como os realizados por Odeh e Cockerill (2008a), Odeh e Cockerill (2008b), May e Brennan (2003) e Waku et al (1995).

Odeh e Cockerill (2008) (a); no artigo “Life cycle GHG assessment of fossil fuel power plants with carbon capture and storage” analisaram os gases de efeito estufa emitidos durante o ciclo de vida de três tipos de usinas termoeletricas movidas a combustíveis fósseis: centrais termoeletricas supercríticas a carvão pulverizado, usinas à ciclo combinado de gás natural, e usinas à ciclo combinado com gaseificação integrada, com e sem captura e armazenamento de carbono. Já o estudo “Life cycle analysis of UK coal fired power plants”, também realizado por Odeh e Cockerill no ano de 2008, avalia as emissões de GEE de centrais termoeletricas movidas à carvão pulverizado.

O estudo “Life cycle assessment of Australian fossil energy options”, realizado por May e Brennan (2003), avaliou a geração de energia elétrica com base em linhito, carvão e gás natural, empregadas na Austrália através de diferentes tecnologias para abastecer o sistema elétrico.

Waku et al (1995), no estudo “Life cycle assessment of fossil power plant with CO₂ recovery and sequestration system” avaliaram as emissões de CO₂ para sistemas à gás natural liquefeito em ciclo combinado e para sistemas à carvão, de ciclo combinado com gaseificação integrada, com sequestro e armazenamento de CO₂, através de diferentes tecnologias.

Foi encontrado um estudo de ACV que relaciona óleo combustível e termoeletricidade, realizado por Carvalho (2000), intitulado “A análise do ciclo de vida e os custos completos no planejamento energético”, que realizou uma ACV do óleo combustível empregado na geração de eletricidade. Este estudo avaliou todo o ciclo de vida do óleo combustível, envolvendo as fases de exploração do petróleo, recuperação do óleo cru, pré-processamento, transporte, armazenagem, refinamento, novo transporte e conversão em planta de energia elétrica. O estudo apresenta ainda o que seria o fluxograma completo da cadeia do óleo combustível usado na geração de energia, incluindo as fases de construção e desmontagem do oleoduto, construção e desmontagem da refinaria, construção e desmontagem da planta de geração de energia elétrica, transmissão e distribuição e uso final.

3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Neste capítulo será realizada uma descrição do sistema em estudo, apresentando seus principais componentes, e analisado o fluxograma montado, que visa representar, de forma simplificada, os processos que ocorrem na usina termoeétrica em questão.

3.1 OBJETIVOS E ESCOPO

O objetivo deste estudo é realizar a Análise do Ciclo de Vida de uma usina termoeétrica específica, que emprega óleo combustível pesado como combustível. Este estudo é realizado como um trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental, a ser apresentado a profissionais relacionados à área de meio ambiente.

A unidade funcional aqui escolhida é 1 (um) MWh de energia produzido pela Usina Termoeétrica em questão.

As fronteiras do sistema irão incluir os sistemas de óleo lubrificante, óleo combustível e água para arrefecimento. Serão incluídos os processos de produção do óleo lubrificante, do óleo combustível e dos aditivos para a água de arrefecimento, até a entrega de energia no ponto de conexão dos transformadores.

Serão aqui descritos, de acordo com informações da Wärtsilä, fabricante da usina termoeétrica em estudo, os principais elementos da usina, de forma a fornecer subsídios para a compreensão do processo de geração termoeétrica nesta usina.

3.1.1 Grupo Gerador

A usina termoeétrica em questão opera com grupos motores do tipo Wärtsilä 18V46 C2, de quatro tempos, com injeção direta, arrefecimento intermediário e 18 cilindros. Ver figura 15.

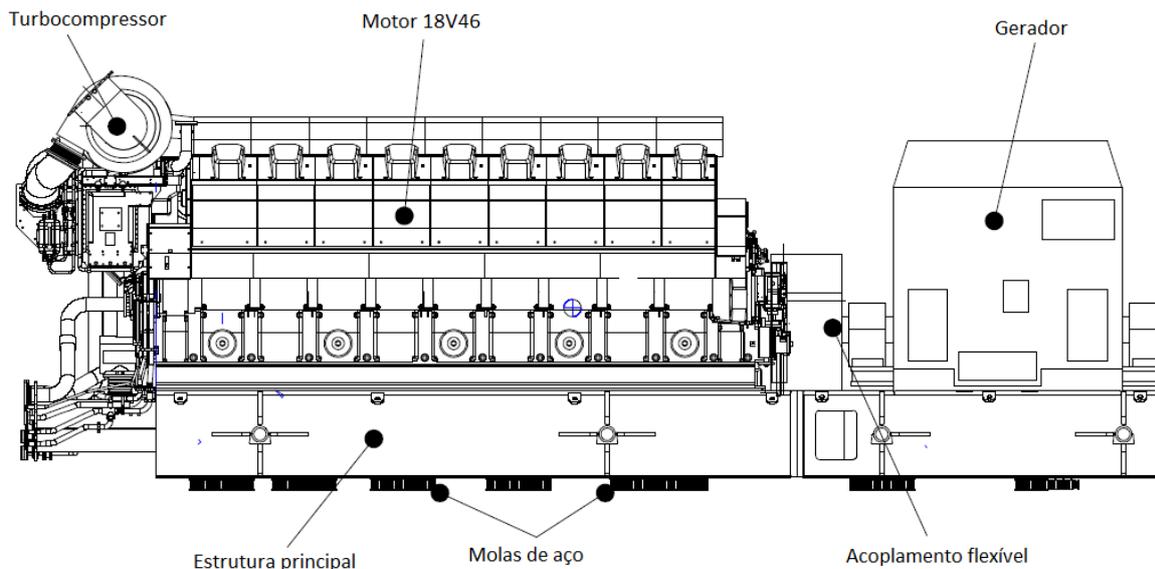


Figura 15: Grupo gerador Wartsilä 18V46.

Fonte: Modificado de Wartsilä, s.d.

O motor e gerador Wartsilä 18V46 são instalados sobre uma base comum, a qual é montada de forma flexível sobre uma fundação de concreto por meio de molas de aço. O grupo gerador possui 18,1 m de comprimento, 5,35 m de largura, 5,49 m de altura e 350,5 toneladas de peso.

O gerador é do tipo síncrono, trifásico, sem comutador (dispositivo para inversão de corrente), potência aparente de 21345 kVA, fator de potência nominal igual a 0,80, voltagem nominal 13.800 V, corrente nominal de 893 A e 60 Hz de frequência.

A Usina Termoelétrica possui potência instalada de 85MW.

3.1.2 Sistema de Óleo Combustível

O motor é alimentado por dois sistemas de óleo combustível separados, um de óleo combustível leve – LFO e outro de óleo combustível pesado – HFO, que devem fornecer aos motores uma alimentação ininterrupta e confiável de combustível limpo, na temperatura e pressão corretas. Tanto o LFO quanto o HFO devem atender a uma série de parâmetros, entre eles viscosidade, teor de cinzas, água, etc.

O óleo combustível pesado é o combustível principal da usina. A bomba de transferência bombeia o combustível dos tanques de armazenamento para o tanque pulmão, aquecendo-o

até aproximadamente 60°C, que é a temperatura nominal do tanque pulmão. O tanque pulmão funciona como armazenamento intermediário antes do separador de combustível HFO. Este tanque pulmão tem capacidade de 80 m³ e garante temperatura e pressão constantes na sucção dos separadores, e assim, melhora o processo de limpeza de combustível. Do tanque pulmão o combustível é transferido para a unidade separadora de HFO onde ele é tratado, com a retirada de água e outras impurezas, antes de entrar no tanque de HFO para o dia. O excesso de combustível no tanque do dia retorna para o tanque pulmão através da linha de transbordamento. Do tanque do dia o combustível é transferido para o motor via bomba alimentadora e de condicionamento e também para a unidade de óleo combustível em um módulo vizinho, o módulo W46. O excesso de combustível do motor é recirculado de volta para o tanque de desaeração da unidade condicionadora, através do módulo W46. Ver figura 16.

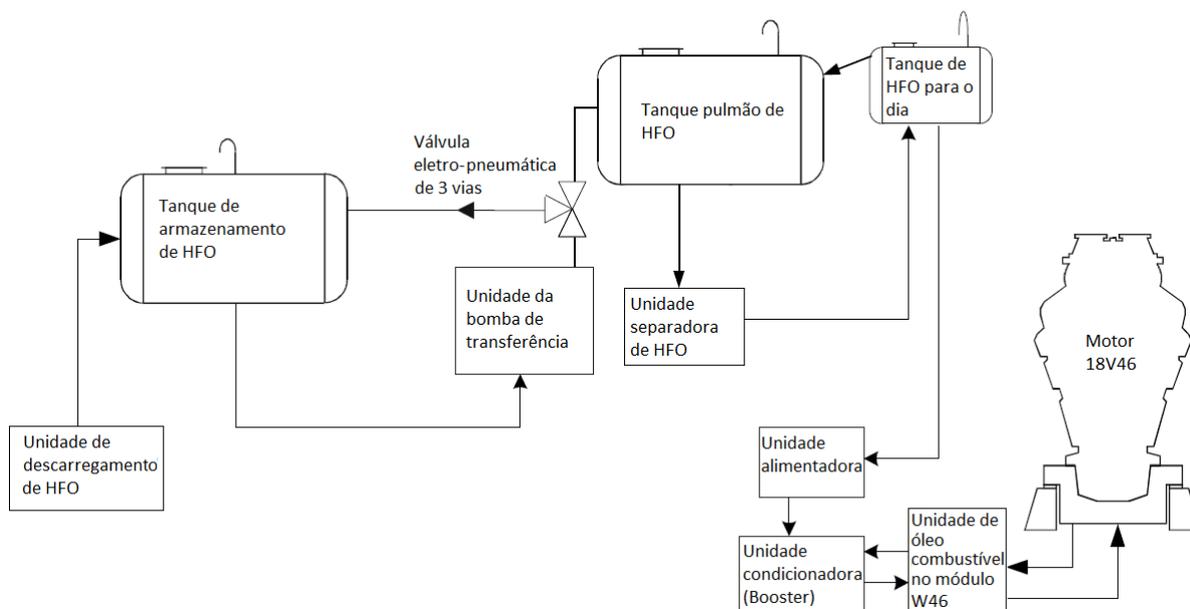


Figura 16: Diagrama simplificado do sistema de combustível HFO.

Fonte: Modificado de Wärtsilä, s.d..

O sistema de óleo combustível leve – LFO – é utilizado em momentos fora da situação estável de operação: durante distúrbios operacionais, na lavagem do sistema de combustível antes de trabalhos de manutenção ou paradas mais longas, e durante uma partida quando o sistema HFO não está aquecido na temperatura de operação.

Neste trabalho, considera-se a situação estacionária do sistema. Desta forma, será aqui considerado que o sistema está operando com óleo combustível pesado.

3.1.3 Sistema de Água de Resfriamento

O sistema de resfriamento do motor remove o calor gerado pela operação normal do motor. O resfriamento é feito principalmente no bloco do motor, no turbocompressor e nos trocadores de calor do ar de carga. O sistema de resfriamento é formado por um circuito único de resfriamento, isto é, todas as fontes de calor são resfriadas sequencialmente por um circuito de água de resfriamento comum. O circuito de resfriamento é resfriado por radiadores com inversor de frequência.

O sistema de resfriamento de um motor é composto por quatro unidades radiadoras, cada uma com seis ventiladores de resfriamento. Os ventiladores de resfriamento são acionados por motores CA, e inversores de frequência regulam a rotação do ventilador e, com isso, a capacidade do radiador. A rotação dos ventiladores é regulada primariamente de acordo com a temperatura da água na saída dos radiadores.

O sistema interno de água de resfriamento do motor é um sistema fechado que utiliza água tratada quimicamente com aditivos para evitar a corrosão e a formação de depósitos de incrustação. Bombas centrífugas montadas no motor fazem com que a água de resfriamento circule pelo motor.

O sistema conta ainda com uma unidade de pré-aquecimento, cuja finalidade é pré-aquecer o bloco do motor, aquecendo a água de resfriamento na temperatura requerida antes da partida do motor. O sistema mantém uma temperatura de aproximadamente 70 °C na água da camisa do motor enquanto o motor está parado. Isto permite uma partida e um carregamento rápido do conjunto do gerador. Estes processos, porém, não serão considerados, visto que neste estudo será considerado o sistema em operação normal, e não em situações de parada.

3.1.4 Sistema de Óleo de Lubrificação

O objetivo primário do sistema de óleo de lubrificação é fornecer ao motor uma quantidade suficiente de óleo de lubrificação limpo na pressão e temperatura requeridas. É importante

que seja mantida uma vazão adequada em todo o sistema. O óleo lubrifica o motor e remove calor (resfriamento) e a contaminação gerada pelo processo de combustão.

As principais partes do sistema de circulação de óleo lubrificante são montadas no módulo W46 e incluem uma bomba de pré-lubrificação acionada eletricamente, uma válvula termostática e o sistema de tubulação. A bomba de óleo de lubrificação acionada pelo motor transfere o óleo do cárter do motor, bombeando-o através do trocador de calor resfriado pela água de resfriamento do motor. Uma válvula termostática regula a temperatura do óleo. Antes da partida do motor, o sistema de óleo completo tem que ser abastecido e o motor deve ser escorvado adequadamente pela bomba de pré-lubrificação.

3.1.5 Fluxograma

O esquema a seguir mostra os processos considerados nesta Análise do Ciclo de Vida. Tal fluxograma visa representar, de forma simplificada, os principais processos envolvidos na geração de energia elétrica pela usina termoeletrica em estudo.

Para a montagem deste fluxograma, foram levados em consideração os principais processos da Usina Termoeletrica quando esta se encontra em pleno funcionamento. Este esquema não representa a realidade do processo em momentos de parada para manutenção ou emergenciais, ou de restabelecimento da geração de energia; representa apenas o processo em normal funcionamento.

Será desconsiderado, neste estudo, tudo o que se refere à infraestrutura, construções, edifícios, tubulações, bombas, etc. Sendo assim, os impactos referentes às instalações não serão aqui avaliados. Apenas processos serão considerados neste trabalho.

Neste estudo, serão também desconsideradas todas as emissões de ruídos, assim como o sistema de controle de ruídos existente na UTE.

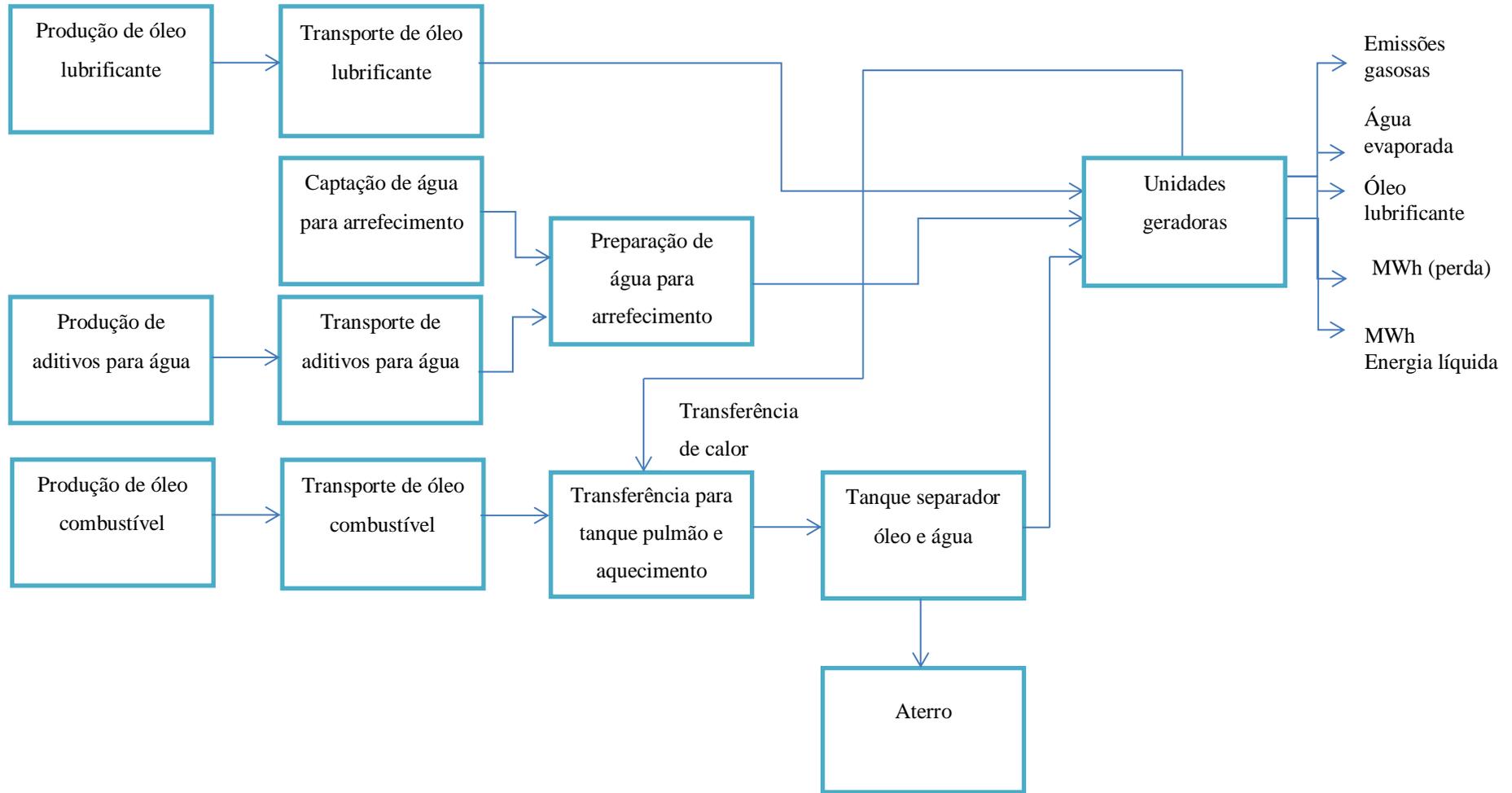


Figura 17: Fluxograma da Usina Termoeétrica em estudo. As setas indicam fluxos mássicos e energéticos.

3.2 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

Será aqui realizada uma descrição dos sistemas considerados na Análise do Ciclo de Vida, a partir de um ponto de vista mais apropriado para a realização e compreensão da ACV. O software utilizado como auxiliar para elaboração deste estudo foi o GaBi 4.4. No anexo A os dados primários podem ser observados, tal qual colocados no software GaBi 4.4.

Com base no fluxograma acima mostrado, pode-se dividir o sistema a ser estudado em quatro subsistemas: sistema de óleo lubrificante, sistema de água para arrefecimento, sistema de óleo combustível e sistema de unidades geradoras. Estes sistemas serão a seguir analisados:

3.2.1 Sistema de Óleo Lubrificante

O óleo lubrificante utilizado nesta usina termoeétrica é o MARBRAX 440. Este lubrificante é transportado cerca de 4300 km em caminhão até a Usina Termoeétrica. Para todos os processos de transporte foi empregado o processo existente no software Gabi, transporte por caminhão, empregando diesel como combustível. O processo referente ao diesel foi obtido junto ao software GaBi 4.4.

São empregados, em média, 30000 litros de lubrificante por mês (informações obtidas junto à Usina Termoeétrica), o que equivale a 0,75 l por MWh gerado, em média. Esta é a quantidade de óleo lubrificante usado que é liberado das unidades geradoras após a geração de energia.

Neste estudo, como não existe na base de dados do software Gabi 4.4 o processo “produção de óleo lubrificante”, o processo “fuel oil light” foi adaptado tentando aproximar para o processo de óleo lubrificante.

3.2.2 Sistema de Água para Arrefecimento

São empregados 1800 l de água por hora de operação. Considerando-se a operação contínua da Usina, tem-se que são utilizados 32,4 l/MWh de energia líquida gerado. Considerando-se ainda que haja recirculação e que 1% da água é perdida por evaporação, tem-se que são

consumidos 0,324 l/MWh de água. Este é também o valor que é liberado pelas unidades geradoras em forma de vapor após passagem pelas mesmas.

São empregados como aditivos para a água de arrefecimento um coagulante e soda cáustica (NaOH – hidróxido de sódio) (informações obtidas junto à Usina Termoelétrica). O coagulante será aqui considerado como sendo o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), por ser um coagulante comumente utilizado (Coagulação química, s.d apud Eckenfelder, 1989). Considerou-se uma dosagem de 100 mg/l de sulfato de alumínio (Coagulação química, s.d apud Eckenfelder, 1989), o que equivale a 0,0324 g/MWh de coagulante. O sulfato de alumínio é, por sua vez, formado por caulim ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), na proporção de 291,6 para 309, respectivamente (Profile in production of aluminum sulfate, s.d.). O caulim foi obtido junto à base de dados existente, montada pelo grupo de trabalho em ACV do IPH-UFRGS. Desta forma, para a formação de 0,0324 g de sulfato de alumínio, serão empregados 0,01573 g/MWh de caulim e 0,01667 g/MWh de ácido sulfúrico. Obteve-se junto à Usina Termoelétrica a proporção de 2,6 kg de coagulante para cada 1 kg de soda cáustica a ser usada na água para arrefecimento. Desta forma, serão empregados 0,0125 g/MWh de soda cáustica. O processo referente à soda cáustica foi obtido junto à base de dados Ecoinvent.

Será considerado, neste estudo, um transporte de 30 km em caminhão para os aditivos da água (os aditivos são produzidos na mesma cidade da Usina Termoelétrica, porém não no mesmo local). Para todos os processos de transporte foi empregado o processo existente no software Gabi, transporte por caminhão, empregando diesel como combustível. O processo referente ao diesel foi obtido junto ao software GaBi 4.4.

3.2.3 Sistema de Óleo Combustível

O óleo combustível empregado na usina é do tipo OCA1, isto é, um óleo combustível pesado com alto teor de enxofre (até 2,5%) e com viscosidade cinemática máxima de 620 mm^2/s (ANP, 2012). No software Gabi, foi empregado o processo “heavy fuel oil”.

Parte do óleo combustível é produzida próximo à Usina, a uma distância de aproximadamente 40 km, e parte é produzida no exterior, à cerca de 1650 km de distância. Será considerada neste estudo uma distância média de 845 km, com transporte do produto por caminhão. Para todos os processos de transporte foi empregado o processo existente no software Gabi,

transporte por caminhão, empregando diesel como combustível. O processo referente ao diesel foi obtido junto ao software GaBi 4.4.

De acordo com especificação técnica fornecida pela Usina Termoelétrica, o óleo combustível possui 2% em volume de água. Sabe-se que são empregados, em média, 204,384 kg de óleo combustível por MWh gerado (ver tabela 7). A função do tanque separador óleo e água é, como o próprio nome diz, separar do óleo a entrar nas unidades geradoras a água nele presente. Desta forma, supõe-se que neste processo toda a água presente no óleo combustível é retirada, o que equivale a 3,99 kg de água/MWh gerado. Sendo assim, tem-se que são então produzidos, transportados, aquecidos e levados ao tanque separador 208,376 kg de óleo combustível por MWh gerado. O efluente gerado no tanque separador apresenta ainda uma quantidade de óleo em sua composição, que equivale a 0,1 g para os 3,99 kg de água. Conforme informação obtida junto à Usina Termoelétrica, este efluente é destinado a aterro. Tal processo foi adaptado a partir do processo de destinação a aterro para o papel, presente no GaBi 4.4.

De acordo com a Usina Termoelétrica, o óleo combustível é aquecido da temperatura ambiente (26,65°C a temperatura média anual, conforme o INMET) até 60°C. Ocorre uma transferência de energia das unidades geradoras ao sistema de óleo combustível. O calor perdido nos motores é empregado para aquecer água e produzir vapor. Tal vapor é empregado para aquecer o óleo combustível no tanque pulmão. De acordo com Allborg Industries, o calor específico do óleo combustível pode ser aproximado como 0,45 kcal/kg°C. Aplicando-se a equação a seguir, é possível descobrir a quantidade de energia que é transmitida ao óleo combustível.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3)$$

Onde m é a massa, c é o calor específico e ΔT é a variação de temperatura. Desta forma, são transferidos aproximadamente 3200 kcal para o aquecimento de 208,376 kg de óleo combustível.

3.2.4 Sistema de Unidades Geradoras

Dados de energia gerada e consumo de óleo combustível foram obtidos junto a Usina Termoelétrica, para um período de janeiro a julho. A média destes valores foi empregada nas análises. Os valores referentes à geração podem ser observados na tabela abaixo.

Tabela 7: Geração e consumo de combustível.

| | Energia Bruta - (Terminal do Gerador) (MWh/mês) | Energia Líquida - (Ponto de Entrega) (MWh/mês) | Perda = Energia Bruta - Energia Líquida (MWh/mês) | Consumo de óleo combustível (kg) |
|----------------------|--|---|--|---|
| Mínimo | 39513,47 | 38615,14 | 898,34 | 7873702,00 |
| Máximo | 41867,28 | 40704,51 | 1180,98 | 8364251,00 |
| Média | 41009,22 | 39999,85 | 1009,37 | 8175389,00 |
| Soma | 287064,56 | 279998,94 | 7065,62 | 57227723,00 |
| Desvio padrão | 879,19 | 810,50 | 97,24 | 176933,64 |
| | Específico da Energia Líquida | | Específico da Energia Bruta | |
| | MWh energia líquida/kg combustível | kg combustível/MWh de energia líquida gerado | MWh energia bruta/kg combustível | kg combustível/MWh de energia bruta gerado |
| Mínimo | $4,83 \cdot 10^{-3}$ | 203,209 | $4,94 \cdot 10^{-3}$ | 197,477 |
| Máximo | $4,92 \cdot 10^{-3}$ | 207,190 | $5,06 \cdot 10^{-3}$ | 202,230 |
| Média | $4,89 \cdot 10^{-3}$ | 204,384 | $5,02 \cdot 10^{-3}$ | 199,359 |
| Soma | $3,43 \cdot 10^{-2}$ | 1430,689 | $3,51 \cdot 10^{-2}$ | 1395,514 |
| Desvio padrão | $3,2 \cdot 10^{-5}$ | 1,350 | $3,81 \cdot 10^{-5}$ | 1,521 |

A energia bruta corresponde à energia nos bornes dos geradores e a energia líquida é a energia no ponto de conexão dos transformadores, de acordo com a Usina Termoelétrica. Assim, para cada 1 (um) MWh gerado tem-se, de acordo com os dados acima, uma perda de 0,02523 MWh.

As cinco unidades geradoras existentes são alimentadas pelos três sistemas acima descritos: sistema de óleo lubrificante, sistema de água para arrefecimento e sistema de óleo combustível. As emissões atmosféricas realizadas pelas unidades geradoras foram obtidas junto a três relatórios técnicos de monitoramento de emissões, realizados por empresa externa à Usina Termoelétrica. Tais relatórios foram cedidos pela Usina Termoelétrica para realização deste estudo. Sendo assim, com base nestes relatórios, foram estabelecidas as razões entre os poluentes emitidos (material particulado, CO₂, CO, SO₂, NO e NO₂). Foram então determinadas as quantidades emitidas de poluentes realizando-se um balanço de massas a partir da quantidade de óleo combustível que entra nas unidades geradoras e no oxigênio suficiente para realizar a combustão (equação 1), com base nas razões estabelecidas a partir dos dados dos relatórios. Para realizar este balanço de massa, considerou-se que: o óleo HFO

é um hidrocarboneto com 50 átomos de carbono; que o óleo combustível contém 2,5% de enxofre; e que o material particulado é composto por sólidos de enxofre em partícula muito fina.

A figura a seguir mostra as quantidades de poluentes emitidas pelas unidades geradoras, para a geração de 1MWh.

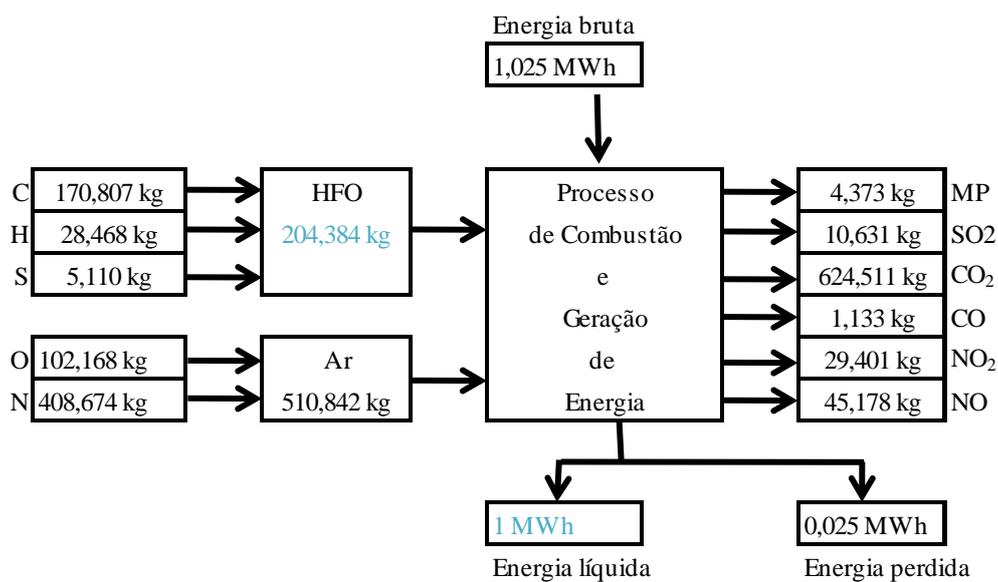


Figura 18: Emissões gasosas do processo de combustão.

4 DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão analisados pontos relevantes encontrados ao longo da execução desta ICV.

Em primeiro lugar, cabe ressaltar a importância da realização de um estudo que traga subsídios para a estruturação de uma base de dados brasileira. Ao empregarem-se dados genuinamente brasileiros, uma ACV da termoeletricidade a óleo combustível no Brasil terá um resultado muito mais fiel à realidade do que se fosse empregada uma base de dados estrangeira.

Destaca-se, porém, que não foi possível completar o inventário apenas com dados primários, obtidos junto à Usina Termoelétrica. Alguns dados, destacados na ICV, foram obtidos a partir de fontes secundárias.

Ressalta-se também a carência de outros estudos que tenham realizado a ACV ou mesmo a ICV de termoelétricas a óleo combustível. Isso fez com que não fosse possível realizar uma comparação e mesmo a busca por dados faltantes em uma base já formada e específica para o caso em estudo.

Observa-se também que, muitas vezes, os dados obtidos junto à Usina Termoelétrica, provenientes de monitoramentos realizados por consultorias ambientais, não se encontravam na forma apropriada à unidade funcional. Alguns dados de emissões atmosféricas, por exemplo, encontravam-se originalmente na forma de concentrações, sem a indicação direta da quantidade ou volume associado à emissão.

5 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para a realização da Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida (AICV) foi empregado o método ReCiPe, através do software GaBi 4.4.

Foram avaliadas as categorias de impacto *midpoint* acidificação terrestre, depleção de água, depleção de combustíveis fósseis, ecotoxicidade em água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, mudanças climáticas e toxicidade humana.

A seguir, são apresentados os resultados da AICV.

5.1 ACIDIFICAÇÃO TERRESTRE

A acidificação terrestre teve um impacto total de 27,617 kg SO₂ eq, causado principalmente por NO₂ e SO₂ emitidos durante a etapa de geração de energia. As substâncias envolvidas na acidificação terrestre, neste caso, são NO₂, responsável por 59,6% do impacto, SO₂, responsável por 39,8%, NO_x, responsável por 0,57% e amônia, com menos de 0,01% de relevância. A tabela 8 e a figura 19 a seguir mostram a contribuição para o impacto de cada etapa do ciclo de vida analisado.

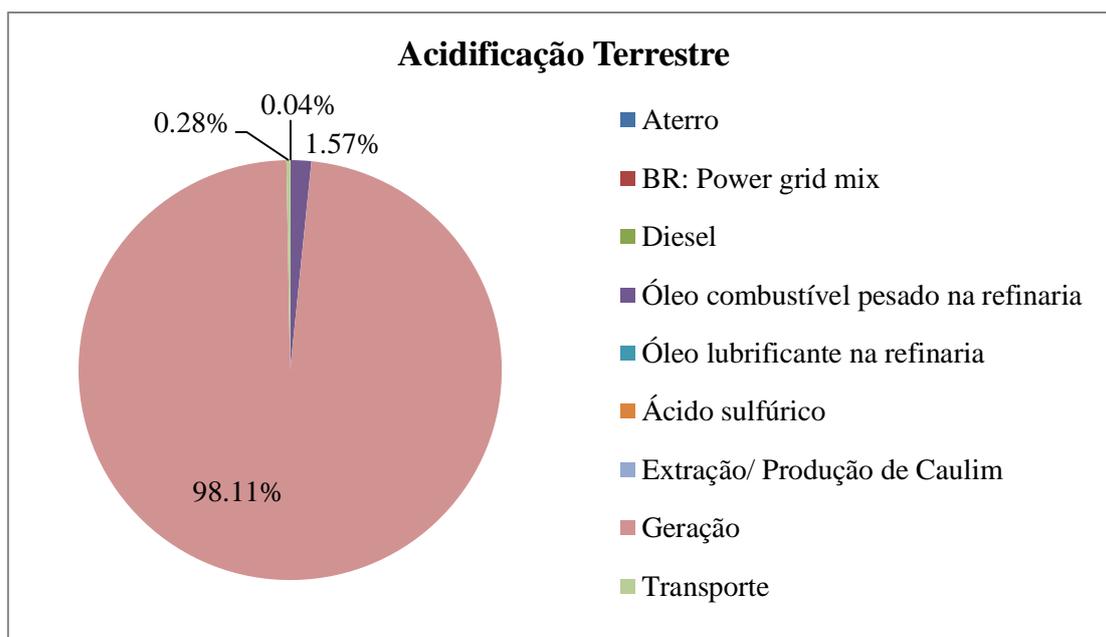


Figura 19: Impacto em acidificação terrestre.

Tabela 8: Impacto em acidificação terrestre.

| Etapa do ciclo de vida | Contribuição para o impacto |
|---|-----------------------------|
| Geração | 98,11 % |
| Óleo combustível pesado na refinaria | 1,57 % |
| Transporte | 0,28 % |
| Diesel | 0,04 % |
| Óleo lubrificante na refinaria | 4,87.10 ⁻³ % |
| Aterro | 3,91.10 ⁻⁷ % |
| Ácido sulfúrico | 3,25.10 ⁻⁷ % |
| BR: Power grid mix | 4,64.10 ⁻⁸ % |
| Extração/ Produção de Caulim | 3,79.10 ⁻⁸ % |

5.2 DEPLEÇÃO DE ÁGUA

A depleção de água referente às entradas no sistema obteve um total de 0,179 m³. Deste total, 97,02% está ligado à produção de óleo combustível. Ver figura 20 e tabela 9 a seguir.

A etapa de captação de água para arrefecimento não é aqui contabilizada por ser uma entrada da biosfera.

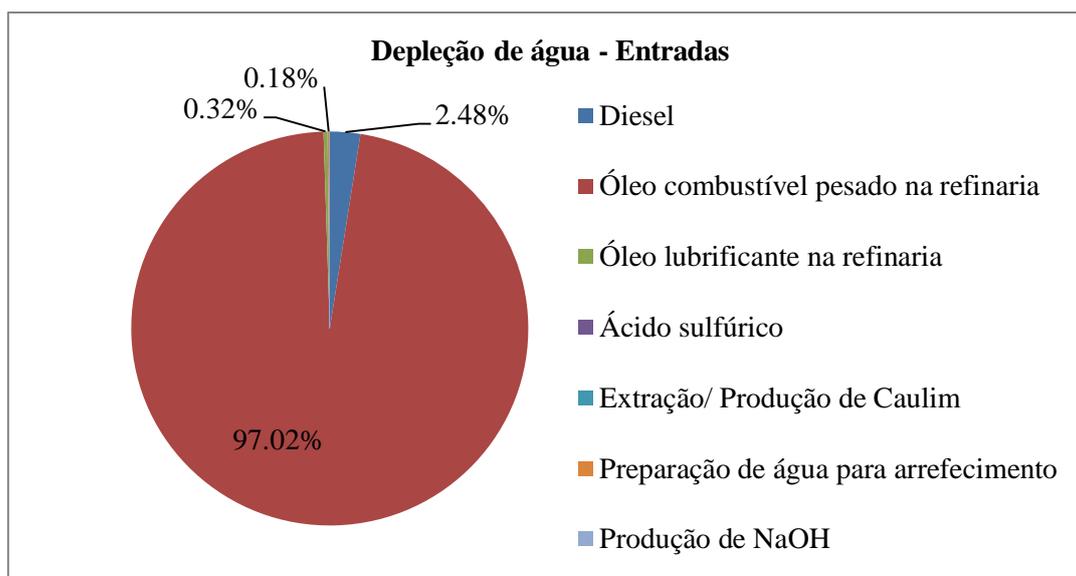


Figura 20: Impacto em depleção de água nas entradas do sistema.

Tabela 9: Impacto em depleção de água nas entradas do sistema.

| Etapa do ciclo de vida | Contribuição para o impacto |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Óleo combustível pesado na refinaria | 97,02 % |
| Diesel | 2,48 % |
| Óleo lubrificante na refinaria | 0,32 % |
| Preparação de água para arrefecimento | 0,18 % |
| Produção de NaOH | 3,28.10 ⁻⁴ % |
| Extração/ Produção de Caulim | 1,42 10 ⁻⁵ % |
| Ácido sulfúrico | 1,2710 ⁻⁵ % |

A depleção de água referente às saídas do sistema obteve um total de 0,149 m³. Deste total, 97,44% está ligado à produção de óleo combustível. Ver figura 21 e tabela 10 a seguir.

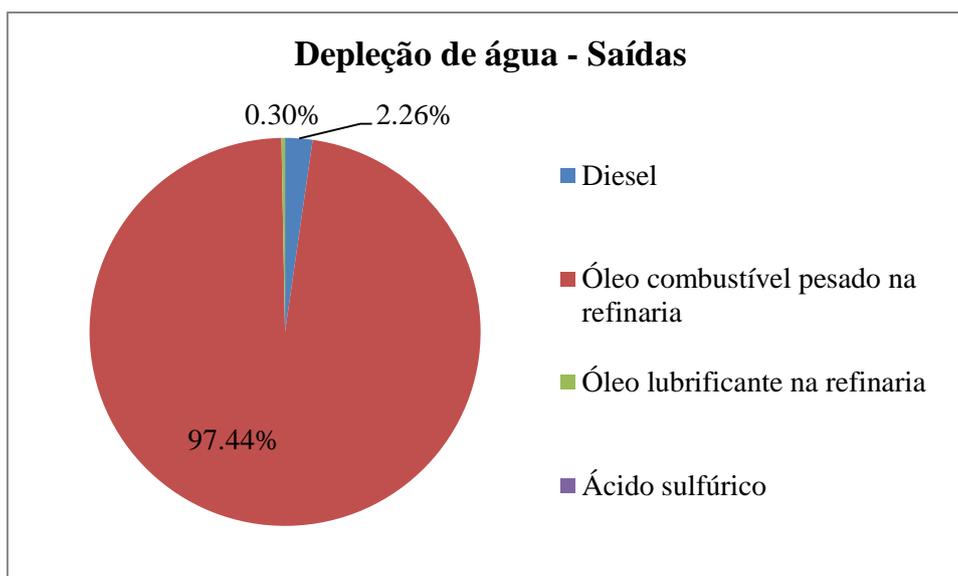


Figura 21: Impacto em depleção de água nas saídas do sistema.

Tabela 10: Impacto em depleção de água nas saídas do sistema.

| Etapa do ciclo de vida | Contribuição para o impacto |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Óleo combustível pesado na refinaria | 97,44 % |
| Diesel | 2,26 % |
| Óleo lubrificante na refinaria | 0,30 % |
| Ácido sulfúrico | 1,13.10 ⁻⁵ % |

5.3 DEPLEÇÃO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

A depleção de combustíveis fósseis obteve um total de 238,56 kg óleo eq, 93,65% relacionado à utilização de óleo cru. A contribuição das diferentes etapas do ciclo de vida da usina termoeleétrica pode ser observada na figura 22 e na tabela 11 abaixo. Percebe-se que mais de 97% do impacto total é devido à produção de óleo combustível.

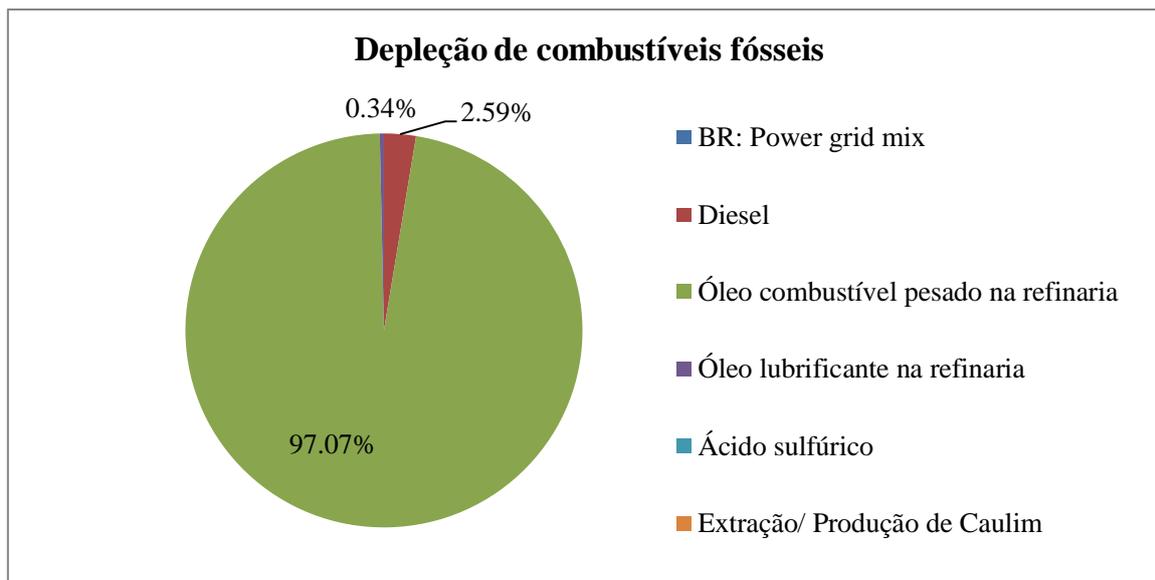


Figura 22: Impacto em depleção de combustíveis fósseis.

Tabela 11: Impacto em depleção de combustíveis fósseis.

| Etapa do ciclo de vida | Contribuição para o impacto |
|---|-----------------------------|
| Óleo combustível pesado na refinaria | 97,07 % |
| Diesel | 2,59 % |
| Óleo lubrificante na refinaria | 0,34 % |
| Ácido sulfúrico | $2,05 \cdot 10^{-6}$ % |
| BR: Power grid mix | $3,29 \cdot 10^{-7}$ % |
| Extração/ Produção de Caulim | $2,05 \cdot 10^{-7}$ % |

5.4 ECOTOXICIDADE

Neste caso em estudo, a ecotoxicidade em água doce, marinha e terrestre, somadas, representam 0,349 kg 1,4-DB eq. Deste total, a ecotoxicidade em água doce corresponde a 6,8% do total, ou seja, 0,024 kg 1,4-DB eq. A ecotoxicidade marinha corresponde a 24,8% do total – 0,087 kg 1,4-DB eq. Já a ecotoxicidade terrestre, igual a 0,238 kg 1,4-DB eq, corresponde a 68,3% do total. Ver figura 23 a seguir.

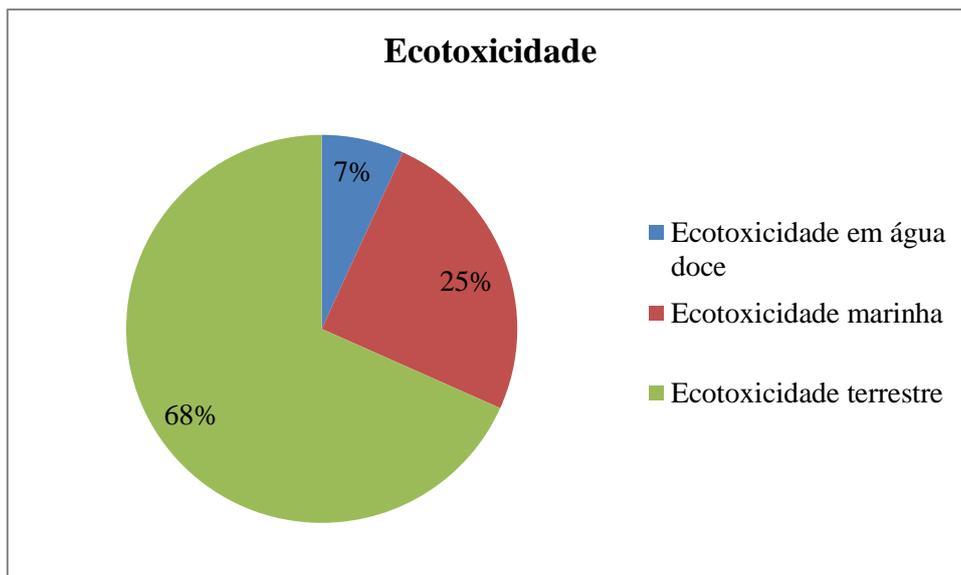


Figura 23: Impacto em ecotoxicidade.

Na figura 21 e na tabela 12 a seguir pode-se observar a contribuição de cada etapa do ciclo de vida para a ecotoxicidade em água doce. Observa-se que mais de 97% do impacto é decorrente da produção de óleo combustível, principalmente relacionado à emissão de fósforo e metais pesados.

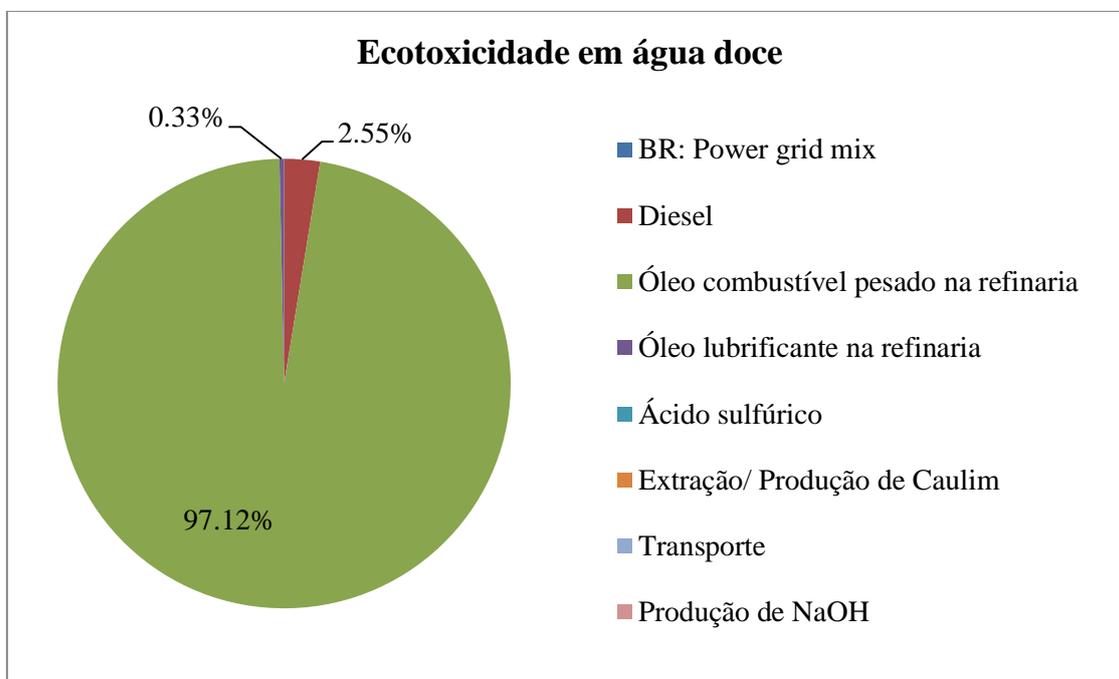


Figura 24: Impacto em ecotoxicidade em água doce.

Tabela 12: Impacto em ecotoxicidade em água doce.

| Etapa do ciclo de vida | Contribuição para o impacto |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Óleo combustível pesado na refinaria | 97,12 % |
| Diesel | 2,55 % |
| Óleo lubrificante na refinaria | 0,33 % |
| Transporte | $1,93 \cdot 10^{-5}$ % |
| Ácido sulfúrico | $3,27 \cdot 10^{-6}$ % |
| Produção de NaOH | $1,76 \cdot 10^{-6}$ % |
| BR: Power grid mix | $1,33 \cdot 10^{-6}$ % |
| Extração/ Produção de Caulim | $1,10 \cdot 10^{-6}$ % |

Quanto à ecotoxicidade marinha, a contribuição de cada etapa pode ser observada na figura 25 e na tabela 13 a seguir. Observa-se que mais de 97% do impacto é relativo à produção de óleo combustível, relacionado à emissão de metais pesados, principalmente zinco.

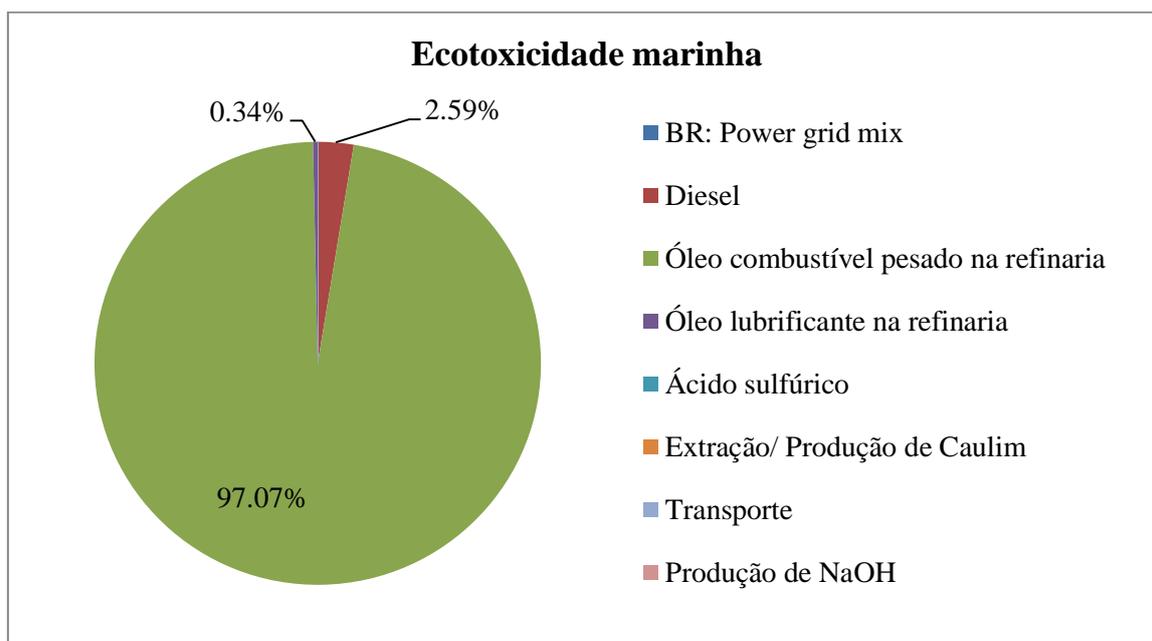


Figura 25: Impacto em ecotoxicidade marinha.

Tabela 13: Impacto em ecotoxicidade marinha.

| Etapa do ciclo de vida | Contribuição para o impacto |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Óleo combustível pesado na refinaria | 97,07 % |
| Diesel | 2,59 % |
| Óleo lubrificante na refinaria | 0,34 % |
| Transporte | $1,26 \cdot 10^{-4}$ % |
| Ácido sulfúrico | $2,00 \cdot 10^{-6}$ % |
| BR: Power grid mix | $3,56 \cdot 10^{-7}$ % |
| Extração/ Produção de Caulim | $2,25 \cdot 10^{-7}$ % |
| Produção de NaOH | $1,93 \cdot 10^{-7}$ % |

Também a ecotoxicidade terrestre tem como principal contribuinte a produção de óleo combustível, responsável por mais de 97% do impacto, sobretudo relacionado à emissão de fósforo em solo industrial. Ver figura 26 e tabela 14 a seguir.

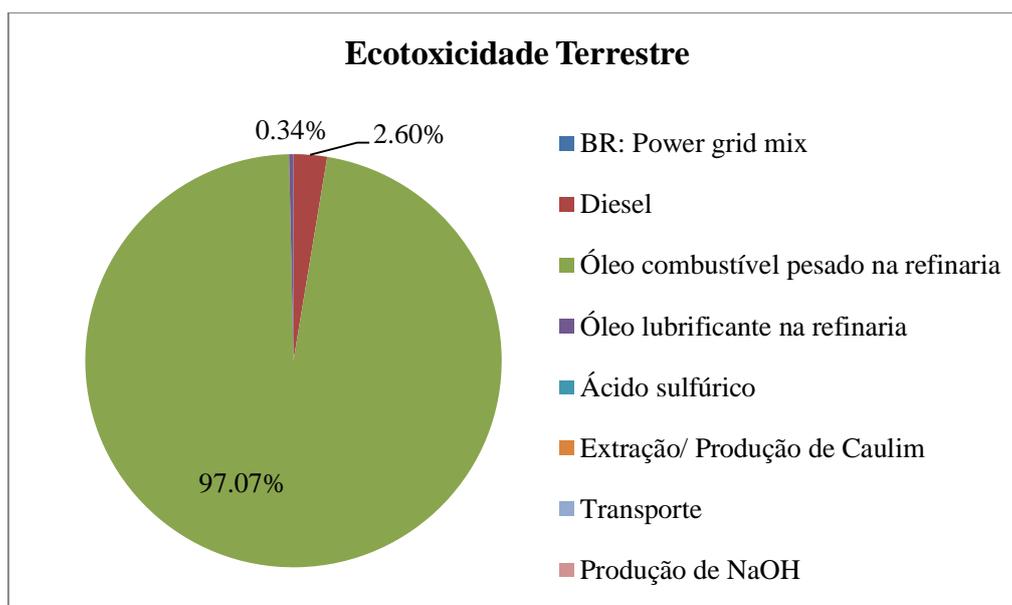


Figura 26: Impacto em ecotoxicidade terrestre.

Tabela 14: Impacto em ecotoxicidade terrestre.

| Etapa do ciclo de vida | Contribuição para o impacto |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Óleo combustível pesado na refinaria | 97,07 % |
| Diesel | 2,59 % |
| Óleo lubrificante na refinaria | 0,34 % |
| Transporte | $5,15 \cdot 10^{-6}$ % |
| Ácido sulfúrico | $1,92 \cdot 10^{-6}$ % |
| Extração/ Produção de Caulim | $3,05 \cdot 10^{-8}$ % |
| Produção de NaOH | $8,58 \cdot 10^{-9}$ % |
| BR: Power grid mix | $3,70 \cdot 10^{-12}$ % |

5.5 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O efeito sobre mudanças climáticas decorrente do ciclo de vida da Usina Termoelétrica é de 725,17 kg CO₂ eq, sobretudo decorrente da etapa de geração, relacionado às emissões atmosféricas realizadas pela usina. Conforme se pode observar na figura 27 e na tabela 15 abaixo, a etapa de geração de energia é responsável por 86,1% do impacto sobre mudanças climáticas. Já a etapa de produção do óleo combustível contribui com 11,4%. As etapas de transporte, somadas, representam apenas 2,13% do impacto.

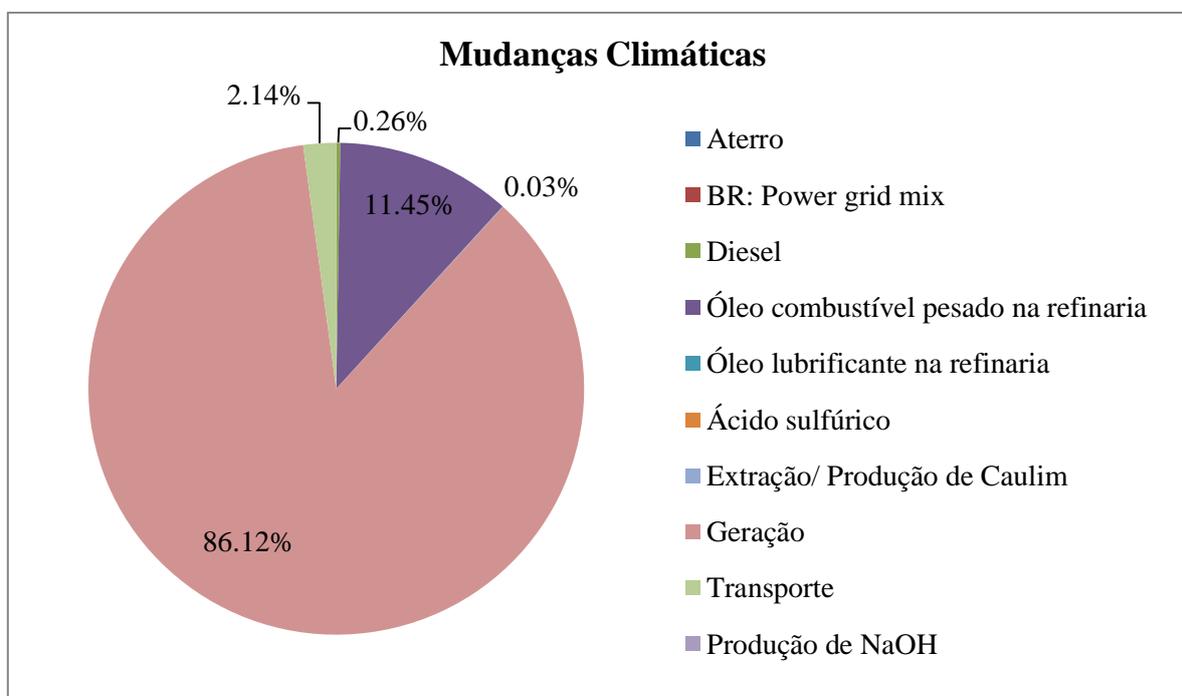


Figura 27: Impacto em mudanças climáticas.

Tabela 15: Impacto em mudanças climáticas.

| Etapa do ciclo de vida | Contribuição para o impacto |
|---|-----------------------------|
| Geração | 86,12 % |
| Óleo combustível pesado na refinaria | 11,45 % |
| Transporte | 2,14 % |
| Diesel | 0,26 % |
| Óleo lubrificante na refinaria | 0,03 % |
| Ácido sulfúrico | $6,16 \cdot 10^{-7}$ % |
| BR: Power grid mix | $3,13 \cdot 10^{-7}$ % |
| Aterro | $2,80 \cdot 10^{-7}$ % |
| Extração/ Produção de Caulim | $2,33 \cdot 10^{-7}$ % |
| Produção de NaOH | $2,47 \cdot 10^{-9}$ % |

5.6 TOXICIDADE HUMANA

O impacto total de toxicidade humana é de 18,50 kg 1,4-DB eq. Observa-se na figura 28 e na tabela 16 que o principal contribuinte para este impacto é a etapa de produção de óleo combustível, responsável por mais de 97% do impacto, principalmente associada à emissão de fósforo em solo industrial. A etapa de produção de diesel também apresenta uma contribuição considerável, representando cerca de 2,6%.

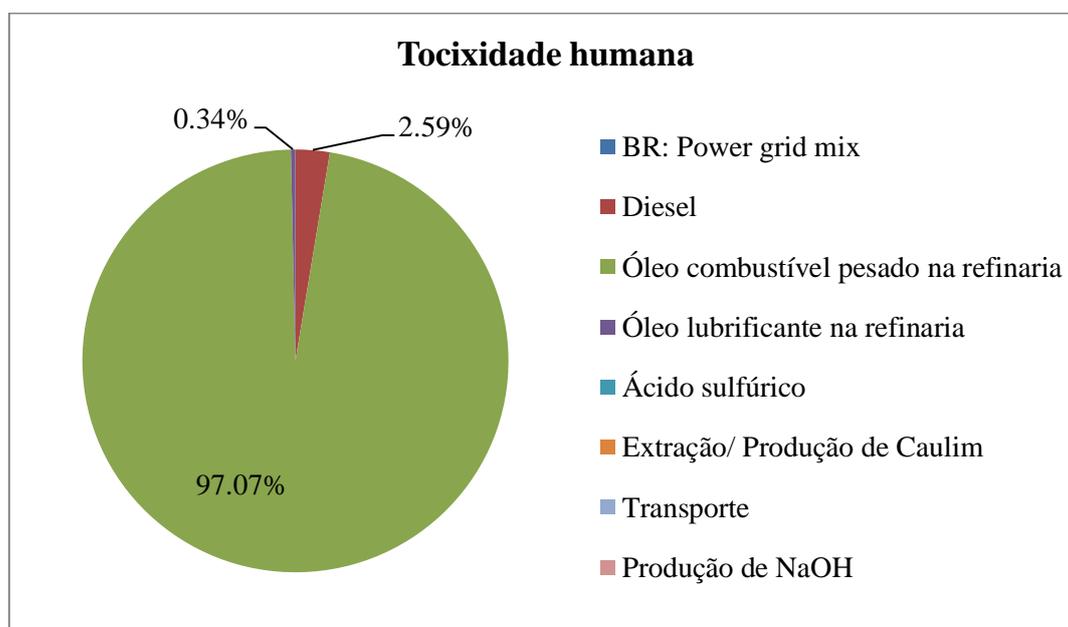


Figura 28: Impacto de toxicidade humana.

Tabela 16: Impacto em toxicidade humana.

| Etapa do ciclo de vida | Contribuição para o impacto |
|---|------------------------------------|
| Óleo combustível pesado na refinaria | 97,07 % |
| Diesel | 2,59 % |
| Óleo lubrificante na refinaria | 0,34 % |
| Transporte | 1,30.10 ⁻³ % |
| Ácido sulfúrico | 1,97.10 ⁻⁶ % |
| BR: Power grid mix | 1,86.10 ⁻⁷ % |
| Extração/ Produção de Caulim | 1,25.10 ⁻⁷ % |
| Produção de NaOH | 1,07.10 ⁻⁷ % |

6 CONCLUSÃO

A utilização de óleo para a geração de energia elétrica no mundo representa hoje apenas 4,6% do total, porém no Brasil ainda existem 33 usinas termoeletricas que o empregam como combustível. A matriz energética brasileira é desde o princípio baseada na hidroeletricidade, porém, a termoeletricidade sempre esteve presente, com o objetivo de complementar a demanda não suprida pela geração hidroelétrica – fato que pode ser notado mais intensamente a partir da crise energética em 2001. As termoeletricas são hoje responsáveis por quase 30% da potência gerada no Brasil.

Este trabalho realizou uma revisão bibliográfica sobre a termoeletricidade, sobre a situação desta no Brasil, e sobre a Análise do Ciclo de Vida (ACV). Em seguida, apresentou-se a Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV) para a geração de energia elétrica a partir de uma determinada usina termoeletrica, cujo combustível é óleo combustível pesado. Foram empregados para a realização do inventário dados primários, obtidos junto à Usina Termoeletrica, e dados secundários, obtidos a partir de referências bibliográficas e do software GaBi 4.4. A partir deste estudo, é possível concluir que a ACV pode ser de grande aplicabilidade ao estudo da geração de eletricidade através de usinas termoeletricas, porém percebe-se que a realização da ICV com a maior quantidade possível de dados primários é fundamental para o incremento da qualidade da análise realizada.

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) empregou o método ReCiPe, através do software GaBi 4.4. Foram avaliadas as categorias de impacto *midpoint* acidificação terrestre, depleção de água, depleção de combustíveis fósseis, ecotoxicidade em água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, mudanças climáticas e toxicidade humana.

A acidificação terrestre teve um impacto total de 27,617 kg SO₂ eq, causado principalmente por NO₂ e SO₂ emitidos durante a etapa de geração de energia.

A depleção de água para as entradas do sistema atingiu um total de 0,179 m³, o que representa 7160 m³ por mês, em média, enquanto o impacto relacionado às saídas do sistema chegou a 0,149 m³, que representa quase 5960 m³ por mês, em média. Nos dois casos, mais de 97% do impacto está relacionado à produção de óleo combustível.

A depleção de combustíveis fósseis obteve um total de 238,56 kg óleo eq. O resultado deste impacto está diretamente relacionado à utilização de óleo cru para a produção de óleo combustível pesado, responsável por 97% do total do impacto.

A ecotoxicidade total, que representa a soma dos resultados encontrados para ecotoxicidade em água doce, marinha e terrestre, atingiu 0,349 kg 1,4-DB eq. Deste total, a ecotoxicidade em água doce corresponde a 6,8% do total, a ecotoxicidade marinha a 24,8% do total e a ecotoxicidade terrestre, a 68,3% do total. Para cada uma das categorias de ecotoxicidade avaliadas, a produção de óleo combustível é responsável por mais de 97% do impacto.

O efeito sobre mudanças climáticas atingiu o total de 725,17 kg CO₂ eq. Este impacto está relacionado principalmente às emissões gasosas resultantes da etapa de geração de energia elétrica, etapa esta responsável por 86% do impacto. 11,4% do impacto são decorrentes da etapa de produção do óleo combustível. As etapas de transporte somadas são responsáveis por apenas 2,1% do impacto, apesar das longas distâncias de transporte existentes ao longo do ciclo de vida aqui estudado.

O impacto de toxicidade humana é de 18,50 kg 1,4-DB eq, relacionado principalmente à produção de óleo combustível, que é responsável por mais de 97% do impacto. A etapa de produção de diesel representa 2,5% do impacto.

Esperava-se já que as emissões gasosas constituíssem um dos principais impactos causados pela geração de energia elétrica por termoelétricas. Porém, não se pode negligenciar o impacto das demais etapas do ciclo de vida, pois como analisado nos resultados apresentados neste trabalho, estes impactos são consideráveis na maior parte das categorias de impacto analisadas, principalmente a etapa de produção do óleo combustível. Este insumo é o principal responsável pelos impactos de depleção de água, depleção de combustíveis fósseis, ecotoxicidade em água doce, marinha e terrestre, e toxicidade humana, associados ao ciclo de vida da Usina Termoelétrica. As emissões gasosas da etapa de geração de energia na Usina são as principais responsáveis pelos impactos de acidificação terrestre e mudanças climáticas. Desta forma, os pontos críticos, que podem ser trabalhados, encontrados ao longo do ciclo de vida desta usina termoelétrica, são a produção do óleo combustível e as emissões gasosas referentes à etapa de geração de energia elétrica. Para resultados mais aprimorados, um estudo mais aprofundado em relação a estas etapas, principalmente em relação à produção de óleo combustível, deve ser conduzido.

Por fim, percebe-se como principais vantagens da termoeletricidade:

- Não ocupação de grandes áreas, comparativamente à geração de energia elétrica por hidroelétricas, principal responsável pela potência gerada no Brasil;
- Não requerimento de deslocamento de populações nem a perda de sítios de importância ambiental, social e histórica, justamente por não exigir a ocupação de grandes áreas;
- Construção mais rápida e menos onerosa que usinas hidroelétricas;
- Emprego como sistema de segurança, aumentando a garantia do abastecimento de energia, reduzindo o risco de “apagões”.

Já as principais desvantagens da geração elétrica por termoeletricas operando com óleo combustível (esta análise pode, em alguns pontos, ser extrapolada para outros tipos de termoeletricas):

- Emissão constante de poluentes atmosféricos através de diferentes etapas do seu ciclo de vida, potenciais causadores de diversos impactos ambientais, tais como mudanças climáticas, toxicidade e ecotoxicidade, por exemplo;
- Emprego como combustível de matéria-prima não renovável;
- Emprego como combustível de insumo cuja produção gera diferentes impactos ambientais;
- Necessidade de transporte do combustível.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISO 14040: 2009. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro. 2009.

ABNT NBR ISO 14044: 2009. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro. 2009.

ADEME – Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. Management environnemental et éco-produits. <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13201>. Acesso em: 21/08/2012.

ALLBORG INDUSTRIES. Calor Específico Médio. Disponível em: <http://www.aalborg-industries.com.br/downloads/calor-especifico-medio.pdf>. Acesso em: 09/12/2012.

ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília : Aneel, 2008.

ANEEL. BIG - Banco de Informações de Geração. Capacidade de Geração do Brasil. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>. Acesso em: 20/10/2012.

ANEEL. BIG - Banco de Informações de Geração. Capacidade de Geração do Brasil. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=2&fase=3>. Acesso em: 27/10/2012.

ANEEL. SIGEL - Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico. Usinas Termelétricas. 2012. Disponível em: <http://sigel.aneel.gov.br/>. Acesso em: 27/10/2012.

ANP-AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Glossário. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?id=582#o>. Acesso em: 13/12/2012.

Avaliação do Ciclo de Vida. Disponível em: <http://ontologia.ibict.br/acv/search?browse-all=yes>. Acesso em: 09/12/2012.

BRASIL. Linha do Tempo. Usina Termelétrica. 2010. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/linhadotempo/epocas/1883/usina-termeletrica#0>. Acesso em 20/10/2012.

CICLOG. Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.ciclodevida.ufsc.br/index.php>. Acesso em: 04/12/2012.

Coagulação química. Disponível em: http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/11608/11608_5.PDF. Acesso em: 16/12/2012.

CYBIS, L. F. A. ACV Análise de Inventários. Disciplina Gerenciamento Ambiental na Indústria - IPH 02028. Notas de aula. 2012.

ECOINVENT CENTRE. Ecoinvent. Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/home/>. Acesso em: 19/12/2012.

ELETROBRAS. ELETRONUCLEAR. Fontes de Energia. Disponível em : <http://www.eletronuclear.gov.br/SaibaMais/Espa%C3%A7oConhecimento/Pesquisaescolar/FontesdeEnergia.aspx>. Acesso em: 12/11/2012.

ESCELSA ENERGIAS DO BRASIL. História da Energia Elétrica no Brasil. Disponível em: <http://www.escelsa.com.br/aescelsa/historia-ee-brasil.asp>. Acesso em: 25/10/2012.

FERREIRA, J., V., R. Análise de ciclo de vida dos produtos. Instituto Politécnico de Viseu. 2004. Disponível em: <http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/jvf/Gest%C3%A3o%20Ambienta%20-%20An%C3%A1lise%20de%20Ciclo%20de%20Vida.pdf>. Acesso em 21/11/2012.

FORSTER, P., V. RAMASWAMY, P. ARTAXO, T. BERNTSEN, R. BETTS, D.W. FAHEY, J. HAYWOOD, J. LEAN, D.C. LOWE, G. MYHRE, J. NGANGA, R. PRINN, G. RAGA, M. SCHULZ and R. VAN DORLAND, 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

HUNT, R. e FRANKLIN, W.. LCA - How it Came About. - Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA. Int. J. LCA, Landsberg, Germany, vol. 1 (1) p. 4-7. 1996.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Key World Energy Statistics. Paris, 2012. Disponível em : <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/kwes-1.pdf>. Acesso em: 20/10/2012.

LEÃO, R. P. S. Tecnologias de Geração de Energia Elétrica: Geração Termoelétrica. Conversão Termoelétrica. Disponível em: http://ygo.pesqueira.ifpe.edu.br/didaticos/rd_II_geracao2_termoeletrica.pdf. Acesso em: 28/10/2012.

MAY, J. R., BRENNAN, D., J. Life cycle assessment of australian fossil energy options. Trans IChemE, Vol 81, Part B, setembro 2003.

MCT, IBICT, FINEP, INT, UnB, USP, UTFPr, SEBRAE, Petrobras, ABCV, ABIPTI, ABNT. Projeto Brasileiro Inventário do Ciclo de Vida para Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira (SICV Brasil). II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida. Florianópolis. 2010. Disponível em: http://www.ciclodevida.ufsc.br/congresso/16_00h_Mesa_Redonda_4_Celina_Lamb.pdf. Acesso em: 12/12/2012.

MORETTI, Tássia Viol. Método de avaliação da estrutura de inventários de ciclo de vida: análise para casos brasileiros, 2011, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 112p.

ODEH, N.A., COCKERILL, T. (a). Life cycle GHG assessment of fossil fuel power plants with carbon capture and storage. Energy Policy. 36, p 367-380. 2008.

ODEH, N.A., COCKERILL, T. (b). Life cycle analysis of UK coal fired power plants. *Energy Conversion and Management*. 49, p 212-220. 2008.

OMETTO, A. R. Avaliação do Ciclo de Vida. In: Simpósio sobre Resíduos Sólidos. I. Disponível em: http://www.eesc.usp.br/shs/neper/isimposio/palestras/03122009-tarde/ALDO_OMETTO-AvaliacaoDeCicloDeVida.pdf. Acesso em 04/12/2012.

PETROBRAS. Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ. Disponível em: <http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/fef3070043a7b23a938b9fecc2d0136c/fispq-oleocomb-oc-1a.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 09/12/2012.

PIEKARSKI, C., M.; LUZ, L., M.; ZOCHE, L.; FRANCISCO, A. C. Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: Uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. *Revista Gestão Industrial*. p 222-240. 2012.

Power station. 2012. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Power_station. Acesso em: 28/10/2012.

Profile in production of aluminum sulphate. Disponível em: <http://www.southinvest.gov.et/Publications/SSNPR%20draft%20Profile/A/%20Aluminum%20Sulphate.pdf>. Acesso em: 16/12/2012.

VISION. Termelétricas. Disponível em: http://visionsistemas.com.br/pt/?page_id=1518. Acesso em: 12/11/2012.

WAKU, H., TAMURA, I., INOUE, M., AKAI, M.. Life cycle assessment of fossil power plant with CO₂ recovery and sequestration system. *Energy Convers. Mgmt, Great Britain*, v. 36, n. 6-9, p 877-880. 1995.

ANEXO A – Inventário do Ciclo de Vida

Neste anexo, serão apresentados os dados primários do inventário do ciclo de vida, tal qual colocados no software GaBi 4.4.

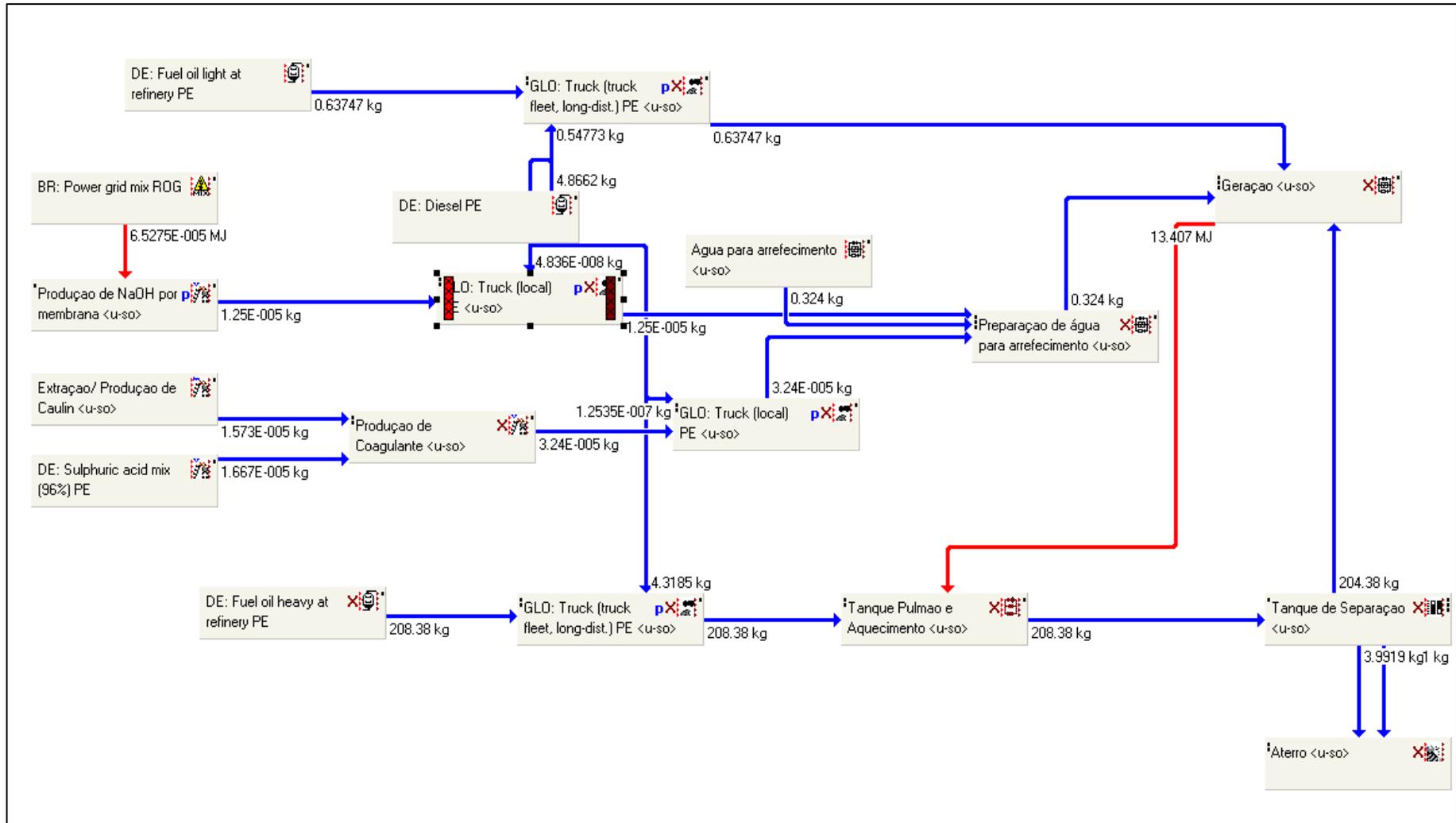


Figura 29: Fluxograma - Software GaBi 4.4.

BR: Power grid mix ROG -- Instância de processo

Nome local: BR: Power grid mix: ROG  Nenhuma imagem Cancelar OK

Configurações locais 

Fator de escala: 6.5275083 Fixado Alocação: (nenhuma alocação)

Parâmetros livres +

Parâmetros fixos +

Entradas Mostrar todos os escoamentos Saídas Mostrar todos os escoamentos

| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados | Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxo |
|-------|--|-------------|-------------|---------|-------------------|-------|---|------------|-------------|---------|-------|
| | Crude oil [Crude oil (resource)] | Mass | 1.4165E-007 | kg | | | Iron [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.7173E-009 | kg | |
| | Hard coal [Hard coal (resource)] | Mass | 2.0192E-007 | kg | | | Lead (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 3.4216E-013 | kg | |
| | Lignite [Lignite (resource)] | Mass | 1.0109E-006 | kg | | | Lead (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.868E-012 | kg | |
| | Natural gas [Natural gas (resource)] | Mass | 1.5279E-007 | kg | | | Manganese (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 1.3568E-013 | kg | |
| | Primary energy from hydro power [Renewable energy resouEnergy ren. (net calorific va | 7.2791E-005 | MJ | | | | Mercury (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.0393E-015 | kg | |
| | Uranium free ore [Uranium (resource)] | Mass | 1.4031E-011 | kg | | | Mercury (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 5.6358E-014 | kg | |
| | Wood [Renewable energy resources] | Mass | 2.0607E-009 | kg | | | Metals (unspecified) [Particles to fresh water] | Mass | 7.7379E-011 | kg | |
| | | | | | | | Metals (unspecified) [Particles to air] | Mass | 7.7234E-011 | kg | |
| | | | | | | | Methane [Organic emissions to air (group VOC)] | Mass | 3.1391E-009 | kg | |
| | | | | | | | Nickel (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 2.4288E-012 | kg | |
| | | | | | | | Nickel (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.6534E-012 | kg | |
| | | | | | | | Nitrate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.1066E-011 | kg | |
| | | | | | | | Nitrogen [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 7.0122E-012 | kg | |
| | | | | | | | Nitrogen organic bounded [Inorganic emissions to fresh w | Mass | 7.0267E-013 | kg | |
| | | | | | | | Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air] | Mass | 4.0883E-009 | kg | |
| | | | | | | | Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.0153E-011 | kg | |
| | | | | | | | NMVOG (unspecified) [Group NMVOG to air] | Mass | 1.2319E-009 | kg | |
| | | | | | | | Oil (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.9373E-010 | kg | |
| | | | | | | | Phenol (hydroxy benzene) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.0449E-012 | kg | |
| | | | | | | | Phosphate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.9405E-011 | kg | |
| | | | | | | | Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) [Group PAH to air] | Mass | 9.6432E-014 | kg | |
| | | | | | | | Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH, unspec.) [Hydroc | Mass | 9.2481E-014 | kg | |
| | | | | | | | Solids (suspended) [Particles to fresh water] | Mass | 6.0859E-010 | kg | |
| | | | | | | | Sulphate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 5.96E-009 | kg | |
| | | | | | | | Sulphide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 2.659E-013 | kg | |
| | | | | | | | Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.0544E-008 | kg | |
| | | | | | | | Toluene (methyl benzene) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 8.6198E-013 | kg | |
| | | | | | | | Total dissolved organic bounded carbon [Analytical measu | Mass | 2.6859E-012 | kg | |
| | | | | | | | Total organic bounded carbon [Analytical measures to fre | Mass | 2.3669E-010 | kg | |
| | | | | | | | Zinc (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 5.1501E-013 | kg | |
| | | | | | | | Zinc (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 3.3282E-012 | kg | |

Qualidade dos Dados

Técnica Localização Tempo

Nenhum enunciado Nenhum enunciado Nenhum enunciado

Agupamento

Nação Tipo Empresa Usuário definido

BR Energy conversion externo

Figura 30: BR: Power Grid Mix.

Tabela 17: Entradas e saídas - BR: Power Grid Mix.

| BR: Power grid mix ROG | Fator de escala | 5.28E-06 | | |
|--|-----------------------------------|-----------------|---------|-------------------|
| Entradas | | | | |
| Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos Rastreados |
| Crude oil [Crude oil (resource)] | Mass | 1.42E-07 | kg | |
| Hard coal [Hard coal (resource)] | Mass | 2.02E-07 | kg | |
| Lignite [Lignite (resource)] | Mass | 1.01E-06 | kg | |
| Natural gas [Natural gas (resource)] | Mass | 1.53E-07 | kg | |
| Primary energy from hydro power [Renewable energy resources] | Energy ren. (net calorific value) | 7.28E-05 | MJ | |
| Uranium free ore [Uranium (resource)] | Mass | 1.40E-11 | kg | |
| Wood [Renewable energy resources] | Mass | 2.06E-09 | kg | |
| Saídas | | | | |
| Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos Rastreados |
| Power [Electric power] | Energy (net calorific value) | 6.53E-05 | MJ | X |
| Adsorbable organic halogen compounds (AOX) [Analytical measures to fresh water] | Mass | 2.45E-14 | kg | |
| Aluminum (+III) [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 3.27E-10 | kg | |
| Ammonia [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.42E-12 | kg | |
| Ammonium / ammonia [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 9.85E-12 | kg | |
| Aromatic hydrocarbons (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 2.45E-11 | kg | |
| Arsenic (+V) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 6.59E-13 | kg | |
| Barium [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.36E-11 | kg | |
| Benzene [Group NMVOC to air] | Mass | 4.41E-12 | kg | |
| Biological oxygen demand (BOD) [Analytical measures to fresh water] | Mass | 3.67E-13 | kg | |
| Cadmium (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 6.19E-14 | kg | |
| Cadmium (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 9.26E-15 | kg | |
| Carbon dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.19E-06 | kg | |

| | | | |
|--|------|----------|----|
| Carbon monoxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 4.37E-10 | kg |
| Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water] | Mass | 2.93E-12 | kg |
| Chloride [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 5.92E-09 | kg |
| Chlorinated hydrocarbons (unspecified) [Halogenated organic emissions to fresh water] | Mass | 8.77E-15 | kg |
| Chromium (unspecified) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 3.32E-12 | kg |
| Copper (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.63E-12 | kg |
| Cyanide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 7.98E-14 | kg |
| Dust (unspecified) [Particles to air] | Mass | 1.56E-09 | kg |
| Halogenated hydrocarbons (unspecified) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 3.66E-16 | kg |
| Halon (1301) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 3.38E-14 | kg |
| Hydrogen chloride [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.30E-10 | kg |
| Hydrogen fluoride [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.42E-11 | kg |
| Inorganic salts and acids (unspecified) [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 7.45E-09 | kg |
| Iron [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.72E-09 | kg |
| Lead (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 3.42E-13 | kg |
| Lead (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.87E-12 | kg |
| Manganese (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 1.36E-13 | kg |
| Mercury (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.04E-15 | kg |
| Mercury (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 5.64E-14 | kg |
| Metals (unspecified) [Particles to fresh water] | Mass | 7.74E-11 | kg |
| Metals (unspecified) [Particles to air] | Mass | 7.72E-11 | kg |
| Methane [Organic emissions to air (group VOC)] | Mass | 3.14E-09 | kg |
| Nickel (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 2.43E-12 | kg |
| Nickel (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.65E-12 | kg |
| Nitrate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.11E-11 | kg |
| Nitrogen [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 7.01E-12 | kg |
| Nitrogen organic bounded [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 7.03E-13 | kg |
| Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air] | Mass | 4.09E-09 | kg |
| Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.02E-11 | kg |

| | | | |
|--|------|----------|----|
| NMVOC (unspecified) [Group NMVOC to air] | Mass | 1.23E-09 | kg |
| Oil (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.94E-10 | kg |
| Phenol (hydroxy benzene) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.04E-12 | kg |
| Phosphate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.94E-11 | kg |
| Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) [Group PAH to air] | Mass | 9.64E-14 | kg |
| Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH, unspec.) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 9.25E-14 | kg |
| Solids (suspended) [Particles to fresh water] | Mass | 6.09E-10 | kg |
| Sulphate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 5.96E-09 | kg |
| Sulphide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 2.66E-13 | kg |
| Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.05E-08 | kg |
| Toluene (methyl benzene) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 8.62E-13 | kg |
| Total dissolved organic bounded carbon [Analytical measures to fresh water] | Mass | 2.69E-12 | kg |
| Total organic bounded carbon [Analytical measures to fresh water] | Mass | 2.37E-10 | kg |
| Zinc (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 5.15E-13 | kg |
| Zinc (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 3.33E-12 | kg |

Produção de NaOH por membrana <u-so> -- Instância de processo

Nome local: Produção de NaOH por membrana <u-so> Nenhuma imagem

Configurações locais ACC

Fator de escala: 1.0722E-0 Fixado Alocação: (nenhuma alocação)

Parâmetros livres

| Parâmetro | Fórmula | Valor | Mínimo | Máximo | Desvio p | Coment |
|------------|---------|--------|--------|--------|----------|----------|
| fator5519 | | 0.5519 | | | 0 % | alocaçac |
| fator523 | | 0.523 | | | 0 % | alocaçac |
| production | | 1.13 | | | 0 % | |

Parâmetros fixos

| Parâmetro | Fórmula | Valor | Mínimo | Máximo | Desvio p | Coment |
|-----------------|-------------------|------------|--------|--------|----------|--------|
| barite | 0.0035*fator523 | 0.0018305 | | | | |
| bromate_out | 2.75E-04*fator523 | 0.00014383 | | | | |
| calcium_chlorid | 0.0178*fator523 | 0.0093094 | | | | |
| carbon_dioxide_ | 3.10E-03*fator523 | 0.0016213 | | | | |
| carbon_tetrachl | 1E-05*fator523 | 5.23E-006 | | | | |
| chlorate_out | 2.10E-03*fator523 | 0.0010983 | | | | |
| chloride_out | 1.5E-02*fator523 | 0.007845 | | | | |
| Chlorin_solv_ou | 6E-07*fator523 | 3.138E-007 | | | | |

Entradas Mostrar todos os escoamentos

| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados |
|-----------------|--|------------------------------|-------------|---------|-------------------|
| barite | Barium sulphate [Inorganic intermediate products] | Mass | 2.0249E-008 | kg | |
| calcium_chlorid | Calcium chloride [Inorganic intermediate products] | Mass | 1.0298E-007 | kg | |
| carbon_tetrachl | Carbon tetrachloride [Organic intermediate products] | Mass | 5.7854E-011 | kg | |
| hydroch_acid30 | Hydrochloric acid (30%) [Inorganic intermediate products] | Mass | 1.4463E-007 | kg | |
| electricity | Power [Electric power] | Energy (net calorific value) | 6.5275E-005 | MJ | X |
| soda_powder | Soda (sodium carbonate) [Inorganic intermediate products] | Mass | 6.6532E-008 | kg | |
| sodium_chlor_po | Sodium chloride (rock salt) [Inorganic intermediate products] | Mass | 1.0124E-005 | kg | |
| sodiumhydroxid5 | Sodium hydroxide (50%; caustic soda) [Inorganic intermediate products] | Mass | 2.4299E-007 | kg | |
| sulphite | Sulphite pulp (bleached Mg(HSO3)2 t90) [Organic intermediate products] | Mass | 5.7854E-010 | kg | |
| sulphuric_acid | Sulphuric acid (100%) [Inorganic intermediate products] | Mass | 5.4036E-008 | kg | |
| water | Water (river water) [Water] | Mass | 1.0992E-005 | kg | |
| water_cooling | Water Cooling fresh [Water] | Mass | 0.00057854 | kg | |

Saídas Mostrar todos os escoamentos

| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxo |
|-----------------|---|------------|-------------|---------|-------|
| production | Sodium hydroxide (50%; caustic soda) [Inorganic intermediate products] | Mass | 1.25E-005 | kg | X |
| bromate_out | Bromate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.591E-009 | kg | |
| carbon_dioxide_ | Carbon dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.7935E-008 | kg | |
| chlorate_out | Chlorate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.2149E-008 | kg | |
| chloride_out | Chloride [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 8.6781E-008 | kg | |
| Chlorin_solv_ou | Chlorinated hydrocarbons (unspecified) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 3.4712E-012 | kg | |
| chlorine_out | Chlorine [Inorganic emissions to air] | Mass | 4.6283E-011 | kg | |
| hydrogen_out | Hydrogen [Inorganic emissions to air] | Mass | 3.182E-009 | kg | |
| sulfate_out | Sulphate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.5705E-008 | kg | |

Qualidade dos Dados

Técnica: Nenhum enunciado Localização: Nenhum enunciado Tempo: Nenhum enunciado

Agrupamento

Nação: Tipo: Production Empresa: externo Usuário definido:

Figura 31: Produção de NaOH por membrana.

Tabela 18: Parâmetros - Produção de NaOH por membrana.

| Produção de NaOH por membrana <u-so | | fator de escala | 1.07E-05 |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|------------|
| parâmetros fixos | | | |
| parâmetro | fórmula | valor | comentário |
| barite | 0.0035*fator523 | 0.0018305 | |
| bromate_out | 2.75E-04*fator523 | 0.000143825 | |
| calcium_chlorid | 0.0178*fator523 | 0.0093094 | |
| carbon_dioxide_ | 3.10E-03*fator523 | 0.0016213 | |
| carbon_tetrachl | 1E-05*fator523 | 5.23E-06 | |
| chlorate_out | 2.10E-03*fator523 | 0.0010983 | |
| chloride_out | 1.5E-02*fator523 | 0.007845 | |
| Chlorin_solv_ou | 6E-07*fator523 | 3.14E-07 | |
| chlorine_out | 8E-06*fator523 | 4.18E-06 | |
| electricity | 2.97*fato5519 | 1.639143 | Kwh |
| heat_out | 10.7*fato5519 | 5.90533 | Mj |
| hydroch_acid30 | 0.025*fator523 | 0.013075 | |
| hydrogen_out | 5.5E-04*fator523 | 0.00028765 | |
| soda_powder | 0.0115*fator523 | 0.0060145 | |
| sodium_chlor_po | 1.75*fator523 | 0.91525 | |
| sodiumhydroxid5 | 0.042*fator523 | 0.021966 | |
| sulfate_out | 7.9E-03*fator523 | 0.0041317 | |
| sulphite | 0.0001*fator523 | 5.23E-05 | |
| sulphuric_acid | 0.00934*fator523 | 0.00488482 | |
| water | 1000*1.90E-03*fator523 | 0.9937 | Kg de água |
| water_cooling | 1000*1E-01*fator523 | 52.3 | Kg de água |

Extracção/ Produção de Caulin <u-so> -- Instância de processo

Nome local: Extracção/ Produção de Caulin <u-so>  Nenhuma imagem Cancelar OK

Configurações locais  ACC

Fator de escala: 0,0001661 Fixado Alocação: [nenhuma alocação]

Parâmetros livres

Parâmetros fixos

| Entradas | | | | | | Saídas | | | | | |
|----------|--|------------|-------------|---------|-------------------|--------|--|-----------------|-------------|---------|-------|
| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados | Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxo |
| | Iron [Non renewable elements] | Mass | 3.1954E-009 | kg | | | Tin (+IV) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 7.8808E-017 | kg | |
| | Kaolin ore [Non renewable resources] | Mass | 1.8699E-005 | kg | | | Tin (+IV) [Heavy metals to air] | Mass | 8.5256E-015 | kg | |
| | Lead [Non renewable elements] | Mass | 1.9978E-013 | kg | | | Tin (+IV) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.0413E-014 | kg | |
| | Magnesium [Non renewable elements] | Mass | 6.8582E-012 | kg | | | Titanium [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.3072E-012 | kg | |
| | Manganese [Non renewable elements] | Mass | 2.91E-012 | kg | | | Titanium [Heavy metals to air] | Mass | 1.3213E-012 | kg | |
| | Mercury [Non renewable elements] | Mass | 3.492E-014 | kg | | | Titanium [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 6.528E-016 | kg | |
| | Natural gas Brazil [Natural gas (resource)] | Mass | 4.4708E-007 | kg | | | Toluene (methyl benzene) [Group NMVOC to air] | Mass | 4.3268E-012 | kg | |
| | Nickel [Non renewable elements] | Mass | 6.5752E-011 | kg | | | Toluene (methyl benzene) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 5.3954E-013 | kg | |
| | non traced back matter [Resources] | Mass | 9.3278E-010 | kg | | | Total organic carbon, TOC (Ecoinvent) [Fresh water] | Mass | 1.5064E-010 | kg | |
| | Olivine [Non renewable resources] | Mass | 4.782E-014 | kg | | | Trichloroethane (Isomers) [Halogenated organic emissions] | Mass | 1.6202E-019 | kg | |
| | Peat [Non renewable resources] | Mass | 4.2393E-011 | kg | | | Trichloroethene (isomers) [Halogenated organic emissions] | Mass | 4.4674E-018 | kg | |
| | Phosphorus [Non renewable elements] | Mass | 2.0998E-007 | kg | | | Trichloromethane (chloroform) [Halogenated organic emis] | Mass | 9.91E-018 | kg | |
| | Potassium chloride [Non renewable resources] | Mass | 9.438E-010 | kg | | | Trichloromethane (chloroform) [Halogenated organic emis] | Mass | 1.6674E-017 | kg | |
| | Pyrite [Non renewable resources] | Mass | 8.683E-010 | kg | | | Triethylene glycol [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 5.521E-012 | kg | |
| | Quartz sand (silica sand; silicon dioxide) [Non renewable res] | Mass | 1.0618E-052 | kg | | | Tungsten [Heavy metals to fresh water] | Mass | 6.5752E-015 | kg | |
| | Rhenium [Non renewable elements] | Mass | 9.7368E-019 | kg | | | Vanadium (+III) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.9978E-013 | kg | |
| | sand [Non renewable resources] | Mass | 2.9649E-009 | kg | | | Vanadium (+III) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.8718E-017 | kg | |
| | Silver [Non renewable elements] | Mass | 2.6742E-015 | kg | | | Vanadium (+III) [Heavy metals to air] | Mass | 2.8148E-012 | kg | |
| | Sodium chloride (rock salt) [Non renewable resources] | Mass | 4.2231E-008 | kg | | | Vinyl chloride (VCM; chloroethene) [Halogenated organic e] | Mass | 1.4393E-014 | kg | |
| | Sodium nitrate [Non renewable resources] | Mass | 2.3124E-015 | kg | | | Vinyl chloride (VCM; chloroethene) [Halogenated organic e] | Mass | 1.3717E-014 | kg | |
| | Sulphur [Non renewable elements] | Mass | 1.1876E-010 | kg | | | VOC (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.4723E-012 | kg | |
| | Talc [Non renewable resources] | Mass | 6.2448E-014 | kg | | | VOC (unspecified) [Organic emissions to air (group VOC)] | Mass | 5.5684E-013 | kg | |
| | Tin [Non renewable elements] | Mass | 5.2852E-014 | kg | | | Waste for disposal (unspecified) [Waste for disposal] | Mass | 2.6128E-005 | kg | |
| | Titanium [Non renewable elements] | Mass | 1.4299E-014 | kg | | | Waste heat [Other emissions to fresh water] | Energy (net ca) | 2.8449E-008 | MJ | |
| | Titanium dioxide [Non renewable resources] | Mass | 4.1528E-015 | kg | | | Waste heat [Other emissions to agricultural soil] | Energy (net ca) | 1.1499E-009 | MJ | |
| | Uranium natural [Uranium (resource)] | Mass | 1.4456E-011 | kg | | | Water vapour (sewage correction) [Thermal energy] | Mass | 4.6362E-007 | kg | |
| | Water (river water) [Water] | Mass | 2.5428E-005 | kg | | | Xylene (dimethyl benzene) [Group NMVOC to air] | Mass | 2.6466E-012 | kg | |
| | Wood (BUWAL) [Renewable energy resources] | Mass | 2.8151E-008 | kg | | | Xylene (isomers; dimethyl benzene) [Hydrocarbons to fres] | Mass | 3.6944E-012 | kg | |
| | Wood, hard, standing [Renewable energy resources] | Volume | 1.2771E-011 | m3 | | | Zinc (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 5.5436E-012 | kg | |
| | Wood, soft, standing [Renewable energy resources] | Volume | 2.721E-011 | m3 | | | Zinc (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 8.1769E-012 | kg | |
| | Zinc [Non renewable elements] | Mass | 1.5955E-013 | kg | | | Zinc (+II) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.4503E-013 | kg | |

Qualidade dos Dados

Técnica: Nenhum enunciado | Localização: Nenhum enunciado | Tempo: Nenhum enunciado

Agupamento

Nação: | Tipo: Production | Empresa: externo | Usuário definido: |

Figura 32: Extracção/Produção de Caulim.

Tabela 19: Entradas e saídas – Produção/Extração de Caulim.

| Extração/ Produção de Caulim <u-so> | | | | |
|---|-------------------|----------------|----------------|--------------------------|
| fator de escala | | 0.000166191 | | |
| Entradas | | | | |
| Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos Rastreados |
| Antimony [Non renewable elements] | Mass | 4.75E-18 | kg | |
| Barium sulphate [Non renewable resources] | Mass | 6.26E-10 | kg | |
| Basalt [Non renewable resources] | Mass | 1.43E-11 | kg | |
| Bauxite [Non renewable resources] | Mass | 7.19E-11 | kg | |
| Bentonite [Non renewable resources] | Mass | 6.12E-11 | kg | |
| Borax [Non renewable resources] | Mass | 1.01E-14 | kg | |
| Calcium Carbonate [Non renewable elements] | Mass | 1.29E-08 | kg | |
| Carbon dioxide [Renewable resources] | Mass | 1.30E-13 | kg | |
| Charcoal [Materials from renewable raw materials] | Mass | 1.78E-07 | kg | |
| Chromium [Non renewable elements] | Mass | 3.92E-11 | kg | |
| Clay [Non renewable resources] | Mass | 2.35E-09 | kg | |
| Cobalt [Non renewable elements] | Mass | 3.15E-17 | kg | |
| Colemanite ore [Non renewable resources] | Mass | 5.82E-14 | kg | |
| Copper [Non renewable elements] | Mass | 5.36E-13 | kg | |
| Crude oil Brazil [Crude oil products] | Mass | 1.92E-07 | kg | |
| Diatomite [Non renewable resources] | Mass | 6.04E-18 | kg | |
| Dolomite [Non renewable resources] | Mass | 1.20E-12 | kg | |
| Feldspar (aluminum silicates) [Non renewable resources] | Mass | 1.31E-14 | kg | |
| Fluorspar (calcium fluoride; fluorite) [Non renewable resources] | Mass | 8.04E-12 | kg | |
| Granite [Non renewable resources] | Mass | 2.23E-14 | kg | |
| Gravel [Non renewable resources] | Mass | 2.16E-08 | kg | |

| | | | |
|---|------|----------|----|
| Gypsum (natural gypsum) [Non renewable resources] | Mass | 4.81E-12 | kg |
| Inert rock [Non renewable resources] | Mass | 2.61E-05 | kg |
| Iron [Non renewable elements] | Mass | 3.20E-09 | kg |
| Kaolin ore [Non renewable resources] | Mass | 1.87E-05 | kg |
| Lead [Non renewable elements] | Mass | 2.00E-13 | kg |
| Magnesium [Non renewable elements] | Mass | 6.86E-12 | kg |
| Manganese [Non renewable elements] | Mass | 2.91E-12 | kg |
| Mercury [Non renewable elements] | Mass | 3.49E-14 | kg |
| Natural gas Brazil [Natural gas (resource)] | Mass | 4.47E-07 | kg |
| Nickel [Non renewable elements] | Mass | 6.58E-11 | kg |
| non traced back matter [Resources] | Mass | 9.33E-10 | kg |
| Olivine [Non renewable resources] | Mass | 4.78E-14 | kg |
| Peat [Non renewable resources] | Mass | 4.24E-11 | kg |
| Phosphorus [Non renewable elements] | Mass | 2.10E-07 | kg |
| Potassium chloride [Non renewable resources] | Mass | 9.44E-10 | kg |
| Pyrite [Non renewable resources] | Mass | 8.68E-10 | kg |
| Quartz sand (silica sand; silicon dioxide) [Non renewable resources] | Mass | 1.06E-52 | kg |
| Rhenium [Non renewable elements] | Mass | 9.74E-19 | kg |
| sand [Non renewable resources] | Mass | 2.96E-09 | kg |
| Silver [Non renewable elements] | Mass | 2.67E-15 | kg |
| Sodium chloride (rock salt) [Non renewable resources] | Mass | 4.22E-08 | kg |
| Sodium nitrate [Non renewable resources] | Mass | 2.31E-15 | kg |
| Sulphur [Non renewable elements] | Mass | 1.19E-10 | kg |
| Talc [Non renewable resources] | Mass | 6.24E-14 | kg |
| Tin [Non renewable elements] | Mass | 5.29E-14 | kg |
| Titanium [Non renewable elements] | Mass | 1.43E-14 | kg |
| Titanium dioxide [Non renewable resources] | Mass | 4.15E-15 | kg |
| Uranium natural [Uranium (resource)] | Mass | 1.45E-11 | kg |
| Water (river water) [Water] | Mass | 2.54E-05 | kg |

| | | | | |
|--|-------------------|----------------|----------------|--------------------------|
| Wood (BUWAL) [Renewable energy resources] | Mass | 2.82E-08 | kg | |
| Wood, hard, standing [Renewable energy resources] | Volume | 1.28E-11 | m3 | |
| Wood, soft, standing [Renewable energy resources] | Volume | 2.72E-11 | m3 | |
| Zinc [Non renewable elements] | Mass | 1.51E-13 | kg | |
| Saídas | | | | |
| Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos Rastreados |
| Final: Kaolin [Non renewable resources] | Mass | 1.57E-05 | kg | X |
| Acenaphthene [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 2.28E-18 | kg | |
| Acenaphthylene [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.42E-19 | kg | |
| Acetaldehyde (Ethanal) [Group NMVOC to air] | Mass | 1.43E-13 | kg | |
| Acetic acid [Group NMVOC to air] | Mass | 1.69E-12 | kg | |
| Acetic acid [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.37E-15 | kg | |
| Acetone (dimethylcetone) [Group NMVOC to air] | Mass | 1.41E-13 | kg | |
| Acid (calculated as H+) [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.78E-09 | kg | |
| Aclonifen [Organic emissions to industrial soil] | Mass | 1.62E-14 | kg | |
| Acrolein [Group NMVOC to air] | Mass | 8.93E-18 | kg | |
| Adsorbable organic halogen compounds (AOX) [Analytical measures to fresh water] | Mass | 9.19E-13 | kg | |
| adsorbable organic halogen compounds (emissions to air) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 6.08E-14 | kg | |
| Aldehyde (unspecified) [Group NMVOC to air] | Mass | 1.29E-12 | kg | |
| Alkane (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 5.74E-13 | kg | |
| Alkane (unspecified) [Group NMVOC to air] | Mass | 4.99E-11 | kg | |
| Alkene (unspecified) [Group NMVOC to air] | Mass | 1.09E-11 | kg | |
| Alkene (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 5.30E-14 | kg | |
| Aluminum [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 7.18E-12 | kg | |
| Aluminum [Particles to air] | Mass | 5.57E-11 | kg | |
| Aluminum (+III) [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.10E-11 | kg | |

| | | | |
|--|------|----------|----|
| Ammonia [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 6.26E-12 | kg |
| Ammonia [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.27E-11 | kg |
| Ammonium carbonate [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.47E-17 | kg |
| Antimony [Heavy metals to air] | Mass | 1.51E-13 | kg |
| Antimony [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.95E-20 | kg |
| Antimony [Heavy metals to fresh water] | Mass | 3.43E-14 | kg |
| Arsenic (+V) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 2.85E-15 | kg |
| Arsenic (+V) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 8.65E-14 | kg |
| Arsenic (+V) [Heavy metals to air] | Mass | 1.47E-13 | kg |
| Atrazine [Pesticides to industrial soil] | Mass | 3.85E-19 | kg |
| Barium [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 9.31E-14 | kg |
| Barium [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.11E-11 | kg |
| Barium [Inorganic emissions to air] | Mass | 9.28E-13 | kg |
| Barium sulphate (water) [Particles to fresh water] | Mass | 1.00E-10 | kg |
| Bentazone [Pesticides to industrial soil] | Mass | 8.27E-15 | kg |
| Benzaldehyde [Group NMVOC to air] | Mass | 2.17E-18 | kg |
| Benzene [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 6.09E-13 | kg |
| Benzene [Group NMVOC to air] | Mass | 1.78E-11 | kg |
| Benzo{a}pyrene [Group PAH to air] | Mass | 4.31E-14 | kg |
| Beryllium [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.03E-14 | kg |
| Beryllium [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 3.78E-15 | kg |
| Biological oxygen demand (BOD) [Analytical measures to fresh water] | Mass | 1.57E-10 | kg |
| Borate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 3.41E-13 | kg |
| Boron [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.70E-11 | kg |
| Boron [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 7.53E-13 | kg |
| Boron (soil) [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 3.89E-15 | kg |
| Bromate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 2.21E-12 | kg |
| Bromide [Inorganic emissions to air] | Mass | 6.97E-13 | kg |
| Bromide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 3.05E-13 | kg |

| | | | |
|--|------|----------|----|
| Bromine [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.00E-14 | kg |
| Butadiene [Group NMVOC to air] | Mass | 2.08E-21 | kg |
| Butane [Group NMVOC to air] | Mass | 4.94E-13 | kg |
| Butane (n-butane) [Group NMVOC to air] | Mass | 9.44E-12 | kg |
| Butene [Group NMVOC to air] | Mass | 8.12E-14 | kg |
| Butene [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 2.49E-18 | kg |
| Cadmium (+II) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 8.93E-16 | kg |
| Cadmium (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 7.28E-14 | kg |
| Cadmium (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 4.15E-14 | kg |
| Calcium (+II) [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 2.87E-11 | kg |
| Calcium (+II) [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.14E-10 | kg |
| Calcium (inorganic) [Inorganic emissions to air] | Mass | 7.88E-11 | kg |
| Carbetamide [Pesticides to agricultural soil] | Mass | 2.91E-15 | kg |
| Carbon dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.58E-06 | kg |
| Carbon dioxide (biotic) [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.97E-08 | kg |
| Carbon disulphide [Inorganic emissions to air] | Mass | 3.44E-12 | kg |
| Carbon monoxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.19E-08 | kg |
| Carbonate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.29E-12 | kg |
| Cesium [Heavy metals to fresh water] | Mass | 3.68E-16 | kg |
| Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water] | Mass | 2.98E-10 | kg |
| Chlorate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 2.15E-11 | kg |
| Chloride [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 3.85E-12 | kg |
| Chloride [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 1.17E-08 | kg |
| Chloride (unspecified) [Inorganic emissions to air] | Mass | 6.07E-22 | kg |
| Chlorinated hydrocarbons (unspecified) [Halogenated organic emissions to fresh water] | Mass | 3.53E-11 | kg |
| Chlorinated hydrocarbons (unspecified) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 2.20E-14 | kg |
| Chlorine [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.78E-13 | kg |

| | | | |
|--|------|----------|----|
| Chlorine (dissolved) [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 5.55E-14 | kg |
| Chlorothalonil [Pesticides to industrial soil] | Mass | 2.45E-16 | kg |
| Chromate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 5.80E-15 | kg |
| Chromium (+III) [Heavy metals to air] | Mass | 1.98E-13 | kg |
| Chromium (+III) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 3.46E-14 | kg |
| Chromium (+III) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.98E-13 | kg |
| Chromium (+VI) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 2.49E-13 | kg |
| Chromium (+VI) [Heavy metals to air] | Mass | 2.33E-15 | kg |
| Chromium (+VI) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.15E-14 | kg |
| Chromium (unspecified) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.87E-14 | kg |
| Chromium (unspecified) [Heavy metals to air] | Mass | 9.11E-14 | kg |
| Cobalt [Heavy metals to air] | Mass | 1.55E-13 | kg |
| Cobalt [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 4.15E-17 | kg |
| Cobalt [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.39E-13 | kg |
| Copper (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 2.20E-13 | kg |
| Copper (+II) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 8.97E-15 | kg |
| Copper (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 6.75E-13 | kg |
| Cumene (isopropylbenzene) [Organic emissions to fresh water] | Mass | 1.02E-14 | kg |
| Cumene (isopropylbenzene) [Group NMVOC to air] | Mass | 4.25E-15 | kg |
| Cyanide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.07E-13 | kg |
| Cyanide (unspecified) [Inorganic emissions to air] | Mass | 3.98E-14 | kg |
| Cypermethrin [Pesticides to industrial soil] | Mass | 6.31E-17 | kg |
| Dichloroethane (ethylene dichloride) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 2.31E-15 | kg |
| Dichloromethane (methylene chloride) [Halogenated organic emissions to fresh water] | Mass | 5.27E-14 | kg |
| Dichloromethane (methylene chloride) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 2.99E-19 | kg |
| Dinoseb [Pesticides to industrial soil] | Mass | 6.65E-17 | kg |

| | | | |
|--|------|----------|----|
| Dioxins (unspec.) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 4.91E-19 | kg |
| Dioxins (water) [Halogenated organic emissions to fresh water] | Mass | 1.29E-29 | kg |
| Dissolved organic carbon, DOC (Ecoinvent) [Fresh water] | Mass | 7.60E-10 | kg |
| Dust (> PM10) [Particles to air] | Mass | 5.03E-11 | kg |
| Dust (PM10) [Particles to air] | Mass | 1.65E-17 | kg |
| Dust (PM2,5 - PM10) [Particles to air] | Mass | 3.59E-11 | kg |
| Dust (PM2.5) [Particles to air] | Mass | 2.60E-11 | kg |
| Dust (unspecified) [Particles to air] | Mass | 1.31E-09 | kg |
| Ethane [Group NMVOC to air] | Mass | 8.06E-11 | kg |
| Ethanol [Group NMVOC to air] | Mass | 2.71E-13 | kg |
| Ethene (ethylene) [Group NMVOC to air] | Mass | 2.31E-10 | kg |
| Ethene (ethylene) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 2.69E-15 | kg |
| Ethyl benzene [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.02E-13 | kg |
| Ethyl benzene [Group NMVOC to air] | Mass | 8.13E-14 | kg |
| Ethylene oxide [Group NMVOC to air] | Mass | 3.29E-17 | kg |
| Ethylene oxide [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 4.84E-19 | kg |
| Ethylenediamine [Group NMVOC to air] | Mass | 6.34E-20 | kg |
| Ethylenediamine [Organic emissions to fresh water] | Mass | 1.54E-19 | kg |
| Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) [Organic emissions to fresh water] | Mass | 5.79E-16 | kg |
| Ethylyne [Group NMVOC to air] | Mass | 1.08E-11 | kg |
| Fenpiclonil [Pesticides to agricultural soil] | Mass | 5.69E-16 | kg |
| Fluoride [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 3.30E-12 | kg |
| Fluoride [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 1.71E-14 | kg |
| Fluoride [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.64E-15 | kg |
| Fluorine [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.01E-14 | kg |
| Formaldehyde (methanal) [Group NMVOC to air] | Mass | 1.59E-12 | kg |
| Formaldehyde (methanal) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 6.01E-16 | kg |
| Glutaraldehyde [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 2.33E-16 | kg |

| | | | |
|--|------|----------|----|
| Glyphosate [Pesticides to industrial soil] | Mass | 1.32E-12 | kg |
| Halon (1211) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 1.92E-16 | kg |
| Halon (1301) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 8.73E-15 | kg |
| Helium [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.54E-14 | kg |
| Heptane (isomers) [Group NMVOC to air] | Mass | 7.93E-23 | kg |
| Hexachlorobenzene (Perchlorobenzene) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 4.48E-18 | kg |
| Hexachloroethane [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 2.96E-23 | kg |
| Hexane (isomers) [Group NMVOC to air] | Mass | 2.48E-12 | kg |
| HFC (unspec.) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 4.48E-15 | kg |
| Hydrazine [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 2.66E-16 | kg |
| Hydrocarbons (unspecified) [Organic emissions to air (group VOC)] | Mass | 4.76E-09 | kg |
| Hydrocarbons (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 8.71E-13 | kg |
| Hydrochlorofluorocarbon [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 9.89E-16 | kg |
| Hydrocyanic acid [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.89E-14 | kg |
| Hydrogen [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.11E-10 | kg |
| Hydrogen chloride [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.65E-10 | kg |
| Hydrogen fluoride [Inorganic emissions to air] | Mass | 7.60E-12 | kg |
| Hydrogen peroxide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.22E-17 | kg |
| Hydrogen sulphide [Inorganic emissions to air] | Mass | 9.57E-12 | kg |
| Hydrogen sulphide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 7.19E-14 | kg |
| Hydroxide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 7.16E-16 | kg |
| Hypochlorite [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 3.29E-14 | kg |
| Hypochlorous acid [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 5.03E-15 | kg |
| Iodide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.22E-13 | kg |
| Iodine [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.33E-13 | kg |

| | | | |
|--|------|----------|----|
| Iron [Heavy metals to air] | Mass | 2.66E-10 | kg |
| Iron [Heavy metals to fresh water] | Mass | 3.79E-10 | kg |
| Iron [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.72E-11 | kg |
| Lead (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 6.10E-13 | kg |
| Lead (+II) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 2.49E-15 | kg |
| Lead (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 2.10E-12 | kg |
| Linuron [Pesticides to industrial soil] | Mass | 1.26E-13 | kg |
| Magnesium [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.08E-11 | kg |
| Magnesium (+III) [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 1.87E-13 | kg |
| Magnesium ion (+II) [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.05E-11 | kg |
| Mancozeb [Organic emissions to industrial soil] | Mass | 3.18E-16 | kg |
| Manganese (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 2.11E-13 | kg |
| Manganese (+II) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 2.94E-13 | kg |
| Manganese (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 2.58E-12 | kg |
| Mercaptan (unspecified) [Group NMVOC to air] | Mass | 3.98E-14 | kg |
| Mercury (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 1.17E-13 | kg |
| Mercury (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 2.17E-14 | kg |
| Mercury (+II) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.17E-16 | kg |
| Metaldehyde [Organic emissions to agricultural soil] | Mass | 5.46E-16 | kg |
| Metals (unspecified) [Particles to fresh water] | Mass | 5.32E-13 | kg |
| Metals (unspecified) [Particles to air] | Mass | 2.47E-13 | kg |
| Methane [Organic emissions to air (group VOC)] | Mass | 3.41E-09 | kg |
| Methanol [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 3.30E-15 | kg |
| Methanol [Group NMVOC to air] | Mass | 4.55E-13 | kg |
| Methyl tertiary butyl ether [Group NMVOC to air] | Mass | 1.75E-17 | kg |
| Methyl tertiary butyl ether (water) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 2.55E-15 | kg |
| Metolachlor [Pesticides to industrial soil] | Mass | 9.08E-13 | kg |
| Metribuzin [Pesticides to industrial soil] | Mass | 1.12E-17 | kg |
| Molybdenum [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 2.06E-17 | kg |

| | | | |
|--|------|-----------|----|
| Molybdenum [Heavy metals to air] | Mass | 8.24E-14 | kg |
| Molybdenum [Heavy metals to fresh water] | Mass | 5.43E-14 | kg |
| Monoethanolamine [Group NMVOC to air] | Mass | 3.29E-16 | kg |
| Morpholine [Pesticides to fresh water] | Mass | 2.82E-15 | kg |
| Napropamide [Pesticides to industrial soil] | Mass | 9.66E-16 | kg |
| Nickel (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 1.04E-12 | kg |
| Nickel (+II) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | -6.43E-16 | kg |
| Nickel (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 6.21E-13 | kg |
| Nitrate [Inorganic emissions to air] | Mass | 4.45E-16 | kg |
| Nitrate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 2.20E-10 | kg |
| Nitrite [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.09E-14 | kg |
| Nitrogen [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 1.08E-116 | kg |
| Nitrogen dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 5.35E-09 | kg |
| Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air] | Mass | 3.31E-11 | kg |
| NMVOC (unspecified) [Group NMVOC to air] | Mass | 2.72E-11 | kg |
| Oil (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.66E-10 | kg |
| Oil (unspecified) [Organic emissions to industrial soil] | Mass | 2.59E-11 | kg |
| Orbencarb (industrial soil) [Pesticides to industrial soil] | Mass | 6.04E-17 | kg |
| Organic compounds (air) [Group NMVOC to air] | Mass | 6.06E-13 | kg |
| Organic compounds (unspecified) [Organic emissions to fresh water] | Mass | 7.55E-11 | kg |
| Ozone [Inorganic emissions to air] | Mass | 2.88E-13 | kg |
| Pentachlorobenzene [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 3.21E-19 | kg |
| Pentachlorophenol (PCP) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 3.35E-16 | kg |
| Pentane (n-pentane) [Group NMVOC to air] | Mass | 1.32E-11 | kg |
| Phenol (hydroxy benzene) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 7.09E-13 | kg |
| Phenol (hydroxy benzene) [Group NMVOC to air] | Mass | 9.44E-13 | kg |

| | | | |
|---|------|----------|----|
| Phosphate [Inorganic emissions to air] | Mass | 4.67E-13 | kg |
| Phosphate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 2.30E-12 | kg |
| Phosphorus [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 3.60E-13 | kg |
| Phosphorus [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 5.02E-13 | kg |
| Pirimicarb [Pesticides to industrial soil] | Mass | 7.83E-16 | kg |
| Platinum [Heavy metals to air] | Mass | 5.71E-22 | kg |
| Polychlorinated biphenyls (PCB unspecified) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 7.46E-18 | kg |
| Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) [Group PAH to air] | Mass | 7.39E-13 | kg |
| Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH, unspec.) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 2.85E-12 | kg |
| Potassium [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 6.47E-11 | kg |
| Potassium (+I) [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 9.09E-14 | kg |
| Potassium (air) [Inorganic emissions to air] | Mass | 5.85E-12 | kg |
| Propane [Group NMVOC to air] | Mass | 3.56E-11 | kg |
| Propene [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 4.28E-15 | kg |
| Propene (propylene) [Group NMVOC to air] | Mass | 1.11E-11 | kg |
| Propionaldehyde [Group NMVOC to air] | Mass | 2.45E-18 | kg |
| Propionic acid (propane acid) [Group NMVOC to air] | Mass | 2.99E-15 | kg |
| Propylene oxide [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 5.79E-16 | kg |
| Propylene oxide [Group NMVOC to air] | Mass | 2.41E-16 | kg |
| Rubidium [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.20E-14 | kg |
| Scandium [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 6.62E-15 | kg |
| Scandium [Inorganic emissions to air] | Mass | 4.77E-15 | kg |
| Selenium [Heavy metals to fresh water] | Mass | 3.10E-14 | kg |
| Selenium [Heavy metals to air] | Mass | 1.07E-13 | kg |
| Silicon [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.32E-10 | kg |
| Silicon dioxide (silica) [Particles to fresh water] | Mass | 1.71E-14 | kg |
| Silicon dust [Particles to air] | Mass | 2.29E-10 | kg |

| | | | |
|--|------|----------|----|
| Silver [Heavy metals to air] | Mass | 1.79E-20 | kg |
| Silver [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 4.47E-17 | kg |
| Silver [Heavy metals to fresh water] | Mass | 2.85E-15 | kg |
| Sodium (+I) [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 2.94E-09 | kg |
| Sodium (+I) [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 3.76E-13 | kg |
| Sodium (air) [Inorganic emissions to air] | Mass | 5.73E-12 | kg |
| Strontium [Heavy metals to fresh water] | Mass | 2.65E-11 | kg |
| Strontium [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.87E-15 | kg |
| Strontium [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.09E-12 | kg |
| Styrene [Group NMVOC to air] | Mass | 4.26E-18 | kg |
| Sulphate [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 2.58E-08 | kg |
| Sulphate [Inorganic emissions to air] | Mass | 3.18E-13 | kg |
| Sulphide [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 8.92E-14 | kg |
| Sulphite [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 7.35E-14 | kg |
| Sulphur [Inorganic emissions to industrial soil] | Mass | 4.33E-12 | kg |
| Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 7.42E-09 | kg |
| Sulphur hexafluoride [Inorganic emissions to air] | Mass | 4.78E-15 | kg |
| Sulphuric acid [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.87E-14 | kg |
| Sulphuric acid [Inorganic emissions to fresh water] | Mass | 4.84E-15 | kg |
| Suspended solids, unspecified [Particles to fresh water] | Mass | 2.17E-09 | kg |
| Tar [Particles to air] | Mass | 5.00E-16 | kg |
| Tebutan (industrial) [Pesticides to industrial soil] | Mass | 2.30E-15 | kg |
| Teflubenzuron (industrial) [Pesticides to industrial soil] | Mass | 7.46E-19 | kg |
| Tetrachloroethene (perchloroethylene) [Halogenated organic emissions to fresh water] | Mass | 7.20E-20 | kg |
| Thallium [Heavy metals to air] | Mass | 2.85E-15 | kg |
| Thallium [Heavy metals to fresh water] | Mass | 5.60E-16 | kg |
| Tin (+IV) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 7.88E-17 | kg |
| Tin (+IV) [Heavy metals to air] | Mass | 8.53E-15 | kg |
| Tin (+IV) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.04E-14 | kg |

| | | | |
|--|------------------------------|----------|----|
| Titanium [Heavy metals to fresh water] | Mass | 1.31E-12 | kg |
| Titanium [Heavy metals to air] | Mass | 1.32E-12 | kg |
| Titanium [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 6.53E-16 | kg |
| Toluene (methyl benzene) [Group NMVOC to air] | Mass | 4.33E-12 | kg |
| Toluene (methyl benzene) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 5.40E-13 | kg |
| Total organic carbon, TOC (Ecoinvent) [Fresh water] | Mass | 1.51E-10 | kg |
| Trichloroethane (Isomers) [Halogenated organic emissions to fresh water] | Mass | 1.62E-19 | kg |
| Trichloroethene (isomers) [Halogenated organic emissions to fresh water] | Mass | 4.47E-18 | kg |
| Trichloromethane (chloroform) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 9.91E-18 | kg |
| Trichloromethane (chloroform) [Halogenated organic emissions to fresh water] | Mass | 1.67E-17 | kg |
| Triethylene glycol [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 5.52E-12 | kg |
| Tungsten [Heavy metals to fresh water] | Mass | 6.58E-15 | kg |
| Vanadium (+III) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 2.00E-13 | kg |
| Vanadium (+III) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.87E-17 | kg |
| Vanadium (+III) [Heavy metals to air] | Mass | 2.81E-12 | kg |
| Vinyl chloride (VCM; chloroethene) [Halogenated organic emissions to air] | Mass | 1.44E-14 | kg |
| Vinyl chloride (VCM; chloroethene) [Halogenated organic emissions to fresh water] | Mass | 1.37E-14 | kg |
| VOC (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 1.47E-12 | kg |
| VOC (unspecified) [Organic emissions to air (group VOC)] | Mass | 5.57E-13 | kg |
| Waste for disposal (unspecified) [Waste for disposal] | Mass | 2.61E-05 | kg |
| Waste heat [Other emissions to fresh water] | Energy (net calorific value) | 2.84E-08 | MJ |

| | | | |
|---|------------------------------|----------|----|
| Waste heat [Other emissions to agricultural soil] | Energy (net calorific value) | 1.15E-09 | MJ |
| Water vapour (sewage correction) [Thermal energy] | Mass | 4.64E-07 | kg |
| Xylene (dimethyl benzene) [Group NMVOC to air] | Mass | 2.65E-12 | kg |
| Xylene (isomers; dimethyl benzene) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 3.69E-12 | kg |
| Zinc (+II) [Heavy metals to air] | Mass | 5.54E-12 | kg |
| Zinc (+II) [Heavy metals to fresh water] | Mass | 8.18E-12 | kg |
| Zinc (+II) [Heavy metals to industrial soil] | Mass | 1.45E-13 | kg |

Produção de Coagulante <u-so> -- Instância de processo

Nome local: Produção de Coagulante <u-so>  Nenhuma imagem    Cancelar OK

Configurações locais  ACC

Fator de escala: 0.005 Fixado Alocação: [nenhuma alocação]

Parâmetros livres 

Parâmetros fixos 

| Entradas | | | | | | Saídas | | | | | |
|--|-------|------------|------------|---------|-------------------|--|-------|------------|-----------|---------|-------|
| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados | Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxo |
| Final: Kaolin [Non renewable resources] | | Mass | 1.573E-005 | kg | X | Aluminum sulfate [Inorganic intermediate products] | | Mass | 3.24E-005 | kg | X |
| Sulphuric acid aq. (96%) [Inorganic intermediate products] | | Mass | 1.667E-005 | kg | X | | | | | | |

Qualidade dos Dados

Técnica: Nenhum enunciado Localização: Nenhum enunciado Tempo: Nenhum enunciado

Agrupamento

Nação: Tipo: Production Empresa: externo Usuário definido:

Figura 33: Produção de Coagulante.

Agua para arrefecimento <u-so> -- Instância de processo

Nome local: Agua para arrefecimento <u-so>  Nenhuma imagem   Cancelar OK

Configurações locais  ACC

Fator de escala: 1 Fixado Alocação: (nenhuma alocação)

Parâmetros livres 

Parâmetros fixos 

| Entradas | | | | | Saídas | | | | | | |
|----------|------------------------------|------------|---------|---------|-------------------|-------|------------------------------|------------|---------|---------|-------|
| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados | Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxo |
| | Water (ground water) [Water] | Mass | 0.324 | kg | | | Water (ground water) [Water] | Mass | 0.324 | kg | X |

Qualidade dos Dados

Técnica: Nenhum enunciado Localização: Nenhum enunciado Tempo: Nenhum enunciado

Agrupamento

Nação: Tipo: Processos Empresa: externo Usuário definido:

Figura 34: Água para arrefecimento.

Tanque Pulmao e Aquecimento <u-so> -- Instância de processo

Nome local: Tanque Pulmao e Aquecimento <u-so> Nenhuma imagem

Configurações locais ACC

Fator de escala: 1 Fixado Alocação: (nenhuma alocação)

Parâmetros livres

Parâmetros fixos

| Entradas | | | | | | Saídas | | | | | |
|--------------------------------------|-------|------------------------------|---------|---------|-------------------|-------------------------------------|-------|------------|---------|---------|-------------------|
| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados | Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados |
| Heavy fuel oil [Crude oil products] | | Mass | 208.38 | kg | X | Heavy fuel oil [Crude oil products] | | Mass | 208.38 | kg | X |
| Thermal energy (MJ) [Thermal energy] | | Energy (net calorific value) | 13.407 | MJ | X | | | | | | |

Qualidade dos Dados

Técnica: Nenhum enunciado Localização: Nenhum enunciado Tempo: Nenhum enunciado

Agrupamento

Nação: Tipo: Auxiliary processes Empresa: externo Usuário definido:

Figura 36: Tanque pulmão e aquecimento.

Tanque de Separação <u-so> -- Instância de processo

Nome local: Tanque de Separação <u-so>  Nenhuma imagem Cancel OK

Configurações locais 

Fator de escala: 1 Fixado Alocação: (nenhuma alocação)

Parâmetros livres +

Parâmetros fixos +

| Entradas | | | | | | Saídas | | | | | |
|----------|-------------------------------------|------------|---------|---------|-------------------|--------|--|------------|---------|---------|-------|
| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados | Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxo |
| ▪ | Heavy fuel oil [Crude oil products] | Mass | 208.38 | kg | X | ▪ | Heavy fuel oil [Crude oil products] | Mass | 204.38 | kg | X |
| | | | | | | ▪ | Rejeito de óleo [Organic emissions to industrial soil] | Mass | 0.0001 | kg | X |
| | | | | | | ▪ | Water (waste water, untreated) [Production residues in li] | Mass | 3.9919 | kg | X |

Qualidade dos Dados

Técnica: Nenhum enunciado | Localização: Nenhum enunciado | Tempo: Nenhum enunciado

Agrupamento

Nação: | Tipo: Utilization | Empresa: externo | Usuário definido: |

Figura 37: Tanque de separação.

Aterro <u-so> -- Instância de processo

Nome local: Aterro <u-so>  Nenhuma imagem   Cancelar OK

Configurações locais  ACC

Fator de escala: 1 Fixado Alocação: (nenhuma alocação)

Parâmetros livres +

Parâmetros fixos +

| Entradas | | | | | | Saídas | | | | | |
|----------|--|------------|---------|---------|-------------------|--------|---|------------|-----------|---------|-------|
| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados | Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxo |
| | Rejeito de óleo [Organic emissions to industrial soil] | Mass | 0.0001 | kg | X | | Aromatic hydrocarbons (unspecified) [Group NMWOC to air] | Mass | 1.45E-011 | kg | |
| | Water (waste water, untreated) [Production residues in life cycle] | Mass | 3.9919 | kg | X | | Aromatic hydrocarbons (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 2.25E-011 | kg | |
| | | | | | | | Biological oxygen demand (BOD) [Analytical measures to fresh water] | Mass | 2.28E-012 | kg | |
| | | | | | | | Carbon dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.96E-006 | kg | |
| | | | | | | | Carbon monoxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 8.26E-009 | kg | |
| | | | | | | | Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures to fresh water] | Mass | 7.38E-011 | kg | |
| | | | | | | | Methane [Organic emissions to air (group VOC)] | Mass | 2.88E-009 | kg | |
| | | | | | | | Oil (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water] | Mass | 7.02E-010 | kg | |
| | | | | | | | Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) [Group PAH to air] | Mass | 4.74E-014 | kg | |
| | | | | | | | Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH, unsp.) [Hydrocarbons to air] | Mass | 3.42E-013 | kg | |
| | | | | | | | Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.08E-007 | kg | |

Qualidade dos Dados

Técnica: Nenhum enunciado Localização: Nenhum enunciado Tempo: Nenhum enunciado

Agrupamento

Nação: Tipo: Disposal Empresa: externo Usuário definido:

Figura 38: Aterro.

Geração <u-so> -- Instância de processo

Nome local: Geração <u-so> Nenhuma imagem

Configurações locais ACC

Fator de escala: 1 Fixado Alocação: [nenhuma alocação]

Parâmetros livres

Parâmetros fixos

| Entradas | | | | | | Saídas | | | | | |
|----------|---|------------|---------|---------|-------------------|--------|---|-----------------|---------|---------|-------|
| Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxos rastreados | Alias | Fluxo | Quantidade | Quantia | Unidade | Fluxo |
| | Heavy fuel oil [Crude oil products] | Mass | 204.38 | kg | X | | Thermal energy (MJ) [Thermal energy] | Energy (net ca) | 13.407 | MJ | X |
| | Light fuel oil [Crude oil products] | Mass | 0.63747 | kg | X | | Carbon dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 624.51 | kg | |
| | Water (processed) [Operating materials] | Mass | 0.324 | kg | X | | Carbon monoxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 1.133 | kg | |
| | | | | | | | Dust (PM2,5 - PM10) [Particles to air] | Mass | 4.373 | kg | |
| | | | | | | | Nitrogen dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 29.401 | kg | |
| | | | | | | | Nitrogen monoxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 45.178 | kg | |
| | | | | | | | Power [Electric power] | Energy (net ca) | 3600 | MJ | |
| | | | | | | | Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air] | Mass | 10.631 | kg | |
| | | | | | | | Waste heat [Other emissions to air] | Energy (net ca) | 90.827 | MJ | |
| | | | | | | | Water (evapotranspiration) [Inorganic emissions to air] | Mass | 0.324 | kg | |

Qualidade dos Dados

Técnica: Nenhum enunciado Localização: Nenhum enunciado Tempo: Nenhum enunciado

Agrupamento

Nação: Tipo: Processos Empresa: externo Usuário definido:

Figura 39: Geração.